



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

**Wynik z osiągniętego etapu/etapów prac nad Projektem będącym
przedmiotem umowy pn:**

Ochrona przed hałasem drogowym

Zadanie 3. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górných warstw nawierzchni betonowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości

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

Lider i Współwykonawcy Zad. 3: Politechnika Wroclawska, Instytut Badawczy
Dróg i Mostów, Politechnika Lubelska

Kierownik Zad. 3: prof. dr hab. inż. Antoni Szydło

Data rozpoczęcia Zad. 3: 01.01.2016

Data zakończenia Zad. 3: 30.11.2017



Spis treści:

1.	Wstęp	3
2.	Technologie budowy nawierzchni betonowych	4
3.	Metody wykańczania górnych powierzchni warstw nawierzchni betonowych z uwzględnieniem redukcji hałasu	16
4.	Metody pomiaru hałasu nawierzchni betonowych	26
4.1.	Wprowadzenie	26
4.2.	Charakterystyka metod pomiarowych	27
5.	Zestawienie odcinków badawczych nawierzchni betonowych w Polsce oraz metodyka pomiarowa równości i tekstury	29
5.1.	Odcinki pomiarowe	29
5.2.	Metodyka pomiaru równości i tekstury	34
5.3.	Algorytm oceny odcinków jednorodnych	34
5.4.	Wpływ temperatury na badane parametry równości i tekstury	43
5.5.	Ocena badanych odcinków dróg pod względem równości oraz makrotekstury wg wymagań DSN	48
5.6.	Podsumowanie	53
6.	Wpływ wybranych czynników na poziom hałasu generowanego przez nawierzchnie betonowe	53
6.1.	Wprowadzenie	53
6.2.	Wpływ szczelin i sposobu ich wypełnienia	54
6.2.1.	Podsumowanie	61
6.3.	Wpływ równości podłużnej	61
6.3.1.	Podsumowanie	63
6.4.	Wpływ makrotekstury	64
6.4.1.	Podsumowanie	66
6.5.	Wnioski	66
7.	Badania tekstury, współczynnika tarcia oraz poślizgu	67
7.1.	Wprowadzenie	67
7.2.	Analiza wyników badań tekstury oraz tarcia	67
7.3.	Badania poślizgu i polerowalności kruszyw w laboratorium	70
7.4.	Podsumowanie	77
8.	Wpływ natężenia ruchu	78
8.1.	Podsumowanie	80
9.	Analizy częstotliwości	80
9.1.	Wprowadzenie	80
9.2.	Analiza wyników	81
9.3.	Podsumowanie	84
10.	Pomiar hałasu w kabinie samochodu	84
10.1.	Wprowadzenie	84
10.2.	Analiza wyników badań	84
10.3.	Korelacja pomiarów dźwięku w kabinie z metodą OBSI	90
10.4.	Podsumowanie	91
11.	Analiza hałasu środowiskowego w nawierzchniach betonowych	91
11.1.	Badania hałasu środowiskowego na nawierzchniach betonowych	91
11.1.1.	Informacje ogólne	91
11.1.2.	Opis metody pomiarowej	94
11.2.	Ocena wpływu wybranych czynników mających wpływ na hałas środowiskowy	99

11.2.1.	Wyniki badań na autostradzie A4.....	99
11.2.2.	Wyniki badań na drodze ekspresowej S8.....	103
11.2.3.	Wyniki badań na autostradzie A2.....	105
11.2.4.	Porównanie właściwości akustycznych nawierzchni betonowych w zależności od technologii wykonania.....	109
11.3.	Podsumowanie	115
12.	Wpływ dylatacji obiektów inżynierskich na generowany poziom hałasu.....	116
12.1.	Badania wpływu dylatacji obiektów inżynierskich na poziom hałasu.....	116
12.1.1.	Cele i zakres zadania	116
12.1.2.	Lokalizacja punktów pomiarowych.....	116
12.1.3.	Program badań	122
12.2.	Analiza i ocena wyników badań wpływu dylatacji obiektów inżynierskich na poziom hałasu	127
12.2.1.	Most Jana Pawła II w Puławach - dylatacja jednomodułowa i palczasta 127	
12.2.2.	Most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach - dylatacja jednomodułowa i dwumodułowa	139
12.2.3.	Most w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie – dylatacja blokowa .	151
12.3.	Wnioski z wyników badań	158
13.	Podsumowanie	162
13.1.	Uwagi ogólne	162
13.2.	Podsumowanie badań metodą OBSI różnych rodzajów nawierzchni betonowych.....	163
13.3.	Podsumowanie z badania hałasu środowiskowego.....	168
13.4.	Podsumowanie badania hałasu w kabinie pojazdu	169
13.5.	Podsumowanie badania tarcia i poślizgu	169
14.	Wnioski.....	170
15.	EFEKTY FINANSOWE Z REALIZACJI ZADANIA	173
16.	Bibliografia	174

1. WSTĘP

Raport jest końcowym sprawozdaniem z prac wykonywanych w ramach projektu DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016 „Ochrona przed hałasem drogowym”. Realizowanego w ramach programu RID finansowanego przez NCBIR i GDDKiA.

Przedmiotem raportu jest końcowe sprawozdanie z prac badawczych wykonywanych w ramach zadania 3: „Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni betonowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości”.

W raporcie przedstawiono badania i studia nad różnymi rozwiązanymi technologicznymi stosowanymi w nawierzchniach betonowych na świecie i w kraju. Zwrócono uwagę na metody wykańczania górnej powierzchni w tym również na technologie nawierzchni betonowych ze szczelinami oraz bez szczelin.

Dokonano przeglądu literatury pod kątem metod wykańczania górnych powierzchni warstw nawierzchni betonowych z punktu widzenia redukcji hałasu. Na podstawie badań wytypowano tekstury dające najmniejsze poziomy hałas. Wskazano także na metody pomiarowe hałasu drogowego pozwalające scharakteryzować różne metody wykańczania nawierzchni oraz typy konstrukcji.

Wytypowano odcinki pomiarowe na sieci dróg krajowych (DK 50, w tym na autostradach i drogach ekspresowych, A2, A4, A18, S8) o nawierzchni betonowej na których zdecydowano się prowadzić prace pomiarowe w zakresie hałasu. Odcinki te miały różną strukturę wykończenia górnej powierzchni oraz różne okresy eksploatacji oraz różną technologię budowy (nawierzchnie ze szczelinami oraz bez szczelin). Na tych odcinkach przeprowadzono pomiary równości podłużnej (IRI), równości poprzecznej, makrotekstury (MPD), współczynnika tarcia. Przeprowadzono pomiary i analizę wpływu temperatury na mierzone cechy powierzchniowe (IRI, równość poprzeczną i makroteksturę). Przeprowadzono pomiary hałasu na nawierzchniach betonowych mających różną strukturę wykończenia. Pomiary hałasu prowadzono metodą OBSI oraz wykonywano pomiar hałasu środowiskowego. Metoda OBSI nie była dotąd stosowana w Polsce. Dokonano analizy wpływu badanych powierzchniowych cech nawierzchni oraz technologii wykonania na generowany poziom hałasu. Zaproponowano zależności korelacyjne. Przeanalizowano wpływ natężenia ruchu na zmianę cech powierzchniowych nawierzchni i wpływ na generowany poziom hałasu. Wykonano analizy korelacyjne makrotekstury i współczynnika tarcia. Przeprowadzono laboratoryjne badania poślizgu na próbkach betonowych posiadających różną strukturę wykończenia powierzchni za pomocą wahadła angielskiego PTV. Dokonano korelacji parametrów poślizgu PTV oraz hałasu. Przeprowadzono korelacje wyników pomiarów poziomu hałasu metodą OBSI z hałasem mierzonym wewnątrz kabiny samochodu osobowego. Zaprezentowano badania hałasu środowiskowego na podstawie pomierzonego poziomu dźwięku wyrażanego przez równoważny poziom dźwięku. Wykonano korelacje hałasu mierzony metodą OBSI a hałasem środowiskowym, Wykonano analizy hałasowe z

uwzględnieniem także dylatacji obiektów inżynierskich oraz wskazano na rodzaje dylatacji emitujących podwyższony poziom hałasu.

Raport zakończono wnioskami i wytycznymi dotyczącymi rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni betonowych i zaleceń w zakresie ich hałaśliwości. Pozwoliło to wskazać na metodykę oceny hałaśliwości nawierzchni betonowych oraz wybór technologii wykonywania nawierzchni emitującej obniżony hałas. Podano także zalecenia odnośnie hałaśliwości dylatacji w obiektach inżynierskich.

Niniejsza praca jest pierwszym kompleksowym opracowaniem w zakresie badań hałasu na polskich nawierzchniach betonowych.

Badania hałasu metodą OBSI wykonał zespół IBDIM (prof. Adam Zofka). Pomiary hałasu środowiskowego i jego analizy wraz z oceną hałaśliwości dylatacji mostowych wykonał zespół Politechniki Lubelskiej (dr inż. Janusz Bohatkiewicz plus zespół). Studia nad technologią i budową nawierzchni betonowych jak również pomiary cech nawierzchni, pomiary hałasu w kabinie, badania laboratoryjne wg metody PTV oraz wszystkie analizy i korelacje wykonał zespół Politechniki Wrocławskiej (prof. Antoni Szydło, dr hab. Piotr Mackiewicz plus zespół).

2. TECHNOLOGIE BUDOWY NAWIERZCHNI BETONOWYCH

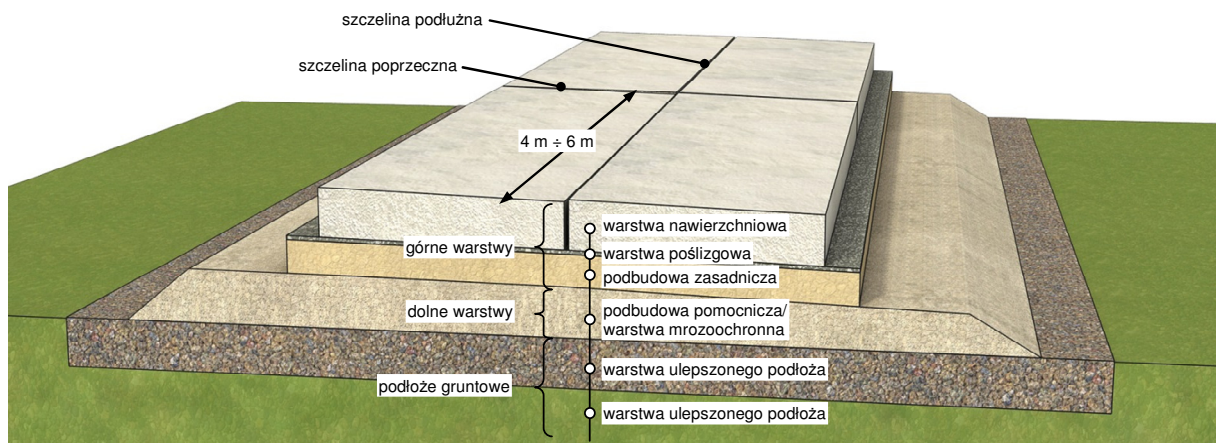
Konstrukcją nawierzchni z betonu cementowego nazywamy zespół warstw ułożonych na naturalnym lub ulepszonym podłożu gruntowym. Służy ona do przejmowania i przenoszenia na podłoże gruntowe obciążeń pochodzących od kół pojazdów i innych wpływów zewnętrznych. Konstrukcja taka powinna posiadać określoną trwałość oraz zapewniać określony poziom wygody i bezpieczeństwa ruchu, w zależności od równości i szorstkości jej zewnętrznej powierzchni. Podstawą klasyfikacji jest rodzaj zastosowanej płyty betonowej (zbrojona lub nie zbrojona), rodzaj materiału użytego na płytę oraz sposób wykonania wybranych elementów technologicznych. Rozróżnia się następujące najbardziej typowe nawierzchnie betonowe: niezbrojone i niedyblowane, niezbrojone, dyblowane w szczelinach poprzecznych i kotwione w szczelinach podłużnych, nawierzchnie zbrojone ze szczelinami poprzecznymi, nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu bez szczelin dylatacyjnych.

W światowej technice drogowej znalazły zastosowanie nawierzchnie: niezbrojone i niedyblowane dla małego obciążenia ruchem, dyblowane i kotwione tj. ze szczelinami poprzecznymi, zbrojone ze szczelinami poprzecznymi dla dużego obciążenia oraz o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych. W różnych krajach stosowane są różne typy nawierzchni. W Niemczech stosowana jest nawierzchnia dyblowana i kotwiona. W Belgii - nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych. Francuzi natomiast stosują nawierzchnie dyblowane i kotwione oraz o ciągłym zbrojeniu (bez szczelin poprzecznych). Ponadto stosują grube płyty niedyblowane. Stosowanie nawierzchni powinno być uzależnione od specyfiki ruchu, możliwości utrzymania, warunków klimatycznych itp. W Polsce jak dotąd stosowano nawierzchnie dyblowane i kotwione. Jednak występują dwa odcinki eksperymentalne o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych.

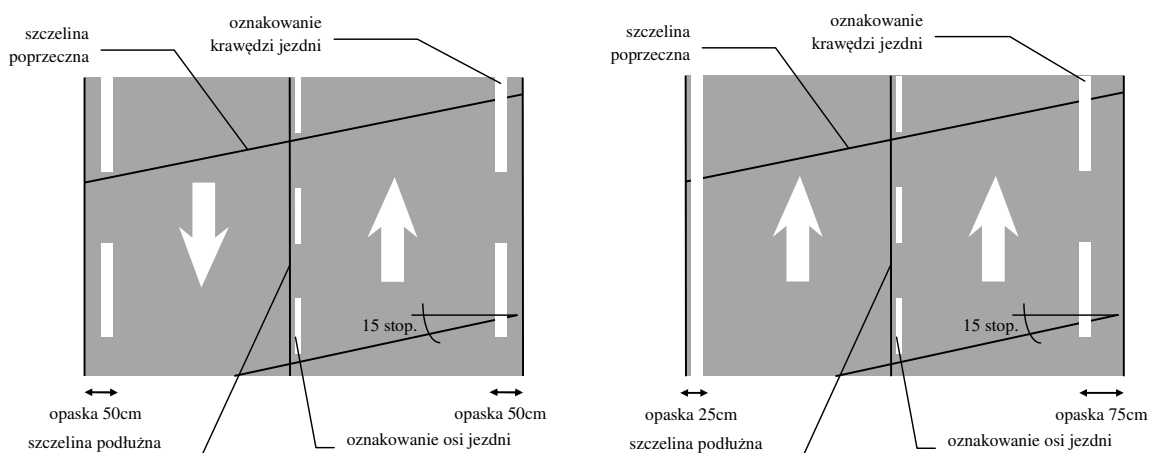
Nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane

Jest to najstarszy rodzaj nawierzchni betonowej zwany nawierzchnią „kalifornijską”. Typ takiej nawierzchni tworzą płyty krótkie wydzielone za pomocą szczelin poprzecznych i podłużnych. Rozstaw szczelin podłużnych praktycznie pokrywa się z wymiarami szerokości

pasów ruchu. Z uwagi na wpływy termiczne należy przestrzegać wymagań rozstawu szczelin poprzecznych, który zmienia się od 4 do 6 m w zależności od grubości płyty. Najczęściej wynosi on 25 x grubość płyty. W Anglii zleca się stosować rozstaw szczelin poprzecznych 4 m dla płyt o grubości poniżej 23 cm. Dla płyt grubszych – 5m. Na rys. 2.1 pokazano schemat typowej nawierzchni niezbrojonej i niedyblowanej z pokazaniem typowego układu warstw. Szczeliny poprzeczne są najczęściej prostopadłe do szczeliny podłużnej i osi drogi, ale z uwagi na lepszy komfort jazdy, zapewnienie lepszej współpracy płyt mogą być ukośne o kącie odchylenia 15 stopni (rys. 2.2). Taki układ szczelin może także wywoływać nieco niższe poziomy hałasu niż układ prostopadły. Przy stosowaniu oznakowania poziomego (głównie linie segregacyjne i krawędziowe) określającego zakresy pasów ruchu należy uwzględnić jego odpowiednią lokalizację względem zaprojektowanych szczelin – odległość odsunięcia 5-10 cm.

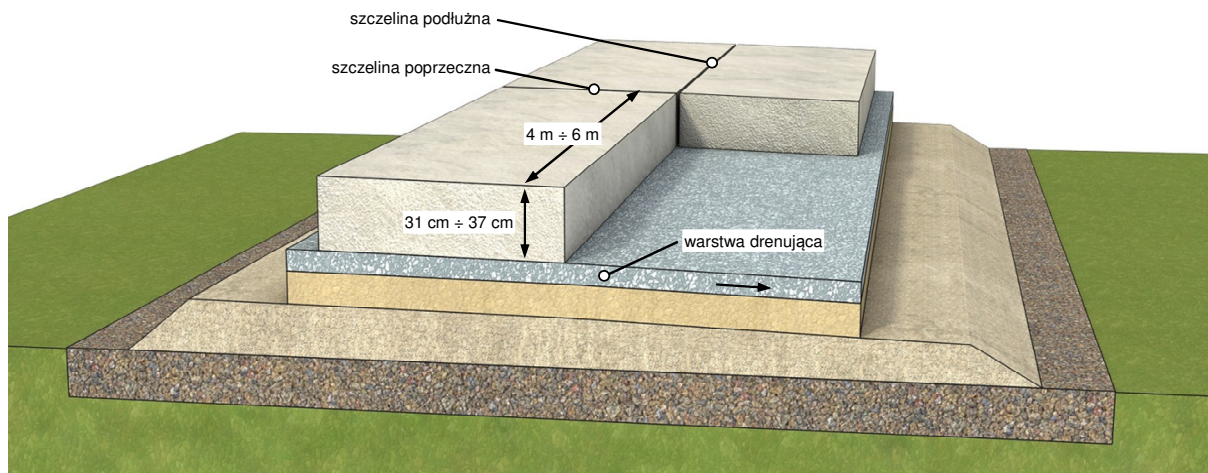


Rys. 2.1. Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana z pokazaniem typowego układu warstw



Rys. 2.2. Ukształtowanie szczelin ukośnych i oznakowania dla jezdni jedno i dwukierunkowej

W połowie lat siedemdziesiątych we Francji pojawił się typ nawierzchni niezbrojonej i niedyblowanej – płyta gruba. W przypadku tej konstrukcji płytą układa się bezpośrednio na warstwie drenującej z kruszywa lub geowłókniny, bez stosowania podbudowy (rys. 2.3).

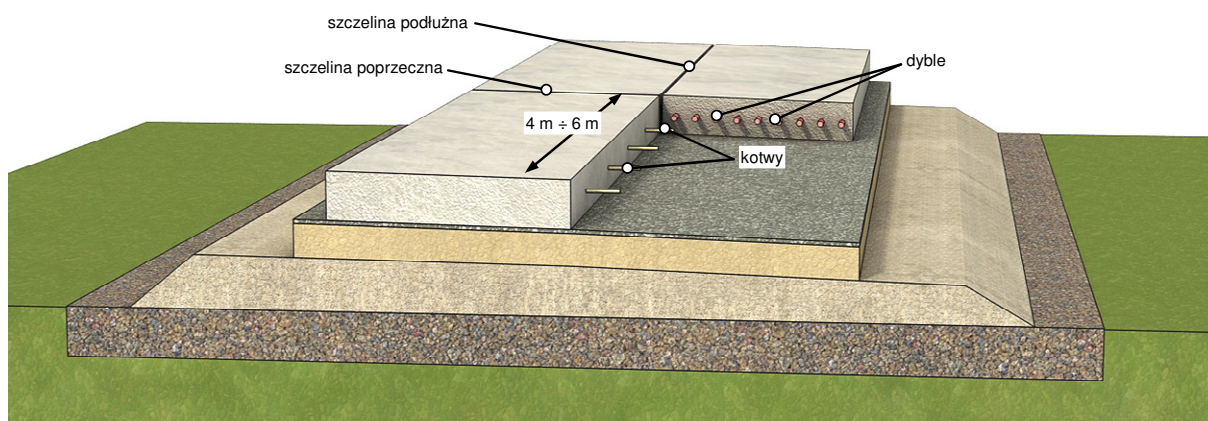


Rys. 2.3. Nawierzchnia niezbrojona i niedyblowana – płyta gruba

Płyta gruba jest mniej wrażliwa na wpływy termiczne, odkształcenia, zmniejsza się w niej skurcz z uwagi na większe siły tarcia o podłoże oraz naprężenia. Wymagane jest jednak dobre odwodnienie pod płytą i odprowadzenie wody poza obręb jezdni. Zgodnie z wymaganiami francuskimi stosuje się płyty o grubości od 31 do 37 cm, przy czym stosuje się zmienną grubość płyty (do 10 cm różnicy) w przekroju poprzecznym. Ma to swoje uzasadnienie z uwagi na większe obciążenie prawej krawędzi jezdni, wywierane przez pojazdy ciężarowe.

Nawierzchnie niezbrojone, dyblowane w szczelinach poprzecznych i kotwione w szczelinach podłużnych

Ten typ nawierzchni charakteryzuje się płytami krótkimi, powstałymi w wyniku podziału płyty betonowej szczelinami poprzecznymi i podłużnymi. W polskim katalogu ten typ nawierzchni występuje dla ruchu KR3 – KR7. W celu zapewnienia właściwej współpracy płyt w szczelinach stosuje się dyble (szczeliny poprzeczne) oraz kotwy (szczeliny podłużne) (rys. 2.4).

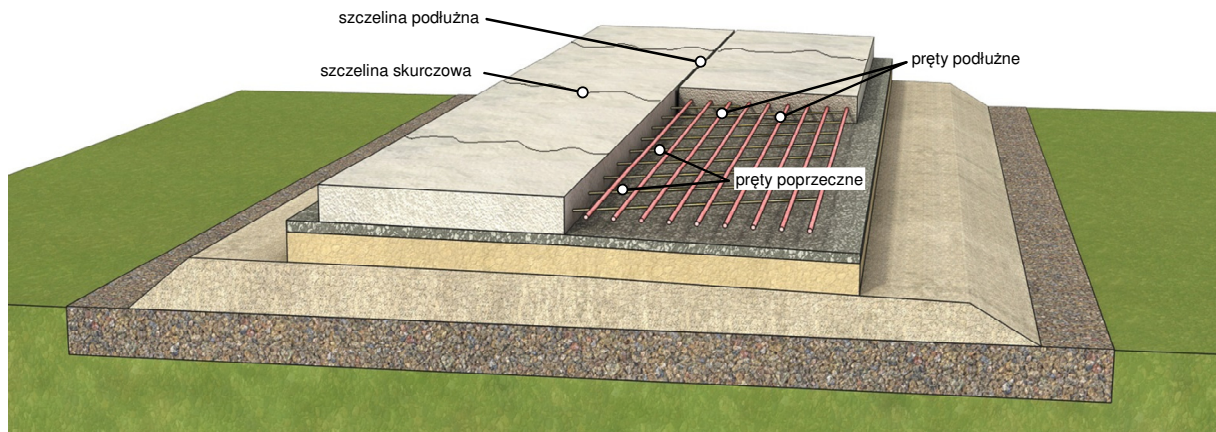


Rys. 2.4. Nawierzchnia niezbrojona dyblowana i kotwiona

Nawierzchnie zbrojone - zbrojenie ciągłe

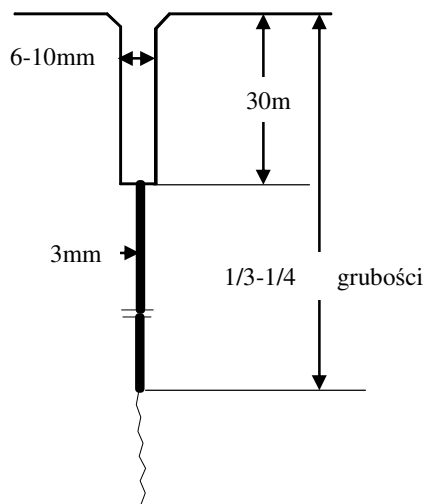
Ten typ nawierzchni został spopularyzowany w USA, Anglii, Belgii oraz częściowo we Francji. Nawierzchnię tworzą płyty długie o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych. Nie wymagają nakładów na utrzymanie szczelin, nie występuje: zjawisko przenikania wody do podłoża, pompowania wody w szczelinach, klawiszowanie. Dzięki temu nawierzchnia o

ciągłym zbrojeniu posiada wydłużony okres eksploatacji. Na rys. 2.5 pokazano schemat nawierzchni.



Rys. 2.5. Nawierzchnia zbrojona – ciągłe zbrojenie

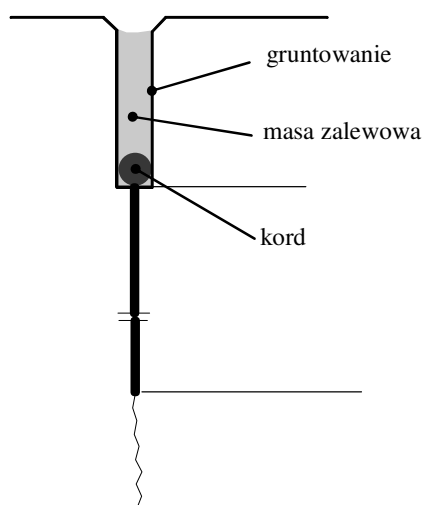
Zbrojenie podłużne układa się w odległości 9-10 cm od górnej powierzchni płyty. Jednym ze sposobów jest układanie zbrojenia na podpórkach, a drugi z wykorzystaniem specjalnej maszyny. Rozstaw zbrojenia powinien być w przedziale 0.1 - 0.23 m. W nawierzchni powstają spękania skurczowe w odległościach 1.2 – 2.5 m. Nie są one jednak głębokie i nie doprowadzają do korozji leżącej niżej stali.



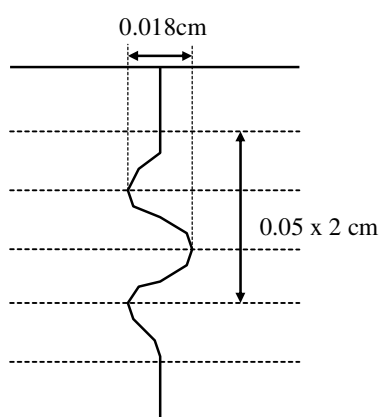
Rys. 2.6. Wymiary szczeliny

Szczeliny podłużne stosuje się w przypadku jezdni o szerokościach większych od 4.5 m. W przypadku jezdni o szerokościach 12 m należy stosować co najmniej dwie szczeliny podłużne. Szczeliny podłużne nacięta się na 1/3 do 1/4 grubości płyty (rys. 2.6). Cięcie szczelin wykonuje się w twardniejącym betonie. Pierwsze cięcie o szerokości 3 mm, w zależności od temperatury otoczenia, wykonuje się w czasie od 7 do 14 godzin od momentu ułożenia nawierzchni. Drugie cięcie poszerzające na szerokość od 6 do 10 mm i do głębokości 30 mm wykonuje się w terminie późniejszym, gdy beton osiągnie wytrzymałość powyżej 12 MPa

Na rys. 2.7 pokazano przykładową szczelinę podłużną pozorną. Natomiast na rys. 2.8 szczelinę podłużną profilowaną – jest ona stosowana jako szczelina konstrukcyjna, w połączeniach roboczych, sąsiednich pasów.



Rys. 2.7. Szczelina podłużna pozorna

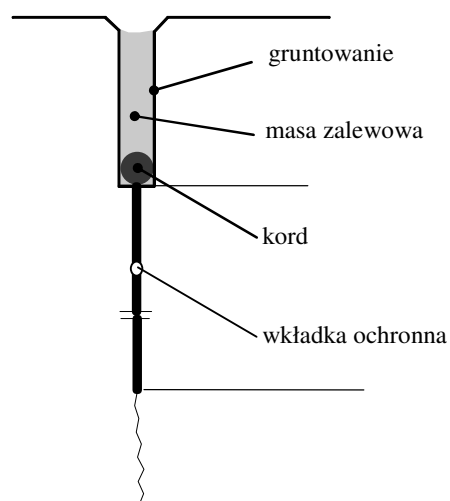


Rys. 2.8. Szczelina podłużna profilowana

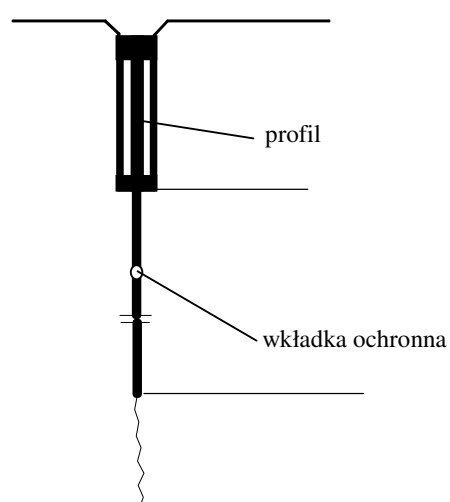
Szczeliny podłużne oczyszcza się, ścianki szczeliny konserwuje środkiem gruntującym i zalewa masą zalewową na zimno lub na gorąco. Menisk masy zalewowej powinien wynosić 1-5 mm. Jeżeli nawierzchnię wykonuje się dwoma pasami, to szczelinę podłużną wykonuje się jak szczelinę poprzeczną konstrukcyjną.

Szczeliny poprzeczne dzielimy na: skurczowe (pозorne), konstrukcyjne, rozszerzania. Szczeliny skurczowe umożliwiają płytom skurcze, które mogą się pojawiać pod wpływem zjawisk skurczowych w czasie wiązania cementu i pod wpływem obniżania temperatury. Umożliwiają one również rozszerzanie płyt w takim zakresie, jak to umożliwia luz pomiędzy płytami. Minimalna odległość pomiędzy szczelinami skurczowymi wynosi 1 m, a maksymalna jest równa 23-krotnej grubości płyty. Doświadczenia wieloletnie wykazały, że optymalnym rozstawem jest odległość 4–5 m, przy współcześnie stosowanych grubościach. Szczeliny poprzeczne (pозorne) wycina się w twardniejącym betonie. Czas cięcia musi być tak dobrany, ażeby nie pojawiły się dzikie pęknięcia skurczowe. Pierwsze cięcie wykonuje się na szerokość 3 mm i głębokość od 1/3 do 1/4 grubości płyty, a drugie poszerzające na szerokość od 8 do 10 mm i głębokość 30 mm. W celu uszczelnienia tych szczelin stosuje się

wkładki ochronne zabezpieczające przed zanieczyszczeniami oraz tzw. kordy, których zadaniem jest m.in. zmniejszenie wysokości szczeliny. Przykład szczeliny poprzecznej z masą zalewową pokazano na rys. 2.9

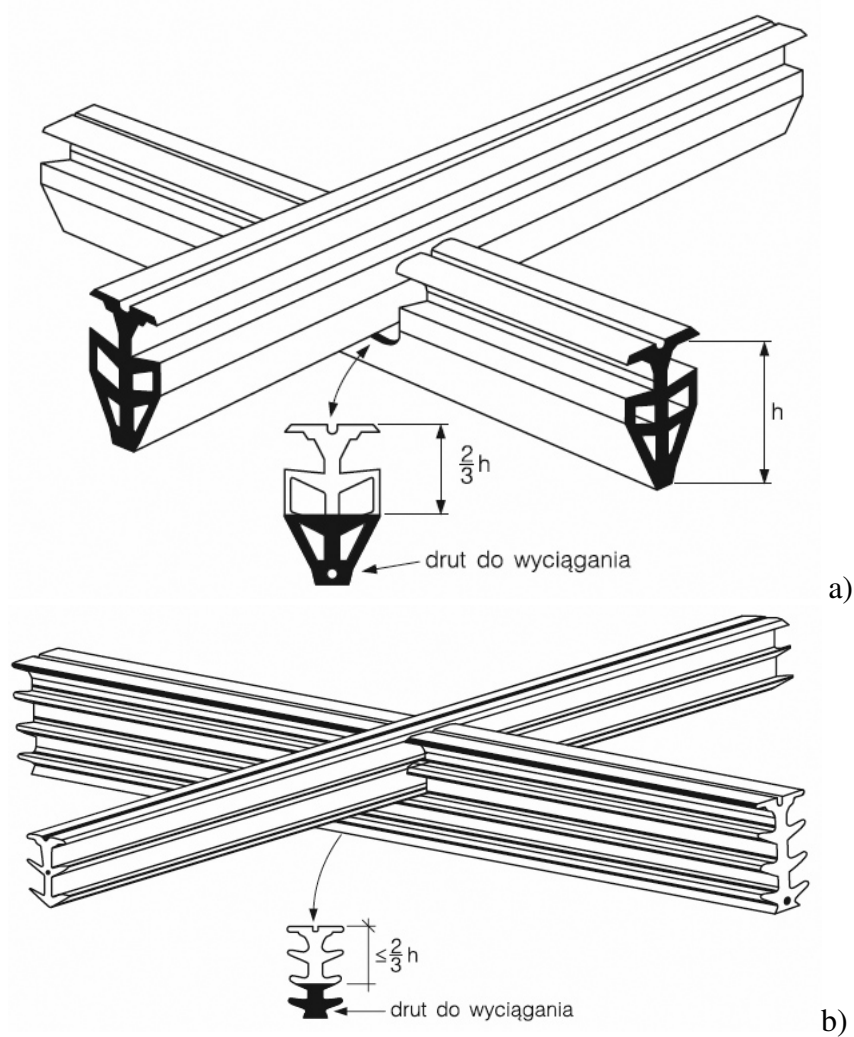


Rys. 2.9. Szczelina poprzeczna pozorna z masą zalewową



Rys. 2.10. Szczelina poprzeczna pozorna z wypełnionym profilem

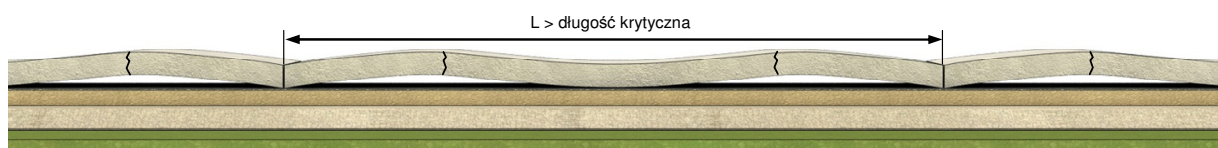
Szczeliny poprzeczne należy wypełniać masą zalewową na gorąco. Masy te powinny charakteryzować się dobrą spływnością i stabilnością w wysokich temperaturach, dobrą przyczepnością do zagruntowanych ścianek szczeliny, elastycznością w niskich temperaturach, odpornością na działanie środków chemicznych do zimowego utrzymania oraz odpornością na działanie paliw i olejów samochodowych. Preparat gruntujący szczelinę powinien z masą zalewową wzajemnie się tolerować. W miejsce masy zalewowej oraz kordu można stosować profile elastyczne. Przykład szczeliny z profilem elastycznym pokazano na rys. 2.10. Występują dwa rodzaje profili: zamknięte i otwarte. Na rys. 2.11 pokazano przykład ułożenia profili przy krzyżowaniu się szczelin poprzecznych (np. place postojowe, parkingi).



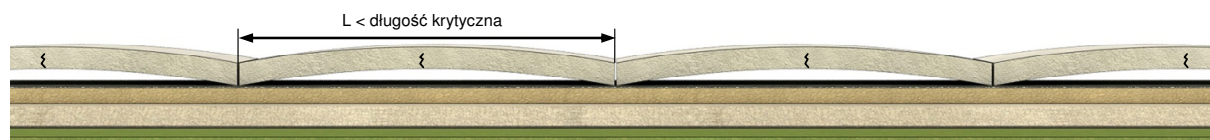
Rys. 2.11. Rodzaje profili: a) zamknięty, b) otwarty

Profile wciska się w szczelinę poprzeczną po wykonaniu szczelin podłużnych. Do szczelin podłużnych nie używa się profili ze względu na niebezpieczeństwa wyssania przez samochody. Szerokość cięcia szczeliny powinna być dostosowana do wymiarów profilu. Sposób wykonania i wykończenia szczelin ma wpływ na hałas wywoływany podczas ruchu pojazdów. Istotne jest fazowanie ich krawędzi zapobiegające wykruszaniu się oraz innym uszkodzeniom w trakcie eksploatacji.

Rozstaw szczelin determinuje wymiary płyt betonowych. Odpowiedni rozstaw szczelin pozwala na redukcję wpływów termicznych oraz wilgotnościowych zachodzących w betonie. Należy przestrzegać, aby wymiary płyt betonowych w planie (a tym samym rozstawy szczelin) nie przekraczały wymaganej długości krytycznej. Przykładowo dla płyty o grubości 25 cm należy zachować maksymalne odległości szczelin około 5.0 m. Na rys. 2.12 i 2.13 pokazano odkształcalność płyt długich i krótkich w zależności od oddziaływania temperatury. Dla płyt krótkich, ciężar nie powoduje powstawania znacznych naprężeń termicznych.



Rys. 2.12. Schemat odkształcenia płyt długich

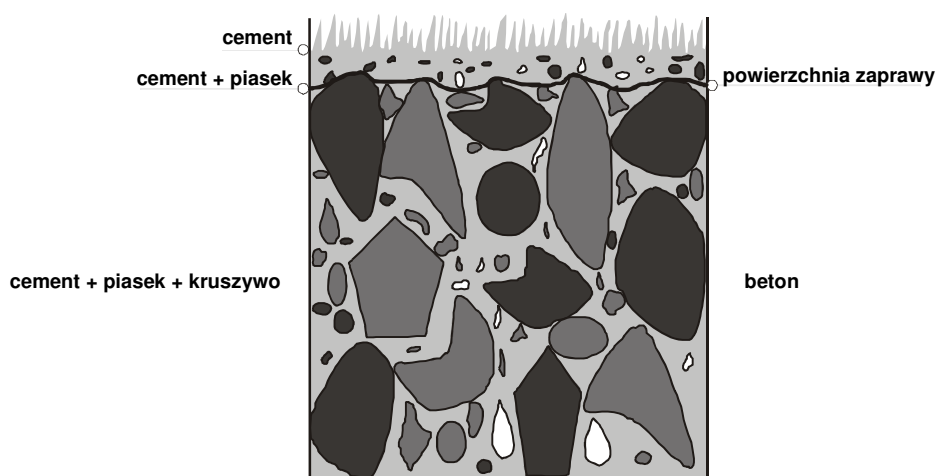


Rys. 2.13. Schemat odkształcenia płyt krótkich

Jeżeli górna powierzchnia płyty ma wyższą temperaturę od dolnej, to płyta ma tendencję do wyginania się ku górze, ale wskutek ciężaru własnego oraz skrępowania największe naprężenia rozciągające powstają na dolnej powierzchni płyty. Jeżeli natomiast dolna powierzchnia płyty ma wyższą temperaturę od górnej, to płyta ma tendencję do odkształcania się ku dołowi i wtedy największe naprężenia wskutek ciężaru własnego pojawiają się na górnej powierzchni. Oddziaływanie temperatury ma także istotny wpływ na powstawanie nierówności podłużnych w nawierzchni oraz podłożu co może przekładać się na komfort podróży oraz hałas przy dużych prędkościach.

Zabiegiem końcowym po ułożeniu nawierzchni jest wykończenie górnej powierzchni. Dobór technologii wykończenia ma największy wpływ na hałaśliwość nawierzchni.

W pierwszym etapie wykańczania po zawibrowaniu należy wygładzić nawierzchnię za pomocą deski mechanicznej lub ręcznie. Po wykonaniu tej czynności nawierzchni nadaje się odpowiednią teksturę. Na górnej powierzchni powstaje zaprawa piaskowa (rys. 2.14), która w pierwszym etapie eksploatacji nawierzchni decyduje o szorstkości nawierzchni. Wykończenie górnej powierzchni przez nadanie nawierzchni odpowiedniej tekstury jest ważnym problemem dla bezpieczeństwa ruchu z uwagi na szczepność koła z nawierzchnią oraz szybkie odprowadzenie wody z nawierzchni.



Rys. 2.14. Przekrój nawierzchni w strefie przypowierzchniowej

Teksturowanie w celu uzyskania odpowiednio szorstkiej nawierzchni można przeprowadzić jedną z niżej podanych typowych metod:

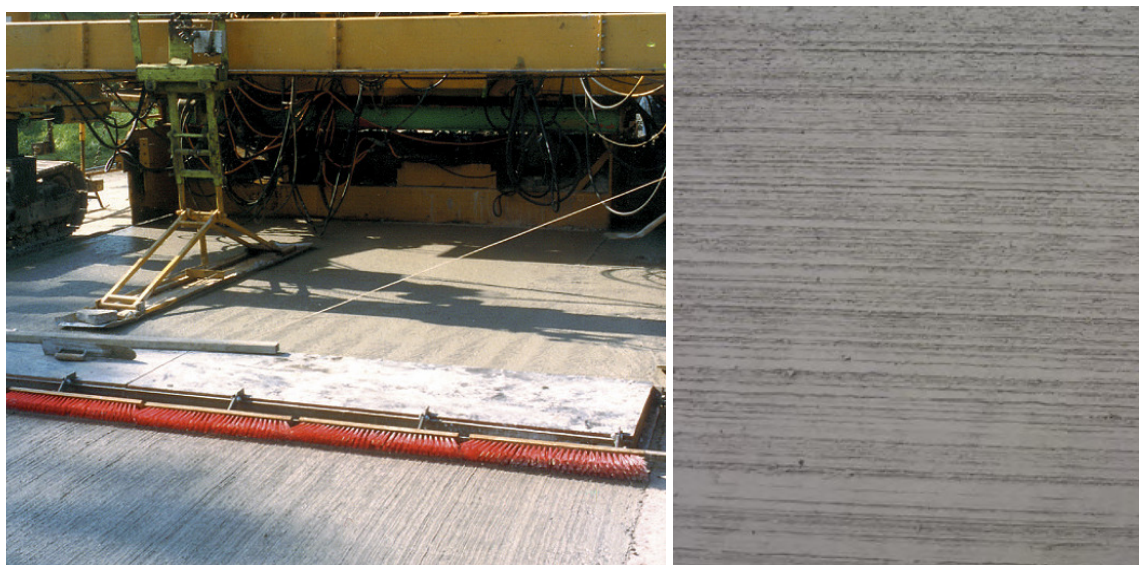
- ręczne lub mechaniczne przeciąganie w kierunku podłużnym (równoległym do osi jezdni) tkaniny jutowej,
- przecieranie świeżo ułożonej mieszanki betonowej stalową szczotką o szerokości 0.45 do 0.7 m, składającej się z dwóch rzędów wiązek ze stali sprężynującej (przecieranie szczotką należy wykonywać w kierunku prostopadłym do osi jezdni).
- rowkowanie poprzeczne za pomocą widełek metalowych (coraz rzadziej stosowane),
- przeciąganie juty plus rowkowanie podłużne za pomocą grzebieni lub widełek ciągnionych za juty, rozstaw grzebieni ok. 15 mm,

- opóźnianie hydratacji cementu w górnej warstwie świeżo ułożonej nawierzchni (np. przy użyciu glukozy) a następnie wypłukanie niezwiązanej warstwy zaprawy cementowej strumieniem wody lub wyszczotkowanie.

Na rys. 2.15 oraz 2.16 pokazano wybrane sposoby teksturowania górnej powierzchni.



Rys. 2.15. Teksturowanie górnej powierzchni w kierunku poprzecznym [111]



Rys. 2.16. Teksturowanie górnej powierzchni w kierunku podłużnym [111]

Każdy z wymienionych sposobów posiada szczególne zalety i wady. Przeciąganie juty jest najtańszym sposobem jednakże uzyskuje się najmniejszą teksturę powierzchni rzędu 0.2 do 0.6 mm. Trwałość tego typu zabiegu wynosi 1-3 lat. Sposób ten ma również zalety. Tak wyprofilowana powierzchnia powoduje obniżenie głośności nawierzchni ok. 1-2 db. Szczotkowanie nawierzchni za pomocą szczotek w kierunku poprzecznym daje większą teksturę w granicach 1-1.5 mm. Jednakże zwiększa się hałas. Zaletą tego sposobu jest stosunkowo szybkie odprowadzenie wody w kierunku poprzecznym oraz duży współczynnik szczelności koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi 3 do 5 lat. Rowkowanie poprzeczne daje dużą teksturę w granicach 1.5 do 2 mm a tym samym duży współczynnik szczepności koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi 3 do 8 lat. Zwiększa się hałas ale jednocześnie zmniejsza się możliwość wystąpienia aquaplaningu.

Przeciąganie juty wraz z rowkowaniem podłużnym daje dużą teksturę w granicach 2 do 5 mm, zmniejsza hałas ok. 2-3 db, zmniejsza możliwość wystąpienia aquaplaningu, zwiększa szczepność koła z nawierzchnią. Trwałość zabiegu wynosi ok. 6-10 lat.

W ostatnich latach rozwinęła się również technologia zwana eksponowaniem kruszywa lub tekstura płukanego betonu. Zabieg wg tej technologii jest następujący:

- powierzchnię rozłożonej warstwy zrasza się środkiem (np. glukozą) niszczącym zaprawę cementową i w niektórych przypadkach w ramach zabiegów pielęgnacyjnych rozkłada się na nią folię,

- lub powierzchnię wymywa się wodą,

- szczeliny dylatacyjne w warstwie betonu nacina się poprzez folię,

- po około dwóch dniach (w zależności od warunków klimatycznych i recepty betonowej) usuwa się folię z powierzchni betonu a niezwiązaną zaprawę cementową wymywa lub szczotkuje, pozostawiając frakcję grubego kruszywa na powierzchni warstwy ścieralnej.

Nawierzchnię betonową z „odkrytym kruszywem” wypróbowano po raz pierwszy w Danii, a dalej rozwinięto tę technologię w Belgii w celu uzyskania bezpiecznej betonowej nawierzchni jezdnej o długiej żywotności jako alternatywy dla stosowanych wcześniej konwencjonalnych wykończeń przez szczotkowanie. Technikę tę stosowano z powodzeniem od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku, a obecnie technika ta stanowi zwykłą formę obróbki powierzchni w przypadku nawierzchni betonowej o zbrojeniu ciągłym na większych belgijskich drogach. W późnych latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w Austrii na pierwszy plan wysunęły się problemy środowiskowe związane z hałasem opona/droga. Austriacy zdeterminowani, żeby znaleźć dla drogi betonowej powierzchnię o niskiej hałaśliwości i która wytrzymałaby używanie okolcowanych opon w zimie, udoskonalili belgijską technologię, odkrywając, że przez zmniejszenie wielkości ziaren w kruszywie grubym na powierzchni drogi poziomy hałas opona/droga można było znacznie ograniczyć. W Austrii brano pod uwagę konstrukcję o pełnej głębokości, ale wymagało to użycia dużych ilości kruszywa najwyższej jakości. Wybrano technologię dwuwarstwową, aby uzyskać rozwiązanie ekonomiczne. Obecnie jest to zwykle stosowana w Austrii forma budowy nawierzchni betonowej z „odkrytym kruszywem”, zapewniająca ekonomiczną długotrwałą powierzchnię dającą wymierne zmniejszenie hałasu w porównaniu z konwencjonalnymi nawierzchniami betonowymi. Inne kraje, w których zastosowano nawierzchnię betonową z „odkrytym kruszywem”, to m.in. Niderlandy, Australia i USA. W Szwecji okazało się, że taka nawierzchnia zapewnia trwałą powierzchnię wytrzymałą używanie w zimowych miesiącach okolcowanych opon. W Austrii drogi o nawierzchni betonowej z „odkrytym kruszywem” budowano używając kruszywa o mniejszej wielkości ziaren, ponieważ wymagania dotyczące właściwości przeciwpoślizgowych są mniejsze niż w innych krajach. Aby zapewnić odpowiednie właściwości przeciwpoślizgowe przy małych i dużych prędkościach, przewidziano większą głębokość tekstury i odpowiednią wielkość ziarna. Najczęściej technologia odkrytego kruszywa stosowana jest przy dwuwarstwowym układaniu nawierzchni tzw. mokre na mokre, górna warstwa o grubości 5-6 cm z kruszywem o mniejszym uziarnieniu, najczęściej do 11 lub 8 mm. Dolna o uziarnieniu do 22 mm. W Belgii stosuje się w ostatnim czasie technologię odkrytego kruszywa układając beton w jednej warstwie. Przy czym beton ma tak dobrane frakcje ażeby na górnej powierzchni po ułożeniu dominowała frakcja do 6.3 mm.

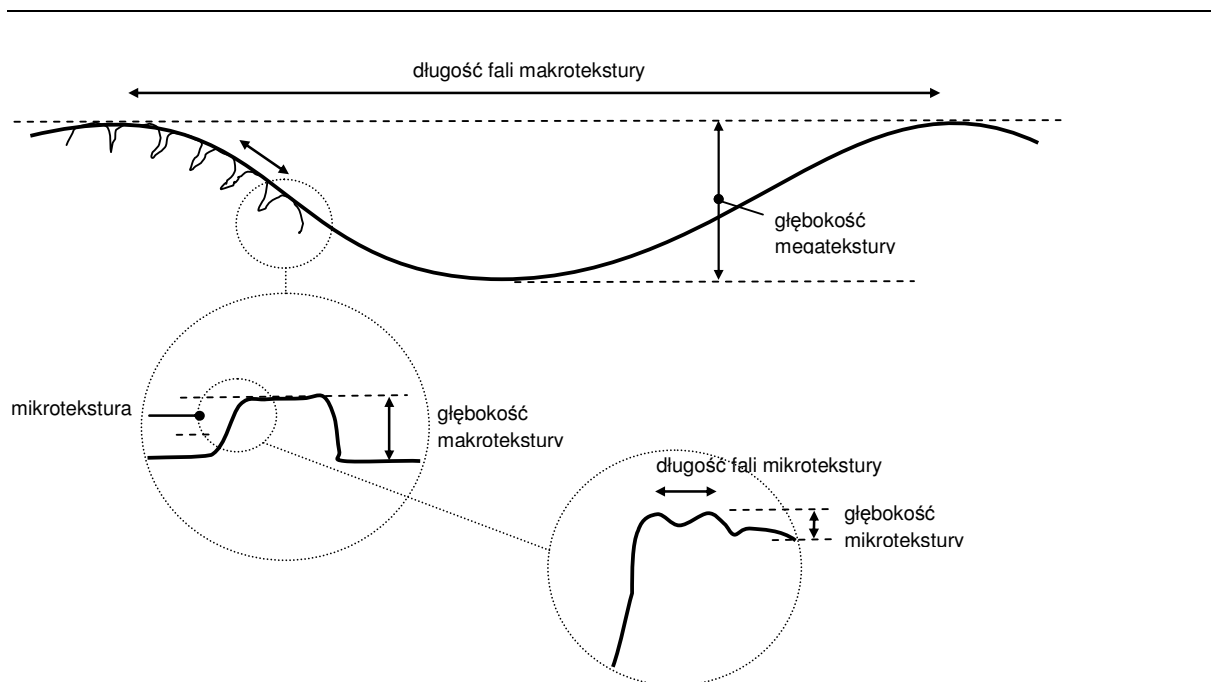
Technologia odkrytego kruszywa została także zastosowana w Polsce. Na rys. 2.17 pokazano przykład nawierzchni w technologii odkrytego kruszywa realizowanej na autostradzie A2 i drodze ekspresowej S8.



Rys. 2.17. Przykład nawierzchni w technologii odkrytego kruszywa realizowanej na autostradzie A2 w Polsce

W celu uzyskania spodziewanego efektu, głównie obniżenia hałasu i zwiększenia współczynnika szepności należy używać do warstw ścieralnych kruszywa drobnego do 10 mm oraz o wysokim współczynniku polerowalności. Technologia ta daje bardzo dobrą teksturę nawierzchni, wysoki współczynnik szepności koła z nawierzchnią jak również zmniejsza hałas. Jest jednocześnie technologią kosztowną. W tej technologii nawierzchnie wykonuje się w dwóch warstwach w technologii mokre na mokre. Przy czym górna warstwa zwana ścieralną ma grubość 5 cm i wykonana jest z drobnego kruszywa 6.4 mm (Belgia) do 10 mm (Austria, Niemcy, Polska).

Na rys. 2.18 pokazano zależność mikro-, makro- i megatekstury. Zakres mikrotekstury obejmuje długości fali od 0 mm do 0.5 mm, makrotekstura od 0.5 do 50.0 mm natomiast megatekstura od 50 do 500 mm. Makrotekstura jest mikroprofilem, który głównie decyduje o szepności koła z nawierzchnią. Krótkie fale makrotekstury działają jak pory akustyczne i redukują hałas pochodzący od opon. Jednak zbyt długa fala może zwiększać hałas, opór toczenia, zużycie paliwa. Duża makrotekstura zapewnia tarcie na mokrej nawierzchni, zwłaszcza przy dużych prędkościach. Niski poziom makrotekstury niekorzystnie wpływa na warunki akustyczne oraz szepności. Istotne jest zatem, aby na etapie budowy ją odpowiednio wykształcić stosując odpowiednią technologię.



Rys. 2.18. Mikro- makro- i megatekstura

Podczas układania nawierzchni oraz jej ułożeniu beton wymaga szczególnej ochrony i starannej pielęgnacji. Ma ona na celu osiągnięcie dużej wytrzymałości oraz eliminację pęknięć. Środki ochronne po ułożeniu nawierzchni mogą być jednocześnie środkami służącymi do pielęgnacji betonu.

Pęknięcia nawierzchni mogą wystąpić wtedy, gdy powierzchnia betonu bardzo nagrzanego pod wpływem wysokiej temperatury otoczenia oraz hydratacji cementu, zostanie ochłodzona przez nagłe wypromieniowanie ciepła, zimne powietrze w szczególności podczas pierwszej nocy i następnego dnia.

Pielęgnowanie betonu jest konieczne. Istnieje wiele sposobów pielęgnowania. Aktualnie dla zabezpieczenia świeżego betonu przed skutkami szybkiego odparowania wody, zaleca się stosować pielęgnację powłokową jako metodę najbardziej skuteczną i najmniej pracochłonną. Preparat powierzchniowy należy natryskiwać możliwie szybko po zakończeniu wbudowywania mieszanki, lecz nie później niż 90 minut od zakończenia zagęszczenia. Preparatem powłokowym należy pokryć również powierzchnie boczne. Jednym ze składników preparatu powłokowego jest parafina, która tworząc powłokę na świeżo rozścielonej warstwie betonu zabezpiecza go przed powierzchniowym wysychaniem.

Innymi sposobami pielęgnacji jest spryskiwanie wodą na powierzchni górnej oraz bocznych przez okres przynajmniej 3 dni oraz przykrywanie folią, geowłókniną itp. W przypadku stosowania geowłóknin lub folii należy je zabezpieczyć przed podrywaniem przez wiatr oraz utrzymywać w stanie wilgotnym przez okres 3 dni. Celowe jest impregnowanie nawierzchni zwłaszcza wykonywanych w jesieni przed wpływami soli używanej do zimowego utrzymania. Na rys. 2.19 zaprezentowano przykład pielęgnacji nawierzchni w Belgii na autostradzie A8 [97].



Rys. 2.19. Przykład zabezpieczenia nawierzchni betonowej na autostradzie A8 w Belgii

3. METODY WYKAŃCZANIA GÓRNYCH POWIERZCHNI WARSTW NAWIERZCHNI BETONOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM REDUKCJI HAŁASU

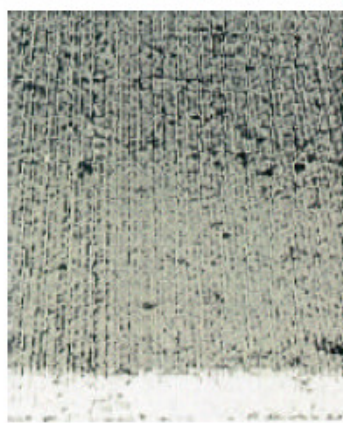
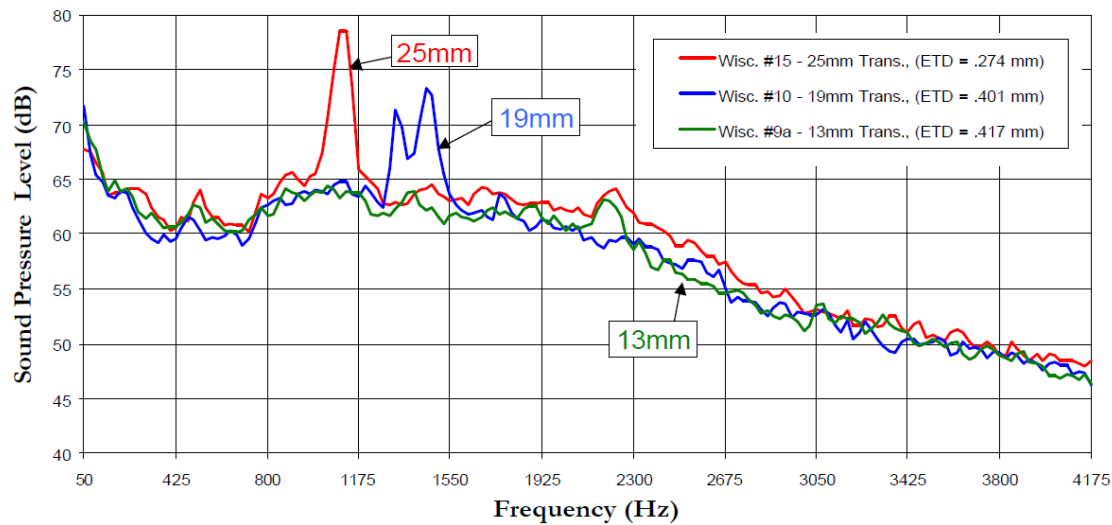
W zakresie doświadczeń dotyczących struktur powierzchniowych oraz pomiarów hałasu na nawierzchniach betonowych znane są publikacje obejmujące badania europejskie i amerykańskie.

Pierwsze analizy strukturalne dla nawierzchni betonowych przeprowadzono w latach 70 ubiegłego stulecia w związku z wypadkami drogowymi [33]. Federal Highway Administration (FHWA) przeanalizowała wstępnie rowkowania poprzeczne nawierzchni betonowych oraz wskazała wymagania w dostosowaniu do różnych prędkości. W dalszym etapie wprowadzono rowkowania podłużne wykonywane w postaci przeciągania maty jutowej i szczotkowania.

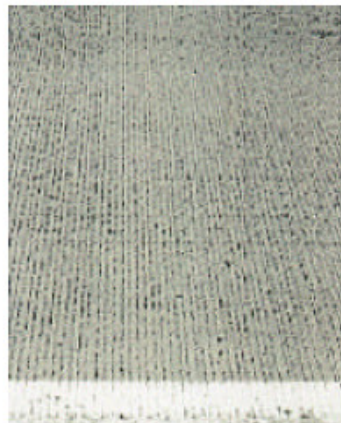
Pierwsze obszernie wnioski zestawiono w opracowaniu z 1996 roku [63]. Na podstawie badań w latach 1993-1995 przeanalizowano różne obszary USA uwzględniając zróżnicowane opony, struktury nawierzchni, oddziaływanie hałasu i poziomy bezpieczeństwa. Na podstawie wyników hałasu, stwierdzono, że częstotliwości hałasu mogą różnić się znacznie w zależności od wykończenia powierzchni, jednak bez zmiany ogólnego poziomu hałasu. To odkrycie wskazuje na nieadekwatność pomiarów hałasu drogowego i procedur analitycznych stosowanych wcześniej do wykrywania kluczowych cech akustycznych nawierzchni. W badaniach stwierdzono również, że nie ma istotnych różnic między poprzecznym, podłużnym lub ukośnym rowkowaniem tekstury w zakresie poziomu hałasu wewnątrz pojazdu testowego.

Jedną z wiodących publikacji jest raport [90] zawierający obszernie badania na 57 odcinkach badawczych w Kolorado z uwzględnieniem badania hałasu na zewnątrz i wewnątrz pojazdów w zależności od różnego wykończenia powierzchni nawierzchni. W zakresie pomiarów wykonano analizy tekstury i profilu (MPD) oraz pomiar szacunkowej głębokości tekstury (ETD). Przeprowadzono także wstępne pomiary na 2 km odcinku nawierzchni z odkrytym kruszywem. Tą technologię uznaje się jako „teksturę europejską”.

Na podstawie badań uzyskano najniższe poziomy hałasu dla rowkowania podłużnego oraz tekstury z odkrytym kruszywem. Nie stwierdzono korelacji pomiędzy głębokością rowkowania, a poziomem hałasu. Za „najgłośniejsze” uznano rowkowanie poprzeczne o głębokości 25 mm w zakresie najbardziej słyszalnych częstotliwości dla człowieka (rys. 3.1).



13 mm Uniform Trans.



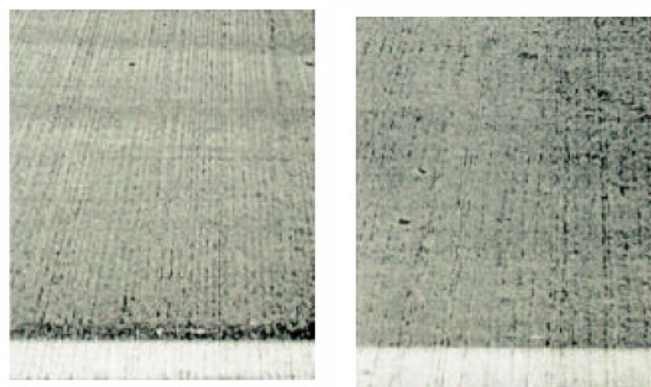
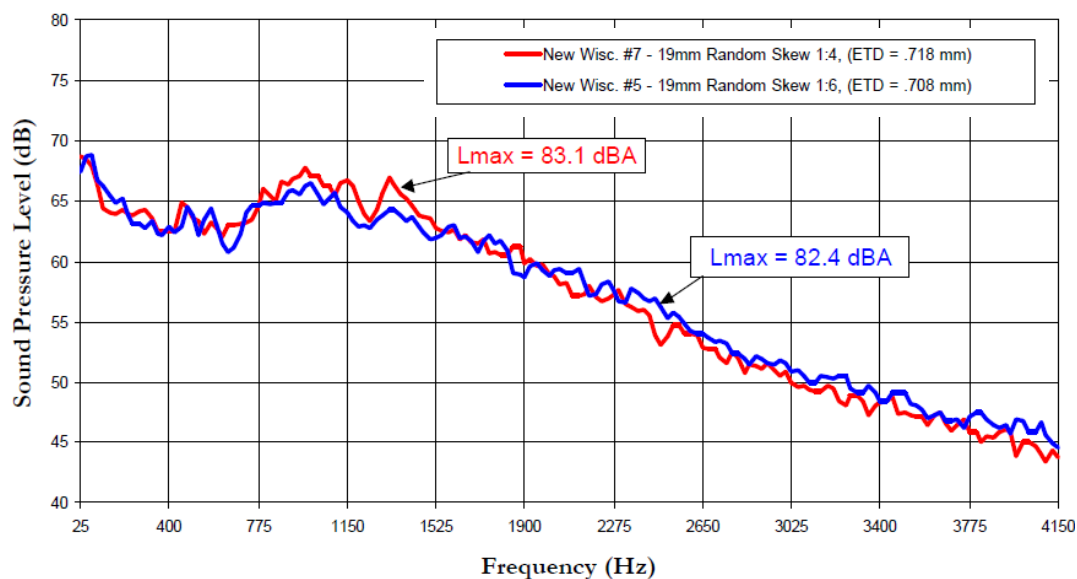
19 mm Uniform Trans.



25 mm Uniform Trans.

Rys. 3.1. Przykładowy rozkład poziomu hałasu dla różnych struktur poprzecznych [90]

Natomiast rowkowanie ukośne i podłużne zapewniają jednorodny rozkład poziomu hałasu dla różnych częstotliwości oraz niższe poziomy hałasu (rys. 3.2). Także struktury losowe zapewniają mniejsze poziomy hałasu w porównaniu do jednorodnych struktur rowkowych.



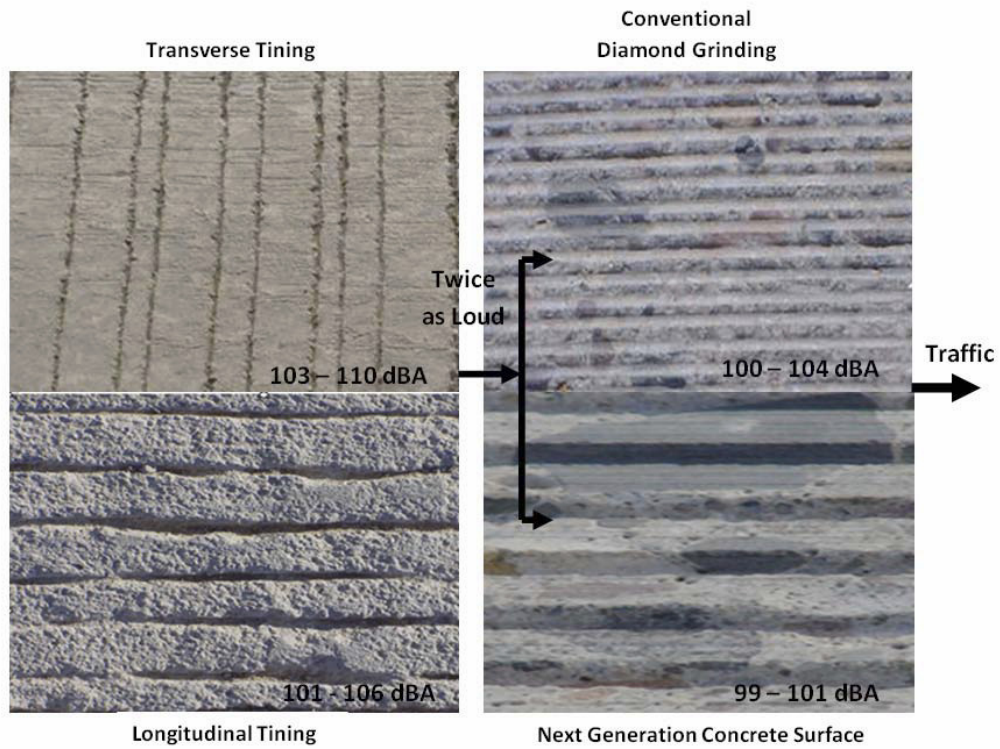
Random 2 Skewed, 1: 6 LHF Random 1 skewed, 1: 4 LHF

Rys. 3.2. Przykładowy rozkład poziomu hałasu dla struktur ukośnych [90]

W dalszym etapie prac nadal poszukiwano cichych i bezpiecznych tekstur dla nawierzchni betonowych, ale także zachowujących swoje właściwości akustyczne, niezmiennie w czasie. Analizowano różne techniki szlifowania (rys. 3.3, [106], [28]) wskazując na znaczne obniżenie poziomu hałasu w zakresie nowych technologii w kierunku podłużnym (Next Generation Concrete NGCS) [22][22]. Ta technologia stanowi połączenie stosowanych już wcześniej technik wykończenia: „Grindingu” oraz „Groovingu” (rys. 3.4). Została wdrożona przez IGGA (International Grinding and Grooving Association, ACPA - American Concrete Pavement Association, PCA - Portland Cement Association). Stosuje się odpowiednie kombinacje tarcz diamentowych o określonej szerokości. Wykonuje się dwie fazy pracy: najpierw I – „Flush Grinding” (klasyczny oraz precyzyjny), potem II – „Grooving”- rowkowanie. Jeden lub dwa przejścia po nawierzchni. Testowana była w 12 stanach w USA od 2007 roku. Rekord hałasu na nawierzchni betonowej wyniósł 96.8 dB. Technologię tą zoptymalizowano dla nawierzchni betonowych.

„Grinding” oznacza tzw. szlifowanie, wygładzanie nawierzchni na grubości 3 – 8 mm, stosowane od 1965 r. Rozróżnia się „Grinding”: klasyczny oraz precyzyjny (fine) (rys. 3.5). Dla tej technologii odstęp pomiędzy tarczami wynoszą ok. 2.5 mm, przy miękkich kruszywach typu wapień, mogą wynosić 3.5 mm (rys. 3.6). Doświadczenia wskazują, że tą technologię można zrealizować trzykrotnie w okresie eksploatacji nawierzchni.

„Grooving” polega na wykonaniu w nawierzchni rowków. Odstęp między tarczami (grubości 3.2 mm) wynosi 19 mm, głębokość rowkowania od 3.2 do 6.4 mm (rys. 3.7).



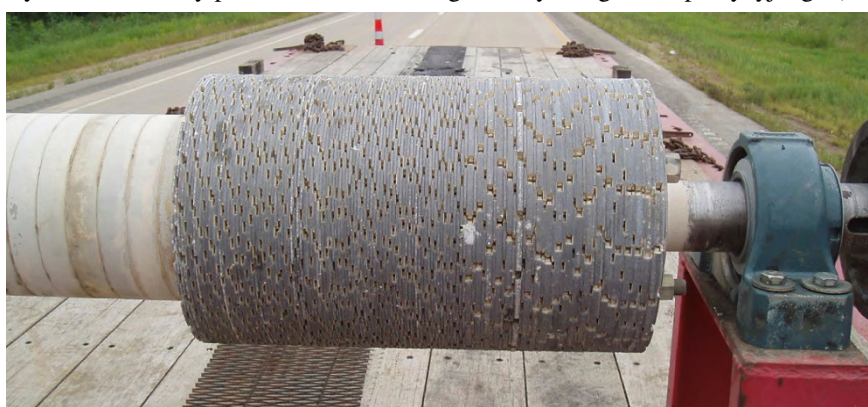
Rys. 3.3. Różne struktury powierzchni oraz poziomy hałas wg [106], [28]



Rys. 3.4. Głowica oraz struktura powierzchni Next Generation Concrete NGCS [22]



Rys. 3.5. Struktury powierzchni „Grindingu” klasycznego oraz precyzyjnego (fine) [22]



Rys. 3.6. Głowica do struktury „Grindingu” [22]



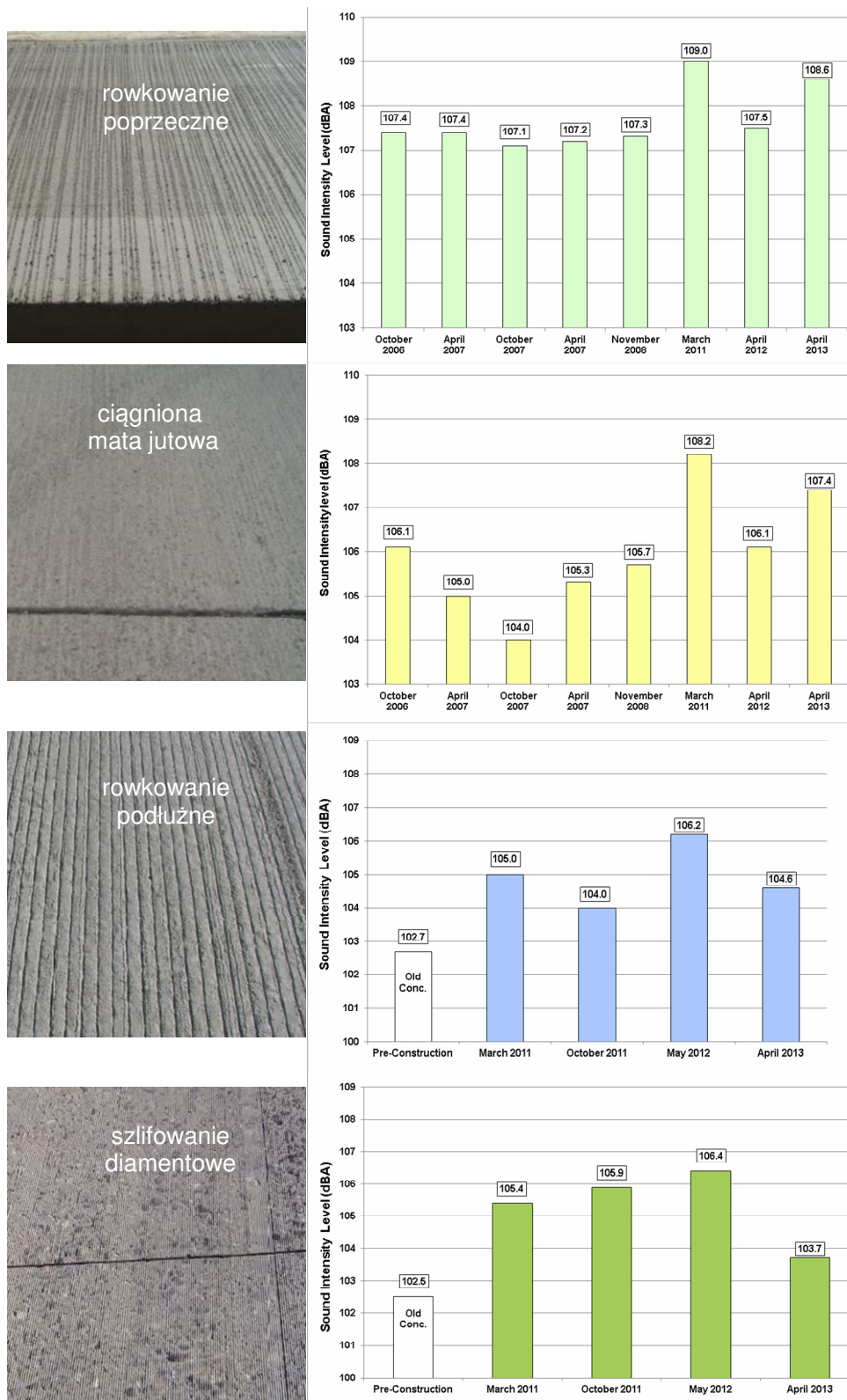
Rys. 3.7. Głowica do struktury „Groovingu” [22]

W ślad za nowymi rozwiązaniami podjęto próby wielu badań wskazujących na skuteczność odpowiednio dobranej tekstury na poziomy dźwięku oraz tarcia [28]. Kontynuację zmodyfikowanych technologii szlifowania rozwinięto podczas badań [4], [56] na wybranych odcinkach w Kalifornii stosując metodę pomiaru On-board Sound Intensity (OBSI) dla struktur: ciągniona mata jutowa, szlifowanie diamentowe, rowkowanie diamentowe, podłużnie zmiatanie oraz rowkowanie podłużne. Badania wskazały na znaczny rozrzut wyników dla wybranych struktur. Stwierdzono, że aby wybrać odpowiednią technologię i zachować długotrwałe cechy akustyczne nawierzchni wymagane są badania w dłuższym okresie. Zasugerowano dalsze badania z uwzględnieniem diamentowej technologii rowkowania podłużnego oraz zalecono badania wpływu szczelin na poziom hałasu. Szczególną uwagę zwrócono na najcichszą strukturę w postaci podłużnego rowkowania stosując różne techniki dla tej technologii (rys. 3.8).



Rys. 3.8. Badane struktury podłużne powierzchni oraz poziomy hałas wg [56]

W dalszym etapie prac badawczych badając różne struktury powierzchniowe nawierzchni betonowych skupiono uwagę na metodzie OBSI z uwzględnieniem pomiarów na przestrzeni czasu. Wprowadzono oddziaływanie opon z kolcami na niszczenie nawierzchni i hałas. Badano różne typy struktury powierzchni na różnych odcinkach (Kalifornia, Waszyngton) [4]. Wykazano brak znacznego zróżnicowania poziomu hałasu dla rowkowania poprzecznego i maty jutowej (nieco cichsza). Podtrzymano dotychczasowe spostrzeżenia dotyczące metody rowkowania podłużnego i szlifowania diamentowego jako technologii dających najniższe poziomy hałas (rys. 3.9). Wskazano, że stosowanie opon z kolcami zmienia strukturę i zwiększa poziom hałasu nawet do 104-108 dBA niezależnie od początkowego stanu eksploatacji.

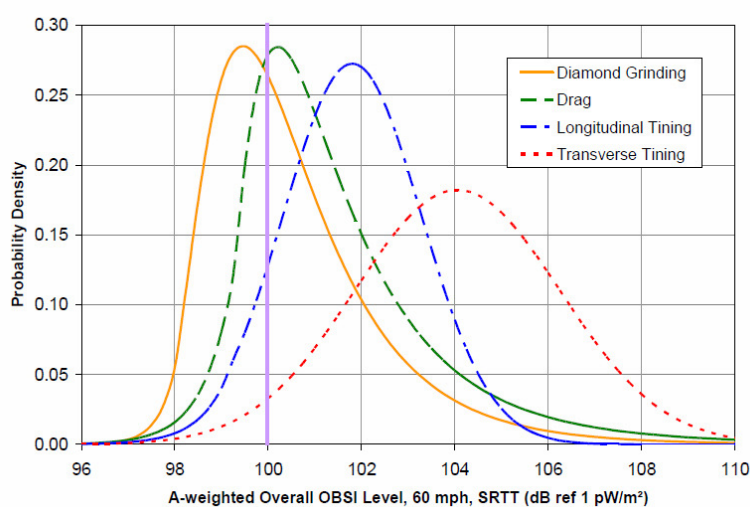


Rys. 3.9. Badane struktury powierzchni na przestrzeni różnych okresów eksploatacji oraz poziomy hałas wg [4]

W zakresie studiów literaturowych przeanalizowano także inne liczne [25], [27], [57], [59], [104] [62] (także przeglądowe) pozycje wskazujące, na możliwości poprawy zarówno warunków bezpieczeństwa (tarcia, szczepności) a jednocześnie obniżenia poziomu hałasu dla nawierzchni betonowych. Większość przebadanych odcinków wskazuje na zalety szlifowania diamentowego oraz ciągniętej maty jutowej [47], [98], [24], [37], [108], [107] (rys. 3.10,

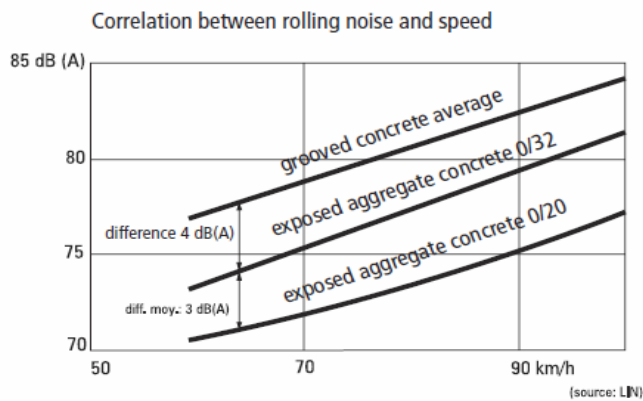
[95]), a także struktur losowych [60] i betonowych nawierzchni porowatych [92]. Wiele opracowań zawiera technologie i wytyczne wykonywania różnych tekstur powierzchni [91], [2], [34], [52], [51], [53], [113], [35]. Przeprowadzono także studia w zakresie pomiaru i identyfikacji równości, makrotekstury [12], [73], [7], [74], [98], [54] oraz metod pomiarowych [36], [55], [69], [79], [1], [10], [8], [11], [9]. W zakresie studiów literaturowych znalazły się także prace dotyczące także wpływu opon na nawierzchnię [61], [81], [50].

Analizowano także korelację tekstury z oporami toczenia [31], [112], a także wpływ temperatury na opory toczenia [32]. Rozpoznano możliwość dokładnej laserowej identyfikacji i modelowania tekstury warstwy nawierzchni drogowej z wykorzystaniem modeli matematycznych i oprogramowania komputerowego [24]. Dość cenne w ocenie doboru kruszyw kształtujących teksturę nawierzchni są także badania wskaźników tarcia pozwalające określić odporność kruszywa na polerowanie [107], [107], [117], [118] oraz odpowiednie badania mikroskopowe [44].

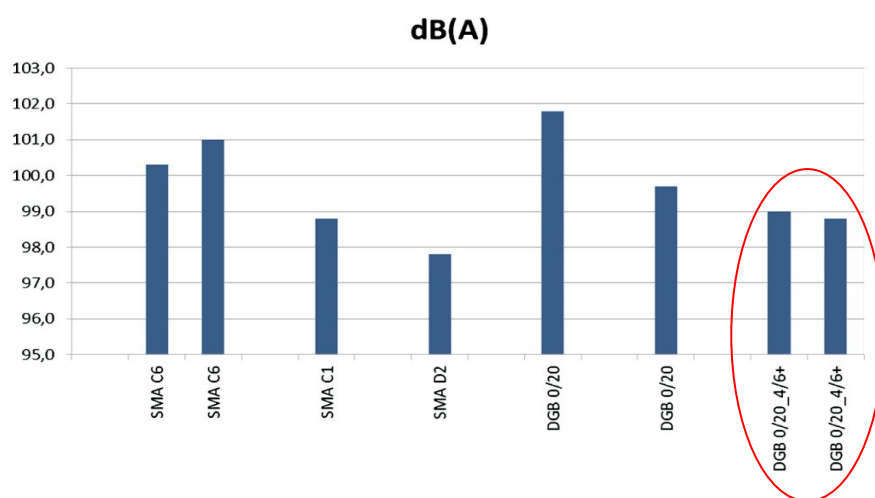


Rys. 3.10. Badane struktury powierzchni wg [95]

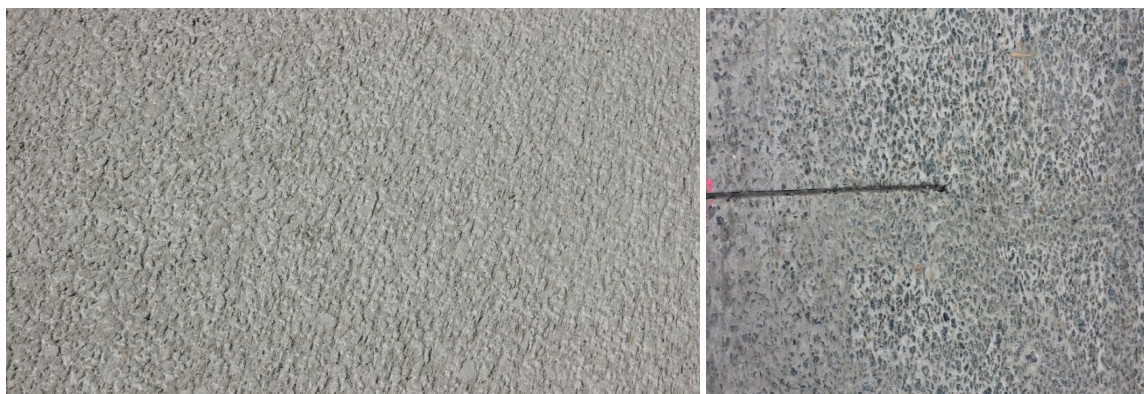
Szczególną uwagę skupiono na technologii stosowane w Europie [23], [58], [26], [94], [109], [78]. Mimo, iż przeprowadzono wcześniej w Ameryce badania struktur z odkrytym kruszywem, to w Europie zrealizowano więcej nawierzchni w tej technologii. Badania przeprowadzone w Europie Zachodniej jednoznacznie potwierdziły skuteczność tej technologii w obniżaniu poziomu hałasu (rys. 3.11, [58]). Wskazano także na technologię betonu porowatego. Na podstawie pierwszych badań w Austrii od roku 1990 określano wymagania technologiczne dotyczące wymaganej średnicy ziaren oraz zawartości frakcji kruszywa stosowanego w nawierzchniach betonowych. W dalszym etapie rozwinięto technologię odkrytego kruszywa w Belgii, Anglii oraz Niemczech. Uzyskując w zakresie częstotliwości powyżej 1000 Hz obniżenie poziomu hałasu o 6 – 10 dB w porównaniu do konwencjonalnych struktur betonowych. Na rys. 3.12 pokazano przykładowe wyniki pomiarów hałasu na nawierzchni autostrady A8 w Belgii realizowanej w technologii odkrytego kruszywa w porównaniu z innymi typami nawierzchni. Wyróżniono wybrane nawierzchnie o niskim poziomie hałasu zbliżonym do SMA. Jak widać nawierzchnie betonowe z maksymalnymi ziarnami w warstwie górnej nawierzchni betonowej do 6,3 mm wykazują mniejszy hałas niż SMA oraz beton cementowy z ziarnami do 20 mm. Na rys. 3.13 zaprezentowano powierzchnię tych nawierzchni.



Rys. 3.11. Badane „europejskie” struktury powierzchni wg [58]

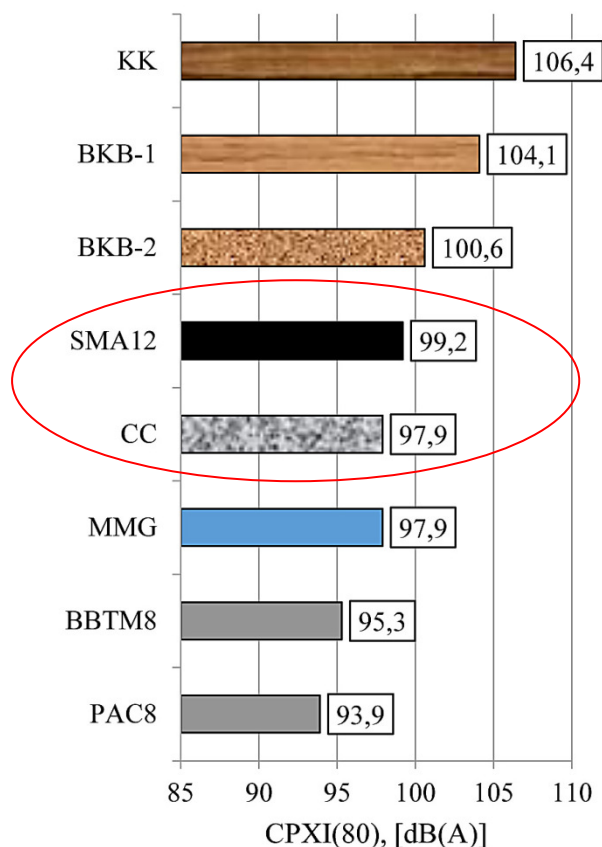


Rys. 3.12. „Belgijskie” wyniki badań hałasu na nawierzchniach z odkrytym kruszywem oraz SMA [97]



Rys. 3.13. Powierzchnia nawierzchni w technologii odkrytego kruszywa charakteryzująca się niskim poziomem hałasu [97]

Podobne spostrzeżenia dotyczące zbliżonego hałasu nawierzchni betonowych do nawierzchni asfaltowych typu SMA potwierdzają wieloletnie badania krajowe [42], [43], [83]. Na podstawie pomiarów metodą Statistical Paas-By method (SPB), uzyskano na nawierzchniach betonowych teksturowanych podłużnie tkaniną jutową 88.3 dB, natomiast w technologii odkrytego kruszywa 85.6 dB. W metodzie Close Proximity-By method (CPX) uzyskano dla nawierzchni betonowych 97.9 dB, a dla SMA12 99.2 dB (rys. 3.14).



Rys. 3.14. Wartości indeksów CPXI (80 km/h) na nawierzchniach na drogach polskich [42]

Na podstawie przeglądu literatury stwierdza się, że w ostatnich latach przeprowadzono wiele badań i analizowano wiele technologii w celu zredukowania hałasu na nawierzchniach betonowych. Technika odkrytego kruszywa daje zadowalające rezultaty, a poziomy hałasu dla nawierzchni w tej technologii są podobne niż dla nawierzchni asfaltowych a w wielu przypadkach niższe.

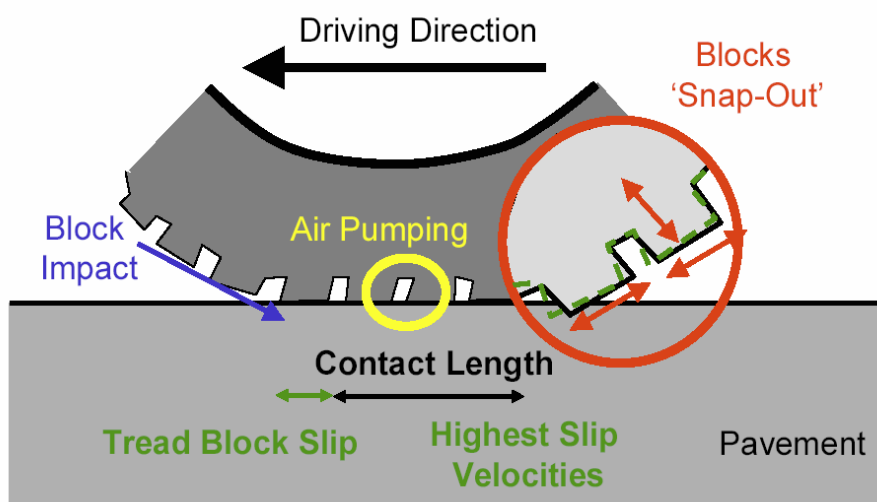
W związku z tym pożądane jest przeprowadzenie obszernych badań i analiz na nawierzchniach betonowych w warunkach polskich, ze zwróceniem uwagi na technologię odkrytego kruszywa oraz wpływu szczelin poprzecznych. Wymagane są badania hałasu w zmiennych warunkach pogodowych, przy różnych prędkościach w celu weryfikacji zrealizowanych technologii. Wskazuje się na stosowanie metody OBSI w pomiarach hałasu oraz badań makrotekstury i równości w celu analizy korelacji wskaźników równości z poziomami hałasu w zakresie różnych częstotliwości (głównie powyżej 1000 Hz).

Aktualne kierunki badania skupiają się na polepszaniu i adoptowaniu wybranych technologii w różnych regionach i krajach z uwzględnieniem ekonomicznych aspektów technologicznych.

4. METODY POMIARU HAŁASU NAWIERZCHNI BETONOWYCH

4.1. Wprowadzenie

Mechanizmy generowania hałasu w wyniku oddziaływania aerodynamicznego na pojazdy w ruchu oraz bezpośrednio opon na nawierzchnie drogowe są niezwykle złożone. Ze względu na oddziaływanie opon można rozróżnić dwa oddziaływania. Pierwsze związane jest z mechanicznymi wibracjami opony, a drugie ze zjawiskami aerodynamicznymi, przenoszonymi przez powietrze. Względny udział tych mechanizmów zależy od mechanizmów adhezji oraz rodzaju opony, drogi powierzchnia i prędkość pojazdu [32], [43], [105], [85], [86]. Na rys. 4.1 pokazano mechanizmy oddziaływania opony na nawierzchnię.



Rys. 4.1. Mechanizmy generowania hałasu w kontakcie opony z nawierzchnią [85]

Wibracje i drgania w oponach są generowane z powodu uderzeń i ugięć, które pojawiają się, gdy bloki bieżnika wchodzi i opuszczają kontakt z powierzchnią jezdni. Drgania bieżnika i ściany bocznej opony wzmagają ruch powietrza otaczającego oponę, generując fale dźwiękowe. Promieniowe drgania opony, będące przyczyną hałasu wywołuje źle dobrana megatekstura. Może powstać w trakcie budowy w postaci pofałdowania lub innych nieregularności powierzchni. Zastosowanie zagęszczania wykańczającego w kierunku poprzecznym przed wprowadzeniem oscylacyjnego urządzenia wykonującego ruch w kierunku podłużnym zaraz po ułożeniu powierzchni odgrywa kluczową rolę w wyeliminowaniu tych charakterystyk przez budowę powierzchni kruszywa w równej płaszczyźnie i uzyskanie dzięki temu zmniejszenia hałasu.

W momencie przetaczania się opony po nawierzchni dochodzi do wciskania bieżnika i jego deformacji powodującej w wolnych przestrzeniach pompowanie powietrza. Następnie, gdy napięcie jest zwalniane, blok traci kontakt z nawierzchnią i opona powraca do pierwotnego kształtu, jednak wzbudza zarówno tryby wibracji radialnej, jak i stycznej [86]. To zjawisko określane jest jako „Snap-Out”. Oddziaływania te występują w dolnym zakresie częstotliwości (<1 kHz). Innym zjawiskiem oddziaływania, które powoduje drgania styczne jest oscylacja bieżnika. Jest ona przypisywana stycznemu naprężeniu na blokach bieżnika w wyniku uderzenia w nawierzchnię. Zachodzi to w zakresie wysokich częstotliwości (> 1 kHz) [16], [20]. Mechanizmy adhezyjne są tworzone przez drgania opon związane ze stratami

tarcia powstającymi w miejscu kontaktu opony z nawierzchnią [105]. Są to w przeważającej mierze siły styczne, wytwarzane przez zmieniające się ugięcie promieniowe, gdy opona spłaszcza się na powierzchni styku. Siły te są odporne na tarcie i sztywność opon. Mechanizm tarcia zależy od chropowatości lub mikrotekstury powierzchni jezdni [85].

Inny hałas w nawierzchni jest generowany przez kilka mechanizmów związanych z ruchem powietrza we wnękach bieżnika. Najpowszechniejszym z mechanizmów powietrznych jest pompowanie powietrza. Kiedy blok bieżnika wchodzi w obszar kontaktu, powietrze jest zasysane pomiędzy rowkami bieżnika, a gdy traci kontakt, powietrze jest wypompowywane. Dochodzi do modulacji ciśnienia powietrza wywołującego szum wysokiej częstotliwości.

Hałas rozprzestrzeniający się z obszaru kontaktu opony z nawierzchnią maleje wraz z odległością. W przypadku mało porowatej nawierzchni betonowej różnica drogi między falą skierowaną i odbitą jest mała i nie występują żadne zakłócenia niszczące między tymi falami. W tych warunkach fale dźwiękowe docierające do odbiorcy z obu tych ścieżek sumują się, dając wzrost poziomu dźwięku o 6 dB w stosunku do amplitudy pola swobodnego. Częstotliwości i amplitudy tych interferencji zależą w dużej mierze od właściwości akustycznych warstwy powierzchniowej i kąta padania fali powierzchniowej. Natomiast kiedy warstwa powierzchniowa jest porowata, różnica długości ścieżek między falami bezpośrednimi i odbitymi jest duża, a zakłócenia redukujące występują w zakresie częstotliwości 250 - 1000 Hz. Hałas, który dociera do odbiorcy, ma w tym przypadku mniejsze natężenie. Jest to jedno z głównych założeń stosowania porowatej nawierzchni redukującej hałas.

4.2. Charakterystyka metod pomiarowych

Sposób powstawania hałasu determinuje metodę jego pomiaru. Najbardziej rozpowszechnioną w Stanach Zjednoczonych metodą jest metoda (On-Board Sound Intensity) OBSI [1]. Metoda ta jest uznawana za skuteczną w pomiarze poziomu natężenia dźwięku w wystandaryzowany sposób dla różnych typów nawierzchni. Badanie polega na pomiarze poziomu dźwięku przy oponie z wykorzystaniem dwóch mikrofonów montowanych na kole pojazdu (rys. 4.2). Jak wcześniej stwierdzono interakcja między nawierzchnią a nawierzchnią jest główną przyczyną hałasu w ruchu drogowym, dlatego też pomiar hałasu nawierzchni opony u źródła zdaje się za najbardziej bezpośrednią drogą do ilościowej oceny różnych tekstur nawierzchni. Pomiary realizuje się dla typowej prędkości 72 i 97 km/h najczęściej na odcinkach o długości 134 m. Wymagane są odpowiednie typy opon (Michelin Standard Reference Tire 206,8 kPa) oraz sucha nawierzchnia.



Rys. 4.2. Lokalizacja mikrofonów w metodzie OBSI

Innymi metodami badania hałaśliwości nawierzchni drogowych są:

- metoda Close Proximity-By method (CPX) [71], zwaną metodą przyczepową, polega na pomiarze poziomu dźwięku z wykorzystaniem mikrofonów zainstalowanych w pobliżu badanego koła w przyczepie. Metoda jest dość efektywna i pozwala na analizę wpływu opon oraz różnych typów nawierzchni.

- metoda Statistical Pass-By method (SPB) [70], zwaną metodą przejazdu statystycznego. Polega na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojedyncze pojazdy uczestniczące w rzeczywistym potoku ruchu. Trudność w metodzie stanowi weryfikacja opon w przejeżdżających pojazdach.

- metoda Controlled Pass-By method (CPB) [87], zwaną metodą kontrolowanego przejazdu. Jest szczególnym przypadkiem metody SPB. Polega na pomiarze poziomu dźwięku od przejeżdżających pojazdów testowych z różnymi parametrami.

- metoda Coast-By method (CB) [72], zwaną metodą wybiegową, polega na bezpośrednim pomiarze poziomu hałasu emitowanego przez pojazdy testowe poruszające się z wyłączonym silnikiem. Trudnością w tej metodzie są błędy wynikające z dodatkowego zakłócenia hałasowego z otoczenia oraz wpływ warunków atmosferycznych.

- metoda Trailer coast-By method (TCB), zwaną metodą przyczepowo-wybiegową, łączy cechy metody wybiegowej i przyczepowej. Polega na tym, że mikrofony umieszczone na poboczach drogi rejestrują hałas opon zainstalowanych na specjalnej, długiej przyczepie przejeżdżającej obok nich. Jest to metoda mało praktyczna, z uwagi na bardzo wysokie koszty zestawu badawczego i trudności realizacji.

- metoda Drum method (DR), zwana metodą bębnową, polega na pomiarze hałasu emitowanego przez koło toczące się po bębnie pokrytym imitacją nawierzchni rzeczywistej. Metoda doskonale nadaje się do badania opon, ale jej przydatność do badania hałaśliwości nawierzchni jest znikoma z uwagi na wysokie koszty i czasochłonność,

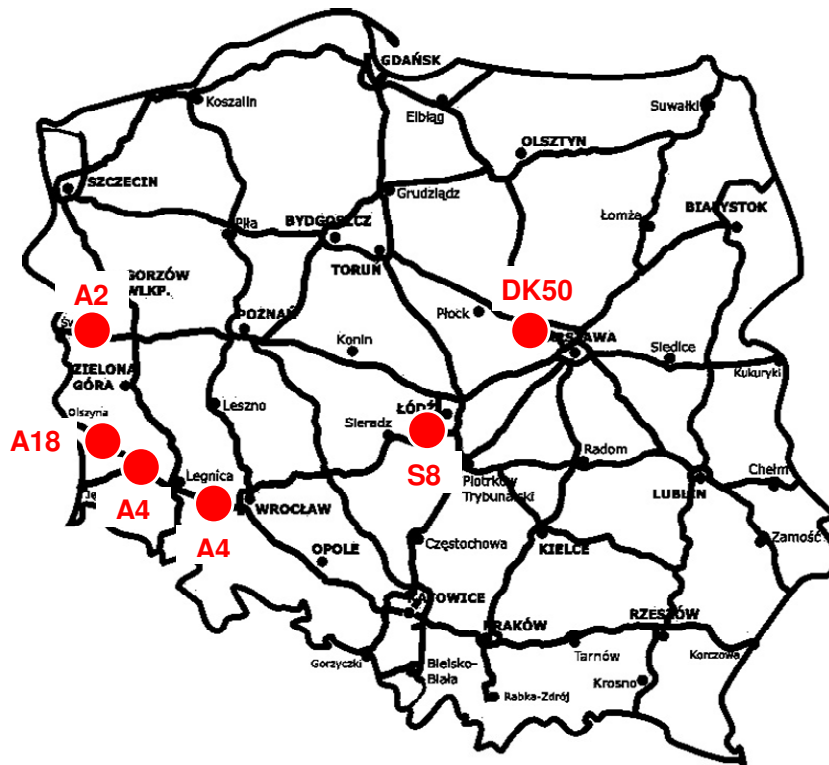
- metoda pomiaru hałasu środowiskowego, polegająca na pomiarze poziomu dźwięku metodą bezpośrednią, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. 2011, nr 140 poz. 824) [103].

W niniejszej pracy skupiono się na metodzie OBSI, która do tej pory nie była stosowana w Polsce. Pomiary prowadzono na nawierzchniach asfaltowych i betonowych. W niniejszym raporcie zaprezentowano wyniki badań metodą OBSI na nawierzchniach betonowych w Polsce o różnej strukturze wykończenia. Zastosowano również metodę pomiaru hałasu środowiskowego.

5. ZESTAWIENIE ODCINKÓW BADAWCZYCH NAWIERZCHNI BETONOWYCH W POLSCE ORAZ METODYKA POMIAROWA RÓWNOŚCI I TEKSTURY

5.1. Odcinki pomiarowe

Jednym z celów przeprowadzonych badań była identyfikacja istotnych parametrów charakteryzujących powierzchnię nawierzchni (równość, tekstura, występowanie szczelin poprzecznych lub ich brak) pozwalających w dalszym etapie rozróżnić nawierzchnie betonowe, dobrać odpowiednią technologię oraz uwzględnić ich wpływ na poziom hałasu. Na podstawie wybranych lokalizacji dróg krajowych w tym autostradowych i ekspresowych w Polsce, przeprowadzono szczegółowe pomiary makrotekstury i równości nawierzchni betonowych z uwzględnieniem szczelin poprzecznych lub ich braku (rys. 5.1).

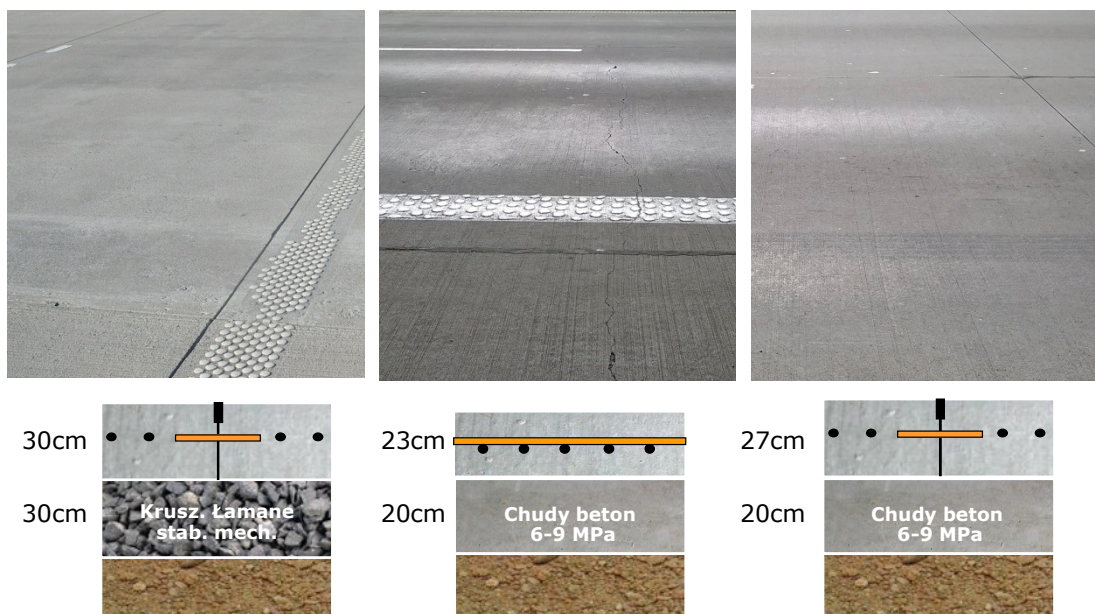


Rys. 5.1. Lokalizacja wybranych odcinków pomiarowych nawierzchni betonowych

Pierwsze podstawowe pole badawcze stanowił odcinek autostrady A4 (rys. 5.2). Przebadano tutaj trzy typy nawierzchni betonowych: nawierzchnia dyblowana (ze szczelinami poprzecznymi) na podbudowie z kruszywa, nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu (bez szczelin poprzecznych), nawierzchnia dyblowana (ze szczelinami poprzecznymi) na podbudowie z chudego betonu (rys. 5.3). Górna powierzchnia nawierzchni wykończona została za pomocą szrotkowania poprzecznego. Jezdnię północną oddano do użytku w 2005 roku, a jezdnię południową w 2000 roku. Szczeliny poprzeczne zostały wypełnione profilami.



Rys. 5.2. Charakterystyka odcinka pomiarowego - autostrada A4



Rys. 5.3. Typy nawierzchni badane na autostradzie A4

Na drodze ekspresowej S8 (rok oddania do eksploatacji 2015 rok) na odcinku ośmiu kilometrów przeanalizowano nawierzchnię w technologii „odkrytego kruszywa” - uziarnienie 0/8 (rys. 5.4). Nawierzchnię tworzą płyty betonowe ze szczelinami poprzecznymi na podbudowie z chudego betonu. Szczeliny poprzeczne zostały wypełnione profilami.



Rys. 5.4. Charakterystyka odcinka pomiarowego – droga ekspresowa S8

Kolejny odcinek pomiarowy stanowiła autostrada A2 (rys. 5.5), na której przeanalizowano nawierzchnię o ciągłym zbrojeniu (bez szczelin poprzecznych) oraz dyblowaną (ze szczelinami poprzecznymi) na podbudowie z chudego betonu. Technologie wykończenia stanowiło „odkryte kruszywo” - uziarnienie 0/8. Szczeliny poprzeczne zostały wypełnione profilami. Nawierzchnię oddano do eksploatacji w 2012 roku.



Rys. 5.5. Charakterystyka odcinka pomiarowego - autostrada A2

Dalszej analizie poddano odcinek autostrady A18 km 54+400 – 69+100. Na tym odcinku występuje stara nawierzchnia betonowa (1940 rok) z niskim poziomem równości oraz znacznie uszkodzonymi dylatacjami.

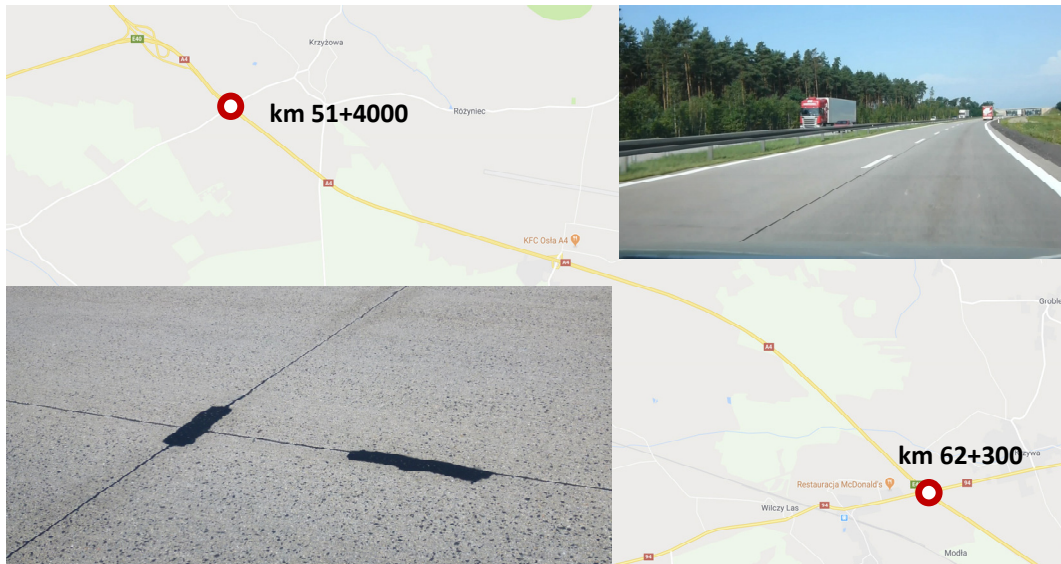


Rys. 5.5. Charakterystyka odcinka pomiarowego - autostrada A18

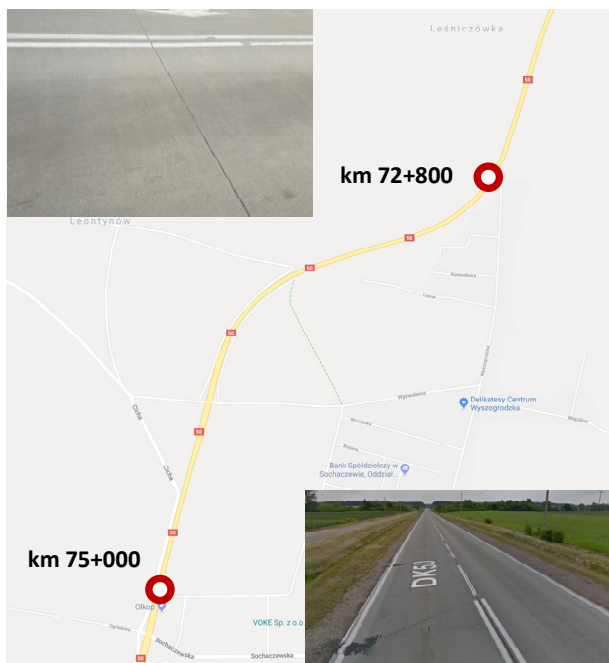
Na wyżej przedstawionych odcinkach poza pomiarami równości i tekstury przeprowadzono pomiary hałasu. Na tej podstawie przeprowadzono analizy korelacji poziomu dźwięku z wybranymi wskaźnikami równości oraz tekstury.

Uzupełniające pomiary przeprowadzono na odcinku autostrady A4 km 51+400 – 62+300 (rys. 5.6) w technologii teksturowania podłużnego (mata jutowa). Szczeliny poprzeczne zostały wypełnione masą zalewową. Na tym odcinku nawierzchnia betonowa pochodzi z roku 1995.

Dodatkowo przeanalizowano wskaźniki tarcia oraz tekstury na drodze krajowej DK50 (km 72+800 – 75+000) – rys. 5.7. Na tej drodze zastosowano także technologię teksturowania podłużnego. Szczeliny poprzeczne wypełnione zostały masą zalewową. Nawierzchnię oddano do eksploatacji w 2002 roku.



Rys. 5.6. Charakterystyka odcinka pomiarowego – autostrada A4 km 51+400 – 62+300



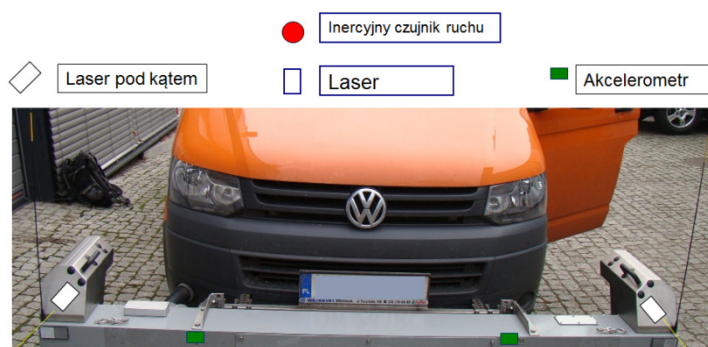
Rys. 5.7. Charakterystyka odcinka pomiarowego – droga DK50

5.2. Metodyka pomiaru równości i tekstury

W zakresie badań tekstury i równości [6] z wykorzystaniem profilografu laserowego RSP (Road Surface Profilometer) (rys. 5.8) przeprowadzono identyfikację następujących parametrów:

1. Odczyty bezpośrednie z czujników laserowych [mm]
2. Profil Wzdłużny [mm]: ślad lewego koła, linia środkowa, ślad prawego koła
3. International Roughness Index (**IRI**) [mm/m]: ślad lewego koła, linia środkowa, ślad prawego koła
4. Tekstura RMS i **MPD**: ślad prawego koła
5. Równość poprzeczna [mm]: lewa, pełna, **prawa**, max lewa, max pełna, max prawa

Zwrócono uwagę na parametry stosowane w systemie DSN identyfikującym stan nawierzchni w Polsce [29]. W niniejszym raporcie skupiono uwagę głównie na wskaźniku IRI oraz MPD [93]. Określono je zgodnie z wymaganiami DSN. W dalszym etapie w celu przeprowadzenia oceny klasyfikacji badanych odcinków wg DSN na podstawie wskaźnika MPD wyznaczono wskaźnik MTD stanowiący Średnią Głębokość Tekstury (Mean Texture Depth). Zastosowano zależność: $MTD = 0.2 \text{ mm} + 0.8 \text{ MPD}$.



Rys. 5.8. Profilograf laserowy wykorzystany w pomiarach

5.3. Algorytm oceny odcinków jednorodnych

Istotnym elementem wpływającym na ustalenie właściwych korelacji pomiędzy teksturą, równością a hałasem było wyodrębnienie miarodajnych odcinków jednorodnych. Dokonano analiz pozwalających wyeliminować niejednorodne odcinki dróg pod względem zmiany badanych parametrów oraz znajdujące się np. na obiektach inżynierskich, na naprawianych i modernizowanych nawierzchniach itp.

Odcinki jednorodne identyfikowane zostały na podstawie wykresu sum skumulowanych różnic od wartości średniej, w którym zmiana nachylenia wykresu oznacza granicę między odcinkami;

$$S_i = X_{sr} - x_i + S_{i-1} \quad (1)$$

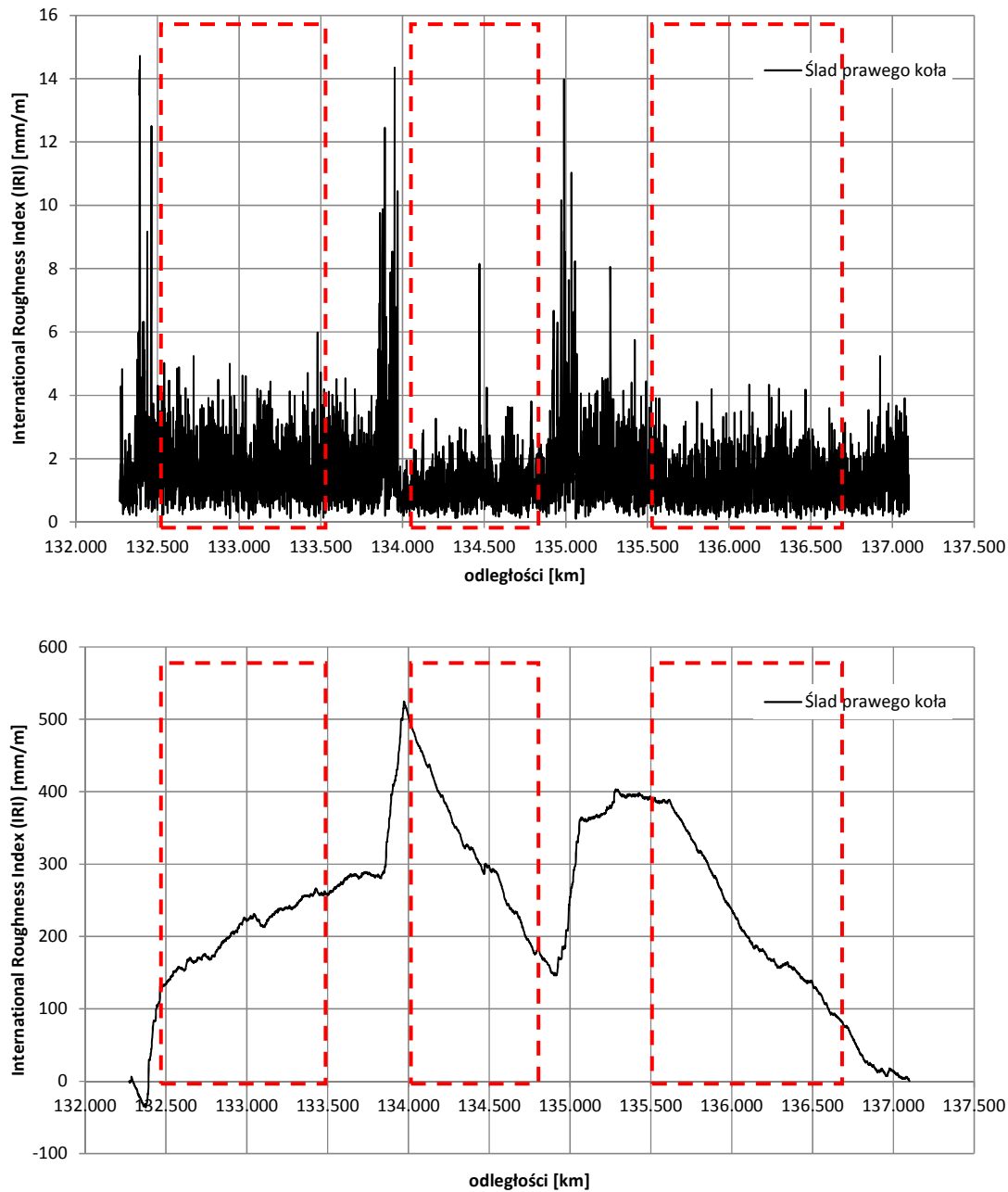
gdzie:

S_i – suma skumulowana różnic pomiaru od wartości średniej,

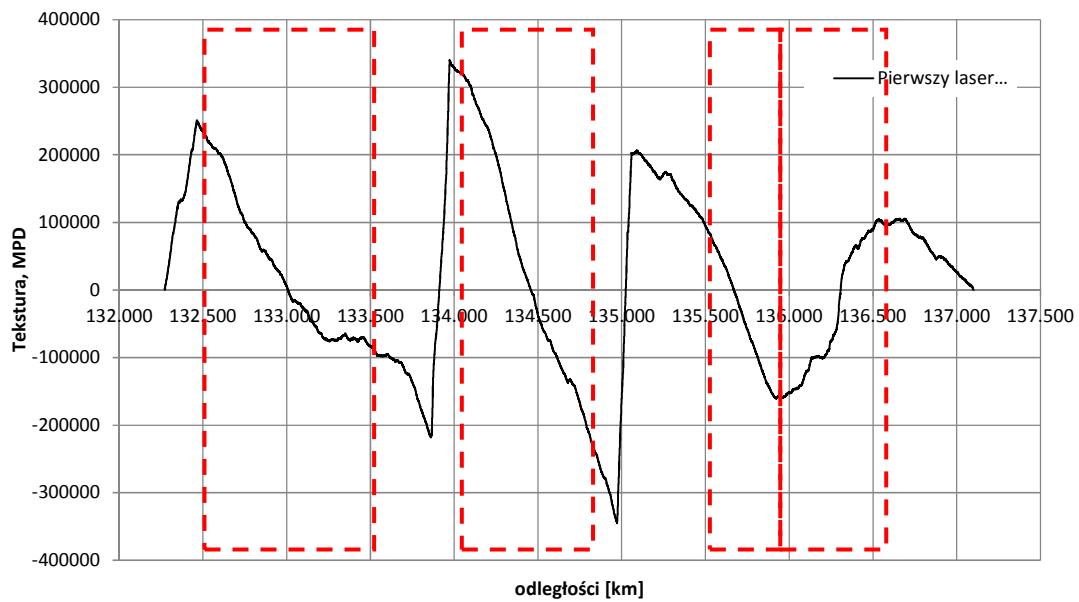
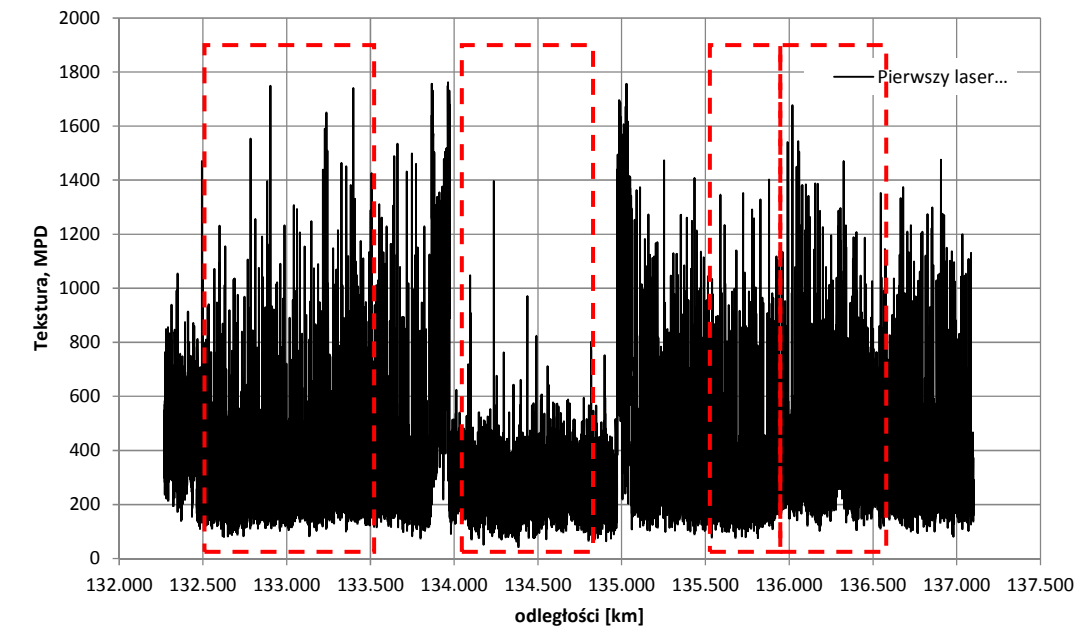
x_i – wynik pomiaru w punkcie „i”,

X_{sr} – średni wynik pomiarów.

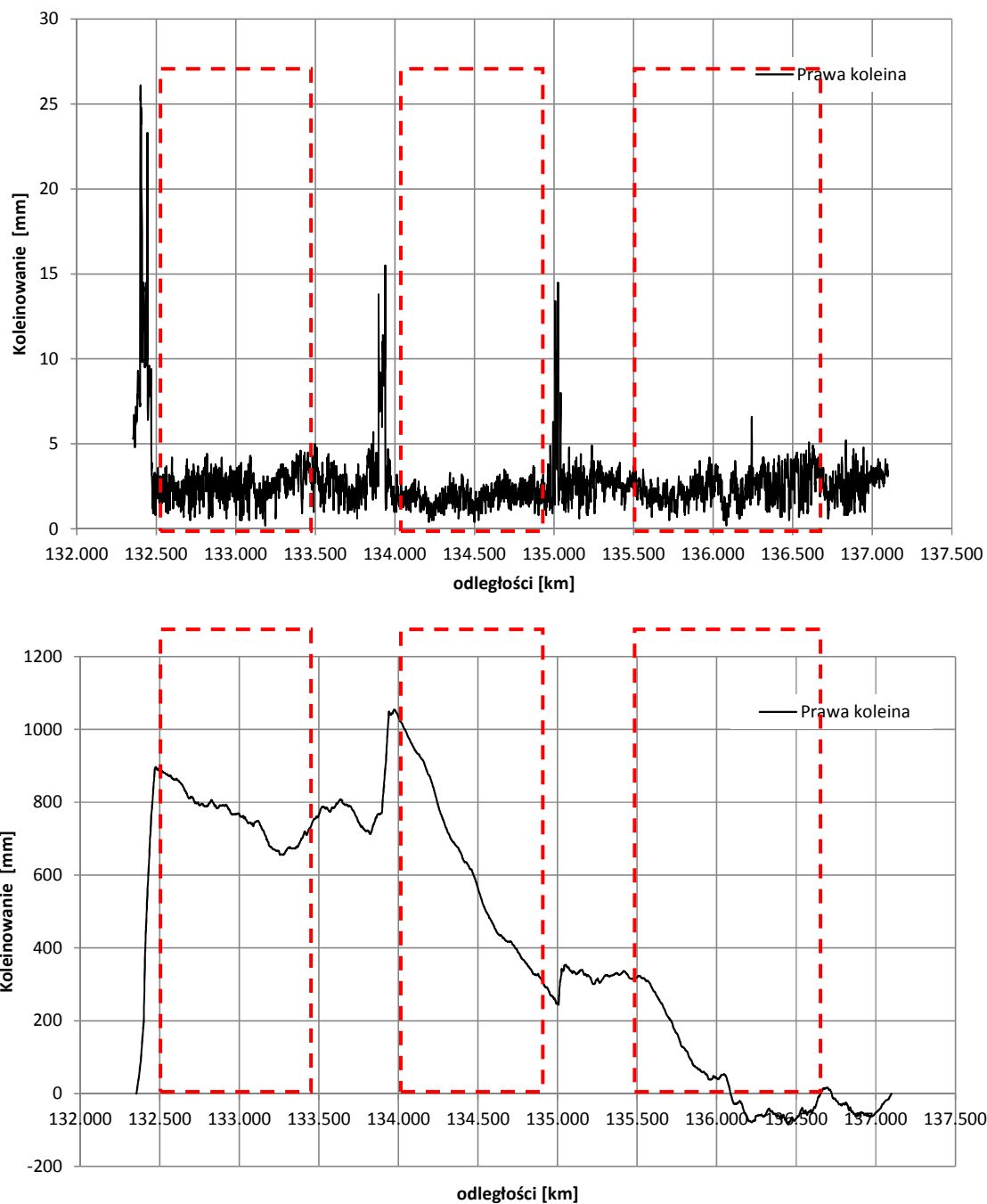
Określone odcinki jednorodne zostały wytypowane do dalszych pomiarów równości, tekstury i hałasu. Przykładowe wyniki pomiarów dla wskaźnika IRI, MPD oraz równości poprzecznej (koleiny) dla autostrady A4 (pas prawy, jezdnia północna) zestawiono na rys. 5.9 – 5.11 z oznaczeniem odcinków jednorodnych (czerwona przerywana obwódka). Z wykorzystaniem krzywych sumowych oraz identyfikacji różnych typów nawierzchni analogiczne podejście zastosowano przy innych drogach.



Rys. 5.9. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – International Roughness Index (IRI) (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna)



Rys. 5.10. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Tekstura, MPD (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna)

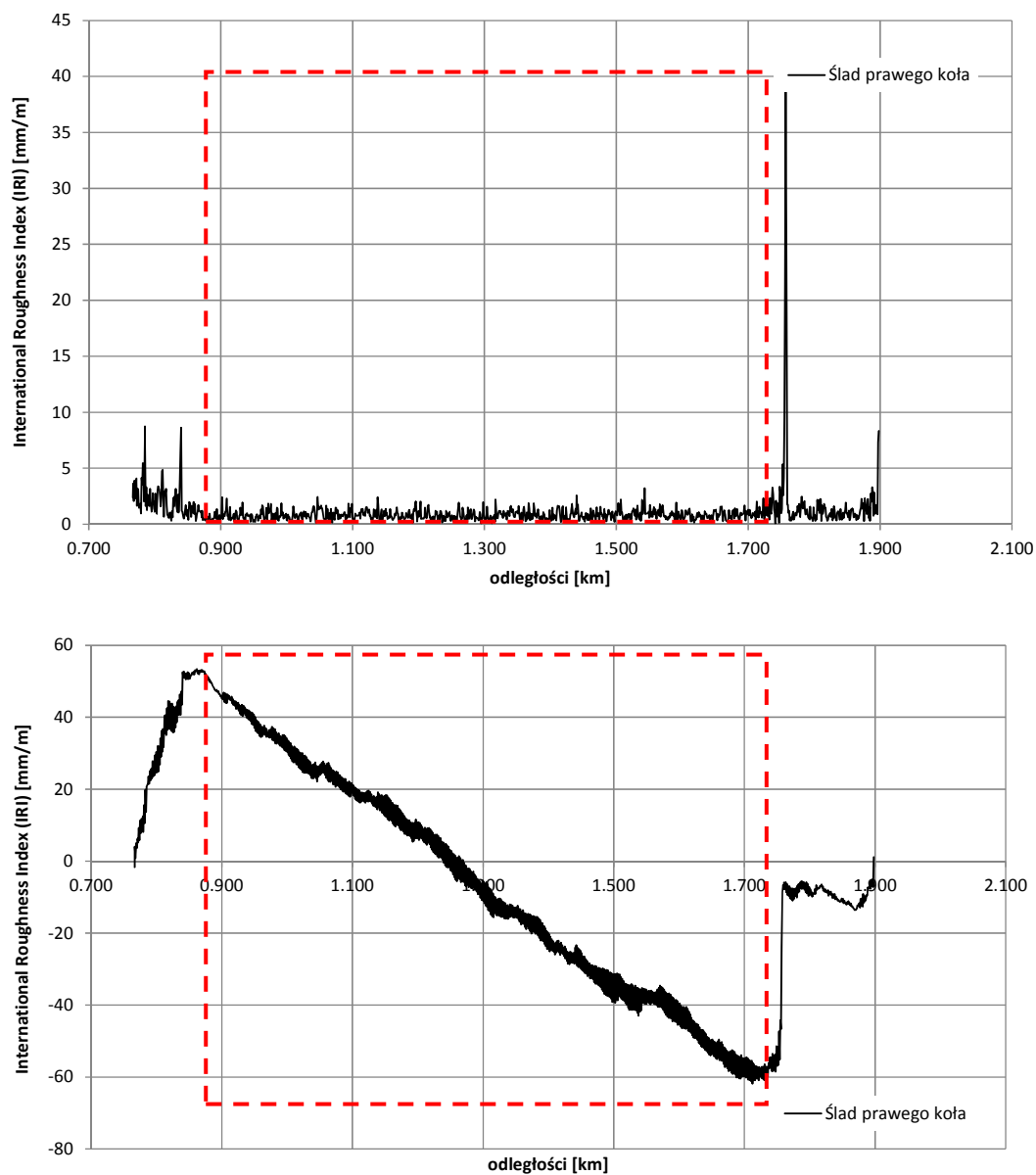


Rys. 5.11. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Koleinowanie (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna)

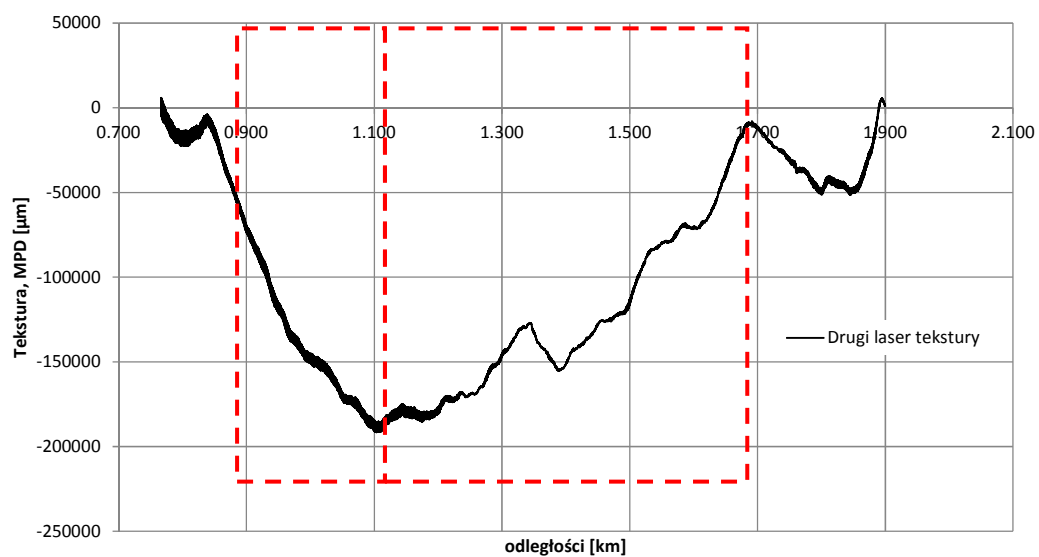
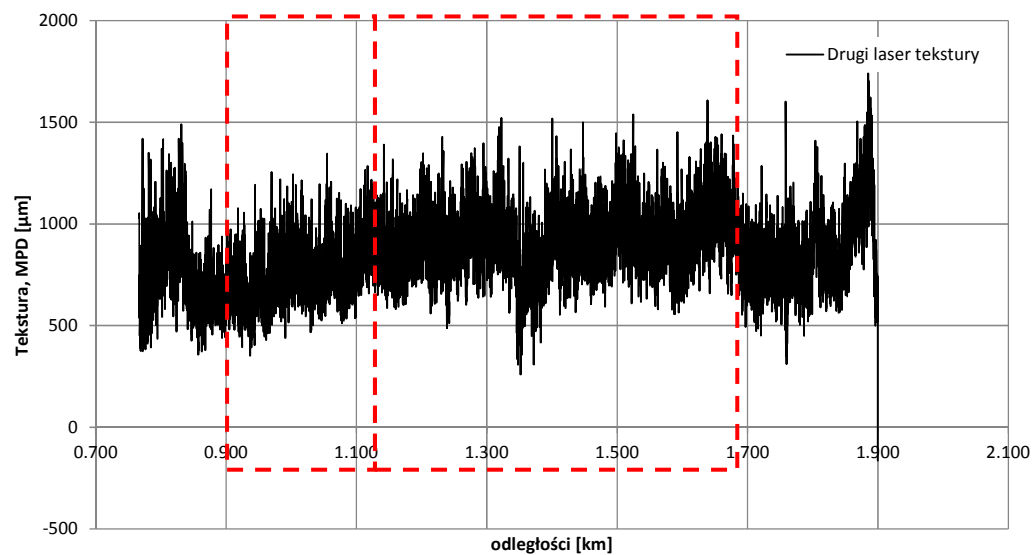
Na podstawie analizy pomiarów stwierdzono, że największe zróżnicowanie w niejednorodności występuje na autostradzie A4. Zmienność wyników związana była głównie z występowaniem obiektów inżynierskich posiadających nawierzchnie asfaltowe. Dzięki analizie jednorodności można było zweryfikować trzy różne typy konstrukcji betonowych różniące się w przypadku A4 podbudowami (z chudego betonu lub kruszywa) oraz występowaniem lub brakiem dylatacji jak również zidentyfikować odcinki różniące się równością i makrotekturą, niezależnie od powyższych czynników.

Podobne analizy przeprowadzono dla pozostałych dróg. Przykładowe wyniki pomiarów dla wskaźnika IRI, MPD oraz równości poprzecznej (koleiny) dla autostrady A2 oraz drogi

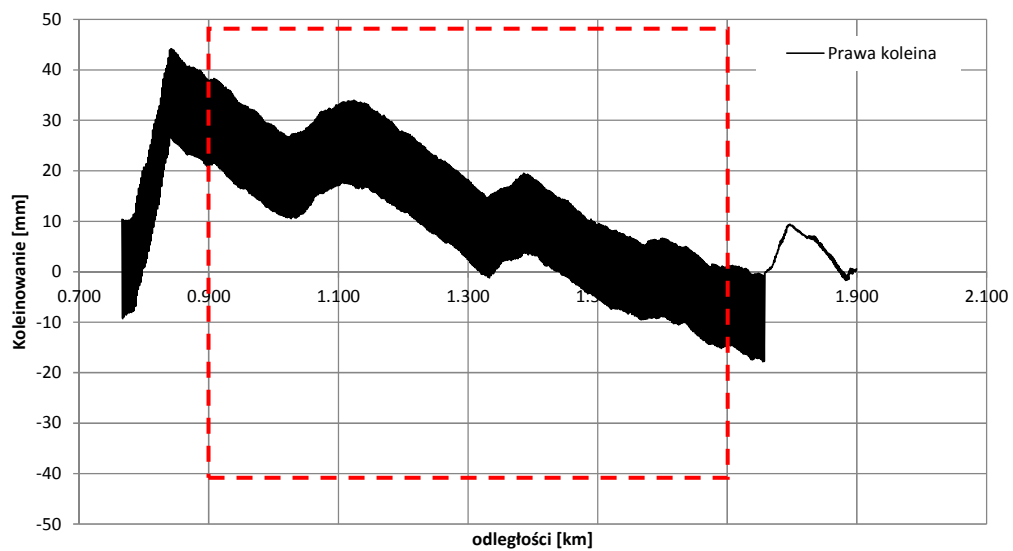
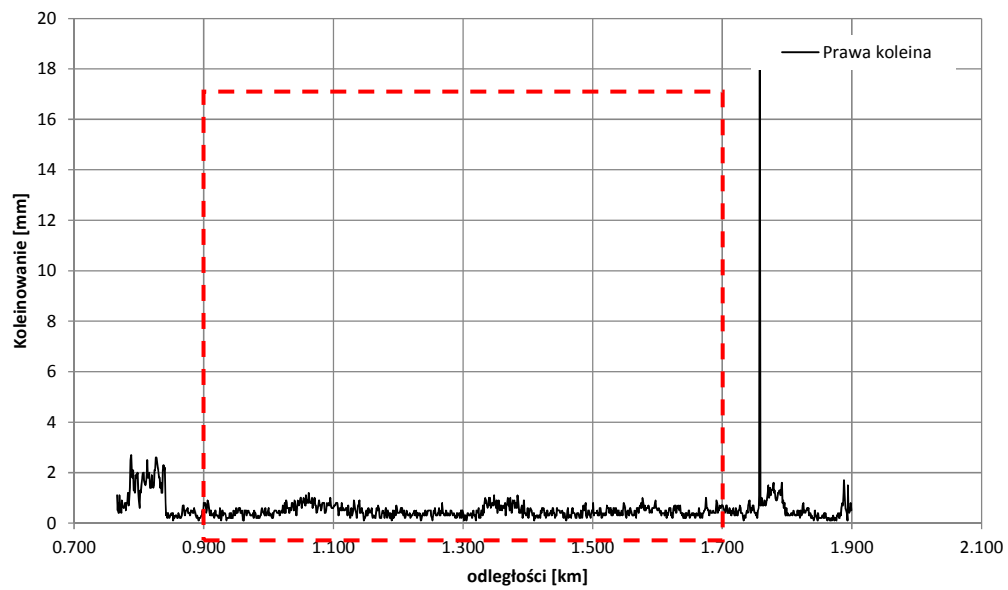
S8 (pas prawy, jezdnia północna) pokazano na rys. 5.12 – 5.14 z oznaczeniem odcinków jednorodnych.



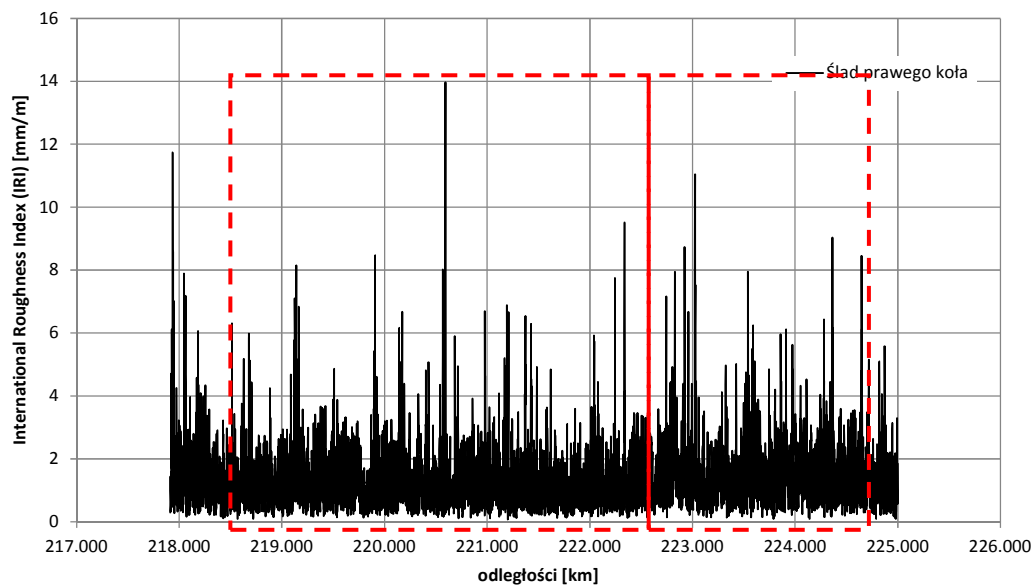
Rys. 5.12. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – International Roughness Index (IRI) (autostrada A2, pas prawy, jezdnia północna)



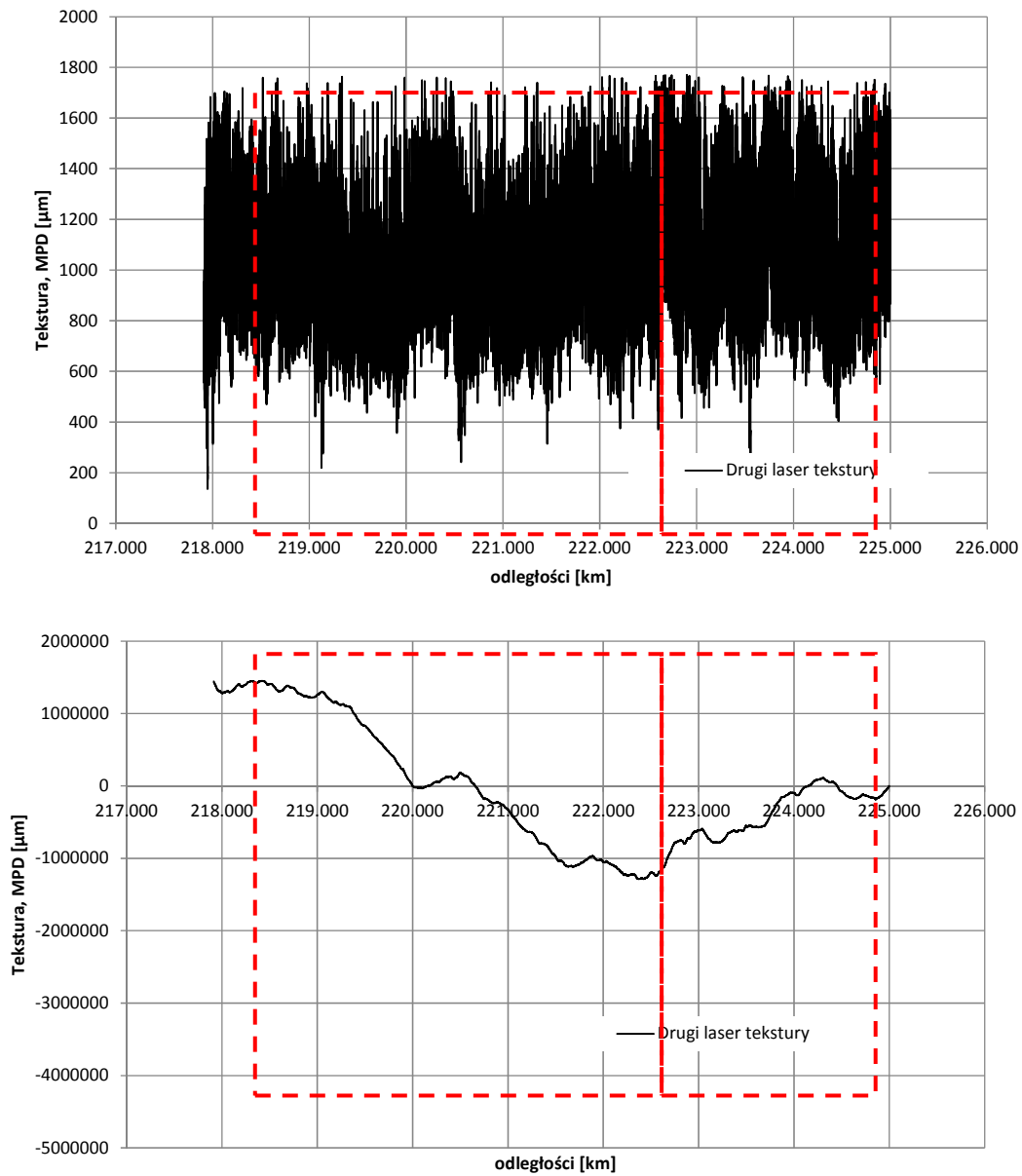
Rys. 5.13. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Tekstura, MPD (autostrada A2, pas prawy, jezdnia północna)



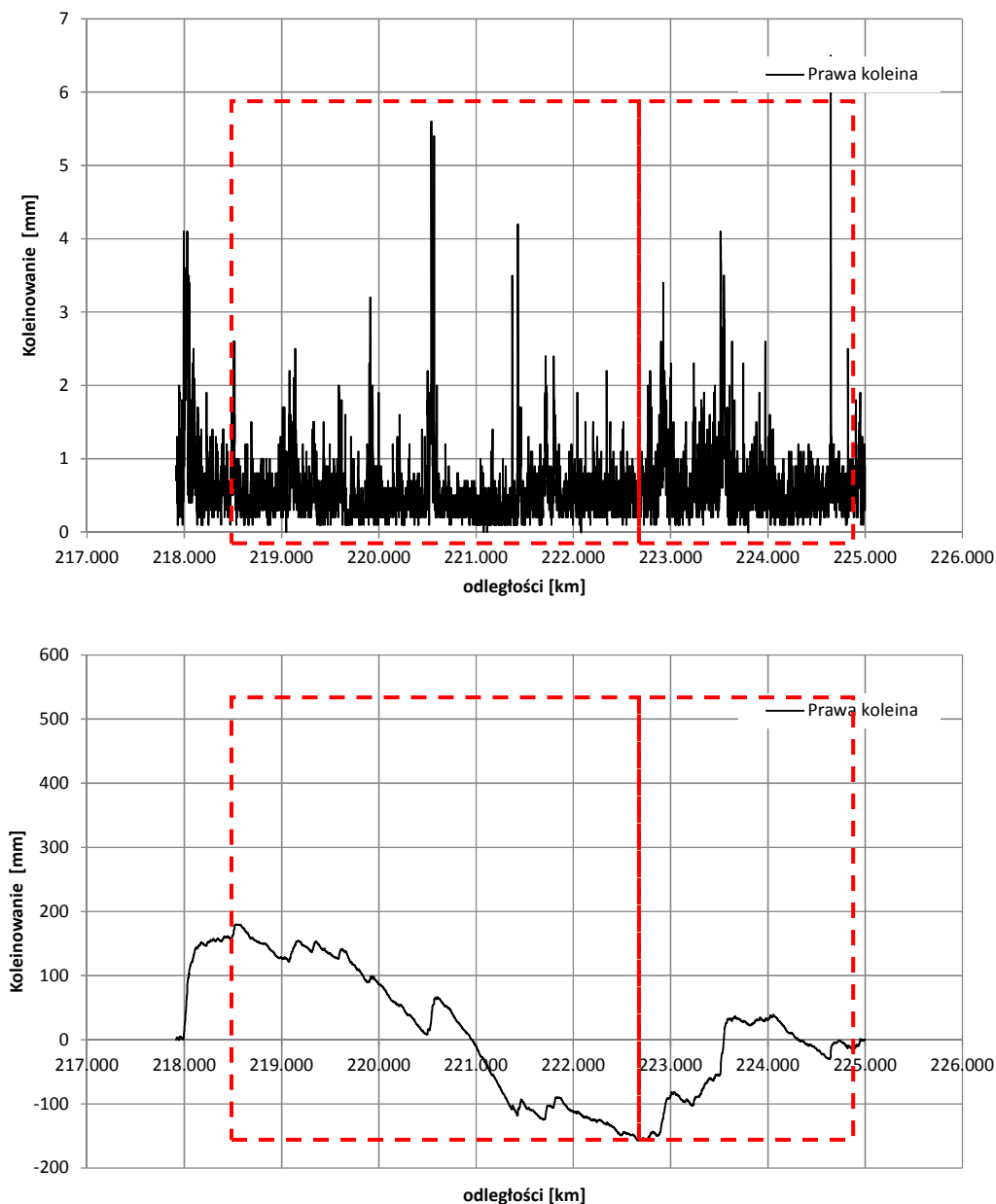
Rys. 5.14. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Koleinowanie (autostrada A2, pas prawy, jezdnia północna)



Rys. 5.15. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – International Roughness Index (IRI) (droga S8, pas prawy, jezdnia północna)



Rys. 5.16. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Tekstura, MPD (droga S8, pas prawy, jezdnia północna)



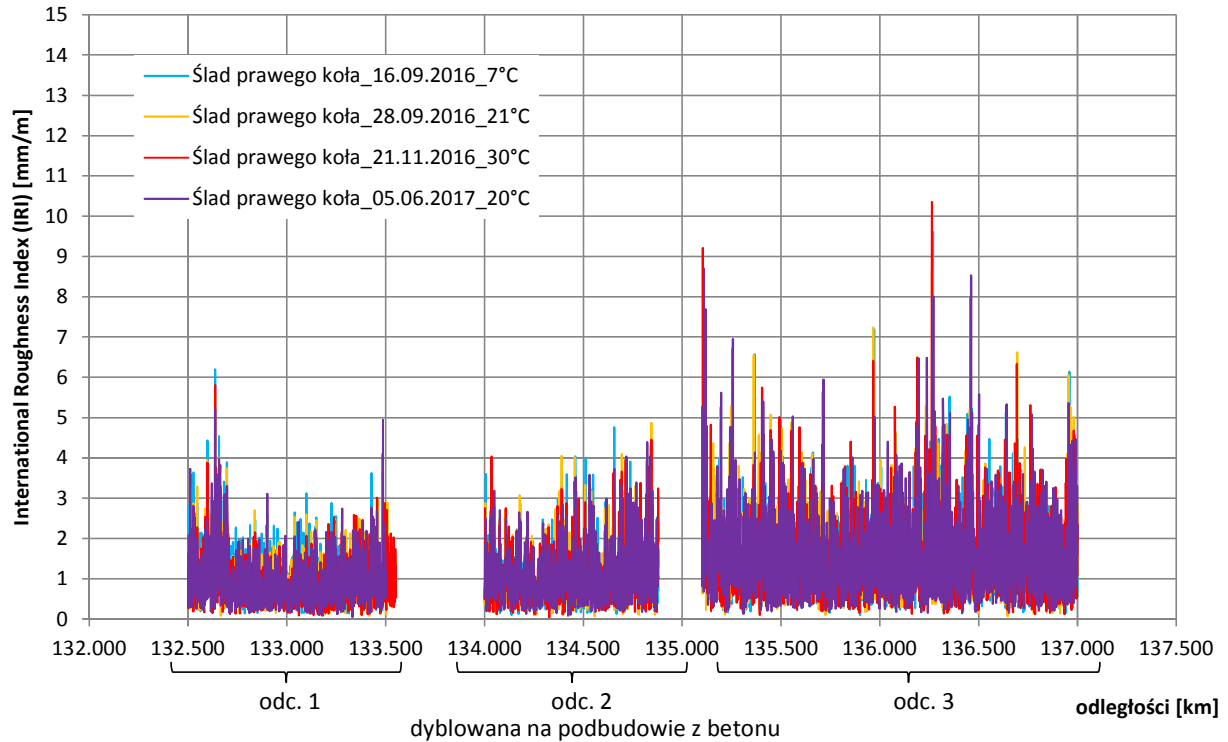
Rys. 5.17. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Koleinowanie (droga S8, pas prawy, jezdnia północna)

Stwierdzono, że na wytypowanych drogach występują odcinki jednorodne, na których można przeprowadzić pomiary hałasu metodą OBSI, w taki sposób, aby w całości mieściły się przejazdy o długości 134 m.

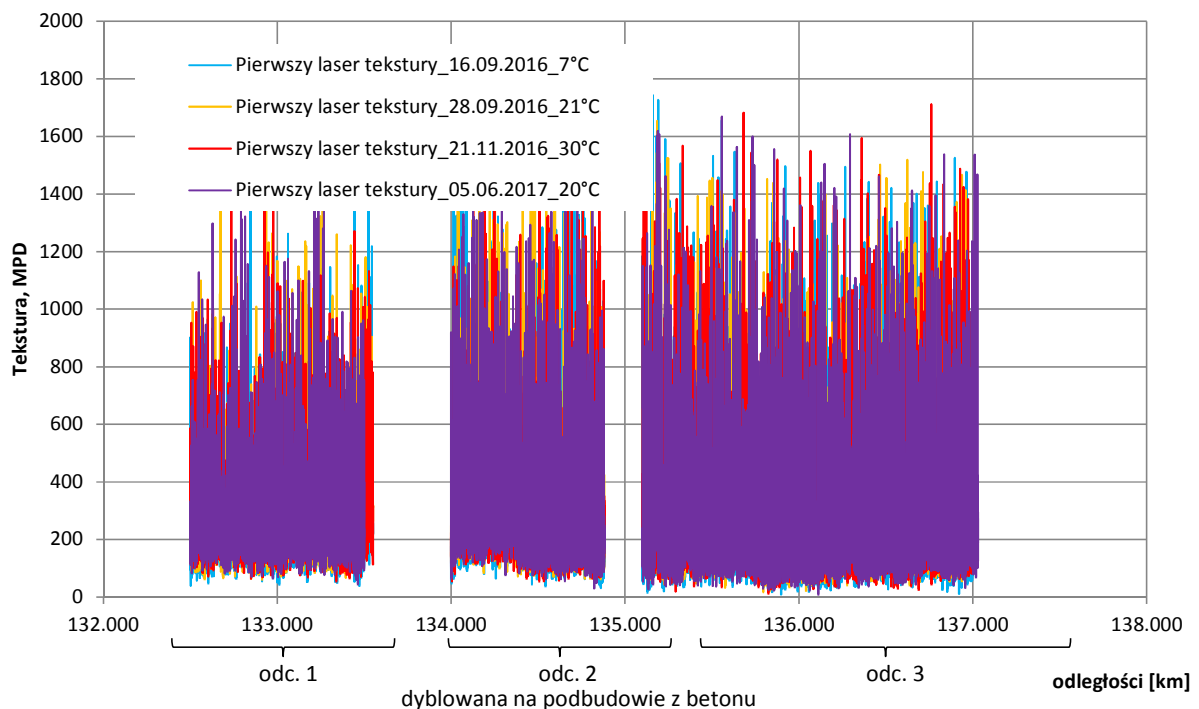
5.4. Wpływ temperatury na badane parametry równości i tekstury

Analizie poddano także wpływ temperatury na wyniki badań parametrów takich jak: równość, makrotekstura oraz dylatacje. Nawierzchnie betonowe są konstrukcjami w których temperatura wpływa istotnie na jej odkształcalność i naprężenia. Wobec tego autorzy wykonali badania i analizy wpływu temperatury na w/w parametry nawierzchni. Wstępnie

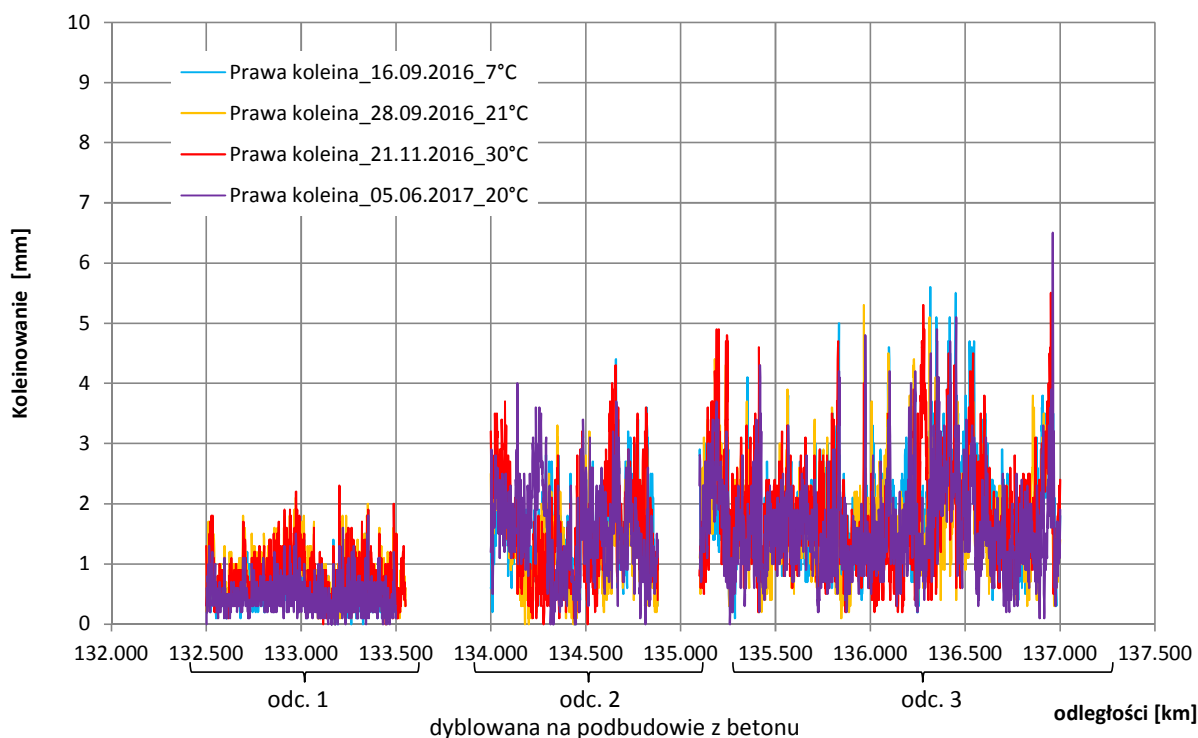
analizy przeprowadzono na autostradzie A4 na jezdni południowej (trzy odcinki rozdzielone obiektami mostowymi), na której znajduje się nawierzchnia betonowa dyblowana na podbudowie z chudego beton wykonana w technologii szczotkowania poprzecznego. Pomiary wykonano dla temperatury 7°C, 20°C, 21°C oraz 30°C. Wyniki zestawiono na rys. 5.18 – 5.20).



Rys. 5.18. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – International Roughness Index (IRI) (autostrada A4, pas prawy, jezdnia południowa)



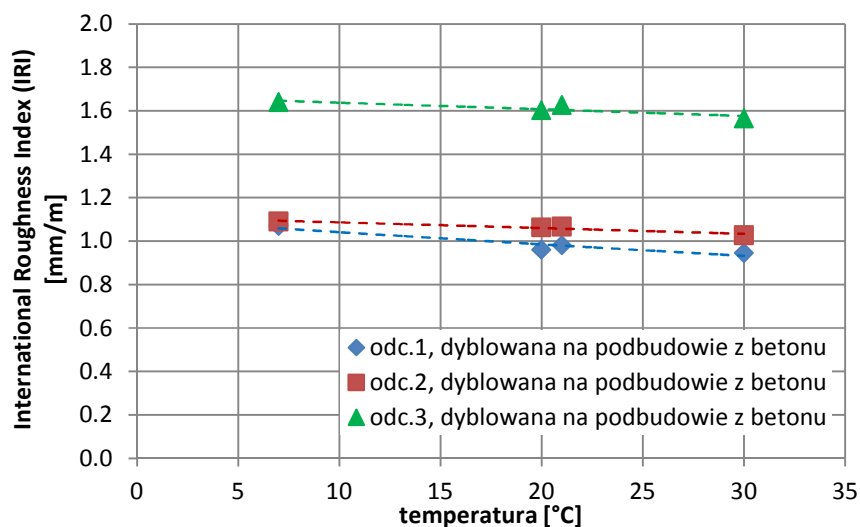
Rys. 5.19. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – Tekstura, MPD (autostrada A4, pas prawy, jezdnia południowa)



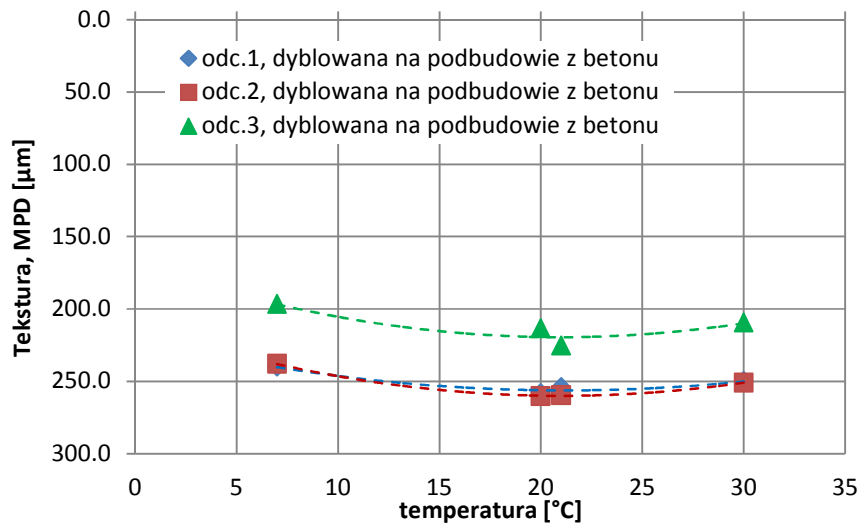
Rys. 5.20. Wyniki pomiarów na długości badanego odcinka – równość poprzeczna (autostrada A4, pas prawy, jezdnia południowa)

Spośród badanych parametrów nie stwierdzono wyraźnego wpływu temperatury na wyniki równości podłużnej, poprzecznej oraz makrotekstury (rys. 5.21-5.23).

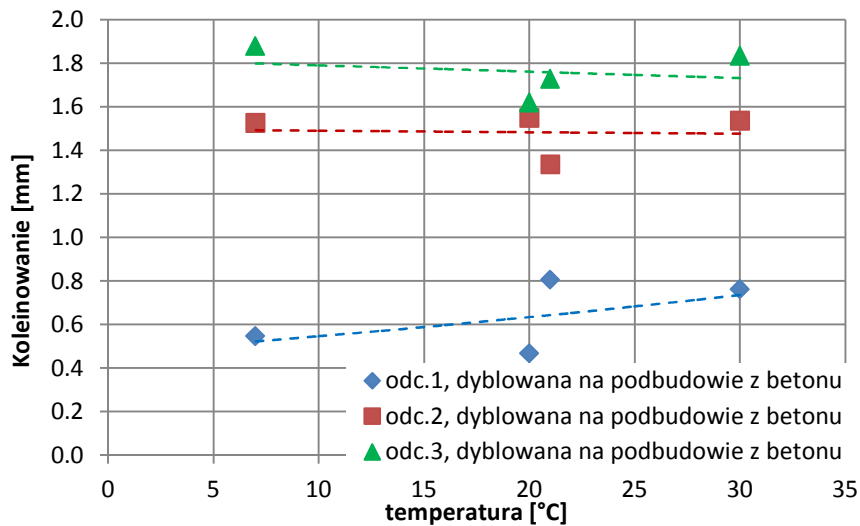
W zakresie badanych temperatur (od 7 do 30°C) współczynniki zmienności dla IRI, MPD nie przekroczyły 10%. Nieco większe (średnio 13%) uzyskano dla równości poprzecznej (koleiny).



Rys. 5.21. Wpływ temperatury na odczyty IRI (autostrada A4, pas prawy, jezdnia południowa)

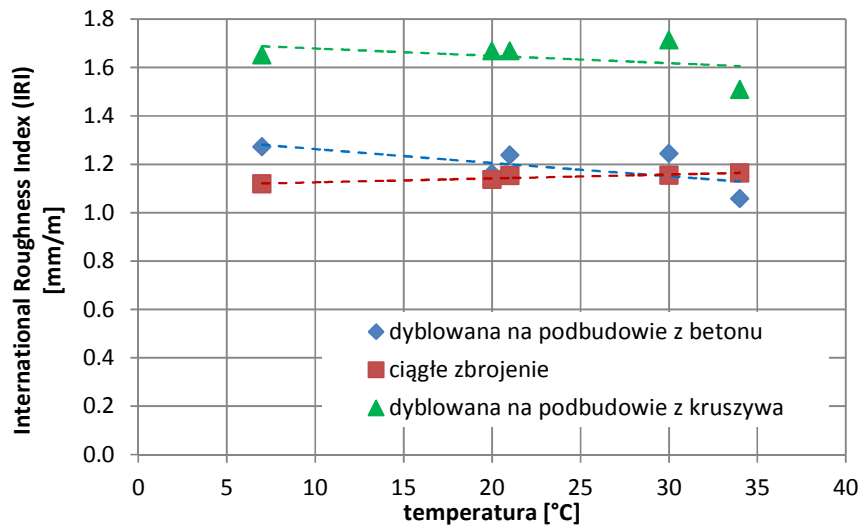


Rys. 5.22. Wpływ temperatury na MPD (autostrada A4, pas prawy, jezdnia południowa)

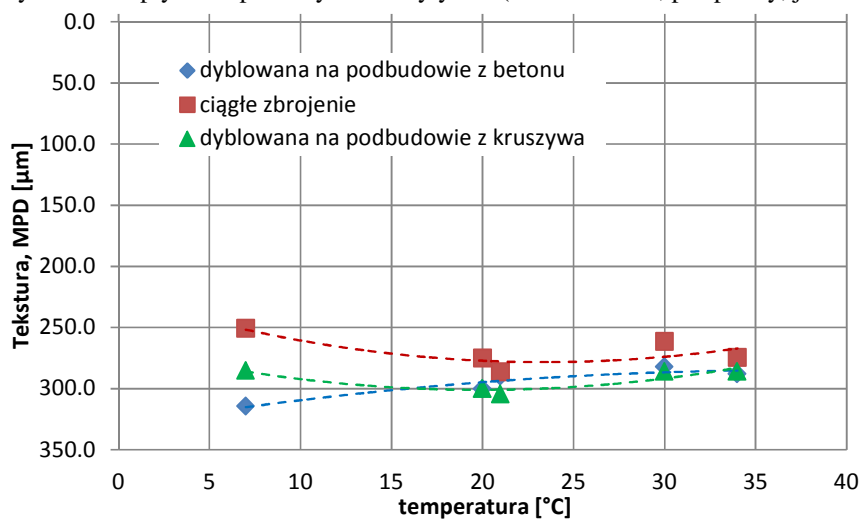


Rys. 5.23. Wpływ temperatury na równość poprzeczną (autostrada A4, pas prawy, jezdnia południowa)

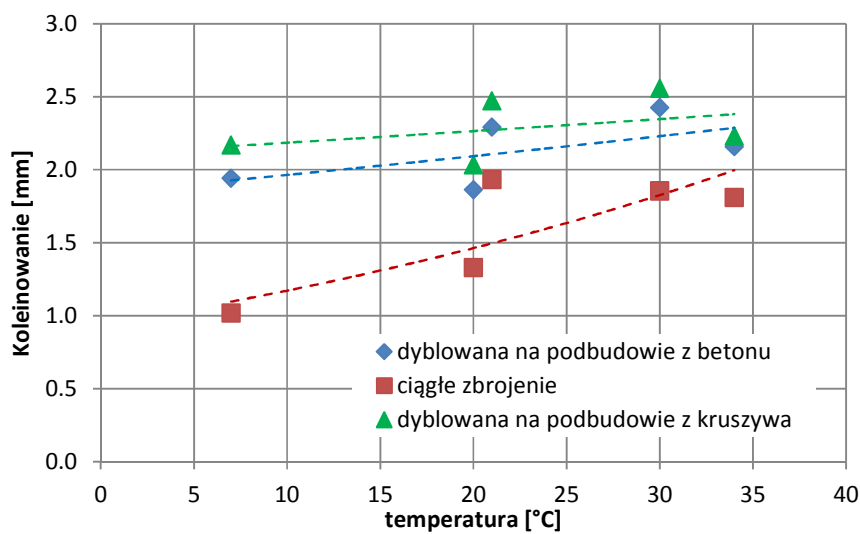
Podobne spostrzeżenia uzyskano dla autostrady A4 na jezdni północnej, na której występują trzy różne typy nawierzchni betonowych (rys. 5.24-5.26). W tym przypadku wyniki rozszerzono o pomiary przy temperaturze 34°C.



Rys. 5.24. Wpływ temperatury na odczyty IRI (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna)



Rys. 5.25. Wpływ temperatury na MPD (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna)



Rys. 5.26. Wpływ temperatury na równość poprzeczną (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna)

Dla badanych trzech typów nawierzchni na jezdni północnej współczynniki zmienności dla IRI, MPD nie przekroczyły 10%. Dla równości poprzecznej (koleiny) uzyskano średnio 17%. Największy współczynnik zmienności otrzymano dla kolein dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu. Dla tej nawierzchni najmniejsze wartości równości poprzecznej 1 mm/m osiągnęły dla temp 7°C. Dla 34°C wartości kolein zbliżone są do pozostałych typów nawierzchni i wynoszą około 2 mm/m.

Warto zaznaczyć, że pomiary zrealizowano dla temperatur w różnych dniach. Przykładowo pomiar dla 20 i 21°C wykonano 05.06.2017 i 28.09.2016. Mimo różnych terminów stwierdzono zgodność wyników dla tych samych miejsc pomiarowych. Różnica wyników nie przekraczała 5%. Należy stwierdzić, że metodę pomiarową z wykorzystaniem urządzenia RSP cechuje dobra odtwarzalność, a wpływ temperatury nie jest istotny na parametry, które uwzględniano w dalszym etapie tj.: IRI i MPD. Reasumując należy stwierdzić, że nie zaobserwowano znaczącego wpływu temperatury na badane parametry typu IRI i MPD.

5.5. Ocena badanych odcinków dróg pod względem równości oraz makrotekstury wg wymagań DSN

W celu dodatkowej weryfikacji jednorodnych odcinków, a w szczególności prawych pasów ruchu, na których przeprowadzono badania hałasu, wykonano ocenę wskaźnika równości oraz makrotekstury wyrażonego wskaźnikiem MTD wg DSN.

W tab. 5.1 – 5.4 zaprezentowano wyniki obliczeń dla autostrady A4.

Tab. 5.1. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A4, pas prawy, jezdni południowa (nawierzchnia na podbudowie z chudego betonu, tekstura poprzeczna)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
10875	66	1	0	58	63	217	8463
Udział procentowy				Udział procentowy			
99.4%	0.6%	0.0%	0.0%	0.7%	0.7%	2.5%	96.2%
średnia	1.210			średnia	0.408		
odchylenie	0.641			odchylenie	0.108		

Tab. 5.2. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A4, pas prawy, jezdni północna (nawierzchnia na podbudowie z kruszywa, tekstura poprzeczna)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
696	288	15	2	67	80	225	9629
Udział procentowy				Udział procentowy			
69.5%	28.8%	1.5%	0.2%	0.7%	0.8%	2.2%	96.3%
średnia	1.668			średnia	0.440		

odchylenie	0.963	odchylenie	0.100
------------	-------	------------	-------

Tab. 5.3. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A4, pas prawy, jezdni północna (nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu, tekstura poprzeczna)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
779	99	2	1	10	12	162	8617
Udział procentowy				Udział procentowy			
88.4%	11.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	1.8%	97.9%
średnia	1.137			średnia	0.420		
odchylenie	0.732			odchylenie	0.075		

Tab. 5.4. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A4, pas prawy, jezdni północna (nawierzchnia na podbudowie z chudego betonu, tekstura poprzeczna)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
1332	162	5	1	87	151	416	14346
Udział procentowy				Udział procentowy			
88.8%	10.8%	0.3%	0.1%	0.6%	1.0%	2.8%	95.6%
średnia	1.161			średnia	0.440		
odchylenie	0.748			odchylenie	0.100		

Stwierdzono, że analizowane nawierzchnie betonowe na A4 charakteryzują się dobrą równością podłużną wynoszącą około 1.0 mm/m i pod tym względem klasyfikują się w klasie A, natomiast pod względem niskiej tekstury około 0.4 mm w klasie D.

W tab. 5.5 i 5.6 pokazano wyniki pomiarów dla drogi S8 dla obu jezdni. Zarówno równość jak i makrotekstura dla tej drogi znajduje się w klasie A.

Tab. 5.5. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla drogi S8, pas prawy, jezdni południowa (nawierzchnia na podbudowie z chudego betonu, tekstura „odkryte kruszywo”)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
6445	1446	73	36	38270	33091	8309	330
Udział procentowy				Udział procentowy			
80.6%	18.1%	0.9%	0.5%	47.8%	41.4%	10.4%	0.4%
średnia	1.391			średnia	1.002		
odchylenie	0.927			odchylenie	0.170		

Tab. 5.6. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla drogi S8, pas prawy, jezdnia północna (nawierzchnia na podbudowie z chudego betonu, tekstura „odkryte kruszywo”)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
5748	1195	89	55	35292	29074	6337	164
Udział procentowy				Udział procentowy			
81.1%	16.9%	1.3%	0.8%	49.8%	41.0%	8.9%	0.2%
średnia	1.388			średnia	1.013		
odchylenie	1.017			odchylenie	0.170		

W tab. 5.7 i 5.8 zaprezentowano wyniki dla autostrady A2. Nawierzchnie betonowe na A2 na obu jezdniach wykonane w technologii „odkrytego kruszywa” zachowują klasę A pod względem równości podłużnej oraz klasę B pod względem makrotekstury.

Tab. 5.7. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A2, pas prawy, jezdnia północna (nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu, tekstura „odkryte kruszywo”)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
857	35	1	4	2202	4882	1867	48
Udział procentowy				Udział procentowy			
95.2%	3.9%	0.1%	0.4%	24.5%	54.3%	20.7%	0.5%
średnia	0.947			średnia	0.911		
odchylenie	0.803			odchylenie	0.138		

Tab. 5.8. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A2, pas prawy, jezdnia południowa (nawierzchnia na podbudowie z chudego betonu, tekstura „odkryte kruszywo”)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
880	61	1	1	3069	5170	1168	8
Udział procentowy				Udział procentowy			
93.3%	6.5%	0.1%	0.1%	32.6%	54.9%	12.4%	0.1%
średnia	1.053			średnia	0.950		
odchylenie	0.649			odchylenie	0.137		

Analizie poddano także autostradę A18, która posiada mocno wyeksploatowaną nawierzchnię, uszkodzone płyty i szczeliny. W tab. 5.9 zaprezentowano wyniki dla autostrady A18 wykonane na jezdni południowej. Stwierdzono, że stan równości podłużnej odpowiada najniższej klasie D, natomiast makrotekstura zachowała praktycznie na granicy klasę A.

Tab. 5.9. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A18, pas prawy, jezdni południowa

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
1838	3737	1663	7429	97275	42188	6438	769
Udział procentowy				Udział procentowy			
12.5%	25.5%	11.3%	50.7%	66.3%	28.8%	4.4%	0.5%
średnia	7.067			średnia	1.088		
odchylenie	5.130			odchylenie	0.188		

Uzupełniające wyniki pomiarów, które przeprowadzono na drodze DK50 (na jezdni północnej, pas prawy) oraz na odcinku autostrady A4 km 51+400 – 62+300 (na jezdni północnej, pas prawy) pokazano odpowiednio w tab. 5.10 i 5.11. Należy dodać, że obie nawierzchnie wykonane były w technologii tekstury podłużnej. Dla obu tych dróg uzyskano klasę A dla równości podłużnej oraz klasę D dla makrotekstury.

Tab. 5.10. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla drogi DK50, pas prawy, jezdni północna (tekstura podłużna)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
31	10	2	1	0	0	1	43
Udział procentowy				Udział procentowy			
70.5%	22.7%	4.5%	2.3%	0.0%	0.0%	2.3%	97.7%
średnia	1.977			średnia	0.432		
odchylenie	1.233			odchylenie	0.052		

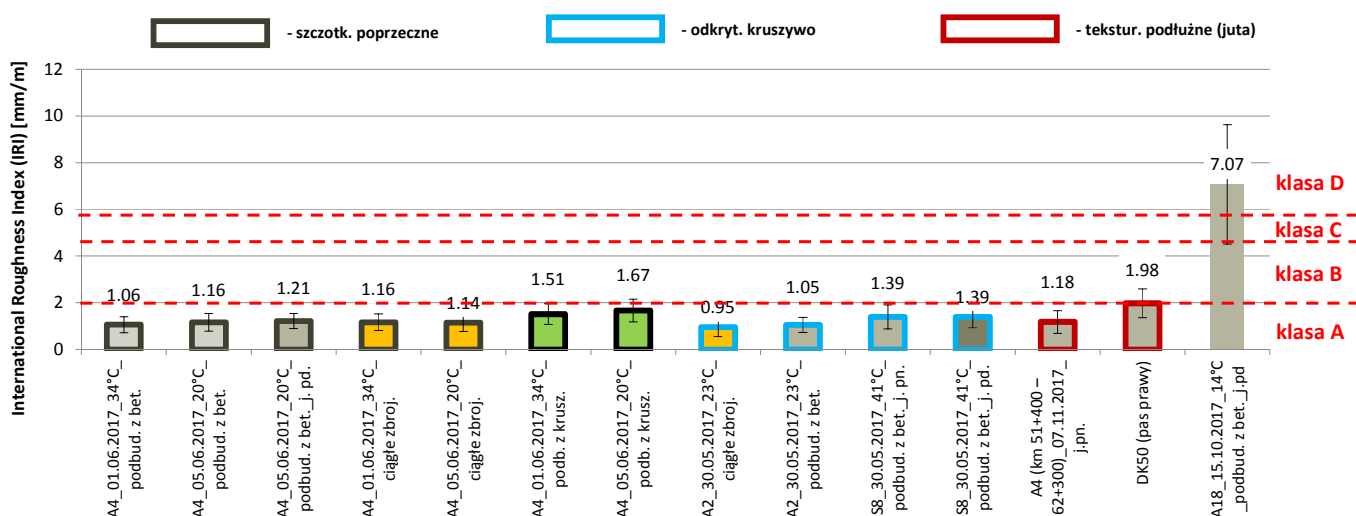
Tab. 5.11. Wyniki wskaźnika IRI oraz MTD dla autostrady A4 km 51+400 – 62+300 , pas prawy, jezdni północna (tekstura podłużna)

Wskaźnik IRI				MTD			
przedziały [mm/m]				przedziały [mm]			
≤ 2.0	2.0 - 4.3	4.4 - 5.7	> 5.7	> 1.0	0.8 - 1.0	0.6 - 0.8	< 0.6
A	B	C	D	A	B	C	D
Liczba Wskaźników				Liczba Wskaźników			
9579	1220	81	62	1908	5624	20087	81792
Udział procentowy				Udział procentowy			
87.5%	11.1%	0.7%	0.6%	1.7%	5.1%	18.4%	74.8%
średnia	1.177			średnia	0.522		
odchylenie	0.973			odchylenie	0.167		

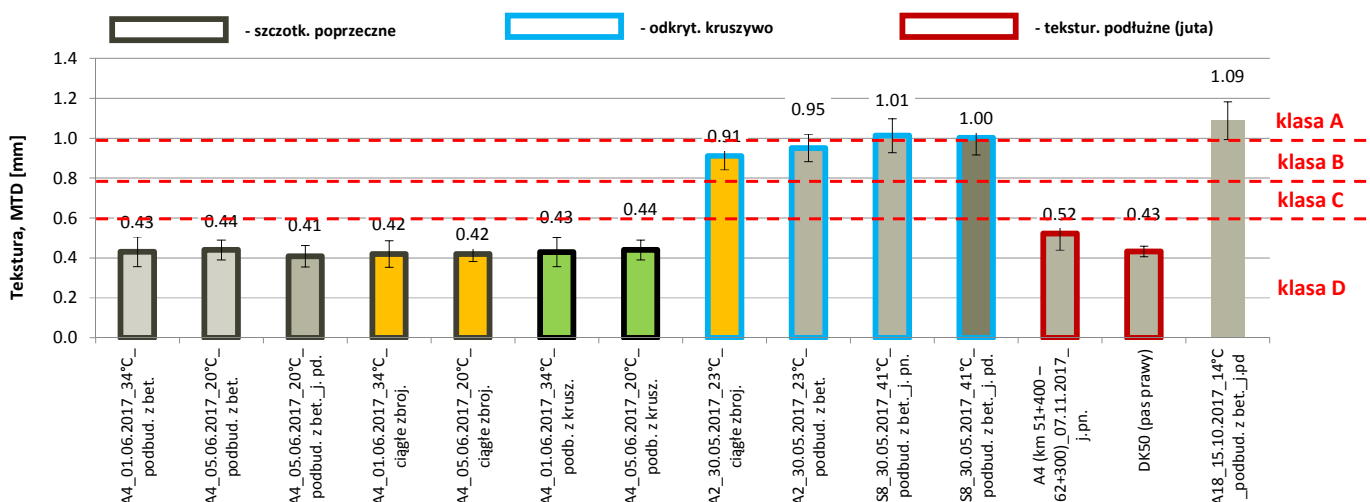
Na rys. 5.27 zestawiono wyniki pomiarów równości podłużnej, wyrażonej wskaźnikiem IRI, a na rys. 5.28 wyniki makrotekstury jako wskaźnik MTD.

Należy zauważyć, że ze względu na równość podłużną wyrażaną wskaźnikiem IRI wszystkie badane drogi znajdują się w klasie A za wyjątkiem zniszczonej i wyeksploatowanej

autostrady A18 na której poziom nierówności sięga 7 mm/m. Podwyższone wskaźniki IRI zbliżające do klasy B zarejestrowano na A4 na nawierzchni z podbudową z kruszywa oraz na DK50. W przypadku makrotekstury wyrażanej przez MTD jeszcze w klasie A (na granicy) znajdują się nawierzchnie na S8 wykonane w technologii „odkrytego kruszywa” oraz nawierzchnia na „starej” A18. W wysokiej jeszcze klasie B, są także nawierzchnie z „odkrytym kruszywem” na autostradzie A2. Pozostałe nawierzchnie dróg na A4 wykonane w technologii tekstury poprzecznej oraz A4 km 51+400 – 62+300 i DK50 posiadające teksturę podłużną klasyfikują się w D. Mimo granicy klas A i B dla technologii „odkrytego kruszywa” można uznać nawierzchnie na S8 i A2 za jednorodne, różnica wartości średnich z odcinków nie przekracza 10%. Podobnie można ocenić pod względem MTD nawierzchnie na A4 wykonane w technologii szczotkowania poprzecznego.



Rys. 5.27. Zestawienie wskaźnika IRI na badanych drogach



Rys. 5.28. Zestawienie wskaźnika MTD na badanych drogach

W dalszych analizach wykorzystano powyższą klasyfikację wg DSN do porównywania nawierzchni ze względu na hałaśliwość z zachowaniem zbliżonych do siebie cech tekstury lub równości podłużnej. W związku z tym, że pomiar hałasu metodą OBSI był wykonywany na długościach 134 m, w analogiczny sposób, jak dla całych odcinków wytypowanych dróg, wykonano obliczenia wskaźników IRI oraz MTD dla krótszych odcinków. Te wyniki wykorzystywane były przy analizach wpływu równości podłużnej i makrotekstury na poziom dźwięku.

5.6. Podsumowanie

Do oceny badania wpływu hałasu wybrano zróżnicowane odcinki badawcze posiadające różne technologie wykończenia górnej powierzchni. Wśród nich znalazły się dwujezdniowe autostrady, drogi ekspresowe oraz jednojezdniowa droga krajowa. Badano nawierzchnie z różnego okresu eksploatacji oraz o różnych podbudowach. Zwrócono uwagę na nawierzchnie ze szczelinami oraz bez szczelin. Analiza odcinków jednorodnych wykonanych na podstawie wstępnych pomiarów tekstury i równości pozwoliła stwierdzić, że dla danego typu drogi oraz wykończenia możliwe jest przeprowadzenie ciągłych (co 134 m) pomiarów natężenia dźwięku metodą OBSI. Ponadto wytypowane odcinki dla każdej z dróg posiadały stałą klasę wg oceny DSN. Prawie wszystkie drogi (za wyjątkiem A18) znalazły się w klasie A wg równości wyrażanej wskaźnikiem IRI, natomiast w klasie A/B wg oceny tekstury wyrażanej wskaźnikiem MTD tylko nawierzchnie nowe (oddane do użytku po roku 2010). Pozostałe posiadały klasę D. Stwierdzono, że temperatura powietrza nie wpływa istotnie na wyniki pomiarów tekstury i równości.

Wizja lokalna zagospodarowania wokół dróg pozwoliła wytypować miejsca do środowiskowego pomiaru hałasu.

6. WPŁYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW NA POZIOM HAŁASU GENEROWANEGO PRZEZ NAWIERZCHNIE BETONOWE

6.1. Wprowadzenie

W niniejszym rozdziale zostaną przedstawione wyniki pomiarów hałasu wykonane metodą OBSI na wybranych i opisanych w p. 5.1 odcinkach pomiarowych. Pomiary prowadzono na odcinkach drogowych w taki sposób ażeby uchwycić wpływ różnych parametrów opisujących cechy powierzchniowe na hałas oraz różnych konstrukcji.. Przeanalizowano następujące elementy wpływające na hałas:

- szczeliny poprzeczne,
- równość podłużną, wyrażoną parametrem IRI,
- makroteksturę, opisaną przez MTD,
- technologie wykończenia górnej powierzchni,
- prędkość pojazdu pomiarowego.

Jeżeli chodzi o makroteksturę to analizowano ją w kontekście różnych metod wykończenia nawierzchni. Wzięto pod uwagę następujące technologie wykończenia nawierzchni, które do dnia dzisiejszego zostały użyte na polskich nawierzchniach betonowych:

- szcztokowanie poprzeczne,
- teksturowanie podłużne (ciągniona juta),
- „odkryte kruszywo”.

Z badań uzyskano wyniki pomiarów hałasu oraz opracowano zależności korelacyjne wymienionych parametrów od poziomu dźwięku. W wyniku dalszych studiów wybrano takie parametry i zależności, które powodują minimalizację poziomu hałasu.

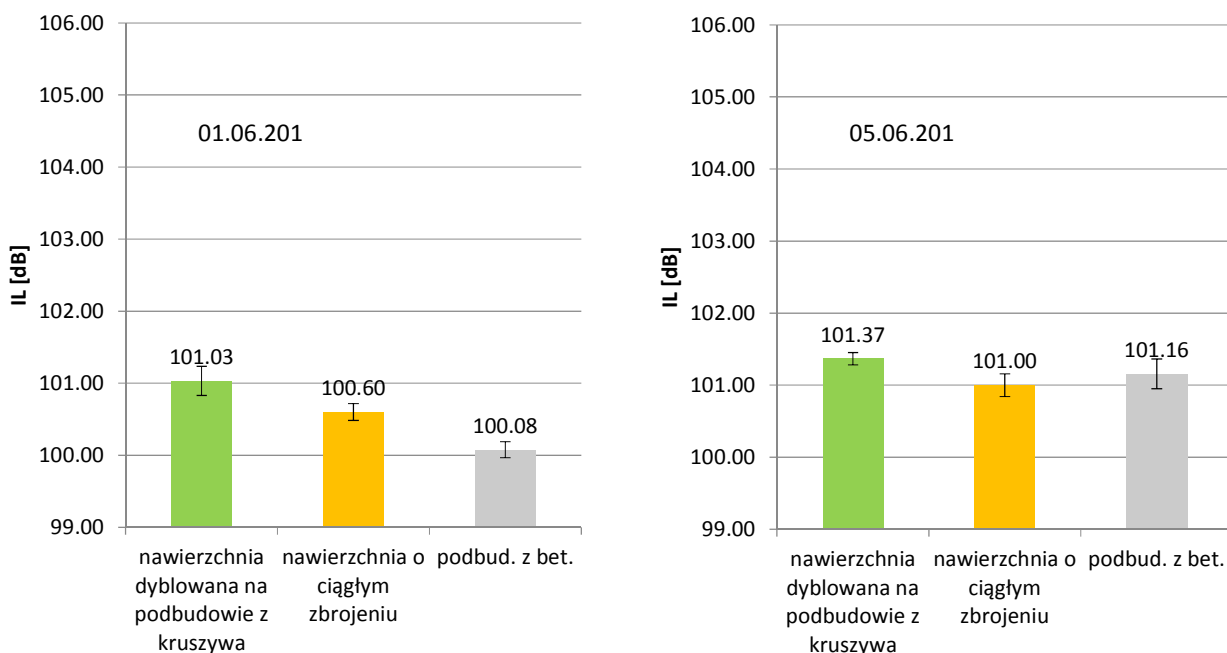
6.2. Wpływ szczelin i sposobu ich wypełnienia

W niniejszym rozdziale zestawiono wybrane wyniki pomiarów hałasu wykonane metodą OBSI na nawierzchniach betonowych. Większość analizowanych nawierzchni betonowych została wykonana w technologii ze szczelinami poprzecznymi. Zrealizowano jednak odcinki w technologii bezdylatacyjnej jako nawierzchnie betonowe o ciągłym zbrojeniu. Do nich należą odcinek A4 na jezdni północnej km 133+850 - 134+860 oraz odcinek A2 na jezdni północnej km 1+000 – 2+000. W obu przypadkach uwzględniono całe odcinki dróg charakteryzujące się różnymi typami konstrukcji. Uwzględniono za to dwa różne dni pomiarowe.

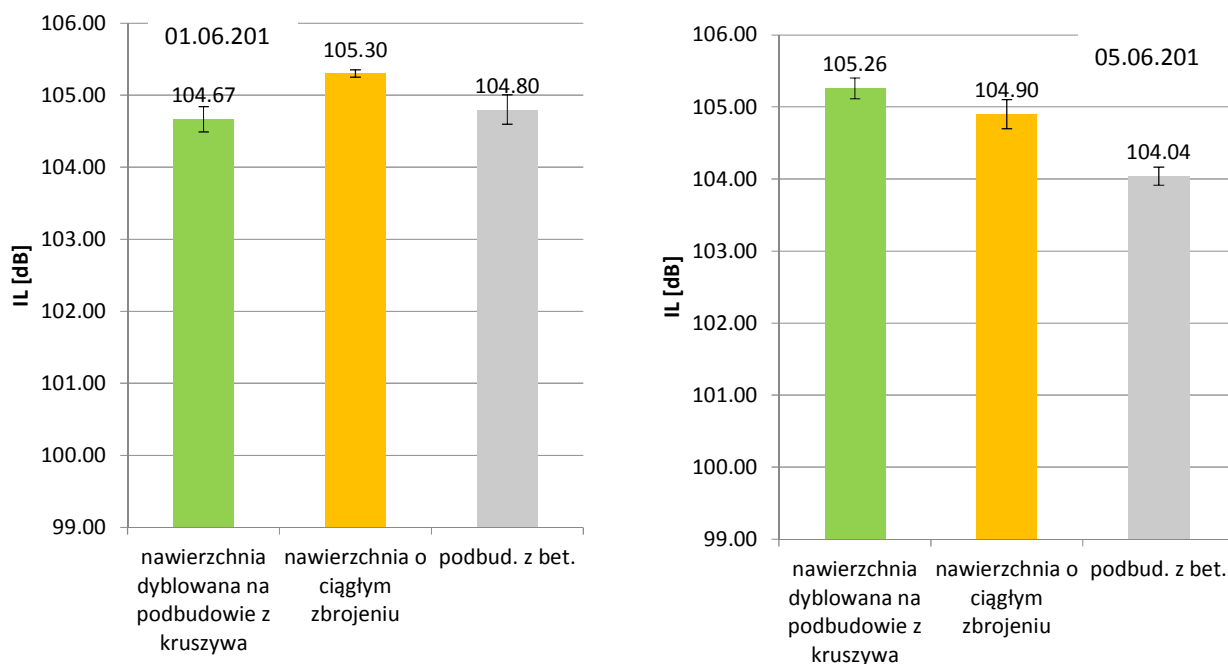
Pierwszej analizie poddano trzy typy konstrukcji nawierzchni na autostradzie A4 posiadające zbliżone wartości wskaźnika IRI oraz MTD. Odniesienie wyników do nawierzchni bezdylatacyjnej stanowiły dwa pozostałe odcinki znajdujące się na tej samej jezdni z dylatacjami o innych konstrukcjach podbudowy. Na rys. 6.1 oraz 6.2 pokazano wartości średnie zrealizowane dla różnych dni dla dwóch prędkości pomiarowych.

Stwierdzono nieznaczne zróżnicowanie poziomu dźwięku dla badanych trzech typów nawierzchni oraz różnych odcinków pomiarowych. Jedynie wyraźną różnicę poziomu dźwięku zauważono pomiędzy dwoma prędkościami: 72 km/h i 97 km/h. Wynosiła ona odpowiednio:

- nawierzchnia dyblowana na podbudowie z kruszywa – 3.8 dB
- nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu – 4.3 dB
- nawierzchnia dyblowana na podbudowie z betonu – 3.8 dB



Rys. 6.1. Wyniki porównawcze wartości średnich dla obu dni pomiarowych (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna) dla prędkości 72 km/h



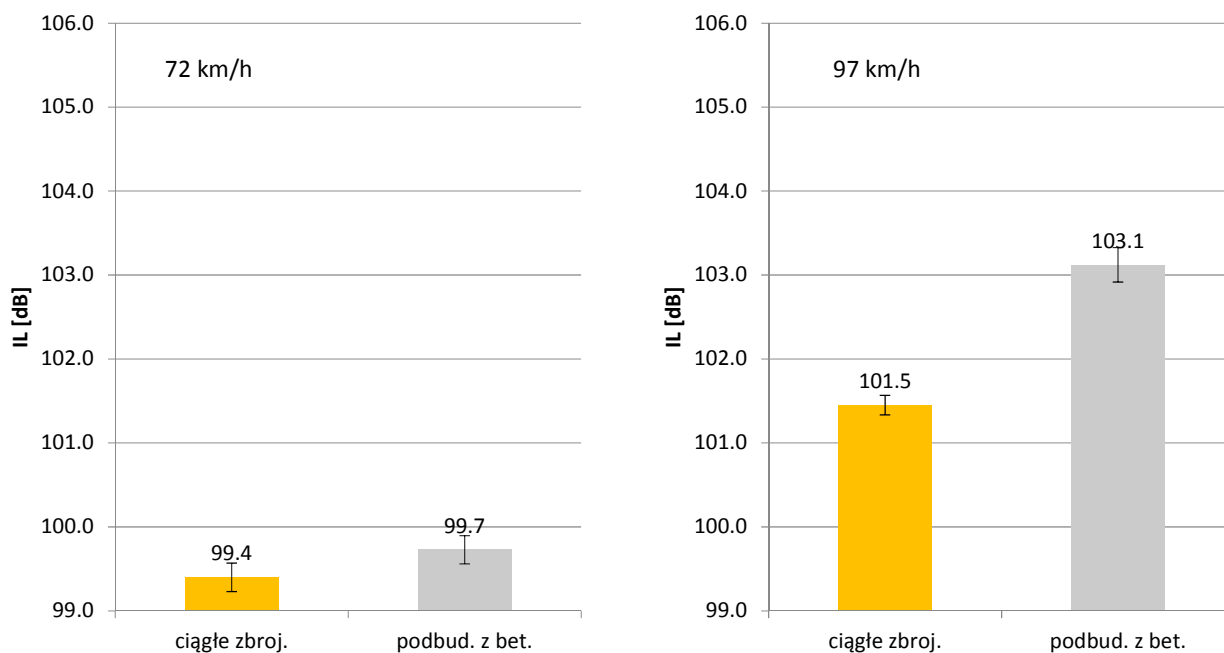
Rys. 6.2. Wyniki porównawcze wartości średnich dla obu dni pomiarowych (autostrada A4, pas prawy, jezdnia północna) dla prędkości 97 km/h

Zarówno dla prędkości 72 km/h jak i wyższej 97 km/h najmniejszy poziom dźwięku uzyskano dla nawierzchni dyblowanej na podbudowie z betonu: średnia z obu dni 100.62 dB (72 km/h) oraz 104.42 dB (97 km/h). Dla prędkości 72 km/h najwyższe poziomy dźwięku uzyskano dla nawierzchni dylatacyjnej na podbudowie z kruszywa (średnia z obu dni 101.20 dB), dla prędkości 97 km/h zbliżone wartości dla nawierzchni na podbudowie z kruszywa (104.96 dB) oraz o ciągłym zbrojeniu (105.10 dB). W związku z tak nieznacznymi zmianami wartości poziomów dźwięku (poniżej 1 dB) należy stwierdzić, że na A4 na nawierzchni o ponad 12 letnim okresie eksploatacji szczeliny dylatacyjne nie wprowadzają dodatkowego zwiększonego poziomu dźwięku. W tym miejscu należy stwierdzić, że na tych odcinkach wykończenie powierzchni było wykonane w technologii szrotkowania poprzecznego.

Nieznacznie większe wartości w poziomie dźwięku uzyskano na A4 jezdni południowej, na której występuje nawierzchnia dylatacyjna na podbudowie z betonu. Należy zaznaczyć, że ta nawierzchnia posiada dłuższy okres eksploatacji od jezdni północnej o 5 lat. Dla tej nawierzchni uzyskano największy poziom dźwięku 105.8 dB (97 km/h). W stosunku do nawierzchni o tej samej konstrukcji na jezdni północnej jest to o około 1.8 dB więcej.

Na autostradzie A2 występują dwa typy konstrukcji. Nawierzchnia bezdylatacyjna znajduje się na jezdni północnej, natomiast, nawierzchnia ze szczelinami na podbudowie z betonu na jezdni południowej.

W przypadku A2 stwierdzono większe wartości poziomu dźwięku na nawierzchni betonowej na podbudowie z betonu w stosunku do nawierzchni o ciągłym zbrojeniu. Dla prędkości 72 km/h są większe o 0.3 dB, natomiast dla prędkości 97 km/h większe o 1.6 dB (rys. 6.3). W porównaniu do poziomu dźwięku na A4 należy zauważyć, że na nawierzchni na A2 uzyskano niższe poziomy dźwięku o średnio od 1 dB do 4 dB. Nawierzchnia na A2 wykonana była w technologii odkrytego kruszywa. Oznacza to, że nawierzchnie betonowe wykonane w tej technologii w większym stopniu „reagują” na szczeliny jeżeli chodzi o hałaśliwość.

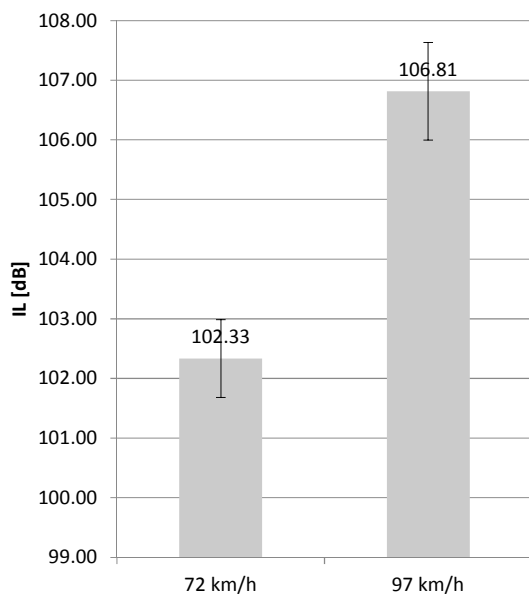


Rys. 6.3. Wyniki porównawcze wartości średnich dla dwóch prędkości (autostrada A2, pas prawy, jezdnia północna i południowa)

Dodatkową analizę przeprowadzono dla mocno zdegradowanej i uszkodzonej nawierzchni autostrady A18. Nawierzchnia wykonana została w starej technologii w roku 1940. Zakres uszkodzeń głównie dotyczących przemieszczeń płyt jest na tyle duży, że klasyfikuje stan nawierzchni w klasie D wg DSN. Średnia wartość wskaźnika IRI przekracza 7 mm/m. Znaczne uszkodzenia szczelin przekraczające już 15 mm (rys. 6.4) spowodowały znaczny wzrost poziomu rejestrowanego dźwięku do średnio 106.81 dB dla prędkości 97 km/h (rys. 6.5). Maksymalną zarejestrowaną wartością było 108.8 dB.



Rys. 6.4. Zidentyfikowane uszkodzenia szczelin (autostrada A18, pas prawy, jezdnia południowa)

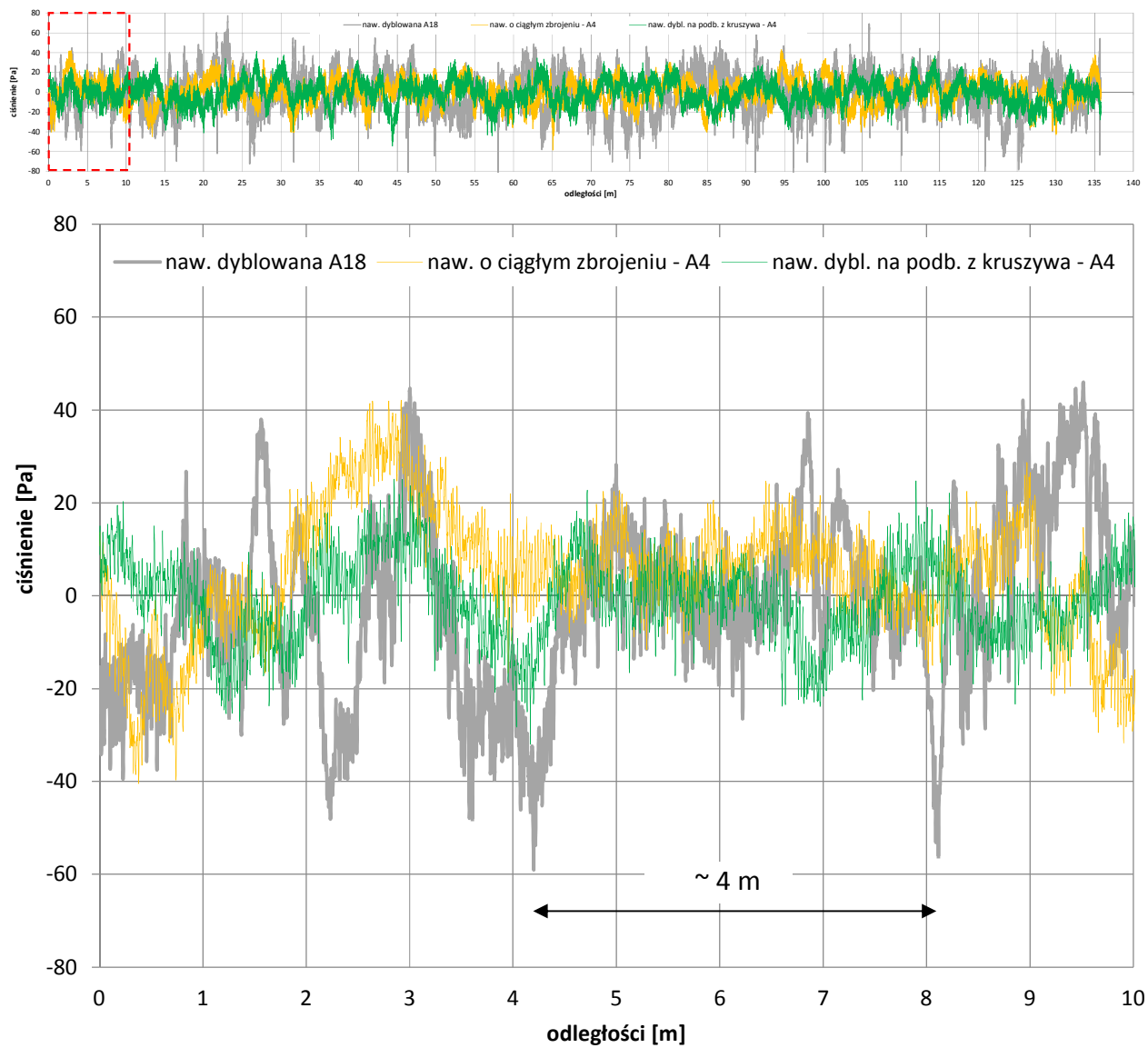


Rys. 6.5. Wyniki porównawcze wartości średnich dla dwóch prędkości (autostrada A18, pas prawy, jezdnia południowa)

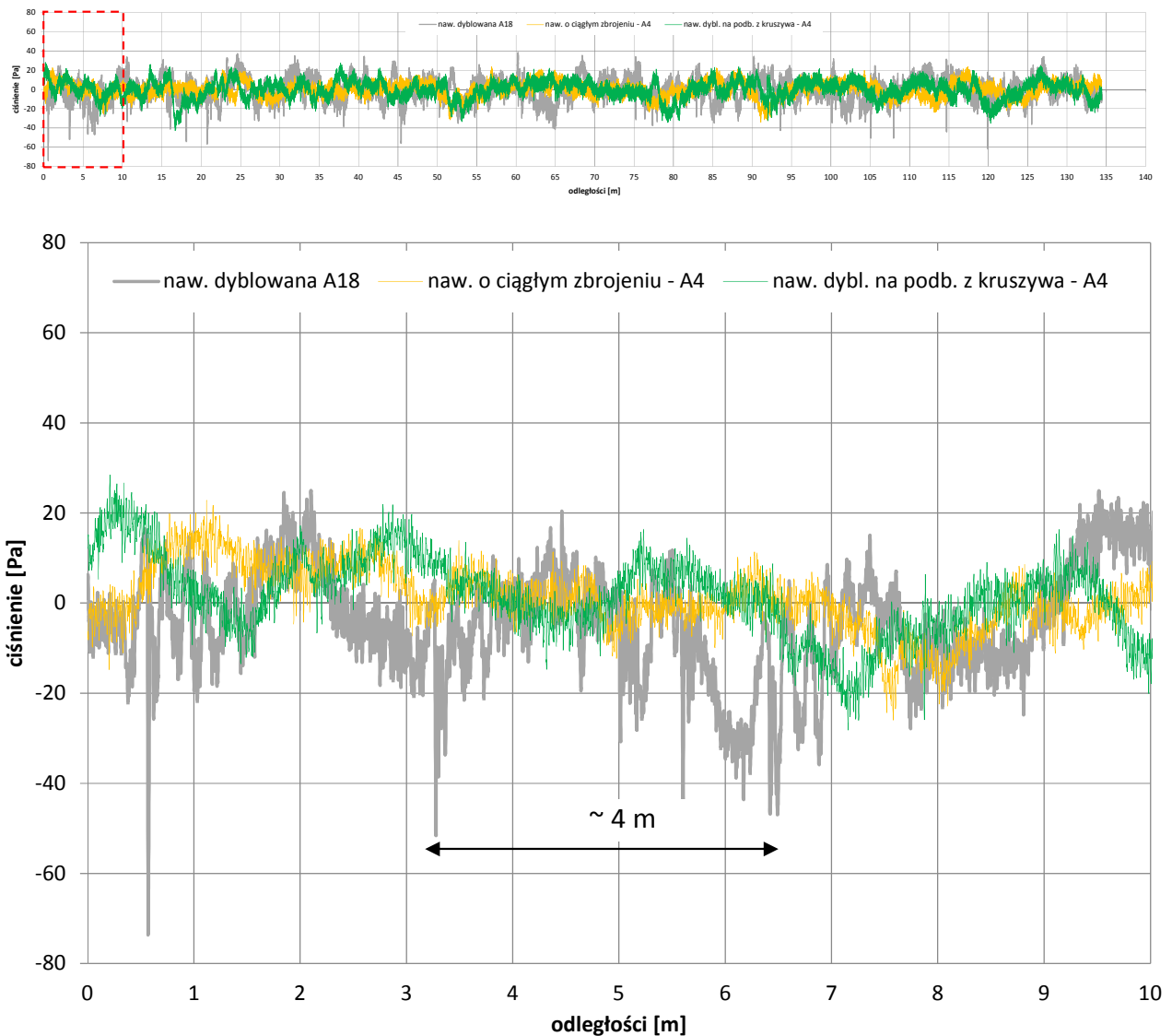
Dodatkową analizę wpływu dylatacji przeanalizowano na podstawie przebiegów czasowych możliwych do uzyskania w pomiarach metodą OBSI. Przeanalizowano wpływ lokalnych nierówności (w tym dylatacji) na wartości ciśnienia dźwięku. W tym celu wykonano analizę dźwięku w krótkich przebiegach z dużym próbkowaniem co około 0.00004 s. Analizę przeprowadzono dla wybranych odcinków na jezdni północnej A4 i A18.

Na rys. 6.6 (prędkość 97 km/h) oraz 6.7 (prędkość 72 km/h) pokazano przebieg ciśnienia dźwięku dla nawierzchni bezdylatacyjnej o ciągłym zbrojeniu (A4), nawierzchni dylatacyjnej na podbudowie z kruszywa (A4) oraz na starej nawierzchni na A18.

Na podstawie tych przebiegów stwierdzono wyraźne powtarzalne „impulsy” wskazujących na istotny wpływ dylatacji na autostradzie A18. Występują one w zakresie od 4 do 5 m. W przypadku nawierzchni na A4 nie są, aż tak widoczne, a przebiegi dla dwóch typów nawierzchni na A4 są podobne do siebie. Dla zarejestrowanego poziomu dźwięku uzyskano odpowiednio następujące odchylenia standardowe: nawierzchnia bezdylatacyjna o ciągłym zbrojeniu (A4): odch. std. = 12.37, nawierzchnia dylatacyjna na podbudowie z kruszywa (A4): odch. std. = 11.74, nawierzchnia na A18: odch. std. = 19.39.

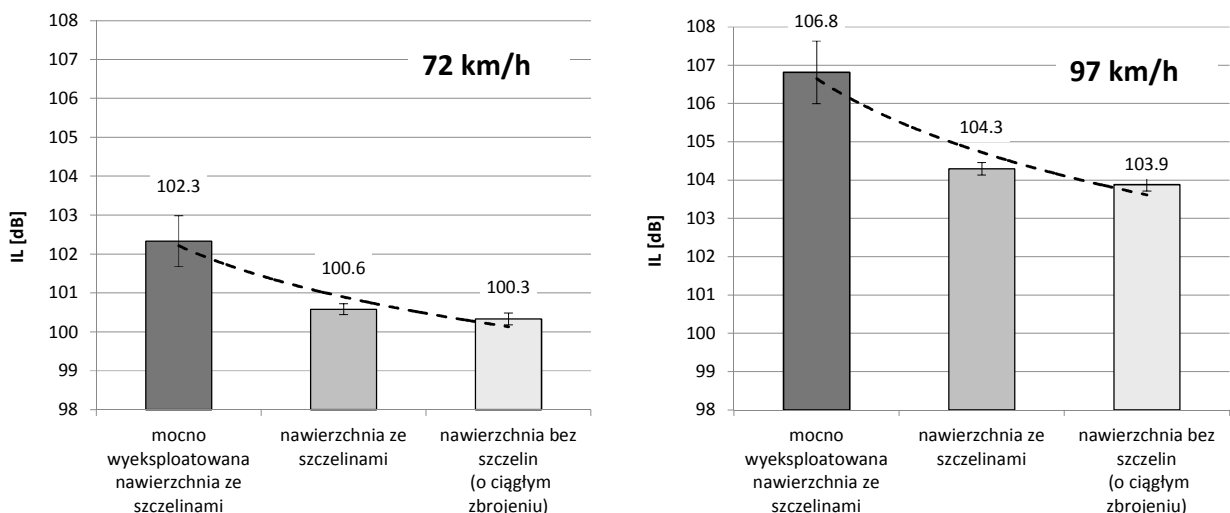


Rys. 6.6. Przebieg ciśnienia dźwięku dla nawierzchni na A4 oraz A18 – prędkość 97 km/h



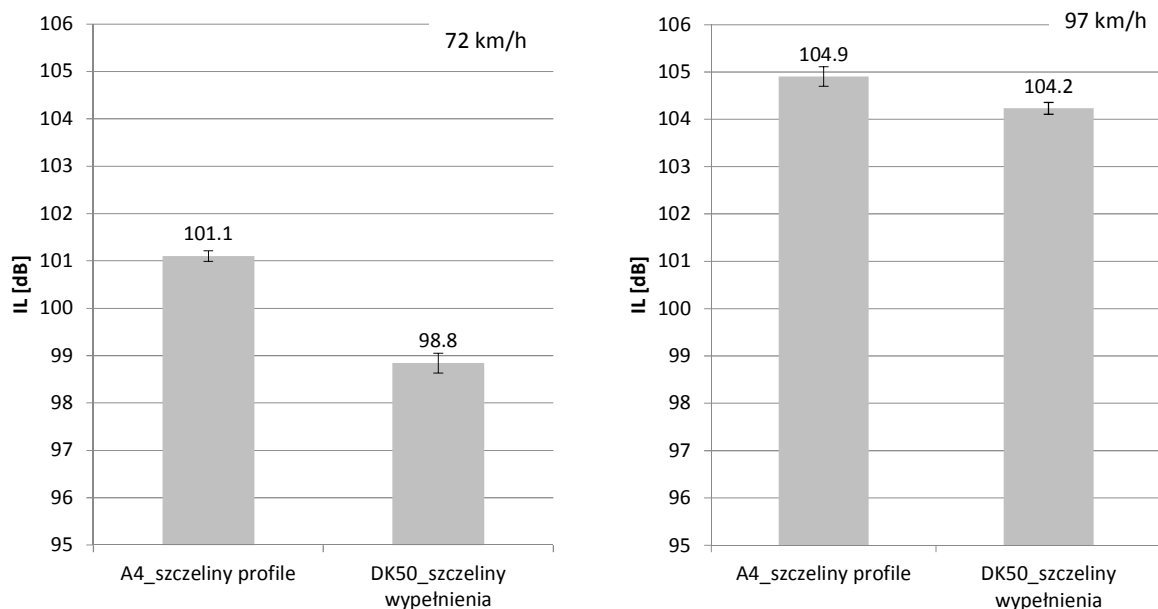
Rys. 6.7. Przebieg ciśnienia dźwięku dla nawierzchni na A4 oraz A18 – prędkość 72 km/h

Na rys. 6.8 zestawiono porównanie różnych badanych nawierzchni betonowych posiadających lub nie posiadających szczelin dylatacyjnych. W zestawieniu uwzględniono odrębnie wyniki dla autostrady A18 z mocno wyeksploatowaną nawierzchnią oraz uśrednione wyniki dla wszystkich badanych nawierzchni ze szczelinami oraz bez szczelin. Należy zauważyć, że nawierzchnie posiadające znaczne uszkodzenia szczelin mogą być przyczyną zwiększonej hałaśliwości w zależności od prędkości.



Rys. 6.8. Porównanie wpływu występowania szczelin dylatacyjnych na poziomy dźwięku dla dwóch prędkości pomiarowych.

Przeprowadzono także analizę porównawczą wyników pomiaru hałasu na nawierzchniach o dwóch rodzajach wypełnienia szczelin poprzecznych: wypełnienie profilami na autostradzie A4 oraz wypełnienie masą zalewową na drodze DK50 (rys. 6.9.). Stwierdzono, dla prędkości pomiarowej 72 km/h występuje niższy poziom dźwięku dla szczelin wypełnionych masą o około 2.3 dB, natomiast w przypadku prędkości 97 km/h, niższy o około 0.7 dB. Należy jednak zaznaczyć, że na autostradzie A4 i DK 50 zastosowano dwie różne metody wykończenia górnej powierzchni i choć obie nawierzchnie posiadają podobne wartości wskaźnika makrotekstury MTD (około 0.43 mm, klasa D wg DSN) to posiadają różne wartości równości podłużnej IRI ($IRI_{A4} = 1.30$ mm/m; $IRI_{DK50} = 1.98$ mm/m, klasa A wg DSN).



Rys. 6.9. Wyniki porównawcze wartości średnich poziomu dźwięku dla nawierzchni autostrady A4 ze szczelinami wypełnionymi profilami oraz nawierzchni drogi DK50 ze szczelinami wypełnionymi masą zalewową

6.2.1. Podsumowanie

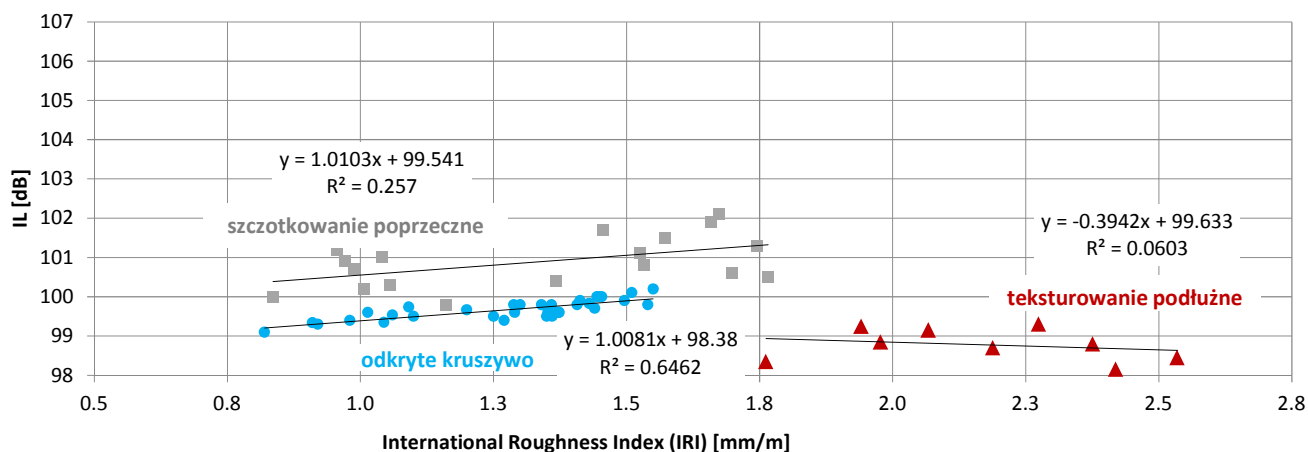
Wykonane pomiary hałasu metodą OBSI na nawierzchniach betonowych pod kątem wpływu szczelin prowadzą do następujących konkluzji:

- na nawierzchniach wykonanych w technologii odkrytego kruszywa bez szczelin dylatacyjnych obserwuje się niższe poziomy hałasu (o ok. 1.7 dB) niż na podobnej nawierzchni ze szczelinami poprzecznymi,
- na nawierzchniach wykonanych w technologii szrotkowania poprzecznego nie zaobserwowano różnic w poziomach dźwięku dla nawierzchni bez szczelin i ze szczelinami,
- wpływ szczelin na generowany poziom hałasu zidentyfikowano na wyeksploatowanych nawierzchniach w których brak jest współpracy pomiędzy płytami w szczelinach oraz występują uskoki między płytami do 8 mm a szerokość szczelin jest większa od 10 mm, dla takich nawierzchni zanotowano wzrost hałasu o ok. 6-7 dB w stosunku do nowej nawierzchni o ciągłym zbrojeniu z „odkrytym kruszywem”
- nie stwierdzono wpływu sposobu wypełnienia szczelin (masa zalewowa, profile) na zmianę poziomu hałasu, (nieznacznie cichsze – w granicach błędu pomiarowego - są szczeliny zalewane masą)
- ogólnie należy stwierdzić, że współcześnie stosowane technologie wykonywania szczelin skurczowych w nawierzchniach betonowych tj. dyblowanie szczelin, szerokość do 8 mm, fazowanie oraz wypełnianie masą zalewową lub profilami nie są w ciągu drogi dodatkowym źródłem hałasu. Wskazują na to także wykonane przez autorów pomiary dźwięku w krótkich przebiegach czasowych 0,00004 s. Mogą być jednak zauważalne nieznacznie różnice (0.3 – 1.6 dB) na nowo wykonanych nawierzchniach z wysokim poziomem tekstury MTD w klasie A w „technologii odkrytego kruszywa”. Na nawierzchniach posiadających teksturę w klasie D różnice w występowaniu szczelin i ich braku nie są zauważalne.

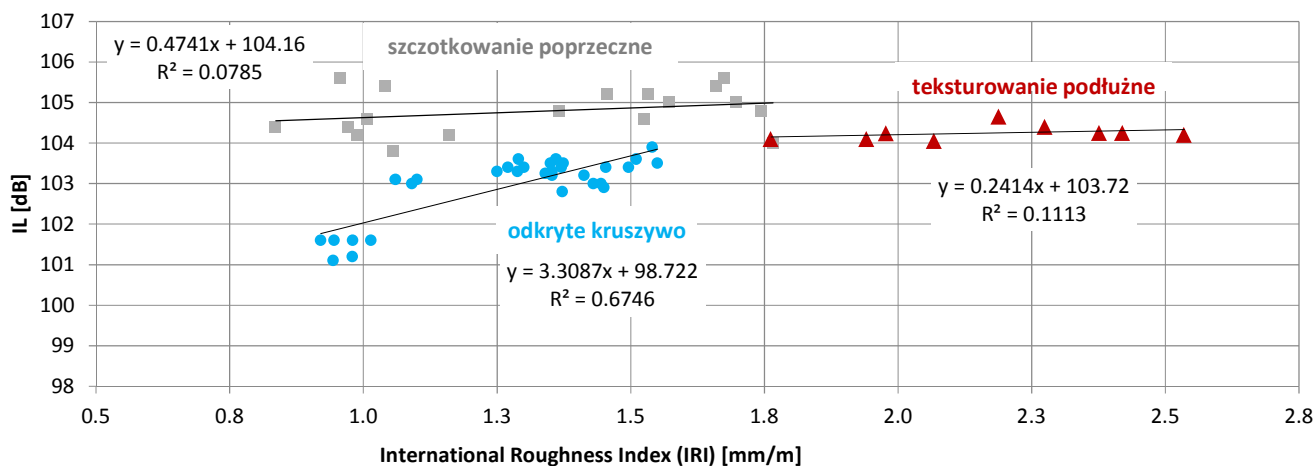
6.3. Wpływ równości podłużnej

Ocenę równości podłużnej przeprowadzono na podstawie wskaźnika IRI zidentyfikowanego dla odcinków o długości 134 m, które odpowiadały odcinkom, na których wykonano pomiar metodą OBSI. Na rys. 6.10 oraz 6.11 zaprezentowano zależność wskaźnika IRI względem poziomu dźwięku uzyskanego metodą OBSI. Wyniki uwzględniają dodatkowo różne typy wykończenia górnej powierzchni oraz różne prędkości pomiarowe.

Warto zauważyć, że dla nawierzchni z „odkrytym kruszywem” uzyskano niskie poziomy dźwięku (około 99.5 dB dla pomiaru przy 72 km/h oraz około 103 dB dla 97 km/h). Najwyższe poziomy także dla obu prędkości występują dla technologii szrotkowania poprzecznego i wynoszą odpowiednio: dla 72 km/h – 101 dB, dla 97 km/h – 105 dB. Dla technologii szrotkowania poprzecznego uzyskuje się o około 2 – 3 dB większe poziomy dźwięku niż dla technologii „odkrytego kruszywa”. Dla teksturowania podłużnego dla prędkości 72 km/h uzyskano poziom dźwięku zbliżony do „odkrytego kruszywa” około 99 dB. Jednak dla 97 km/h już tylko 104 dB.

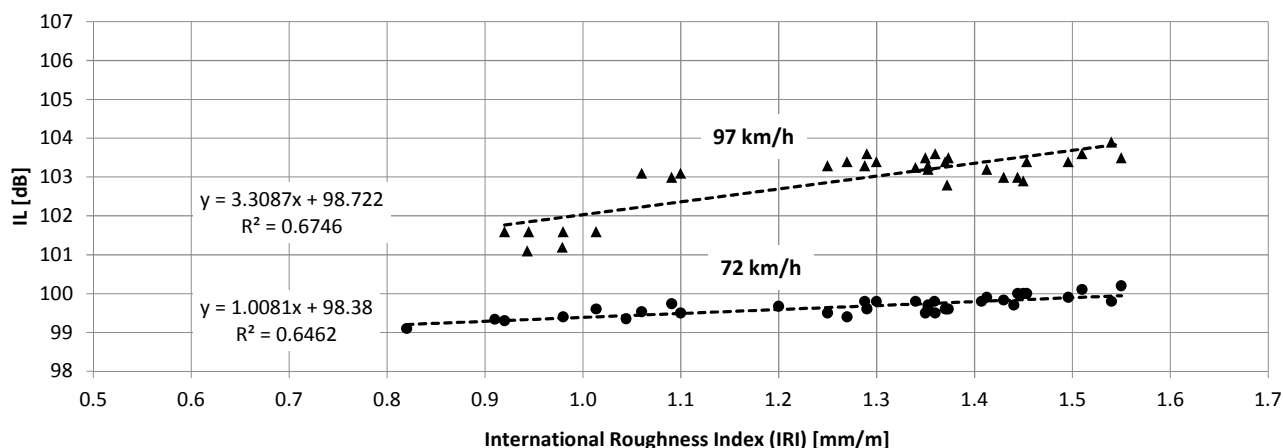


Rys. 6.10. Zależność wskaźnika IRI z wynikami poziomu dźwięku (metoda OBSI dla 72 km/h)



Rys. 6.11. Zależność wskaźnika IRI z wynikami poziomu dźwięku (metoda OBSI dla 97 km/h)

Analizując wyniki pomiarów zestawione na rys. 6.10 oraz 6.11 widać, że wpływ zmiany hałasu dla obu prędkości w funkcji równości obserwuje się dla nawierzchni z odkrytym kruszywem. W przypadku innych sposobów wykończenia powierzchni nawierzchni nie obserwuje się jednoznacznej zmiany poziomu dźwięku w funkcji równości, za wyjątkiem szcztkowania poprzecznego tylko dla 72 km/h. Dalszej analizie poddano zależność wskaźnika IRI i poziomu dźwięku dla „odkrytego kruszywa”. Jest to technologia aktualnie stosowana w kraju. Uzyskano korelacje opisane funkcjami liniowymi podane na rys. 6.12.



Rys. 6.12. Korelacja wskaźnika IRI z wynikami poziomu dźwięku dla „odkrytego kruszywa”.

Zależność (6.1) opisuje zmianę poziomu dźwięku w funkcji równości podłużnej nawierzchni dla prędkości pomiarowej 97 km/h i „odkrytego kruszywa”.

$$IL = 3.3087 IRI + 98.722 \quad (6.1)$$

gdzie: IL – poziom dźwięku, dB,
IRI – równość podłużna, mm/m.

Zależność (6.2) opisuje zmianę poziomu dźwięku w funkcji równości podłużnej nawierzchni dla prędkości pomiarowej 72 km/h i „odkrytego kruszywa”.

$$IL = 1.0081 IRI + 98.380 \quad (6.2)$$

gdzie: IL – poziom dźwięku, dB,
IRI – równość podłużna, mm/m.

Uzyskane zależności wskazują generalnie na tendencję wzrostową poziomu dźwięku względem wzrostu nierówności nawierzchni. Zakres zmienności wskaźnika IRI dla tej tekstury wynosi od 0.8 do 1.55 mm/m. Dla prędkości pomiaru 72 km/h obserwuje się mniejszy wzrost poziomu dźwięku względem wskaźnika IRI. Wynosi on około 1.4 dB / 1mm/m. Natomiast dla prędkości 97 km wzrost jest prawie dwa razy większy i wynosi około 2.6 dB / 1mm/m. Dla tej prędkości stwierdzono mniejszy współczynnik korelacji. Można oczekiwać, że zmiana klasy z A do B wg DSN będzie powodowała zwiększenie poziomu dźwięku o około 3 dB dla prędkości 97 km/h.

6.3.1. Podsumowanie

Przeprowadzone pomiary i analizy wyników wykazały, że obserwuje się zmianę hałasu wraz ze zmianą wskaźnika równości nawierzchni IRI. Wraz ze wzrostem nierówności (zwiększaniem wskaźnika IRI) rośnie poziom hałasu. Zależności te zaobserwowano dla techniki wykończenia nawierzchni w technologii odkrytego kruszywa. Zaproponowano zależności opisane (6.1) oraz (6.2) wskazujące na zmianę hałasu w funkcji nierówności drogi.

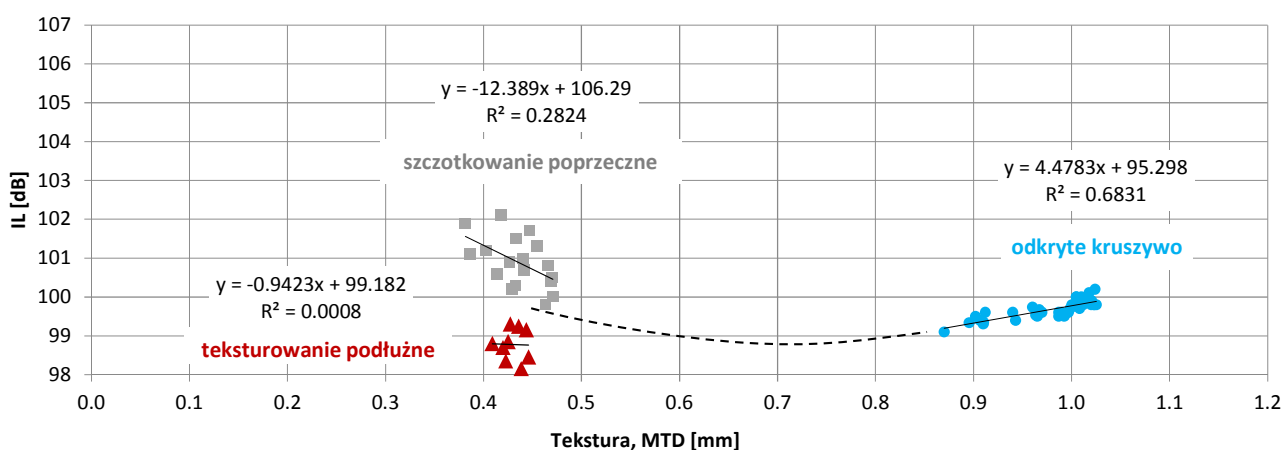
Przeprowadzone badania i analizy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:
- jeżeli wskaźnik równości nawierzchni IRI nie przekroczy 1mm/m to poziom dźwięku nie powinien przekroczyć 99.5 dB dla prędkości 72 km/h oraz 102 dB dla 97 km/h.

- dla prędkości pomiaru 72 km/h obserwuje się mniejszy wzrost poziomu dźwięku względem wskaźnika IRI, wynosi on około 1.4 dB / 1mm/m. Natomiast dla prędkości 97 km wzrost jest prawie dwa razy większy i wynosi około 2.6 dB / 1mm/m.
- zmiana wskaźnika IRI z klasy A do B może spowodować wzrost poziomu dźwięku o ok. 3 dB.

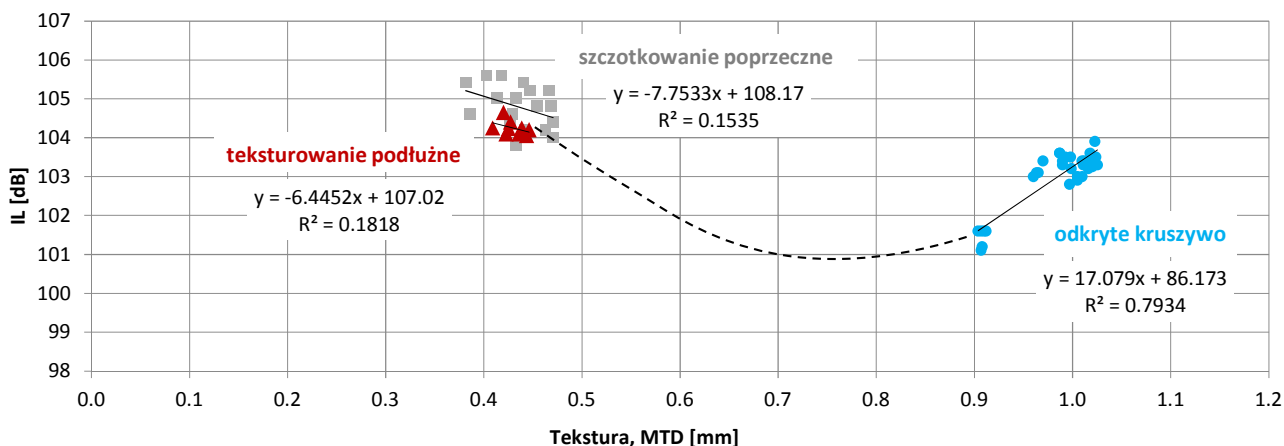
6.4. Wpływ makrotekstury

Ocenę tekstury nawierzchni drogowych przeprowadzono na podstawie wskaźnika MTD. Także w tym przypadku analizowano odcinki o długości 134 m, które odpowiadały odcinkom, na których wykonano pomiar metodą OBSI. Uwzględniając różne sposoby wykończenia górnej powierzchni na rys. 6.13 oraz 6.14 zaprezentowano zależność wskaźnika MTD względem poziomu dźwięku uzyskanego metodą OBSI.

Niezależnie od prędkości pomiarowej, widoczne jest znaczne zróżnicowanie wyników dla różnych tekstur. W jednej grupie znajdują się nawierzchnie wykonane w technologii teksturowania poprzecznego i podłużnego, w drugiej „odkryte kruszywo”. Niewątpliwie jest to związane z znacznym zróżnicowaniem wartości wskaźnika MTD dla tych tekstur. W pierwszym zakresie od 0.4 do 0.5 mm uzyskiwane są wysokie poziomy dźwięku (104 – 106 dB), głównie dla prędkości 97 km/h. W drugim zakresie tekstury od 0.9 do 1.05 mm, którą charakteryzuje się „odkryte kruszywo” występują poziomy 101 – 104 dB (97 km/h) i 99 – 100 (72 km/h).

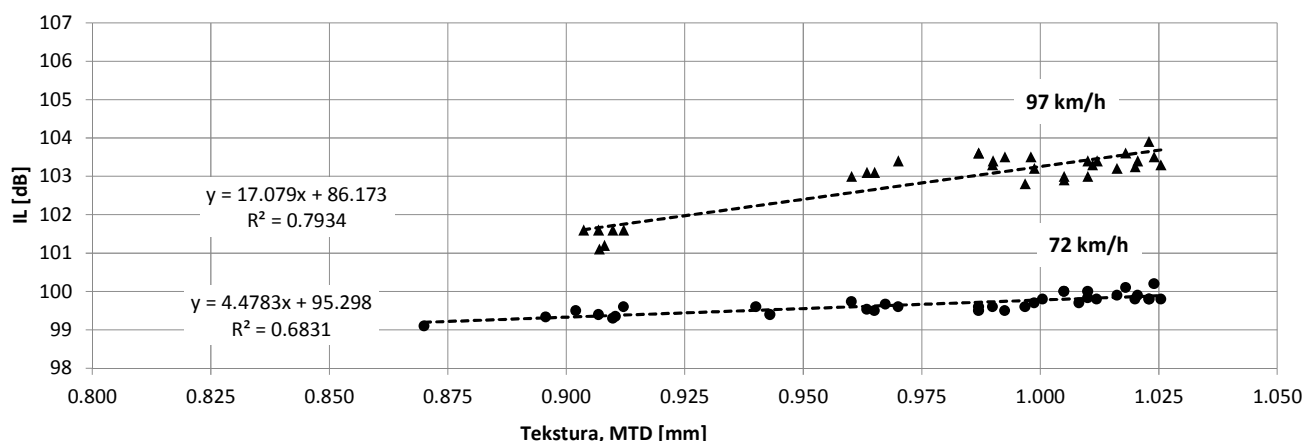


Rys. 6.13. Zależność wskaźnika MTD z wynikami poziomu dźwięku (metoda OBSI dla 72 km/h)



Rys. 6.14. Zależność wskaźnika MTD z wynikami poziomu dźwięku (metoda OBSI dla 97 km/h)

Dla wybranej tekstury „odkrytego kruszywa” dla obu prędkości pomiarowych opracowano korelacje pokazane na rys. 6.15.



Rys. 6.15. Korelacja wskaźnika MTD z wynikami poziomu dźwięku dla „odkrytego kruszywa”.

Zależność (6.3) opisuje zmianę poziomu dźwięku w funkcji tekstury nawierzchni dla prędkości pomiarowej 97 km/h.

$$IL = 17.079 \text{ MTD} + 86.173 \quad (6.3)$$

gdzie: IL – poziom dźwięku, dB,
MTD – makrotekstura, mm.

Zależność (6.4) opisuje zmianę poziomu dźwięku w funkcji równości podłużnej nawierzchni dla prędkości pomiarowej 72 km/h.

$$IL = 4.4783 \text{ MTD} + 95.298 \quad (6.4)$$

gdzie: IL – poziom dźwięku, dB,
MTD – makrotekstura, mm.

Stwierdza się praktycznie stały wzrost poziomu dźwięku względem wzrostu wskaźnika MTD. Zakres zmienności wskaźnika MTD wynosi od 0.875 do 1.025 mm. A zakres zmian

poziomu dźwięku wynosi odpowiednio: dla 72 km/h od 99 do 100 dB, natomiast dla 97 km/h od 101 do 104 dB. Zatem dla prędkości pomiaru 72 km/h obserwuje się mniejszy wzrost poziomu dźwięku względem wskaźnika MTD wynoszący około 2.9 dB / 1mm. Natomiast dla prędkości 97 km wzrost jest prawie dwa razy większy i wynosi około 5.7 dB / 1mm/m.

Na podstawie zaprezentowanych wyników, można stwierdzić, że dla technologii „odkrytego kruszywa”, każda zmiana stanu nawierzchni wynikająca ze zmiany tekstury o jedną klasę wg DSN będzie odpowiadać zmianie poziomu dźwięku o około 1 dB (dla 72 km/h) oraz 2.5 dB (dla 97 km/h). Przy wyższych prędkościach eksploatacyjnych (np. 130km/h) taka zamiana może wynosić nawet 4 dB.

6.4.1. Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym punkcie wyniki pomiarów wskazują, że poziom hałasu zmienia się wraz ze zmianą makrotekstury. Zmiana ta jest zróżnicowana. Analizując wyniki pomiarów widać, że dla niskich wartości makrotekstury MTD w granicach 0.4 do 0.5 mm poziom hałasu jest wysoki. Odnosi się to m.in. do teksturowania poprzecznego i podłużnego. Dla makrotekstury MTD z przedziału 0.85 – 0.9 poziom hałasu zaczyna wzrastać, odnosi się to do makrotekstury odkrytego kruszywa. Oznacza to, że makrotekstura z przedziału 0.7 – 0.8 posiada prawdopodobnie najniższe poziomy hałasu. Przeprowadzone badania i analizy pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- z przeprowadzonych badań i analiz należy wnioskować, że istnieje optymalny przedział makrotekstury, wyrażonej wskaźnikiem MTD dla którego można zarejestrować minimalny (optymalny) poziom hałasu. Przedział ten oscyluje w przedziale 0.7 – 0.8,
- na podstawie zaprezentowanych wyników, można stwierdzić, że dla technologii „odkrytego kruszywa”, każda zmiana stanu nawierzchni wynikająca ze zmiany tekstury o jedną klasę wg DSN będzie odpowiadać zmianie poziomu dźwięku o około 1 dB (dla 72 km/h) oraz 2.5 dB (dla 97 km/h). Przy wyższych prędkościach eksploatacyjnych (np. 130km/h) taka zamiana może wynosić nawet 4 dB.

6.5. Wnioski

Na podstawie przedstawionych w niniejszym rozdziale wyników badań i ich analiz można sformułować następujące wnioski:

- na nawierzchniach wykonanych w technologii „odkrytego kruszywa” i nawierzchni bez szczelin dylatacyjnych obserwuje się niższe poziomy hałasu (o ok. 1.6 dB) niż na podobnej nawierzchni ze szczelinami poprzecznymi,
- ogólnie należy stwierdzić, że na nawierzchniach z niskim poziomem makrotekstury (MTD poniżej 0,4 mm) współcześnie stosowane technologie wykonywania szczelin skurczowych w nawierzchniach betonowych tj. dyblowanie szczelin, szerokość do 8 mm, fazowanie ich oraz wypełnianie masą zalewową lub profilami nie są w ciągu drogi dodatkowym źródłem hałasu. Wskazują na to wykonane przez autorów pomiary dźwięku w krótkich przebiegach czasowych 0,00004 s,
- nie stwierdzono istotnego wpływu sposobu wypełnienia szczelin (masa zalewowa, profile) na zmianę poziomu hałasu (nieznacznie cichsze są szczeliny wypełniane masą),
- wpływ szczelin na generowany poziom hałasu zidentyfikowano na wyeksploatowanych nawierzchniach w których brak jest współpracy pomiędzy płytami w szczelinach oraz występują uskoki między płytami do 8 mm a szerokość szczelin jest większa od 10 mm, dla takich nawierzchni zanotowano wzrost hałasu o ok. 6-7 dB, w stosunku do nowej nawierzchni o ciągłym zbrojeniu z „odkrytym kruszywem”

-
- obserwuje się zmianę hałasu wraz ze zmianą wskaźnika równości nawierzchni IRI. Wraz ze wzrostem nierówności (zwiększaniem wskaźnika IRI) rośnie poziom hałasu. Zależności te zaobserwowano dla techniki wykończenia nawierzchni w technologii „odkrytego kruszywa”.
 - jeżeli wskaźnik równości nawierzchni IRI nie przekroczy 1mm/m to poziom dźwięku nie powinien przekroczyć 99.5 dB dla prędkości 72 km/h oraz 102 dB dla 97 km/h.
 - dla prędkości pomiaru 72 km/h obserwuje się mniejszy wzrost poziomu dźwięku względem wskaźnika IRI, wynosi on około 1.4 dB / 1mm/m. Natomiast dla prędkości 97 km wzrost jest prawie dwa razy większy i wynosi około 2.6 dB / 1mm/m.
 - zmiana wskaźnika IRI z klasy A do B może spowodować wzrost poziomu dźwięku o ok. 3 dB,
 - poziom hałasu zmienia się wraz ze zmianą makrotekstury z przeprowadzonych badań i analiz należy wnioskować, że istnieje optymalny przedział makrotekstury, wyrażonej wskaźnikiem MTD dla którego można zarejestrować minimalny (optymalny) poziom hałasu. Przedział ten oscyluje w przedziale 0.7 – 0.8,
 - na podstawie zaprezentowanych wyników, można stwierdzić, że dla technologii „odkrytego kruszywa”, każda zmiana stanu nawierzchni wynikająca ze zmiany tekstury o jedną klasę wg DSN będzie odpowiadać zmianie poziomu dźwięku o około 1 dB (dla 72 km/h) oraz 2.5 dB (dla 97 km/h). Przy wyższych prędkościach eksploatacyjnych (np. 130 km/h) taka zamiana może wynosić nawet 4 dB.

7. BADANIA TEKSTURY, WSPÓŁCZYNNIKA TARCIA ORAZ POŚLIZGU

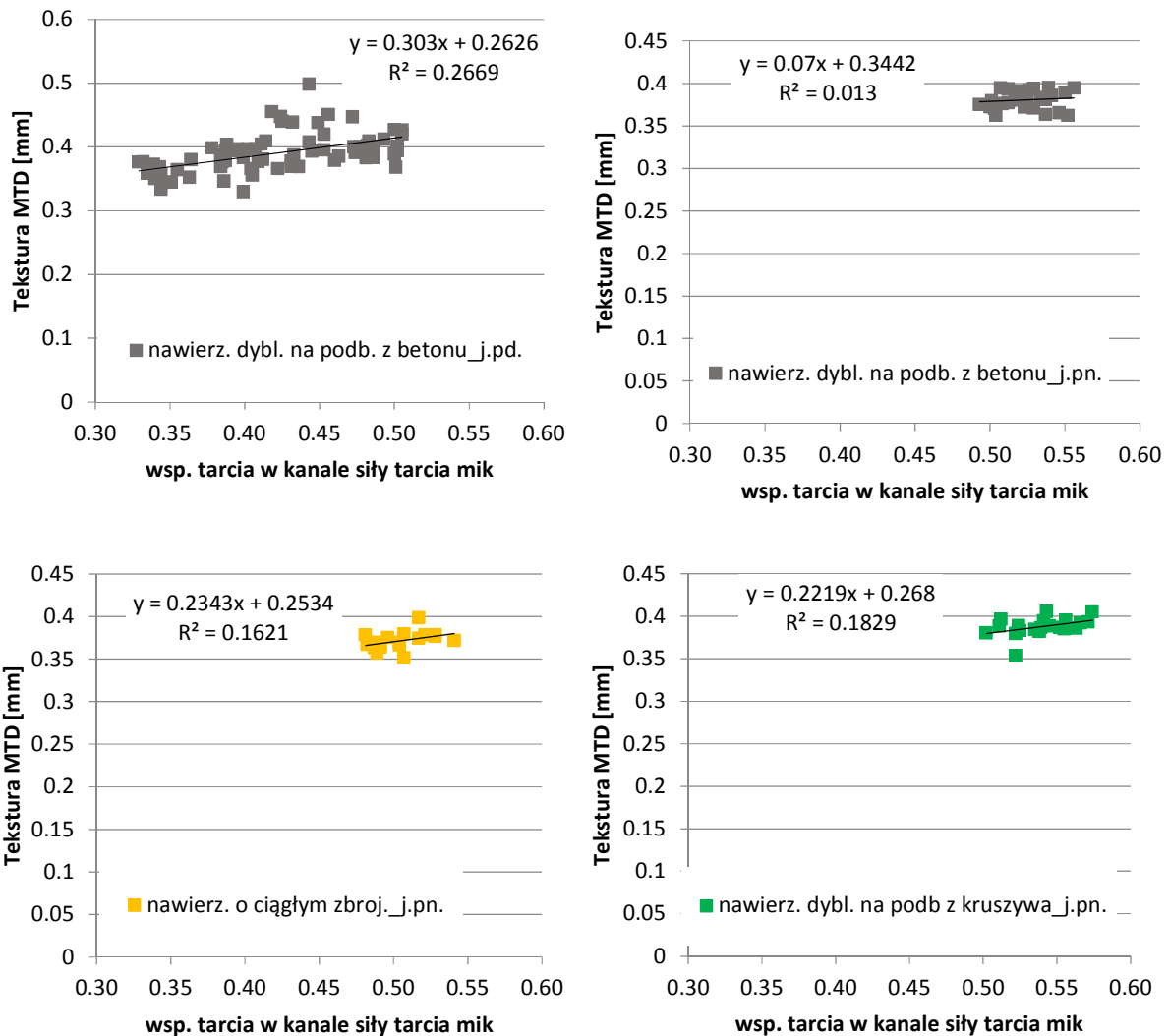
7.1. Wprowadzenie

W rozdziale przedstawiono wyniki badań korelacyjnych tekstury i tarcia. W związku z uzyskaniem niskiego poziomu hałasu dla technologii odkrytego kruszywa dla makrotekstury 1 mm i poniżej, przeprowadzono dodatkowo badania tarcia na nawierzchniach wg metody SRT-3 w celu uzyskania informacji czy przy makroteksturze 1 mm można uzyskać wymagane współczynniki tarcia. Ponadto w rozdziale przedstawiono wyniki badań poślizgu w laboratorium za pomocą testu PTV na próbkach wyciętych z nawierzchni, na których prowadzono badania hałasu o różnej teksturze wykończenia. Przeprowadzono korelację wyników PTV z poziomem hałasu. Dodatkowo wykonano testy PTV na próbkach o teksturze jak nie była badana in situ tj. o rokowaniu podłużnym i poprzecznym.

7.2. Analiza wyników badań tekstury oraz tarcia

Szczególną analizę przeprowadzono dla wyników badań tekstury uzyskanych w urządzeniu RSP oraz wyników badania tarcia za pomocą SRT-3 (dla 60 km/h). Próby badawcze przeprowadzono na drogach: A4, A2, S8, oraz DK50.

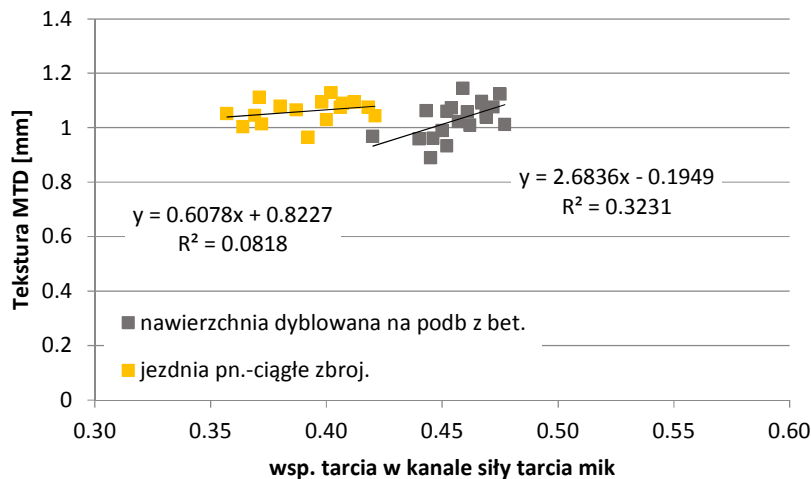
W przypadku autostrady A4 (rys. 7.1) największe zróżnicowanie pomierzonej wartości współczynnika tarcia (od 0.33 do 0.51) stwierdzono na jezdni południowej posiadającej podbudowę z betonu oraz najdłuższy okres eksploatacji (od 2000 roku). Odpowiadał on zmianie tekstury MTD od 0.32 do 0.5 mm. Mniejsze zróżnicowanie stwierdzono dla tego samego typu nawierzchni, ale na jezdni północnej, na której analizowano także dwa inne typy nawierzchni.



Rys. 7.1. Korelacja tarcia (z badania SRT) z teksturą MTD (badanie RSP) – autostrada A4

Mimo, iż widoczny jest trend wzrostowy to należy stwierdzić, że dla autostrady A4 nie uzyskano stosunkowo dużych wartości współczynnika determinacji dla korelacji pomiędzy współczynnikiem tarcia oraz teksturą. Fakt ten można wytłumaczyć małym zakresem zmienności współczynnika tarcia mieszczącym się praktycznie w dwóch klasach wg oceny DSN A i B. Najniższą wartość współczynnika tarcia uzyskano na nawierzchni autostrady A4 – jezdni południowa o 5 lat dłuższym okresie eksploatacji niż jezdni północna (0.35 – 0.5). Warto zwrócić uwagę również na fakt, że na jezdni północnej współczynnik tarcia oscyluje wokół wartości 0.5 a tekstura MTD osiąga wartości z przedziału 0.35-0.40. Czyli współczynnik tarcia jest w klasie A, a tekstura w klasie D.

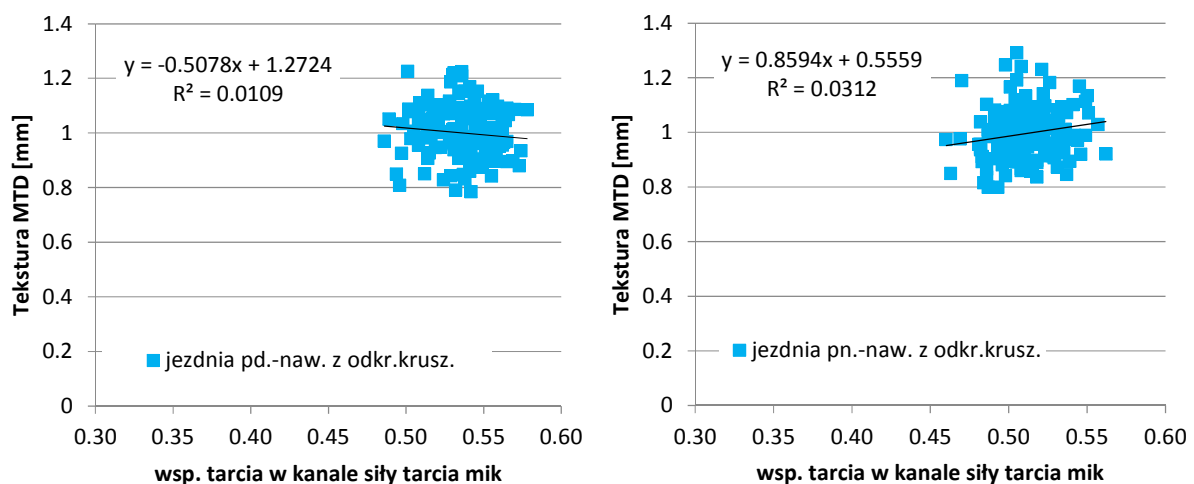
Dla autostrady A2 zestawienie wyników uzyskanych dla współczynnika tarcia i tekstury MTD przedstawiono na rys. 7.2.



Rys. 7.2. Korelacja tarcia (z badania SRT) z teksturą MTD (badanie RSP) – autostrada A2

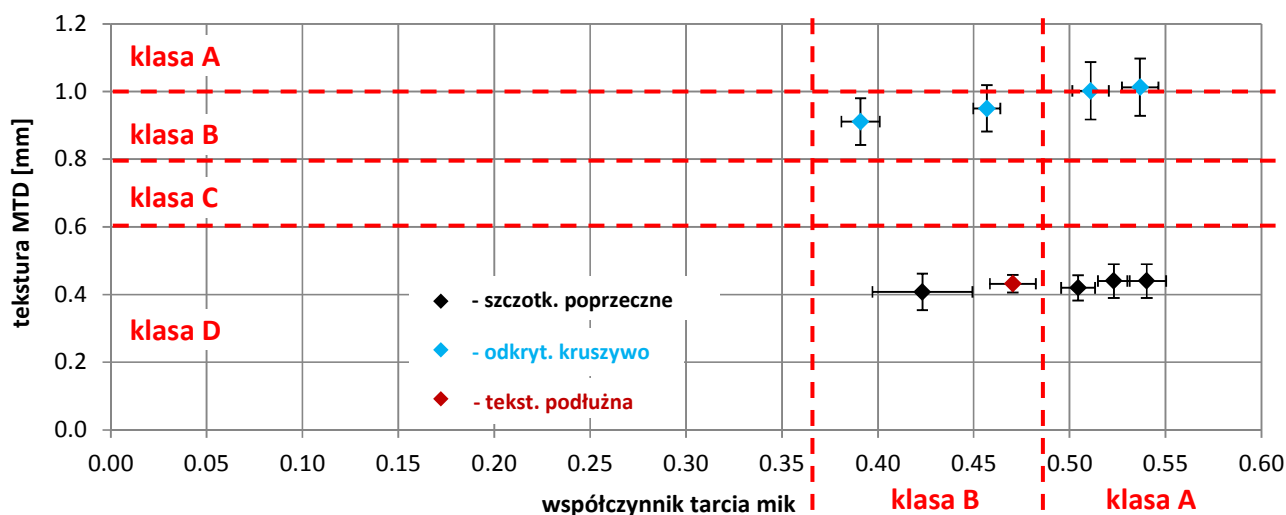
Stwierdzono stosunkowo małą korelację (największa korelacja dla nawierzchni z podbudową na betonie na jezdni południowej). Wraz ze wzrostem wartości współczynnika tarcia wzrasta nieznacznie wartość tekstury. Średnia wartość współczynnika tarcia na jezdni południowej wyniosła 0.46 natomiast na jezdni północnej 0.39.

Podobne analizy przeprowadzono dla nawierzchni na drodze ekspresowej S8 wykonanej w technologii „odkrytego kruszywa”. Zarówno dla jezdni północnej jak i południowej, tekstury MTD nie stwierdzono wyraźnych korelacji (rys. 7.3). Wartości współczynnika tarcia wahały się od 0.46 do 0.58, natomiast wartość MTD od 0.8 do 1.2 mm.



Rys. 7.3. Korelacja tarcia (z badania SRT) z teksturą MTD (badanie RSP) – droga ekspresowa S8 – jezdnie południowa

Na rys. 7.4 pokazano kompleksowe zestawienie wyników tekstury MTD w badaniu RSP oraz tarcia w badaniu SRT-3 z uwzględnieniem klasyfikacji wg DSN. Pokazano wartości średnie oraz odchylenia standardowe z różnych odcinków badawczych, uwzględniono dodatkowo wyniki dla DK50 o teksturze podłużnej. Nie ma jednak w analizowanych – stosunkowo wąskich zakresach pożądanych korelacji. Można ewentualnie zauważyć nieznaczny trend wzrostu tarcia względem tekstury dla technologii „odkrytego kruszywa”. Dla nawierzchni drogi A2 zarówno tekstura jak i tarcie znajduje się w klasie B, a dla nawierzchni drogi ekspresowej S8 oba parametry w klasie A.

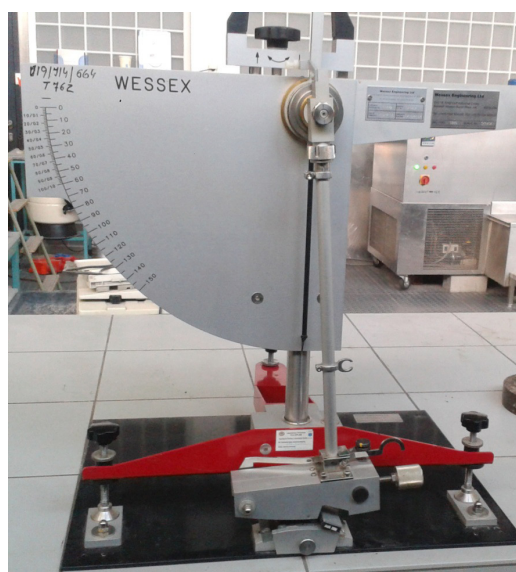


Rys. 7.4. Korelacja wyników tekstury MTD w badaniu RSP oraz tarcia w badaniu SRT-3 (wszystkie nawierzchnie)

Można stwierdzić, że występuje mała wrażliwość współczynnika tarcia mierzonego za pomocą urządzenia SRT-3 na teksturę badaną z wykorzystaniem RSP. Wskaźnik tekstury MTD rozróżnia nawierzchnie ze względu na okres eksploatacji. Dla pojedynczych odcinków zauważalny jest nieznaczny trend wzrostu wartości tekstury wraz ze wzrostem współczynnika tarcia. Jednakże można również zauważyć, że dla technologii „odkrytego kruszywa” przy makroteksturze 1 mm jest możliwe uzyskanie wymaganego współczynnika tarcia ($\geq 0,49$).

7.3. Badania poślizgu i polerowalności kruszyw w laboratorium

Poza analizą badania tarcia oraz tekstury, dokonano oceny zmienności polerowalności wybranych kruszyw drogowych oraz różnych typów tekstur nawierzchni betonowej z wykorzystaniem wahadła angielskiego BSRT (British Portable Skid Resistance Tester) (rys. 7.5).



Rys. 7.5. Wahadło angielskiego BSRT (British Portable Skid Resistance Tester)

Wśród badanych kruszyw uwzględniono trzy rodzaje: amfibolit, wapień oraz granit (rys. 7.6).



Rys. 7.6. Próbkki badawcze trzech rodzajów kruszywa (od lewej): amfibolit, wapień oraz granit

Odporność na poślizg nawierzchni zmienia się w okresie eksploatacji podobnie jak tekstura. Już we wczesnym okresie eksploatacji w zależności od typu kruszywa mogą znacząco pogorszyć się parametry związane z poślizgiem. Po tym okresie może nastąpić okres stabilizacji i ustąpienie dalszych zmian. Pod koniec okresu eksploatacji może nastąpić gwałtowna degradacja w wyniku wykruszeń i oddziaływania czynników atmosferycznych.

Kruszywo w warstwach konstrukcji nawierzchni narażone jest na zmianę temperatury powietrza a to wpływa na jego parametry mechaniczne. W wyniku efektu zamrażania-rozmrażania pojedyncze ziarna kryształu mineralnego są usuwane z powodu odpryskiwania i mikrotekstura na powierzchni kruszywa zmienia się. Zmiana mikrotekstury powoduje zmniejszenie wartości odporności na poślizg [116]. Odporność na zamarznięcie i rozmrożenie jest ściśle związana z mineralogią danego kruszywa. Przykładem jest kruszywo granitowe, które jest mniej podatne na zamarzanie i rozmrażanie z powodu grubszej warstwy ziarenek krystalicznych oraz wyższą zawartość chlorynu. Z kolei kruszywo z wyższą zawartością miki charakteryzuje się mniejszą odpornością na poślizg [116].

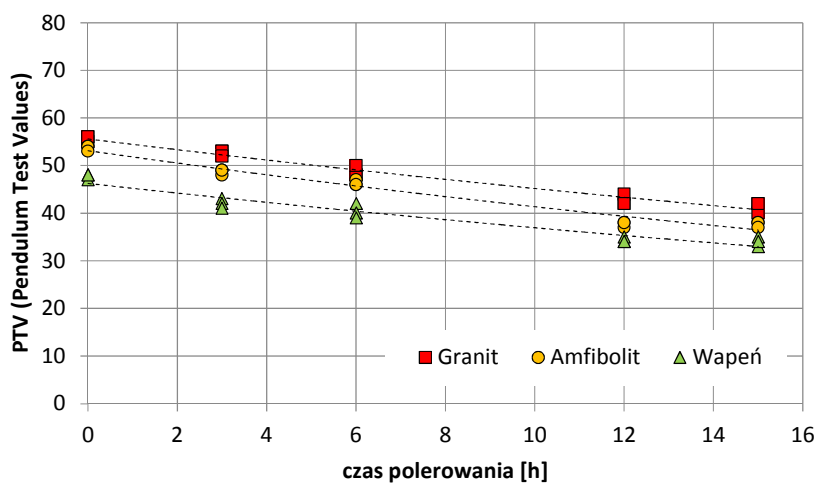
Na podstawie niniejszych badań podjęto próbę weryfikacji tych tez oraz oceny przydatności kruszywa do nawierzchni betonowych ze względu na polerowanie. W nawierzchni betonowej, mniejsze rozmiary kruszywa są uważane za ważniejsze w celu uzyskania dobrego tarcia [41]. Gruboziarniste kruszywo staje się czynnikiem wpływającym tylko wtedy, gdy górna powierzchnia betonu została zszorstkowana lub celowo odsłonięta, jak np. „technologia odkrytego kruszywa”. Jedne z interesujących badań nad poślizgiem nawierzchni betonowych opisano w pracach [39], [40]. Niektóre badania amerykańskie wykazały, że skały węglanowe, np. wapień, mają słabą odporność na poślizg w porównaniu ze skałami krzemionkowymi.

Celem niniejszego badania było wskazanie na możliwości doboru kruszyw do nawierzchni betonowych pod względem oceny wahadłowego wskaźnika poślizgu PTV (Pendulum Test Values) dla polepszenia cech nawierzchni związanych z odpornością na poślizg. Dodatkowo przeprowadzono wpływ czasu polerowania na zmianę wskaźnika PTV (rys. 7.7). Badania przeprowadzono z uwzględnieniem środowiska suchego oraz wilgotnego.

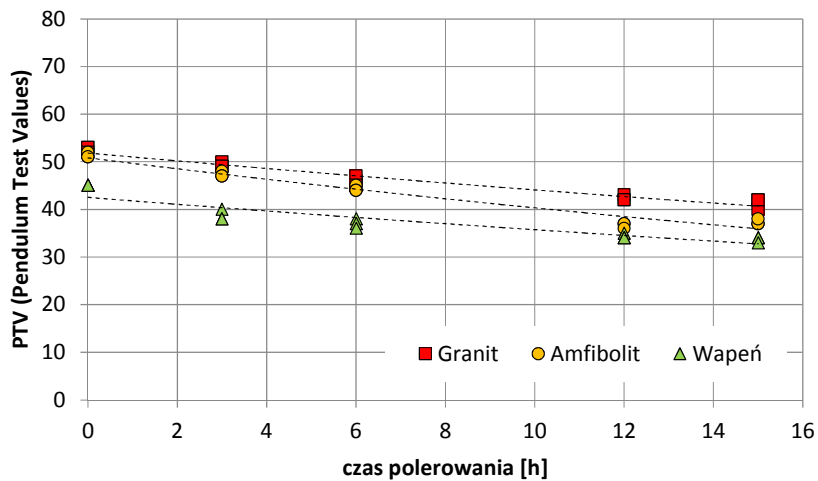


Rys. 7.7. Próbkki badawcze przed próbą polerowania

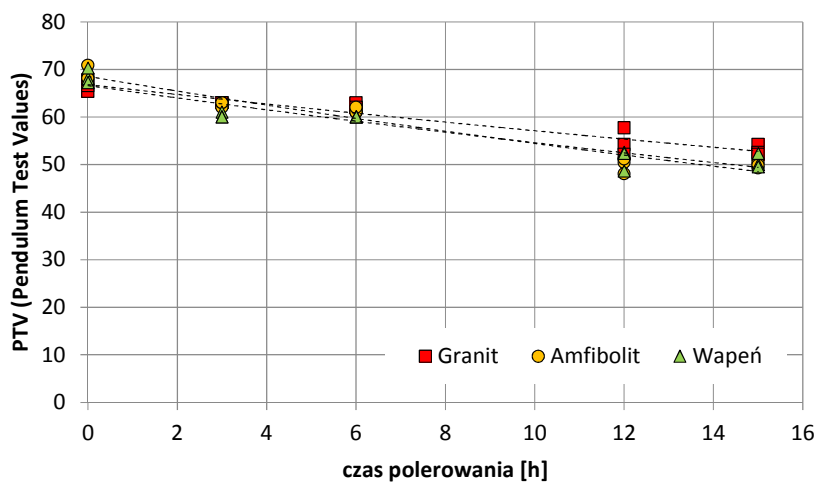
Na rys. 7.8 oraz 7.9 zaprezentowano wyniki pomiaru PTV „na mokro” w zależności od czasu polerowania oraz z uwzględnieniem 4 cykli zamrażania. Widać wyraźne zróżnicowanie wyników poślizgu w zależności od typu kruszywa. Największe wartości uzyskano dla granitu, a najniższe dla wapienia. Stwierdzono, że zmiana wskaźnika PTV w metodzie pomiarowej „na mokro” w zależności od czasu polerowania przebiega podobnie dla wszystkich badanych kruszyw około 1.0 PTV/h. Dla metody pomiaru „na sucho” nie stwierdzono dużego zróżnicowania wyników poślizgu PTV dla trzech kruszyw (rys. 7.10, 7.11). Wartości są oczywiście większe niż dla badania „na mokro” o 20% - 30%, ale niezależne od typu kruszywa. Przykładowo wynoszą bez polerowania około 69 PTV. Wykazano także wpływ cykli zamrażania na zmianę wskaźnika PVT. W metodzie „na mokro” wskaźnik zmniejszył się o około 5%, natomiast w pomiarze „na sucho” o około 3%. Na rys. 7.12 pokazano średnie wyniki poślizgu PTV przed polerowaniem dla różnych kruszyw. Badania pomiarowe „na mokro” bardziej różnicują typ kruszywa oraz uwzględniają oddziaływanie mrozu niż pomiar „na sucho”.



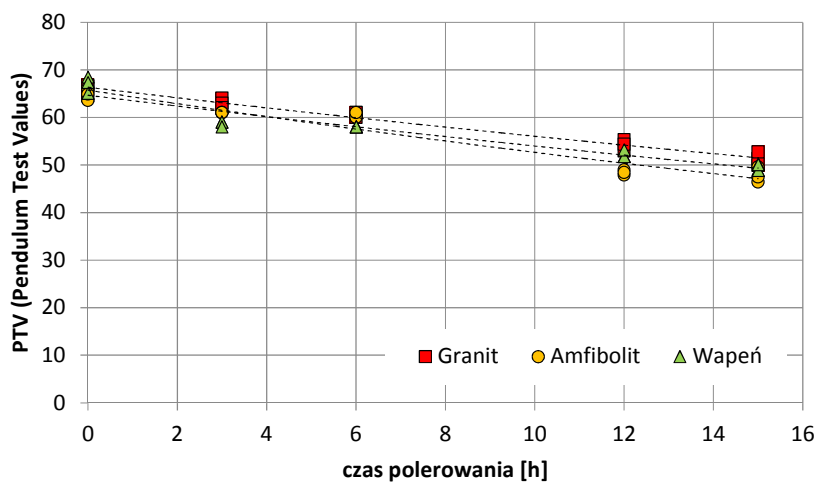
Rys. 7.8. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV „na mokro” bez zamrażania



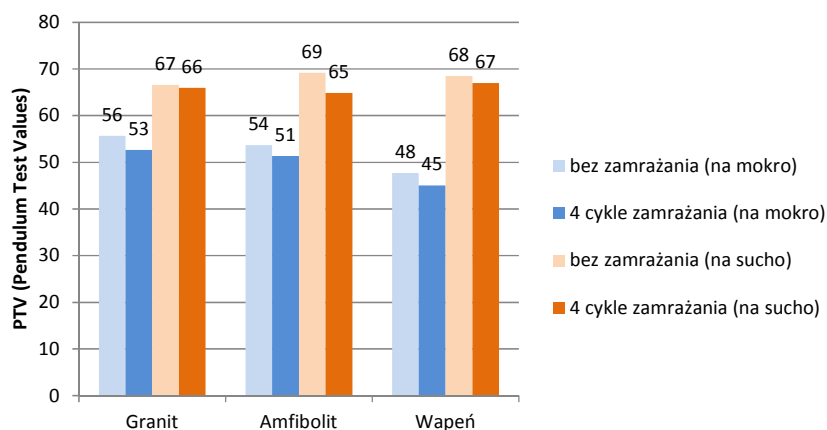
Rys. 7.9. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV „na mokro” po 4 cyklach zamrażania



Rys. 7.10. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV „na sucho” bez zamrażania



Rys. 7.11. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV „na sucho” po 4 cyklach zamrażania



Rys. 7.12. Wartości średnie wskaźnika PTV dla różnych metod pomiaru i warunków badania

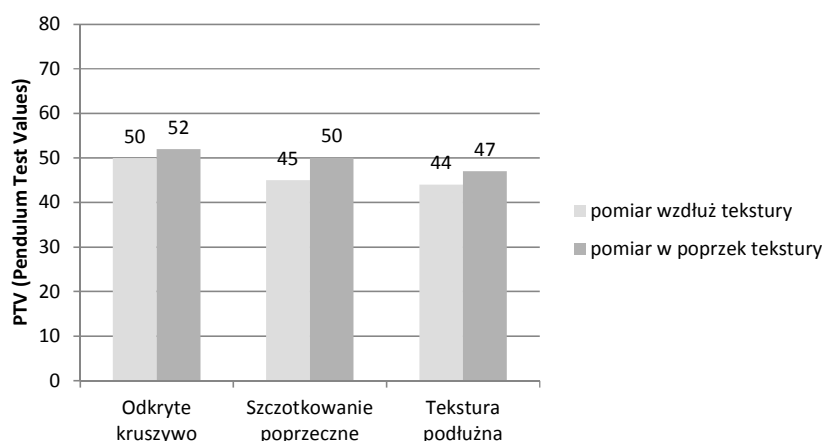
Analizując wyniki badań przedstawione powyżej widoczny jest wpływ rodzaju kruszywa użytego do badań na uzyskiwane wartości poślizgu PTV. Wpływ na zmianę PTV ma nie tylko rodzaj kruszywa ale również jego parametry takie jak polerowalność oraz odporność na zamrażanie. Ta problematyka powinna być przedmiotem dalszych badań.

Odrębną analizę poddano badanie wskaźnika PTV dla pozyskanych próbek z nawierzchni betonowych zrealizowanych w technologii odkrytego kruszywa, szczotkowania poprzecznego oraz teksturowania podłużnego (rys. 7.13). Należy zaznaczyć, że badane próbki posiadały wyraźny poziom eksploatacji.

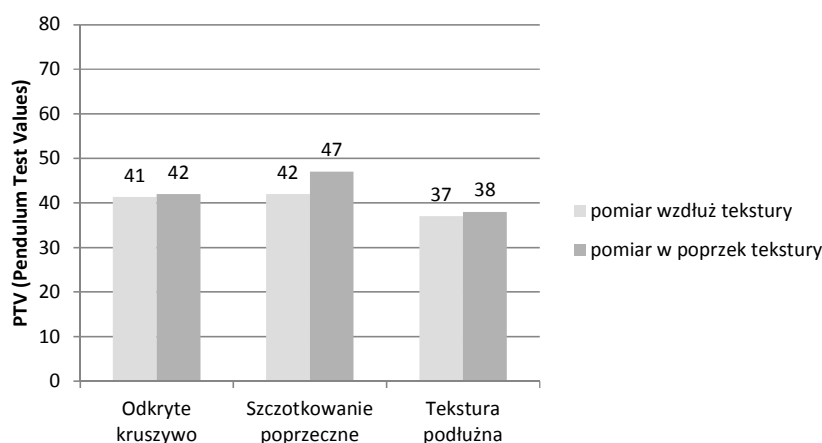


Rys. 7.13. Próbki badawcze z trzema typami tekstury nawierzchni betonowej (od lewej): odkryte kruszywo, tekstura poprzeczna, tekstura podłużna

Badania wskaźnika PTV przeprowadzono zarówno wzdłuż oraz w poprzek tekstury uwzględniając warunki suche (rys. 7.14) jak i mokre (rys. 7.15).



Rys. 7.14. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV „na sucho” dla próbek betonowych z nawierzchni

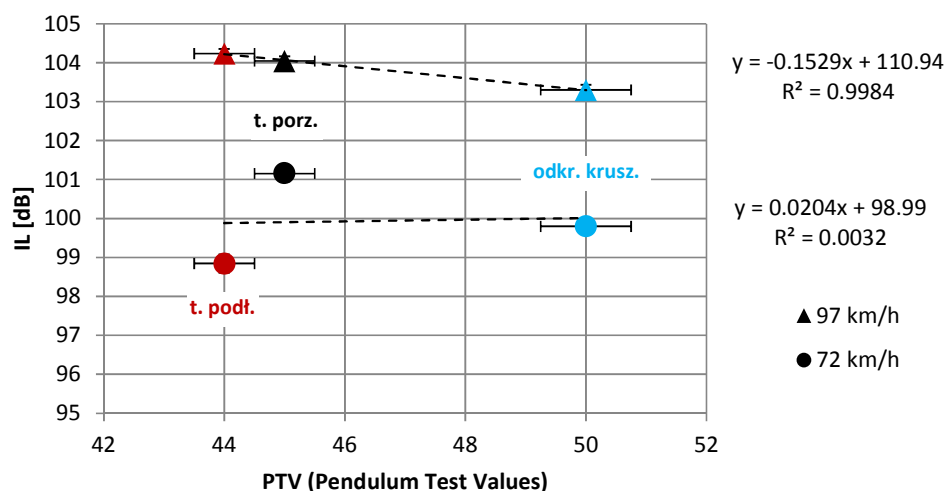


Rys. 7.15. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV „na mokro” dla próbek betonowych z nawierzchni

W przypadku warunków „suchych” uzyskano oczywiście większe wartości o około 10-20% niż w przypadku badań „na mokro”. W przypadku badań „na sucho” największe wartości PTV uzyskano dla „odkrytego kruszywa” natomiast przy badaniu „na mokro” dla tekstury poprzecznej. Oczywiście jest, że dla tekstury „odkrytego kruszywa” wyniki były praktycznie niezależne od kierunku ułożenia próbki przy badaniu. Podobnie dla tekstury podłużnej przy „badaniu na mokro”.

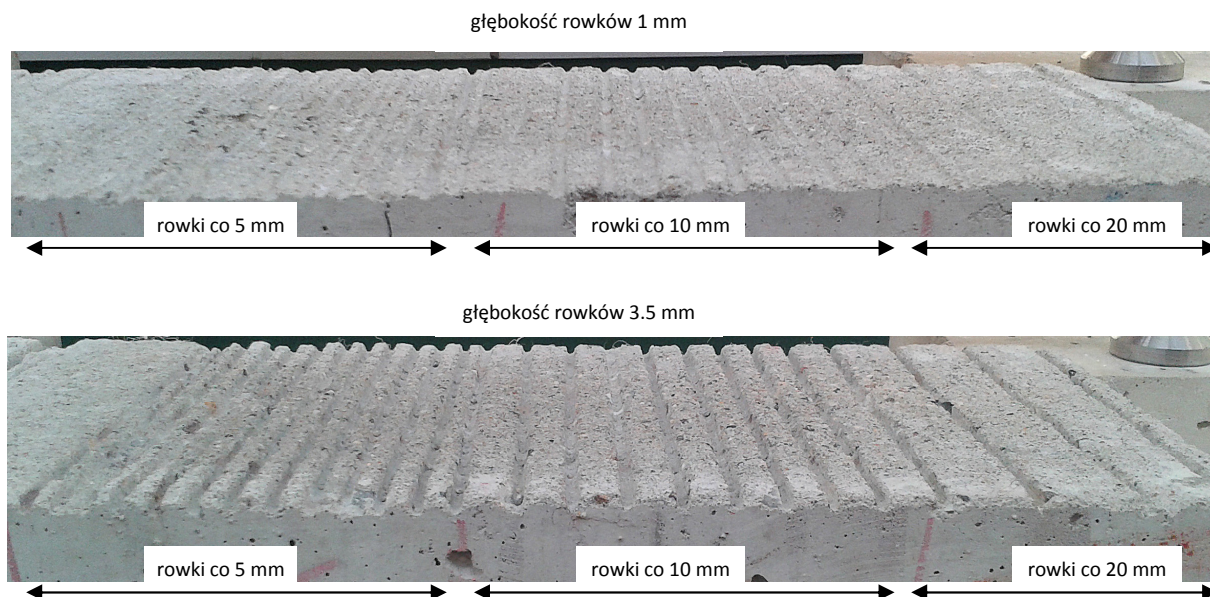
Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że wartości otrzymanego wskaźnika PTV zbliżone są do wyników badanych wcześniej różnych próbek kruszywa odpowiednio „na sucho” oraz „na mokro” po 14h polerowania.

Przeprowadzono próbę korelacji wskaźnika poślizgu PTV z poziomem dźwięku na nawierzchniach, z których pochodziły badane próbki. Na rys. 7.16 zaprezentowano korelacje wyników wskaźnika PTV z poziomem dźwięku z pomiarów OBSI dla dwóch prędkości. Stwierdzono, że lepszą korelację uzyskuje się dla wyższej prędkości, która bardziej odpowiada prędkości w wahadle BSRT. Wraz ze wzrostem wskaźnika PTV zmniejsza się poziom dźwięku rejestrowany metodą OBSI. Wzrost wskaźnika o 6 jednostek powoduje obniżenie się poziomu dźwięku o 1 dB.



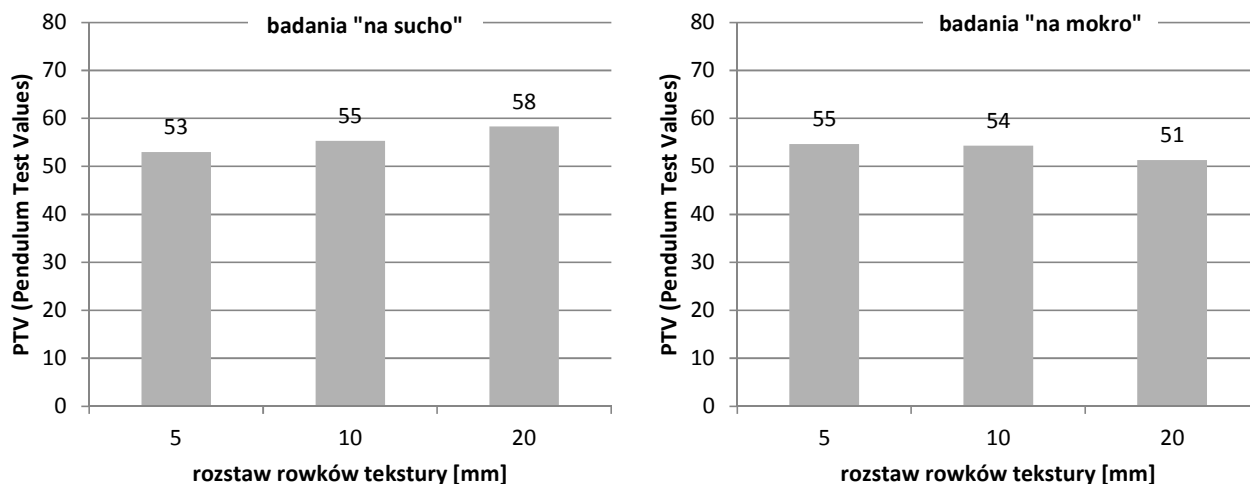
Rys. 7.16. Korelacja wskaźnika PTV „na sucho” z poziomem dźwięku z metody OBSI dla próbek betonowych z różnymi teksturami

Przeprowadzono także inne badania dotyczące różnych sposobów rowkowania nawierzchni betonowych. Na specjalnie przygotowanych próbkach betonowych wykonano nacięcia piłą diamentową (grubość 3 mm) uwzględniając różne rozstawy rowków: co 5, 10, 20 mm oraz głębokości rowków: 1 mm oraz 3.5 mm. Na rys. 7.17 zaprezentowano próbki badawcze, na których wykonano badania PTV.

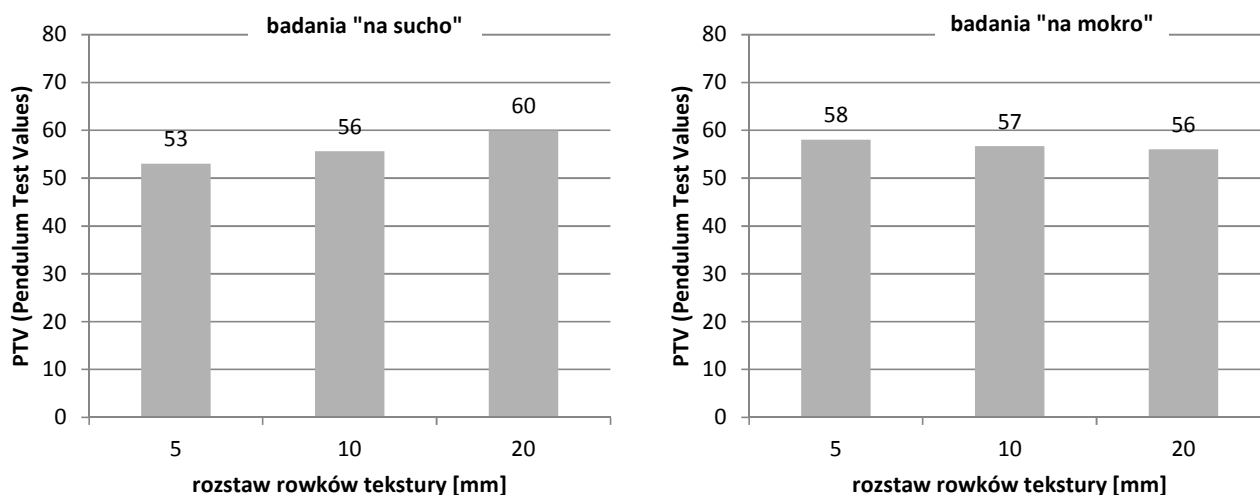


Rys. 7.17. Próbkki badawcze z różnymi głębokościami i rozstawami rowków w próbkach betonowych

W wyniku badania wskaźnika PTV zarówno dla głębokości rowków 1 mm (rys. 7.18) oraz 3.5 mm (rys. 7.19) stwierdzono tą samą prawidłowość. W przypadku typowego kierunku badania (w poprzek tekstury) w warunkach „suchych” wraz ze wzrostem rozstawu rowków zwiększa się wartość wskaźnika PTV, natomiast w warunkach „mokrych” maleje.



Rys. 7.18. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV dla próbek z rowkowaniem na głębokość 1 mm



Rys. 7.19. Wyniki pomiaru wskaźnika PTV dla próbek z rowkowaniem na głębokość 3.5 mm

Stwierdzono także, że głębokość rowkowania nie wpływa istotnie na wartość PTV w warunkach „suchych”. Istnieje natomiast zróżnicowanie wskaźnika PTV pomiędzy rowkowaniem 1 mm i 3.5 mm w warunkach „mokrych”. Wartość wskaźnika wzrasta dla głębszych rowków o około 5-10%.

Przeprowadzone badania z uwzględnieniem wskaźnika PTV wskazują, że tekstura „odkrytego kruszywa” najlepiej się sprawdza w warunkach suchych w porównaniu do innych tekstur. W warunkach mokrych lepsze cechy poślizgu wykazuje tekstura poprzeczna. Dalsze badania nad różnymi rodzajami tekstury poprzecznej wskazują, że w warunkach „mokrych” wyższe wartości wskaźnika PTV posiadają rowkowania głębsze oraz o rozstawie rowków 5 mm.

Stwierdzona korelacja pomiędzy wskaźnikiem PTV a poziomem dźwięku wyznaczanym w metodzie OBSI dla prędkości może być przydatna w ocenie hałaśliwości nawierzchni z różną teksturą. Niestety ze względu na liczbę prób wymaga problem dalszej weryfikacji.

7.4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej w niniejszym rozdziale analizy wyników badań makrotekstury można stwierdzić, że występuje mała wrażliwość współczynnika tarcia badanego za pomocą urządzenia SRT-3 na teksturę badaną z wykorzystaniem RSP. Wskaźnik tekstury MTD rozróżnia nawierzchnie ze względu na okres eksploatacji. Dla pojedynczych odcinków zauważalny jest nieznaczny trend wzrostu wartości tekstury wraz ze wzrostem współczynnika tarcia. Jednakże można również zauważyć, że dla technologii odkrytego kruszywa przy makroteksturze < 1 mm jest możliwe uzyskanie wymaganego współczynnika tarcia ($\geq 0,49$). Jest to istotne stwierdzenie w kontekście faktu uzyskania optymalnego poziomu hałasu dla makrotekstury oscylującej wokół wartości 1 mm. Równocześnie w wyniku wstępnych badań wskaźnika PTV w funkcji rodzaju i parametrów kruszywa stwierdzono zależność korelacyjną pomiędzy rodzajem i parametrami kruszywa. Problematyka wymaga dalszych badań. Gdyż prawdopodobny jest fakt, że współczynnik tarcia nie zależy od tekstury w istotny sposób a rodzaju i parametrów kruszywa użytego do budowy nawierzchni, zwłaszcza górnych warstw.

Jednocześnie zauważono, że istnieje możliwość uzyskania korelacji pomiędzy poślizgiem uzyskanym w laboratorium na próbkach badanych metodą PTV a poziomem hałasu

mierzonym *in situ* metodą OBSI. Jednakże ze względu na małą liczbę pomiarów uzyskane wyniki mogą stanowić przyczynek do rozpoczęcia prac nad tym zagadnieniem.

8. WPŁYW NATĘŻENIA RUCHU

Badane nawierzchnie posiadają różne okresy eksploatacji, a co się z tym wiąże przejechały po nich różne liczby pojazdów. Na podstawie danych z pomiarów SDR wykonanych przez GDDKiA na sieci dróg krajowych w Polsce określono liczbę pojazdów jaka przejechała po badanych nawierzchniach dróg. Następnie powiązano okresy eksploatacji z natężeniami oraz ze zmianą wskaźnika MTD. Na rys. 8.1 pokazano zależności zmiany wskaźnika MTD względem sumarycznej liczby pojazdów w okresie eksploatacji dla dróg A4, A2 i S8. Dla nawierzchni z „okrytym kruszywem” określono trend zmniejszania się poziomu tekstury wraz ze wzrostem natężenia ruchu. Brak monitoringu dla A4 nie pozwolił określić takich zależności dla technologii szotkowania poprzecznego oraz podłużnego. Dane autorów pozwalają stwierdzić, że posiadały te nawierzchnie wartość MTD = 1 mm przed oddaniem do użytku tych dróg a więc wyższe poziomy wskaźnika MTD niż klasa D. To wskazuje na tendencję zmniejszania się wskaźnika MTD o około 0.1 mm na każde przejechane 40 mln pojazdów. Zmiana tekstury w zakresie od klasy A do D może nastąpić po przejechaniu 130 milionów pojazdów.

Nie stwierdzono jednak istotnych korelacji dla wskaźnika IRI (rys. 8.2), który dla badanych dróg utrzymywał się na poziomie 1.0 – 1.6 mm/m, praktycznie niezależnie od natężenia.

Kontynuując dalsze rozważania oraz uwzględniając korelację MTD z pomiarami OBSI dla 97 km/h opracowano przybliżoną zależność zmiany poziomu dźwięku od liczby pojazdów w okresie eksploatacji (rys. 8.3). Można stwierdzić, że po przejechaniu 130 mln pojazdów (w tym 35% samochodów ciężarowych) poziom dźwięku na nawierzchni betonowej może się zwiększyć o około 1-2 dB. Dla długiego okresu eksploatacji nie jest do duża wartość, pozwala stwierdzić, że nawierzchnie betonowe nie wykazują dużej wrażliwości akustycznej w okresie eksploatacji.

Na podstawie opracowanych korelacji określono następujące zależności:

- zależność zmiany tekstury w funkcji liczby pojazdów w okresie eksploatacji:

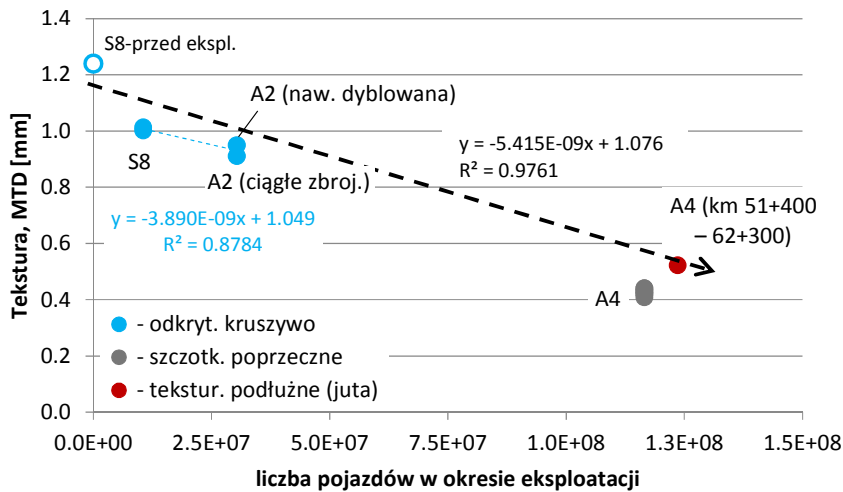
$$MTD = -5.415 \cdot 10^{-9} \cdot N + 1.076 \quad (6.5)$$

gdzie: MTD – makrotekstura, mm,
N – liczba pojazdów w okresie eksploatacji (w tym 35% samochodów ciężarowych) w jednym kierunku,

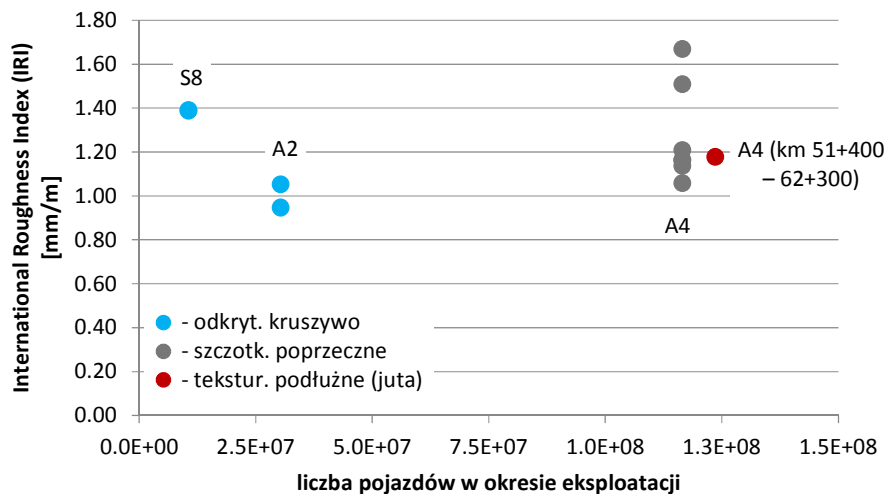
- zależność zmiany poziomu dźwięku w funkcji liczby pojazdów w okresie eksploatacji:

$$IL = 1.053 \cdot 10^{-8} \cdot N + 103.89 \quad (6.6)$$

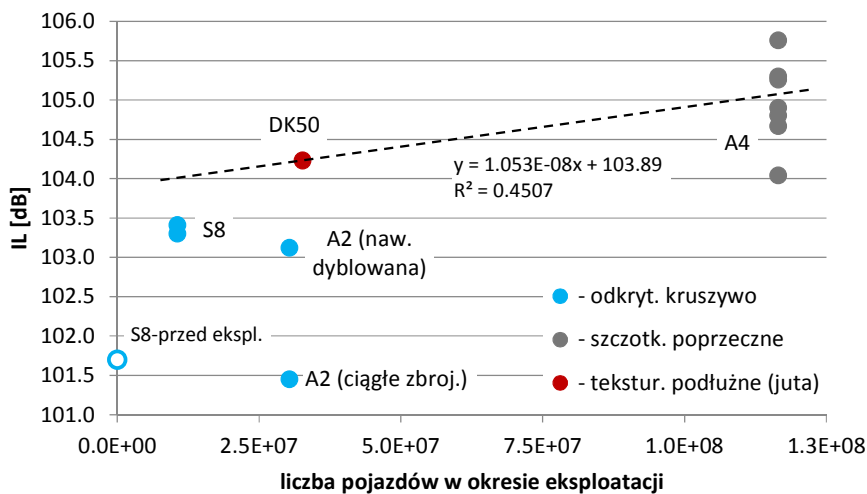
gdzie: IL – poziom dźwięku, dB,
MTD – makrotekstura, mm,
N – liczba pojazdów w okresie eksploatacji (w tym 35% samochodów ciężarowych) w jednym kierunku,



Rys. 8.1. Zmiany wskaźnika tekstury MTD w zależności od liczby pojazdów w okresie eksploatacji



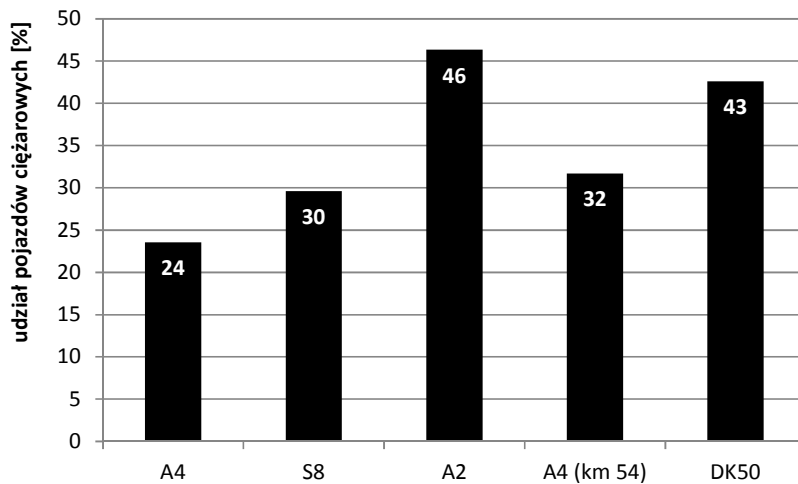
Rys. 8.2. Zmiany wskaźnika IRI w zależności od liczby pojazdów w okresie eksploatacji



Rys. 8.3. Zmiany poziomu dźwięku w zależności od liczby pojazdów w okresie eksploatacji

Na podstawie przeprowadzonych powyżej studiów można stwierdzić, że w miarę wzrostu ruchu zwiększa się hałas. Związane to jest ze zmianą makrotekstury.

Na rys. 8.4 pokazano udział pojazdów ciężarowych w ruchu na analizowanych drogach. Największy udział pojazdów ciężarowych występował na autostradzie A2, a najmniejszy na A4. Nie uzyskano jednak dobrej korelacji samej liczby pojazdów ciężarowych od poziomu dźwięku lub tekstury MTD. Jak wspomniano wcześniej wpływ miały sumarycznie wszystkie pojazdy.



Rys. 8.4. Udział pojazdów ciężarowych w ruchu na analizowanych drogach

8.1. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy wpływu okresu eksploatacji, a przede wszystkim natężenia ruchu, stwierdzono, że wraz z jego wzrostem zmniejsza się makrotekstura o około 0.1 mm na każde przejechane 20 mln pojazdów. Odnosi się to makrotekstury wykonanej w technologii rowkowania poprzecznego. Ma to swoje odzwierciedlenie we wzroście poziomu dźwięku o około 1-2 dB na przejechane 130 mln pojazdów. Wobec tego faktu istotne jest kontrolowanie stanu tekstury nawierzchni w okresie eksploatacji i zachowanie jej co najmniej w klasie B co zapewni wzrost poziomu dźwięku tylko o 0.5 dB. Nieznacznie mniejszą zmianę poziomu tekstury względem natężenia pojazdów stwierdzono dla technologii „odkrytego kruszywa”. W związku z tym, że badane drogi posiadają stosunkowo krótki okres eksploatacji, należy prowadzić ciągły monitoring i badania zmiany tekstury na nawierzchniach z „odkrytym kruszywem”.

9. ANALIZY CZĘSTOTLIWOŚCI

9.1. Wprowadzenie

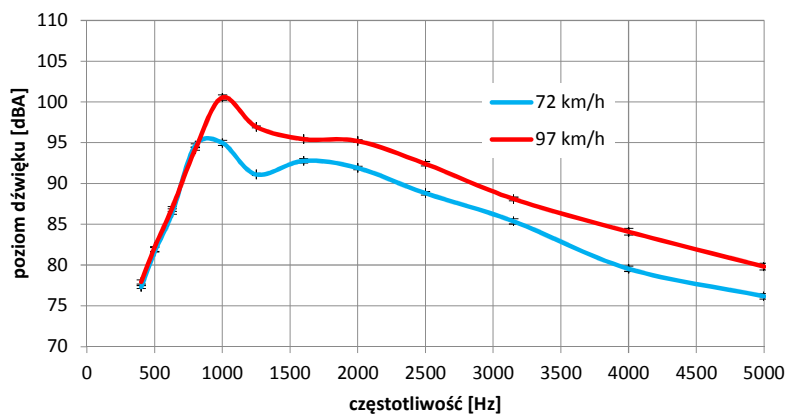
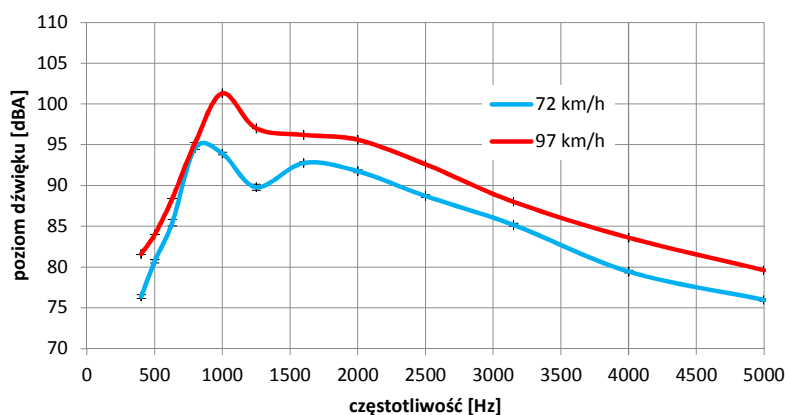
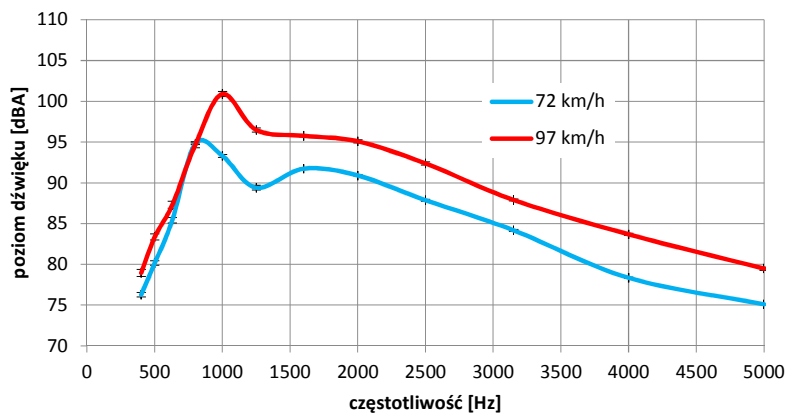
Rzeczywiste sygnały dźwięku pochodzące z oddziaływania opony na nawierzchnię nie odpowiadają pojedynczym, ciągłym tonom, są mieszką dynamicznie pojawiających się i zanikających składników o różnych częstotliwościach. W celu uzyskania dokładniejszej oceny wpływu dźwięku oddziałującego na człowieka przeprowadza się analizy

poszczególnych składowych dźwięku w funkcji częstotliwości, gdyż człowiek w różny sposób odbiera dźwięki o różnej częstotliwości. Dźwięki o równych poziomach i różnych częstotliwościach nie są jednakowo słyszalne dla człowieka. Wykres widma częstotliwości pozwala ocenić jakiej częstotliwości odpowiada najwyższy poziom dźwięku oraz jaki jest udział innych poziomów dźwięku powiązanych z częstotliwościami. Każdy wykres widma może mieć inny przebieg dla każdej nawierzchni co pozwala lepiej ocenić jej cechy związane z hałaśliwością.

9.2. Analiza wyników

Analiza wyników częstotliwości pozwoliła stwierdzić, czy niezależnie od badanej drogi i metody wykończenia uzyskiwano podobne wartości częstotliwości dla maksymalnych poziomów dźwięku. Zbliżone rozkłady częstotliwości mogą być uwarunkowane głównie typem opony, a także prędkością pomiarową. Przy pomiarze z prędkością 97 km/h, uzyskiwano maksymalne poziomy dźwięku dla częstotliwości około 1000 Hz, natomiast dla prędkości 72 km/h około 700-800 Hz. Niższa prędkość wpływa niewątpliwie korzystniej na percepcję dźwięku przez odbiorcę nie tylko ze względu na niższe poziomy, ale także na niższą częstotliwość. Wrażliwość ucha na bodźce dźwiękowe jest dla niższych częstotliwości jest mniejsza. Największą wrażliwością ucho charakteryzuje się w zakresie częstotliwości od 800 Hz do około 5 kHz.

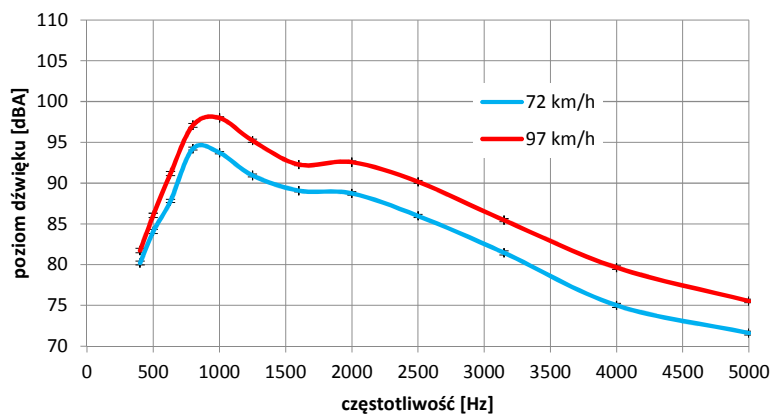
Wykorzystując szczegółowe pomiary metodą OBSI wykonano analizę widmową. Na rys. 9.1 pokazano rozkład częstotliwości dźwięku dla trzech nawierzchni na autostradzie A4.



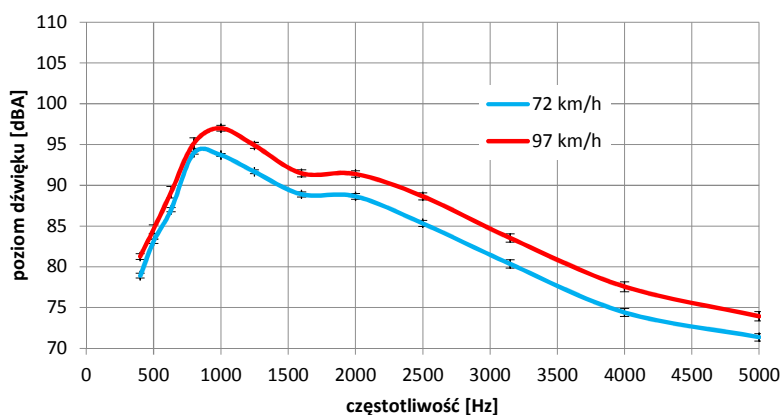
Rys. 9.1. Widmo poziomu dźwięku (autostrada A4, pas prawy)

Stwierdzono, że niezależnie od typu konstrukcji najwyższe poziomy dźwięku przy prędkości 97 km/h osiągnane są dla częstotliwości 1000 Hz. Natomiast dla prędkości 72 km/h maksymalny poziom dźwięku występuje dla mniejszej częstotliwości 800 Hz. Dla nawierzchni na autostradzie A4 dla niższej prędkości zauważono znaczne obniżenie poziomu dźwięku (o około 4dB) dla częstotliwości 1250 Hz.

Podobne zależności związane z przesunięciem ekstremum dźwięku względem częstotliwości uzyskano dla nawierzchni na drodze ekspresowej S8 (rys. 9.2) oraz na autostradzie A2 (rys. 9.3). Dla tych dróg nie stwierdzono „nieciągłości” w rozkładzie częstotliwości przy prędkości 72 km/h, które wystąpiły na A4.

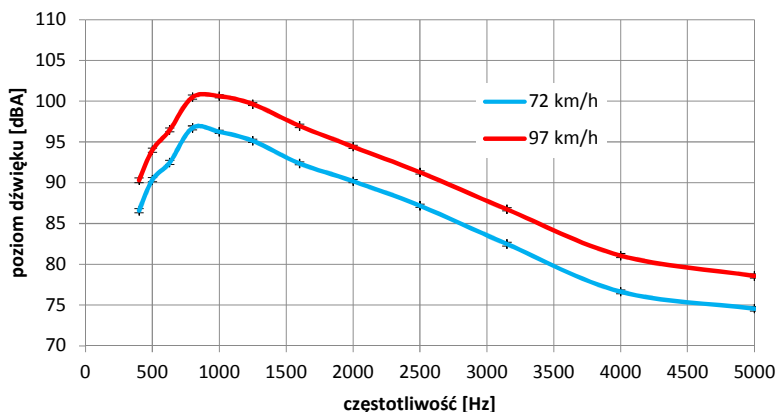


Rys. 9.2. Widmo poziomu dźwięku (droga ekspresowa S8, pas prawy)



Rys. 9.3. Widmo poziomu dźwięku (autostrada A2, pas prawy)

Analizie poddano także widmo dla autostrady A18 (rys. 9.4). Uzyskano bardziej równomierny-płynny rozkład z podobną charakterystyką jak dla A2 i S8, jednak ekstremum dźwięku dla obu prędkości odpowiadało 900 Hz. Warto zauważyć, że dla wszystkich badanych nawierzchni uzyskano bardzo niskie wartości odchyleń standardowych.



Rys. 9.4. Widmo poziomu dźwięku (autostrada A18, pas prawy)

9.3. Podsumowanie

Rozkład częstotliwości względem poziomu dźwięku pozwolił stwierdzić, że nawierzchnia szotkowana poprzecznie posiada nieco inną charakterystykę niż nawierzchnia wykonana w technologii „odkrytego kruszywa”. Przy niższej prędkości (72 km/h) obserwuje się obniżenie poziomu dźwięku (dla nawierzchni szotkowanej poprzecznie) dla częstotliwości około 1250 Hz, a także bardziej wyraźne ekstrema. Natomiast dla nawierzchni z „odkrytym kruszywem” występują bardziej płaskie ekstrema dla obu prędkości pomiarowych. Dla wszystkich badanych dróg poza A18 występuje praktycznie taki sam rozkład widma w przedziale od 400 do 700 Hz niezależnie od prędkości pomiarowej.

Dla wyższych prędkości uzyskiwano wyższe poziomy dźwięku dla wyższej częstotliwości (1000 Hz). Podobne zależności (wzrost częstotliwości wraz ze wzrostem prędkości) stwierdzono dla pomiarów w kabinie pojazdu, co przedstawiono w dalszym rozdziale. Uzyskano jednak niższe wartości częstotliwości (40 – 130 Hz) związane z tłumieniem kabiny. Należy zaznaczyć, że największą wrażliwością ucho charakteryzuje się w zakresie częstotliwości od 800 Hz do około 4000 Hz i ten właśnie zakres ma kluczowy wkład w „głośność” nawierzchni odbierany na zewnątrz. Wrażliwość ucha ludzkiego zależy także od czasu ekspozycji dźwięku; przy małym poziomie dźwięków jest ona duża, zaś przy wysokim mała. Ta tematyka dotycząca czasu oddziaływania dźwięku oraz adaptacji powinna być tematem dalszych badań.

10. POMIAR HAŁASU W KABINIE SAMOCHODU

10.1. Wprowadzenie

W rozdziale przedstawiono wyniki badań i poziomu hałasu w kabinie i jego korelacje z hałasem mierzonym za pomocą metody OBSI. Uwzględniono pomiary z różnymi prędkościami w dwóch pojazdach: benzynowym oraz diesel. Analizie poddano nawierzchnie autostrady A4 oraz A18.

10.2. Analiza wyników badań

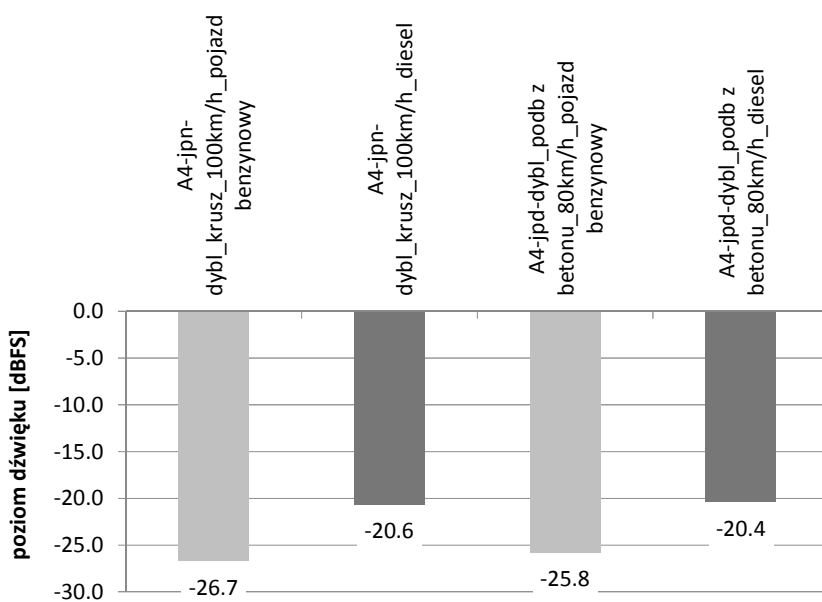
Wykorzystując metodę pomiarową opartą na mikrofonie pomiarowym Zoom H2n Handy Recorder (rys. 10.1) przeprowadzono pomiary poziomu dźwięku w kabinie pojazdu diesel (Toyota Avensis) oraz benzynowego (Opel Astra). Pomiary przeprowadzono na autostradzie A4 i A18 w sumie na 6 odcinkach badawczych:

- odcinek, jezdnia północna A4 – nawierzchnia ze szczelinami (na podbudowie z betonu)
- odcinek, jezdnia północna A4 – nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu
- odcinek, jezdnia północna A4 – nawierzchnia ze szczelinami (na podbudowie z kruszywa)
- odcinek, jezdnia południowa A4 – nawierzchnia ze szczelinami (na podbudowie z betonu)
- odcinek, jezdnia północna A4 km 51+400–62+300– średnio uszkodzona nawierzchnia ze szczelinami
- odcinek, jezdnia północna A18 – mocno uszkodzona nawierzchnia ze szczelinami



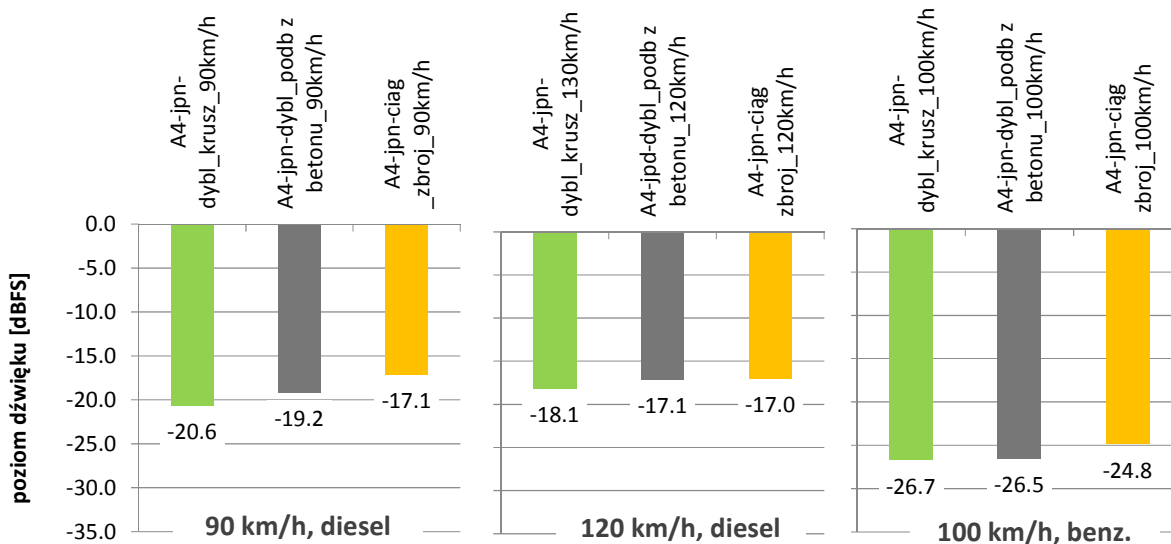
Rys. 10.1. mikrofon pomiarowy Zoom H2n Handy Recorder

Pomiary przeprowadzono na odcinkach około 100 m, a następnie uśredniano. Na rys. 10.2 pokazano porównanie wyników poziomu dźwięku (wartości tłumienia w dBFS) w kabinie dla pojazdu benzynowego oraz diesla. Niższe wartości wskazują na większe tłumienie i mniejsze wartości poziomu dźwięku w stosunku do wartości maksymalnej mierzącego urządzenia (0 dBFS). Na podstawie analizy wyników pomiarów można zauważyć, że poziom dźwięku w kabinie dla pojazdu benzynowego jest o około 6 dB mniejszy od poziomu w pojeździe diesel. W przypadku pojazdu benzynowego stwierdzono także większą różnicę poziomu dźwięku niż dla pojazdu diesel przy zmianie prędkości ze 100 km/h na 80 km/h.



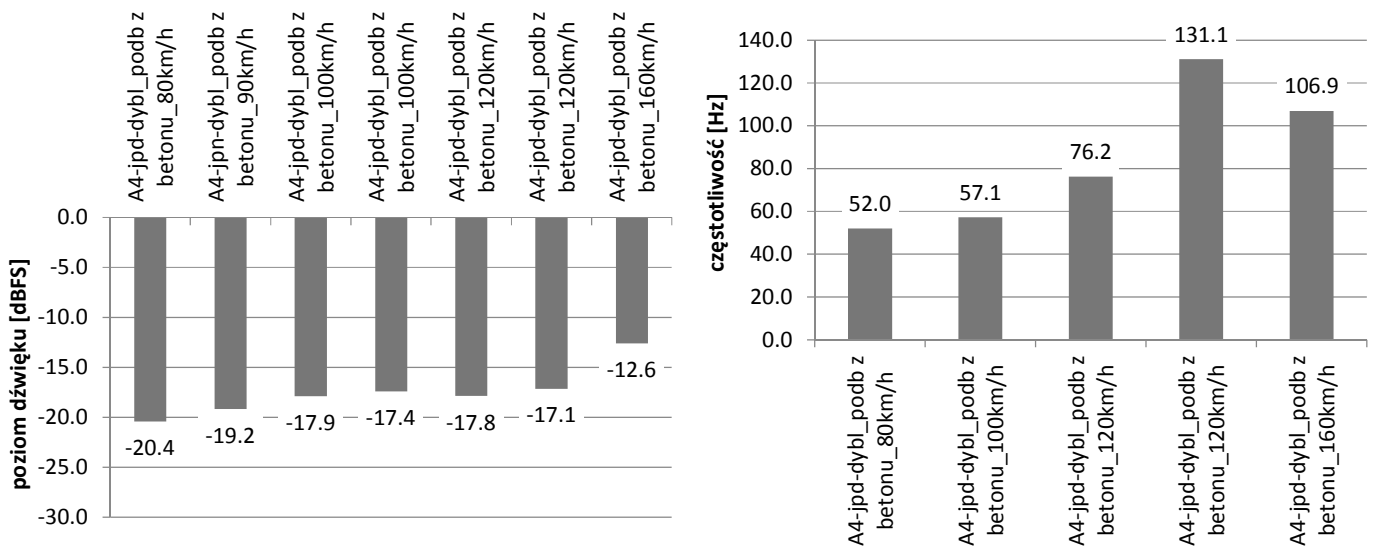
Rys. 10.2. Poziom dźwięku w kabinie dla pojazdu benzynowego oraz diesel dla prędkości 100 km/h i 80 km/h

Nie stwierdzono dużego wpływu typu konstrukcji na poziom dźwięku w kabinie zarówno dla pojazdu diesel oraz benzynowego (rys. 10.3). Mimo, iż dla pojazdu diesel różnica dla prędkości 90 km/h dla konstrukcji na podbudowie z kruszywa oraz nawierzchni o ciągłym zbrojeniu wynosi około 3 dB (na korzyść nawierzchni na podbudowie z kruszywa) jest praktycznie niezauważalna dla przeciętnego odbiorcy.



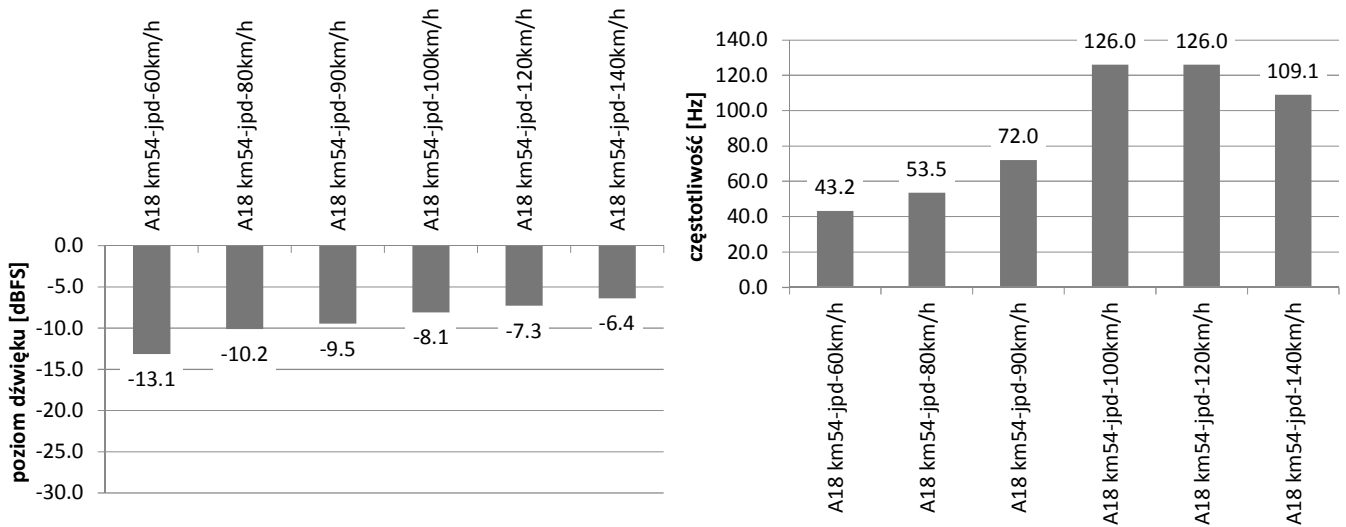
Rys. 10.3. Poziom dźwięku w kabinie dla pojazdu diesel oraz benzynowego dla różnych prędkości 90 oraz trzech różnych konstrukcji na A4

Stwierdzono istotny wpływ prędkości na poziom hałasu w kabinie dla prędkości powyżej 120 km/h (rys. 10.4). Dla prędkości 160 km/h wzrasta poziom dźwięku o około 8 dB. Niewątpliwie wpływa na to już sylwetka pojazdu oraz opory powietrza z nią związane, a nie rodzaj nawierzchni. Wykazano także znaczne zróżnicowanie częstotliwości w zależności od prędkości (rys. 10.4). Generalnie wraz ze wzrostem prędkości zwiększa się częstotliwość (mierzona dla największych poziomów dźwięku) od 50 do ponad 100 Hz. Powyżej 160 km/h maleje.

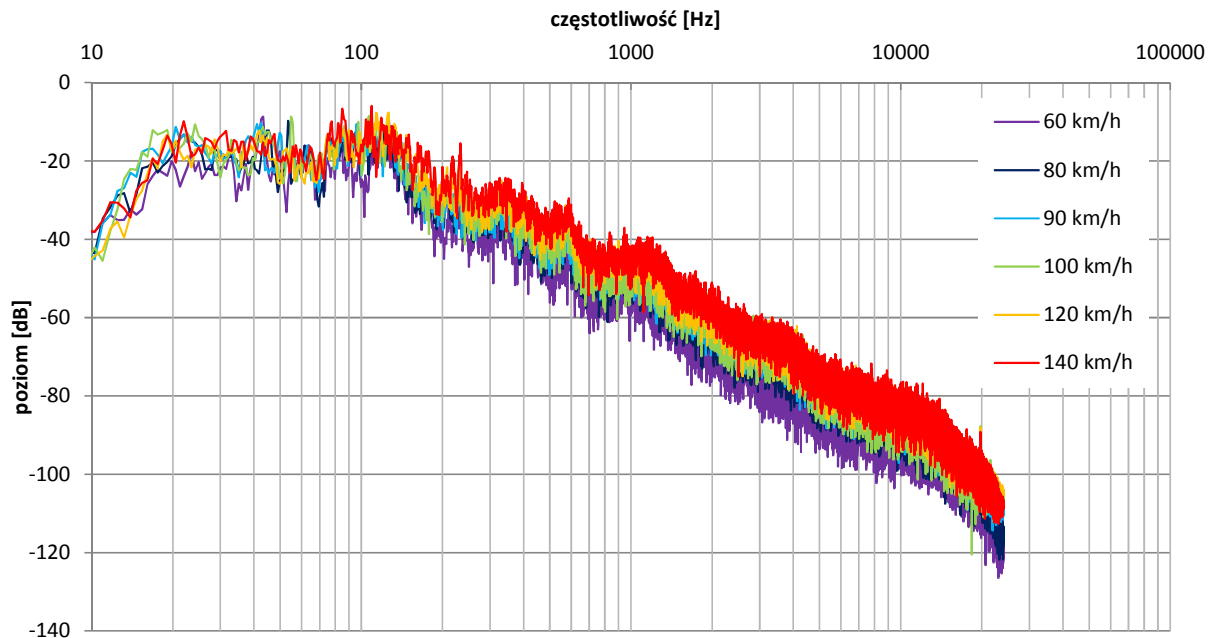


Rys. 10.4. Poziom dźwięku oraz częstotliwość w kabinie dla pojazdu diesel dla różnych prędkości dla nawierzchni na podbudowie z betonu na A4

Bardziej regularny wzrost poziomu dźwięku uzyskano na starej, mocno zdegradowanej nawierzchni betonowej na odcinku A18 na jezdni południowej (rys. 10.5). Uzyskano także podobne zmiany częstotliwości względem prędkości jak dla nawierzchni na A4. Maksymalne wartości dźwięku w kabinie lokalizują się w zakresie 100 Hz. Szczegółowy rozkład częstotliwości dla A18 pokazano na rys. 10.6.



Rys. 10.5. Poziom dźwięku oraz częstotliwość w kabine dla pojazdu diesel dla różnych prędkości dla starej, mocno zdegradowanej nawierzchni betonowej na odcinku A18



Rys. 10.6. Rozkład częstotliwości dla różnych prędkości dla A18

Należy stwierdzić, że istotny wpływ na poziom hałasu w kabine danego typu pojazdu (podobnie jak dla pomiarów metodą OBSI) ma okres eksploatacji i stan zdegradowania nawierzchni. Na rys. 10.7 zestawiono wybrane trzy odcinki autostrady o różnym stopniu zniszczenia (A4-km 137 – stan dobry, A4-km 53 – stan średni, A18-km 54 – stan zły).



Stan nawierzchni A4-km 137



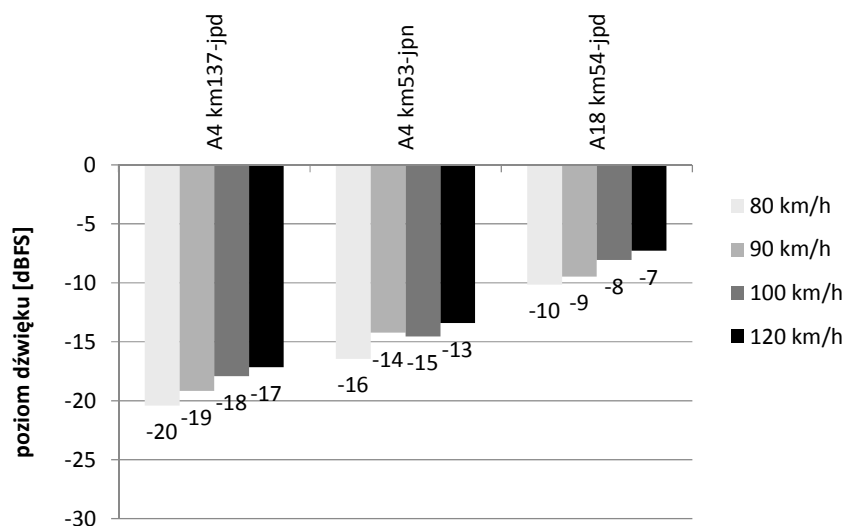
Stan nawierzchni A4-km 53



Stan nawierzchni A18-km 54

Rys. 10.7. Stan nawierzchni na badanych autostradach

Na rys. 10.8 zaprezentowano wartości poziomu dźwięku w kabinie dla różnych prędkości i nawierzchni betonowych o różnym stopniu eksploatacji. Maksymalna różnica wynosi 10 dB pomiędzy poziomem hałasu dla autostrady A4 (km 137) i A18. Jest to większa różnica niż przy pomiarach OBSI (około 2 dB). Najprawdopodobniej wynikająca z dodatkowych drgań pojazdu oraz oporów powietrza odbieranych w kabinie. Poziom dźwięku na średnio wyeksploatowanej nawierzchni (A4 km 53) znajduje pomiędzy A4 (km 137) i A18.

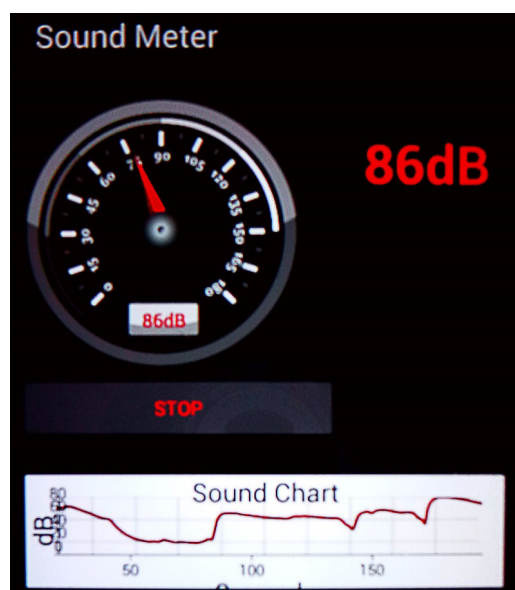


Rys. 10.8. Poziom dźwięku w kabinie dla pojazdu diesel dla różnych prędkości i nawierzchni betonowych o różnym stopniu eksploatacji

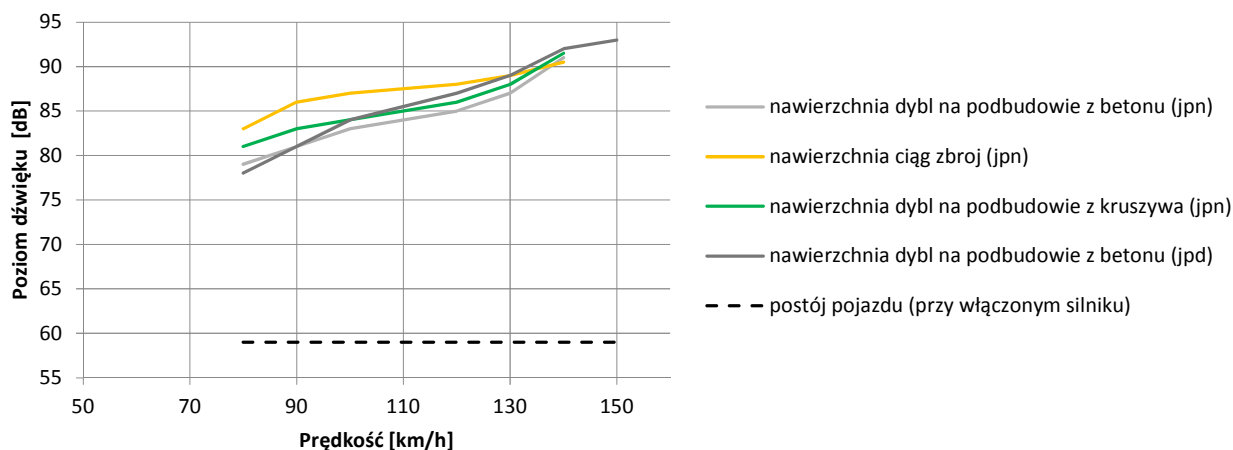
Podobne pomiary, jednak z pojazdem benzynowym przeprowadzono z wykorzystaniem aplikacji mobilnej Sound Meter (rys. 10.9).

Pomiar hałasu w kabinie z wykorzystaniem aplikacji „Sound meter” nie był kalibrowany dodatkową aparaturą. Jednak wyniki tego badania dla różnych dróg skorelowano z wynikami metody OBSI dla zbliżonej prędkości około 100 km/h. Uzyskano bardzo wysokie współczynniki determinacji. Należy zaznaczyć, że badanie w kabinie było elementem dodatkowym nie planowanym w wcześniejszym etapie projektu. Pozwoliło jednak przeprowadzić wstępną analizę wrażliwości prędkości, rodzaju pojazdu (silnik benzynowy, diesel) na poziom hałasu w kabinie. W przyszłym etapie prowadzone będą prace nad ustaleniem typu pojazdu referencyjnego do badań, prędkości pomiarowej oraz metodyki rejestracji dźwięku w kabinie.

Na rys. 10.10 zaprezentowano wyniki pomiarów dla różnych prędkości oraz różnych typów nawierzchni na A4.



Rys. 10.9. Aplikacji mobilnej Sound Meter



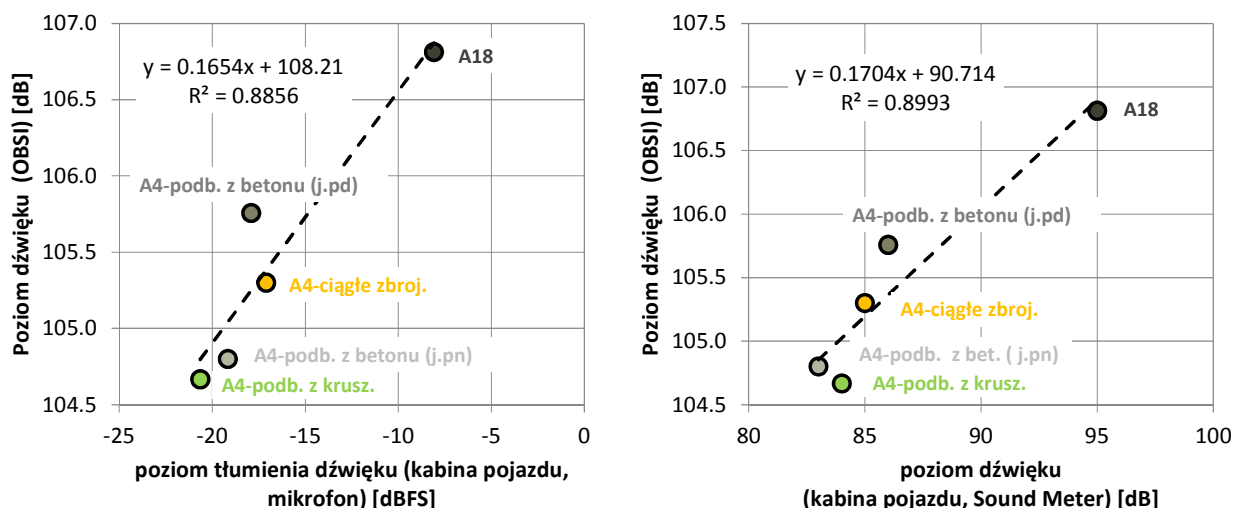
Rys. 10.10. Poziom dźwięku w kabinie dla pojazdu benzynowego dla różnych prędkości i różnych typów nawierzchni betonowej na A4

Stwierdzono największe zróżnicowanie różnych typów nawierzchni A4 dla najniższej prędkości (80 km/h) – różnica wynosi około 5 dB pomiędzy nawierzchnią o ciągłym zbrojeniu a nawierzchnią na podbudowie z betonu. Przy wyższych wartościach prędkości zróżnicowanie poziomu dźwięku zmniejsza się i wynosi 1-2 dB. Decydujący wpływ ma wtedy hałas generowany przez opory powietrza.

10.3. Korelacja pomiarów dźwięku w kabinie z metodą OBSI

Uwzględniając pomiary wykonane metodą OBSI oraz pomiary w kabinie pojazdu wykonano korelację wyników badań. Określone zależności pokazano na rys. 10.11

Stwierdzono dobrą korelację pomiędzy wynikami pomiaru dźwięku metodą OBSI 97 km/h, a wynikami mierzonymi mikrofonem oraz aplikacją Sound Meter w kabinie pojazdu dla prędkości około 100 km/h. Zdecydowanie najwyższe poziomy dla wszystkich metod pomiarowych uzyskano dla starej zniszczonej nawierzchni na autostradzie A18. W stosunku do „młodszych” nawierzchni na A4 dla metody OBSI A18 jest głośniejsza o około 2 dB, natomiast dla metody z mikrofonem w kabinie: 6 dBFS, a z wykorzystaniem aplikacji Sound Meter 10 dB. Nieznaczne zróżnicowanie występuje na trzech typach nawierzchni A4 w zakresie od 1 dB dla OBSI do 5 dB dla pomiaru w kabinie.



Rys. 10.11. Korelacja wyników poziomu dźwięku metodą OBSI, a wynikami mierzonymi mikrofonem oraz aplikacją Sound Meter w kabinie pojazdu dla prędkości około 100 km/h

10.4. Podsumowanie

Zaprezentowane w niniejszym rozdziale przykładowe pomiary w kabinie pojazdu pozwalają stwierdzić, że zauważalny jest wyraźny wzrost poziomu dźwięku wraz ze wzrostem prędkości, szczególnie powyżej 120 km/h. W nawierzchniach wykazujących znaczne uszkodzenia nawierzchni poziom dźwięku w kabinie wzrasta dodatkowo w wyniku drgań i oporów powietrza nawet do 10 dB. Pojazd benzynowy okazuje się cichszy od pojazdu diesel o około 6 dB.

Należy zaznaczyć, że mimo iż zastosowano proste metody pomiarowe (szczególnie z wykorzystaniem aplikacji Sound Meter) to podobnie klasyfikują one nawierzchnie jak metoda OBSI. Wartości poziomu dźwięku pomiędzy różnymi nawierzchniami wychodzą jednak bardziej zróżnicowane ze względu na dźwięk wywołany oporami powietrza oraz drganiami pojazdu. Mimo, iż nie przeprowadzono dokładnej kalibracji urządzeń pomiarowych względem sprzętu stosowanego do metody OBSI to pomiary w kabinie mogą być przydatne do wstępnych analiz związanych z oceną hałaśliwości nawierzchni dla kierowcy i pasażerów.

11. ANALIZA HAŁASU ŚRODOWISKOWEGO W NAWIERZCHNIACH BETONOWYCH

11.1. Badania hałasu środowiskowego na nawierzchniach betonowych

11.1.1. Informacje ogólne

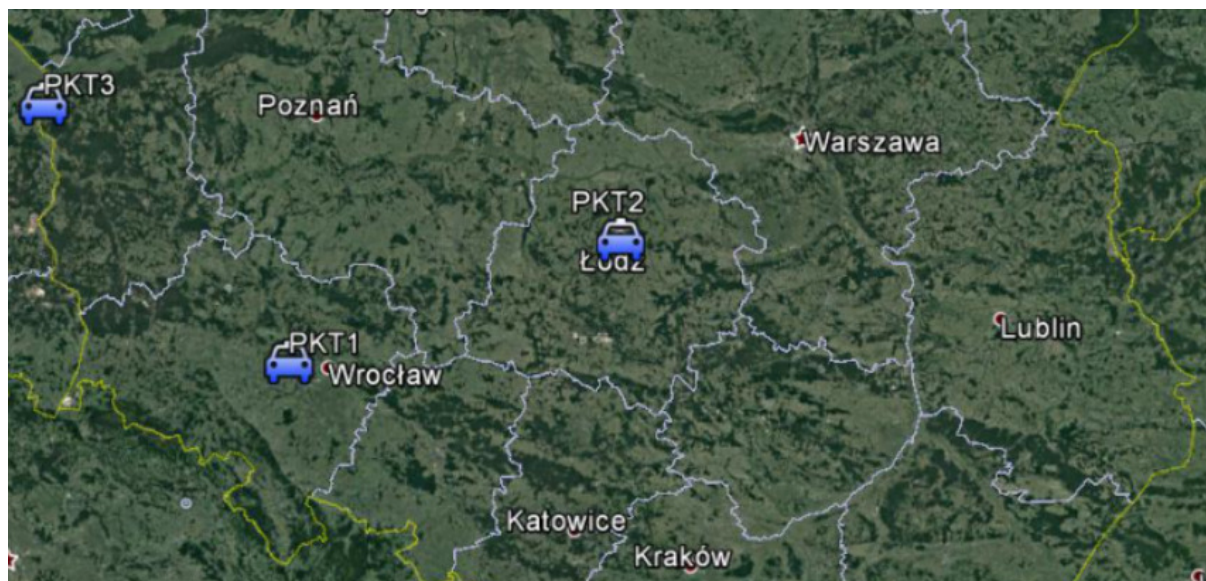
Badania hałasu środowiskowego dotyczyły poziomu dźwięku reprezentowanego przez równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} , który wykorzystywany jest w analizach dotyczących oceny wpływu hałasu na środowisko oraz ludzi (w dalszej części nazywany również hałasem środowiskowym).

Celem tych badań była próba określenia wpływu różnych rodzajów nawierzchni betonowych na hałas środowiskowy pomierzony w otoczeniu odcinka drogi.

Do badań hałasu środowiskowego wytypowano 3 odcinki pomiarowe na nawierzchniach betonowych. Należały do nich odcinki:

- autostrada A4 – Wrocław-Granica Państwa (w pobliżu miejscowości Kostomłoty),
- droga ekspresowa S8 – okolice węzła drogowego Rzgów-Róża,
- autostrada A2 – Świecko (odcinek w bezpośrednim rejonie granicy Państwa).

Na rys. 11.1. przedstawiono ogólną lokalizację odcinków pomiarowych na wybranych fragmentach dróg betonowych (oznaczone jako PKT1, PKT2, PKT3).



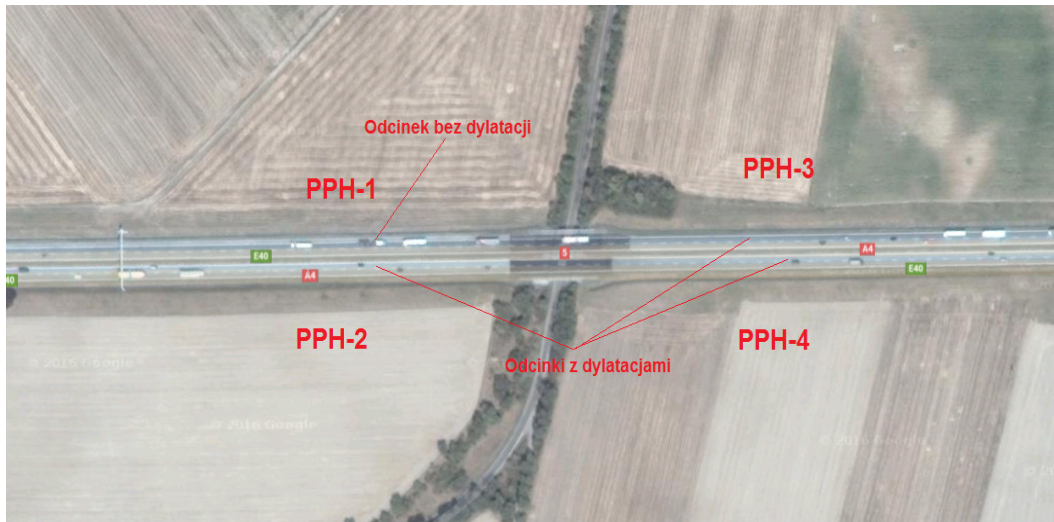
Rys. 11.1. Ogólna lokalizacja odcinków pomiarowych hałasu środowiskowego na wybranych fragmentach dróg betonowych

Poniżej w tabl. 11.1 zestawiono szczegółowe informacje dotyczące miejsca wykonywanych pomiarów. W dalszej części opisu podane zostały także kolejne informacje charakteryzujące odcinek pomiarowy oraz nawierzchnię.

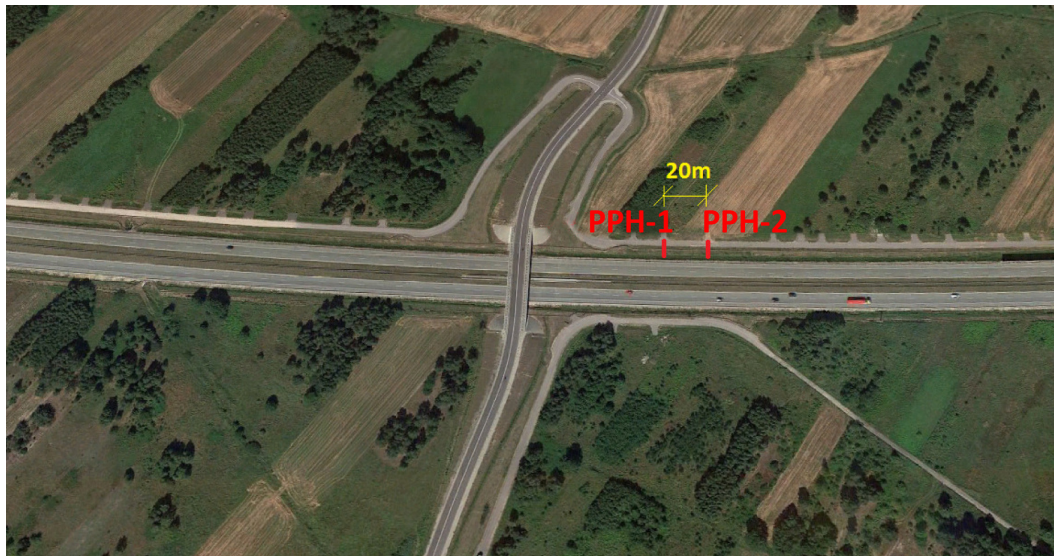
Tablica 11.1 Zestawienie informacji szczegółowych dotyczących pomiarów hałasu środowiskowego na wybranych odcinkach dróg betonowych

Lp.	Miejscowość	Nr drogi	Kilometraż	Lokalizacja szczegółowa	
				szerokość geograficzna	długość geograficzna
1	Kostomłoty	A4	km 134+700 do km 135+200	51° 1'9.69"N	6°43'17.39"E
2	Węzeł Rzgów-Róża	S8	km 224+500 do km 224+600	51°37'59.28"N	19°27'17.50"E
3	Świecko	A2	km 1+500 do km 1+600	52°19'15.48"N	14°36'22.69"E

Na rys. 11.2-11.4 przedstawiono lokalizację punktów pomiarowych na poszczególnych odcinkach dróg betonowych.



Rys. 11.2. Lokalizacja punktów pomiarowych w otoczeniu odcinka autostrady A4 (miejscowość Kostomłoty)



Rys. 11.3. Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka drogi ekspresowej S8 w pobliżu węzła Rzgów-Róża



Rys. 11.4. Lokalizacja punktu pomiarowego w otoczeniu odcinka autostrady A2 (miejscowość Świecko)

11.1.2. Opis metody pomiarowej

Badania wykonano na trzech odcinkach dróg opisywanych powyżej z nawierzchnią wykonaną w technologii betonowej. W pobliżu każdego z odcinków zlokalizowano punkty pomiarowe, w których mierzono równoważny poziom hałasu drogowego, natężenie ruchu drogowego i prędkości pojazdów w interwałach 15-minutowych dla całego potoku ruchu. Badania zostały wykonane zgodnie z obowiązującymi przepisami i wytycznymi:

- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. 2011 nr 140 poz. 824).
- Instrukcja o sposobie przeprowadzania, generalnego pomiaru ruchu w roku 2015 GDDKiA.
- Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu. GDDKiA 2005, Bohatkiewicz J.

Pomiar natężenia ruchu drogowego

Pomiar natężenia ruchu odbywał się w określonych przekrojach poligonów badawczych. W przypadku punktów na autostradzie A2 i drodze ekspresowej S8 wyznaczono pojedyncze przekroje. Na autostradzie A4, ze względu na zróżnicowanie technologii wykonania nawierzchni, zrealizowano pomiar w dwóch przekrojach. Pomiar natężenia ruchu odbywał się manualnie. Obserwatorzy zliczali pojazdy przejeżdżające przez przekrój zgodnie z instrukcją wykonywania generalnego pomiaru ruchu drogowego zgodnie z zaleceniami GDDKiA. Pomiar wykonywano w interwałach 15 minutowych z uwzględnieniem struktury rodzajowej. Zgodnie z wytycznymi GDDKiA rozróżnia się następujące kategorie pojazdów [68]:

- rowery,
- motocykle, motorowery, quady,
- samochody osobowe,
- lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze),

-
- samochody ciężarowe bez przyczep,
 - samochody ciężarowe z przyczepami,
 - autobusy, trolejbusy,
 - ciągniki rolnicze, maszyny samobieżne.

Z uwagi na charakter odcinków dróg oraz pomiarów związany z hałasem drogowym pojazdy podzielono na dwie kategorie:

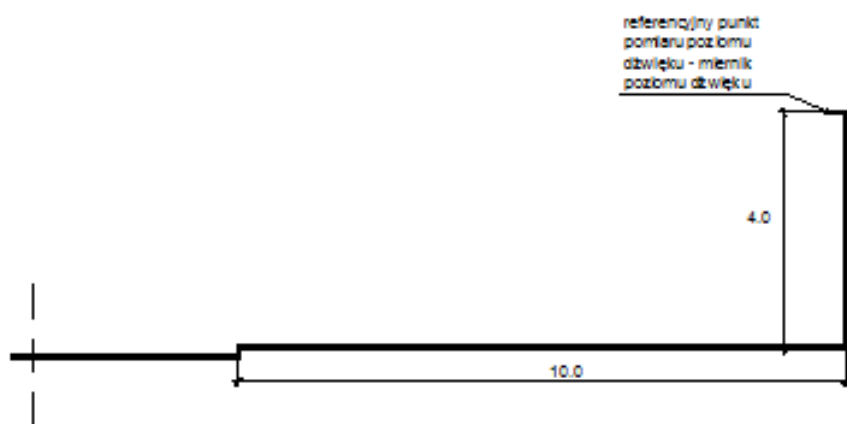
- lekkie;
 - samochody osobowe,
 - lekkie samochody ciężarowe (samochody dostawcze),
- ciężkie,
 - motocykle,
 - samochody ciężarowe bez przyczep,
 - samochody ciężarowe z przyczepami,
 - autobusy, trolejbusy,
 - ciągniki rolnicze, maszyny samobieżne.

Równocześnie z pomiarem natężenia ruchu drogowego wykonywano pomiar prędkości z podziałem na pojazdy lekkie i ciężkie. Do badań wykorzystano radarowy miernik prędkości.

Pomiar równoważnego poziomu dźwięku

Pomiary poziomu dźwięku wykonywane były metodą bezpośrednią, zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. 2011, nr 140 poz. 824) [103]. Wykonano je łącznie w 9 punktach pomiarowych, zlokalizowanych w sąsiedztwie każdego analizowanego odcinka.

Pomiar hałasu drogowego odbywał się w tym samym przekroju jak pomiar natężenia ruchu drogowego i prędkości pojazdów. Mikrofon umieszczony był w odległości 10 metrów od krawędzi drogi i na wysokości 4 metrów nad poziomem nawierzchni drogi. Na rys. 11.6 – 11.9 przedstawiono typowe ustawienie mierników [103].



Rys. 11.5 Typowa lokalizacja punktu referencyjnego w przekroju pomiarowym, gdy droga przebiega w poziomie terenu

Poniżej przedstawiono ustawienie mierników w poszczególnych punktach pomiarowych.



Rys. 11.6. Lokalizacja mierników w punktach PPH2 i PPH1 na autostradzie A4



Rys. 11.7. Lokalizacja mierników w punktach PPH4 i PPH3 na autostradzie A4



Rys. 11.8. Lokalizacja mierników w punkcie pomiarowym na drodze ekspresowej S8 Węzeł Rzgów - Róża



Rys. 11.9. Lokalizacja mierników w punkcie pomiarowym na autostradzie A2

Pomiary zostały wykonane z zachowaniem poniższych zasad [103]:

- pomiarów nie powinno wykonywać się:
 - w czasie, gdy mogą one zagrażać bezpieczeństwu uczestników ruchu i osobom wykonującym pomiar,
 - w trakcie, kiedy następują zakłócenia akustyczne nie związane z ruchem drogowym, które mogą mieć wpływ na wyniki,
 - w trakcie i po opadach atmosferycznych, kiedy nawierzchnia drogowa jest mokra, pokryta błotem, śniegiem lub lodem,
- warunki meteorologiczne podczas pomiarów:
 - prędkość wiatru 0-5 m/s określona na wysokości położenia najwyższego punktu lokalizacji,
 - brak silnej inwersji temperaturowej przy gruncie,
 - temperatura powyżej -5°C ,
 - brak opadów atmosferycznych.

Badania wykonano przyrządami pierwszej klasy dokładności pomiaru – rys.11.10-rys.11.11. Każdy z mierników przed rozpoczęciem pomiaru został skalibrowany. Urządzenia posiadały aktualne certyfikaty wzorcowania.



Rys. 11.10. Miernik SVAN 958



Rys. 11.11. Miernik SVAN 971

11.2. Ocena wpływu wybranych czynników mających wpływ na hałas środowiskowy

11.2.1. Wyniki badań na autostradzie A4

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu wykonano na autostradzie A4 w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez ich dzielenia na interwały 15-minutowe – w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar

prędkości liderów takich grup. Pomiaru prędkości, podobnie jak natężenia ruchu, wykonano w podziale na jezdnie.

Większość poniższych analiz wykonano dla tych interwałów pomiarowych 15-minutowych – w przypadku prędkości przyjęto dla poszczególnych interwałów analiz wartości średnie prędkości z całego okresu pomiaru tabl. 11.2.

Tablica 11.2. Wyniki pomiarów prędkości pojazdów na odcinku autostrady A4

<i>Kategoria pojazdów</i>	<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	<i>Maksymalna prędkość [km/h]</i>	<i>Minimalna prędkość [km/h]</i>	<i>Liczebność próby [P]</i>
<i>Pojazdy lekkie</i>	111,3	176	76	662
<i>Pojazdy ciężkie</i>	88,5	133	52	416

W tabl. 11.3 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla przekroju pomiarowego na autostradzie A4 z podziałem na jezdnie.

Tablica 11.3. Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na odcinku autostrady A4

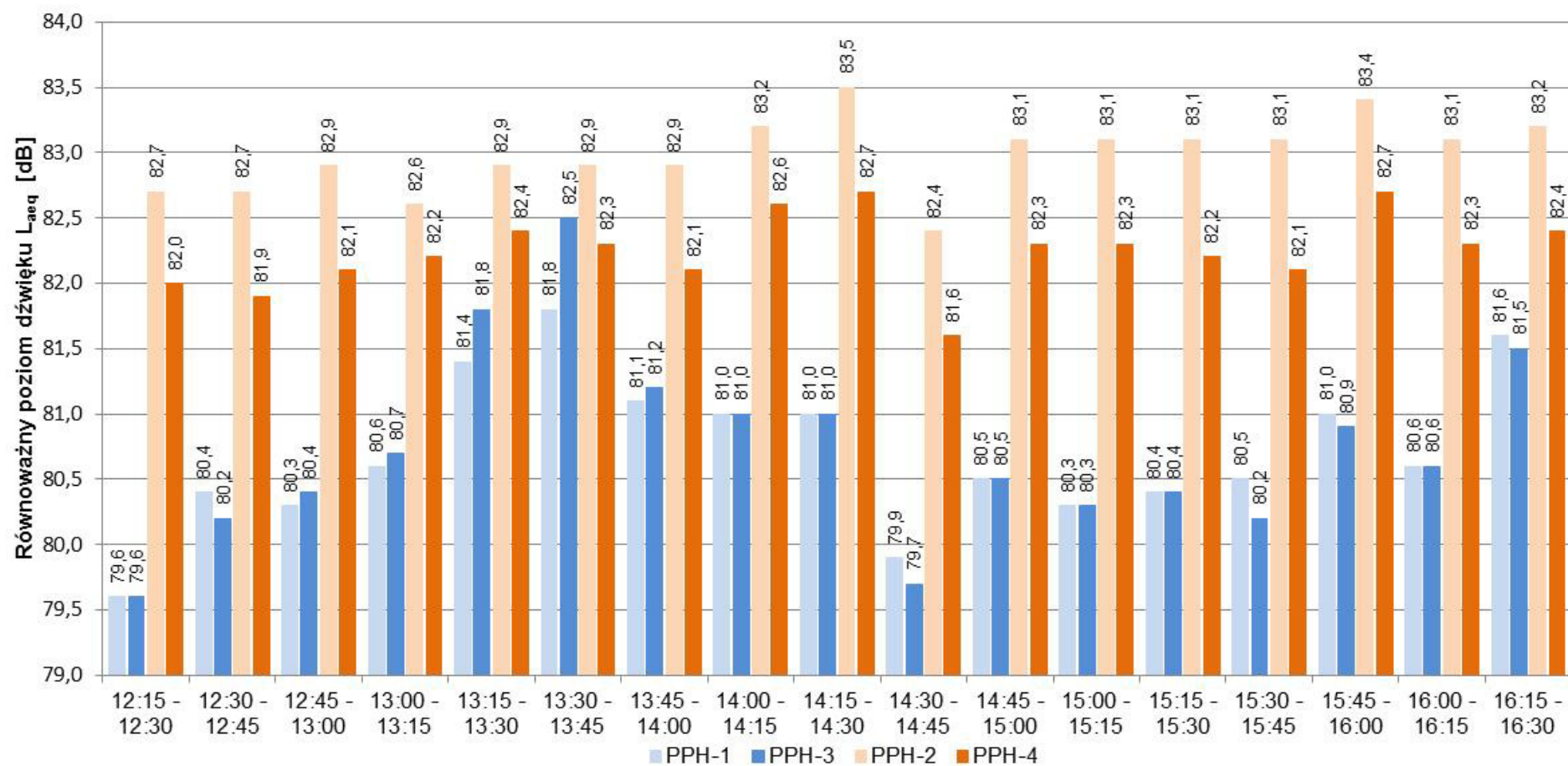
<i>Natężenie ruchu drogowego:</i>	<i>Jezdnie w kierunku granicy Państwa</i>				<i>Jezdnie w kierunku Wrocławia</i>			
	<i>Natężenie ruchu (lekkie) [P/15 min]</i>	<i>Natężenie ruchu (ciężkie) [P/15 min]</i>	<i>Udział pojazdów ciężkich [%]</i>	<i>Natężenie ruchu [P/15 min]</i>	<i>Natężenie ruchu (lekkie) [P/15 min]</i>	<i>Natężenie ruchu (ciężkie) [P/15 min]</i>	<i>Udział pojazdów ciężkich [%]</i>	<i>Natężenie ruchu [P/15 min]</i>
<i>12:15 - 12:30</i>	255	121	32,2	376	253	59	18,9	312
<i>12:30 - 12:45</i>	296	125	29,7	421	280	72	20,5	352
<i>12:45 - 13:00</i>	280	153	35,3	433	290	88	23,3	378
<i>13:00 - 13:15</i>	340	131	27,8	471	297	87	22,7	384
<i>13:15 - 13:30</i>	300	135	31,0	435	364	134	26,9	498
<i>13:30 - 13:45</i>	320	146	31,3	466	376	144	27,7	520
<i>13:45 - 14:00</i>	281	126	31,0	407	354	135	27,6	489
<i>14:00 - 14:15</i>	210	165	44,0	375	302	135	30,9	437
<i>14:15 - 14:30</i>	360	163	31,2	523	287	92	24,3	379
<i>14:30 - 14:45</i>	360	152	29,7	512	269	63	19,0	332
<i>14:45 - 15:00</i>	324	153	32,1	477	290	81	21,8	371
<i>15:00 - 15:15</i>	390	122	23,8	512	293	78	21,0	371
<i>15:15 - 15:30</i>	375	150	28,6	525	292	68	18,9	360
<i>15:30 - 15:45</i>	380	146	27,8	526	283	77	21,4	360
<i>15:45 - 16:00</i>	344	136	28,3	480	278	92	24,9	370
<i>16:00 - 16:15</i>	296	152	33,9	448	291	86	22,8	377
<i>16:15 - 16:30</i>	370	141	27,6	511	402	134	25,0	536

Badanie poziomu hałasu drogowego zostało wykonane w czterech punktach ze względu na różnice w technologii wykonania nawierzchni drogowej. Jeden odcinek został wykonany w technologii bez zastosowania szczelin dylatacyjnych, natomiast pozostałe zostały wykonane z przerwami dylatacyjnymi na podbudowie z chudego betonu. Górną warstwę wykończono w technologii szcztokowania poprzecznego. W tablicy 11.4 przedstawiono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku.

Tablica 11.4. Wyniki pomiaru równoważnego poziomu dźwięku na odcinku autostrady A4

<i>Równoważny poziom dźwięku [dB]:</i>				
<i>Czas pomiaru</i>	PPH-1	PPH-3	PPH-2	PPH-4
<i>12:15 - 12:30</i>	79,6	79,6	82,7	82,0
<i>12:30 - 12:45</i>	80,4	80,2	82,7	81,9
<i>12:45 - 13:00</i>	80,3	80,4	82,9	82,1
<i>13:00 - 13:15</i>	80,6	80,7	82,6	82,2
<i>13:15 - 13:30</i>	81,4	81,8	82,9	82,4
<i>13:30 - 13:45</i>	81,8	82,5	82,9	82,3
<i>13:45 - 14:00</i>	81,1	81,2	82,9	82,1
<i>14:00 - 14:15</i>	81,0	81,0	83,2	82,6
<i>14:15 - 14:30</i>	81,0	81,0	83,5	82,7
<i>14:30 - 14:45</i>	79,9	79,7	82,4	81,6
<i>14:45 - 15:00</i>	80,5	80,5	83,1	82,3
<i>15:00 - 15:15</i>	80,3	80,3	83,1	82,3
<i>15:15 - 15:30</i>	80,4	80,4	83,1	82,2
<i>15:30 - 15:45</i>	80,5	80,2	83,1	82,1
<i>15:45 - 16:00</i>	81,0	80,9	83,4	82,7
<i>16:00 - 16:15</i>	80,6	80,6	83,1	82,3
<i>16:15 - 16:30</i>	81,6	81,5	83,2	82,4

Wyniki uzyskane z pomiarów dla różnych technologii wykonania nawierzchni przedstawiono na rys. 11.12.



Rys. 11.12. Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w interwałach 15-minutowych w poszczególnych punktach pomiarowych na odcinku autostrady A4

11.2.2. Wyniki badań na drodze ekspresowej S8

Badania natężenia ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu wykonano na drodze ekspresowej w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez dzielenia ich na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność – w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup.

Większość poniższych analiz wykonano dla interwałów pomiarowych 15-minutowych – w przypadku prędkości przyjęto dla poszczególnych interwałów analiz wartości średnie prędkości z pomiarów tabl. 11.5.

Tablica 11.5. Wyniki pomiarów prędkości pojazdów na odcinku drogi ekspresowej S8

<i>Kategoria pojazdów</i>	<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	<i>Maksymalna prędkość [km/h]</i>	<i>Minimalna prędkość [km/h]</i>	<i>Liczebność próby [P]</i>
<i>Pojazdy lekkie</i>	130,9	217	80	205
<i>Pojazdy ciężkie</i>	84,4	120	65	206

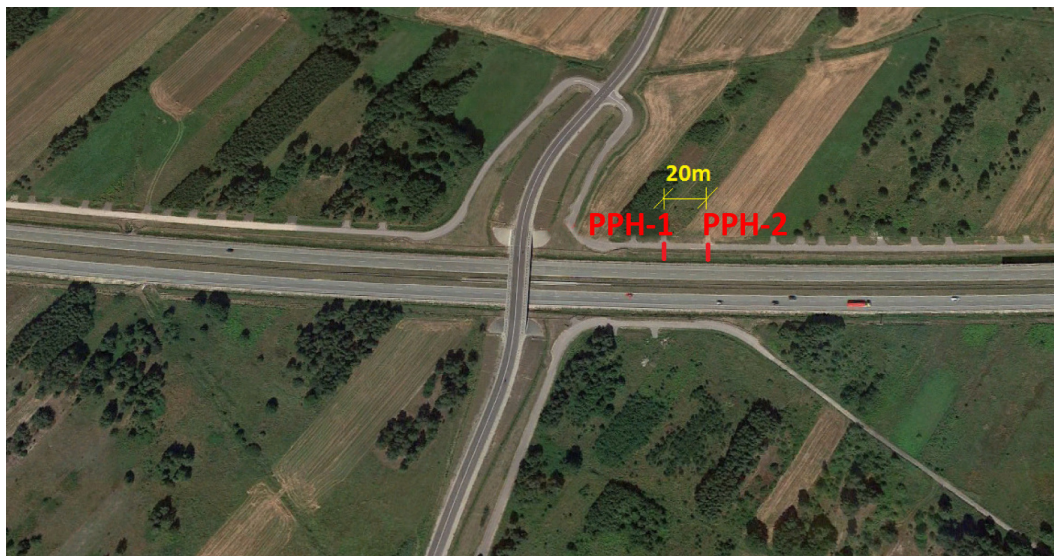
W tabl. 11.6 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla przekroju pomiarowego na drodze ekspresowej S8

Tablica 11.6. Wyniki pomiaru natężenia ruchu na odcinku drogi ekspresowej S8

<i>Natężenie ruchu drogowego:</i>	<i>Jezdnia w kierunku Wrocławia</i>				<i>Jezdnie w kierunku Łodzi</i>			
	<i>Natężenie ruchu (lekkie) [P/15 min]</i>	<i>Natężenie ruchu (ciężkie) [P/15 min]</i>	<i>Udział pojazdów ciężkich [%]</i>	<i>Natężenie ruchu [P/15 min]</i>	<i>Natężenie ruchu (lekkie) [P/15 min]</i>	<i>Natężenie ruchu (ciężkie) [P/15 min]</i>	<i>Udział pojazdów ciężkich [%]</i>	<i>Natężenie ruchu [P/15 min]</i>
<i>14:30-14:45</i>	125	56	30,9	181	112	53	32,1	165
<i>14:45-15:00</i>	107	29	21,3	136	103	31	23,1	134
<i>15:00-15:15</i>	155	38	19,7	193	147	32	17,9	179
<i>15:15-15:30</i>	172	54	23,9	226	165	51	23,6	216
<i>15:30-15:45</i>	155	47	23,3	202	150	50	25,0	200
<i>15:45-16:00</i>	163	53	24,5	216	142	48	25,3	190
<i>16:00-16:15</i>	180	60	25,0	240	165	61	27,0	226
<i>16:15-16:30</i>	180	44	19,6	224	152	46	23,2	198

Pomiar poziomu hałasu drogowego został wykonany w dwóch punktach. Lokalizacja punktów została przedstawiona na rys. 11.13. Nawierzchnie wykonano w technologii odkrytego kruszywa z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych. Zastosowano dwa punkty pomiarowe

w celu sprawdzenia poprawności pomiaru. Wyniki z dwóch punktów nie różnią się znacząco, największa różnica wynosi 0,3 dB. W tabl. 11.7 przedstawiono wyniki pomiarów poziomu hałasu drogowego.

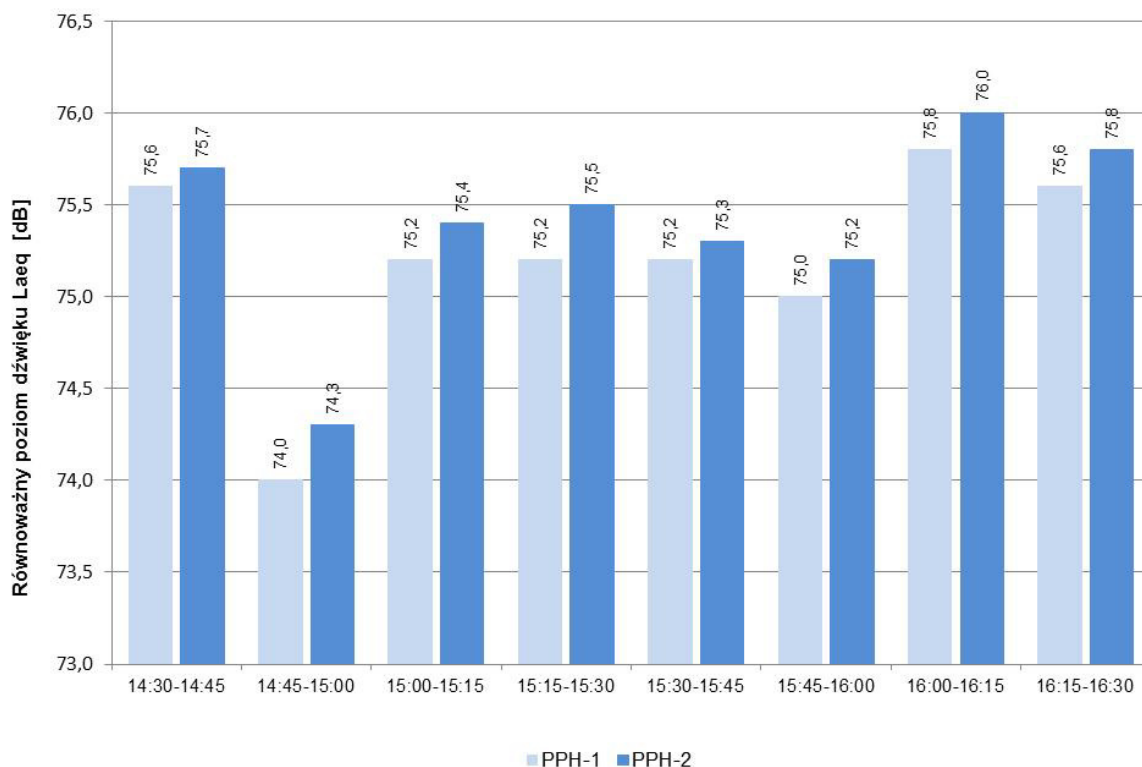


Rys. 11.13. Lokalizacja punktów pomiarowych na drodze ekspresowej S8

Tablica 11.7. Wyniki pomiaru poziomu hałasu drogowego na odcinku drogi ekspresowej S8

<i>Równoważny poziom dźwięku [dB]:</i>		
<i>Czas pomiaru</i>	PPH-1	PPH-2
<i>14:30-14:45</i>	75,6	75,7
<i>14:45-15:00</i>	74,0	74,3
<i>15:00-15:15</i>	75,2	75,4
<i>15:15-15:30</i>	75,2	75,5
<i>15:30-15:45</i>	75,2	75,3
<i>15:45-16:00</i>	75,0	75,2
<i>16:00-16:15</i>	75,8	76,0
<i>16:15-16:30</i>	75,6	75,8

Wyniki uzyskane z pomiarów hałasu drogowego przedstawiono na rys. 11.14.



Rys. 11.14. Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w interwałach 15-minutowych w poszczególnych punktach pomiarowych na odcinku drogi ekspresowej S8

11.2.3. Wyniki badań na autostradzie A2

Badania natężenia i struktury rodzajowej ruchu oraz równoważnego poziomu hałasu wykonano na autostradzie w interwałach 15-minutowych. Pomiary prędkości wykonywano w trakcie całego pomiaru bez ich rozbijania na interwały 15-minutowe z uwagi na niezbędną liczebność próby pomiarowej – w większości przypadków interwałów pomiarowych zauważono, że pojazdy jadą w grupach i w takiej sytuacji możliwy jest pomiar prędkości liderów takich grup.

Większość poniższych analiz wykonano dla interwałów pomiarowych 15-minutowych – w przypadku prędkości przyjęto dla poszczególnych interwałów analiz wartości średnie prędkości z pomiarów tabl. 11.8.

Tablica 11.8. Wyniki pomiarów prędkości pojazdów na odcinku autostrady A2

<i>Kategoria pojazdów</i>	<i>Średnia prędkość [km/h]</i>	<i>Maksymalna prędkość [km/h]</i>	<i>Minimalna prędkość [km/h]</i>	<i>Liczebność próby [P]</i>
<i>Pojazdy lekkie</i>	84,1	133	50	260
<i>Pojazdy ciężkie</i>	69,9	127	22	390

W tabl. 11.9 zestawiono wyniki pomiarów natężenia ruchu dla przekroju pomiarowego na autostradzie A2.

Tablica 11.9. Wyniki pomiaru natężenia ruchu drogowego na autostradzie A2

Natężenie ruchu drogowego:	Jezdnia w kierunku granicy państwa				Jezdnia w kierunku Poznania			
	Natężenie ruchu (lekkie) [P/15 min]	Natężenie ruchu (ciężkie) [P/15 min]	Udział pojazdów ciężkich [%]	Natężenie ruchu [P/15 min]	Natężenie ruchu (lekkie) [P/15 min]	Natężenie ruchu (ciężkie) [P/15 min]	Udział pojazdów ciężkich [%]	Natężenie ruchu [P/15 min]
9:33-9:48	66	78	54,2	144	96	75	56,1	171
9:48-10:03	103	86	45,5	189	88	71	55,3	159
10:03-10:18	88	82	48,2	170	94	60	61,0	154
10:18-10:33	78	100	56,2	178	78	38	67,2	116
10:33-10:48	96	90	48,4	186	100	74	57,5	174
10:48-11:03	76	82	51,9	158	92	69	57,1	161
11:03-11:18	100	96	49,0	196	89	69	56,3	158
11:18-11:33	96	89	48,1	185	87	68	56,1	155
11:33-11:48	87	126	59,2	213	86	58	59,7	144
11:48-12:03	71	110	60,8	181	97	55	63,8	152
12:03-12:18	98	95	49,2	193	85	64	57,0	149
12:18-12:33	106	95	47,3	201	92	58	61,3	150
12:33-12:48	114	112	49,6	226	87	78	52,7	165
12:48-13:03	86	121	58,5	207	70	56	55,6	126

Badanie poziomu hałasu zostało wykonane w trzech punktach. Nawierzchnia na autostradzie A2 została wykonana w technologii odkrytego kruszywa. Pomiar w trzech punktach bardzo blisko siebie położonych wykonano w celu sprawdzenia poprawności pomiaru. Wyniki z trzech punktów nie różnią się znacząco, największa różnica wynosi 0,4 dB. Na rys. 11.15 przedstawiono lokalizację punktów. W tabl. 11.10 przedstawiono wyniki pomiarów poziomu hałasu drogowego.

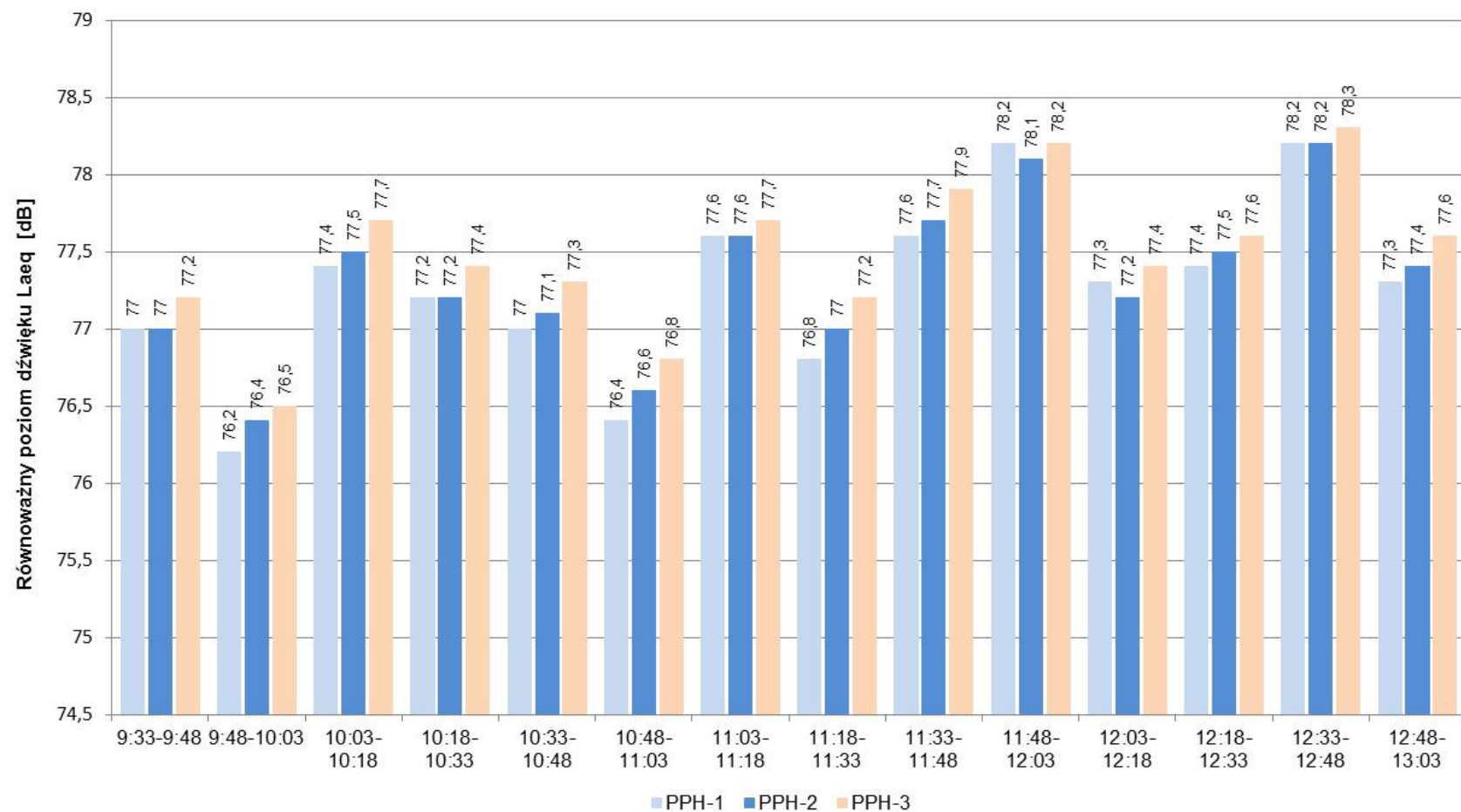


Rys. 11.15. Lokalizacja punktów pomiarowych na autostradzie A2

Tablica 11.10. Wyniki pomiaru poziomu hałasu drogowego na odcinku autostrady A2

<i>Równoważny poziom dźwięku [dB]:</i>			
<i>Czas pomiaru</i>	PPH-1	PPH-2	PPH-3
9:33-9:48	77,0	77,0	77,2
9:48-10:03	76,2	76,4	76,5
10:03-10:18	77,4	77,5	77,7
10:18-10:33	77,2	77,2	77,4
10:33-10:48	77,0	77,1	77,3
10:48-11:03	76,4	76,6	76,8
11:03-11:18	77,6	77,6	77,7
11:18-11:33	76,8	77,0	77,2
11:33-11:48	77,6	77,7	77,9
11:48-12:03	78,2	78,1	78,2
12:03-12:18	77,3	77,2	77,4
12:18-12:33	77,4	77,5	77,6
12:33-12:48	78,2	78,2	78,3
12:48-13:03	77,3	77,4	77,6

Wyniki uzyskane z pomiarów w celu porównania wartości poziomu hałasu drogowego przedstawiono na rys. 11.16.



Rys. 11.16. Wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w interwałach 15-minutowych w poszczególnych punktach pomiarowych na odcinku autostrady A2

11.2.4. Porównanie właściwości akustycznych nawierzchni betonowych w zależności od technologii wykonania

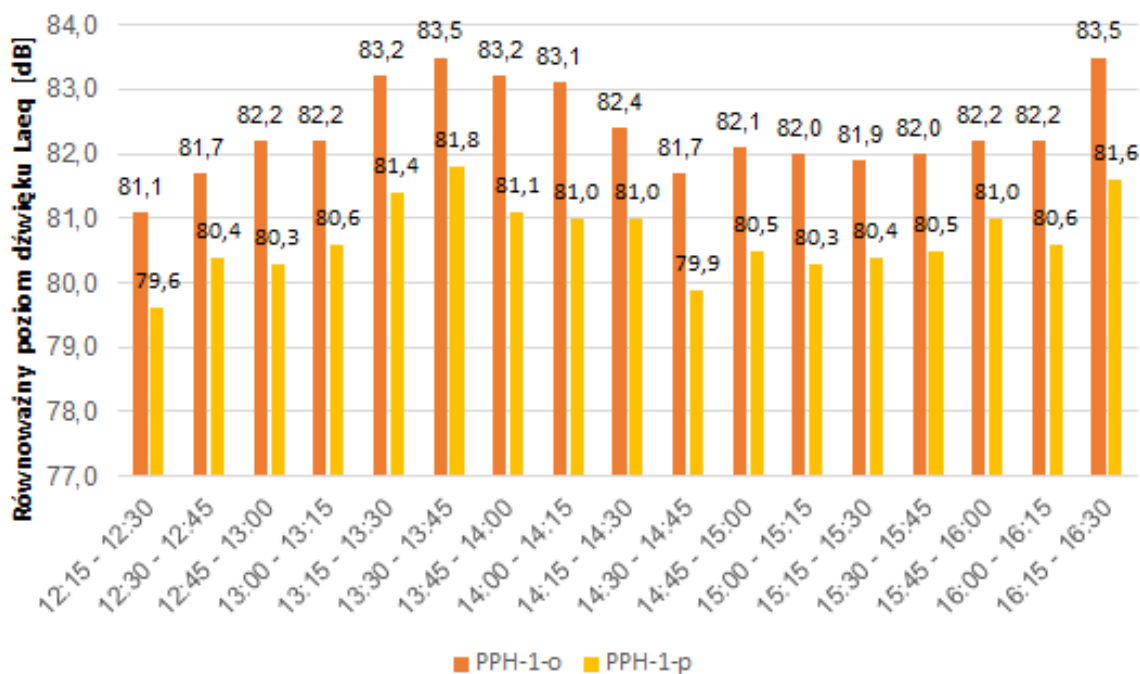
Pomiary we wszystkich punktach były wykonywane według tych samych zasad. Dzięki zastosowaniu jednolitej metodyki pomiarów można porównać uzyskane wyniki. Dla każdego z analizowanych punktów wykonano obliczenia prognozowanego równoważnego poziomu dźwięku metodą francuską jak dla nawierzchni asfaltowych [114]. Porównano wyniki obliczone i mierzone dla każdego z punktów pomiarowych. Uzyskane średnie różnice posłużyły do porównania właściwości akustycznych nawierzchni betonowej do nawierzchni asfaltowej.

Autostrada A4

Na analizowanym odcinku badania wykonano w czterech punktach w zależności od technologii wykonania nawierzchni:

- PPH1 – nawierzchnia o ciągłym uzbrojeniu, jezdnia północna.
- PPH3 - nawierzchnia dyblowana na podbudowie z betonu, jezdnia północna
- PPH2 i PPH4 - nawierzchnia dyblowana na podbudowie z betonu, jezdnia południowa

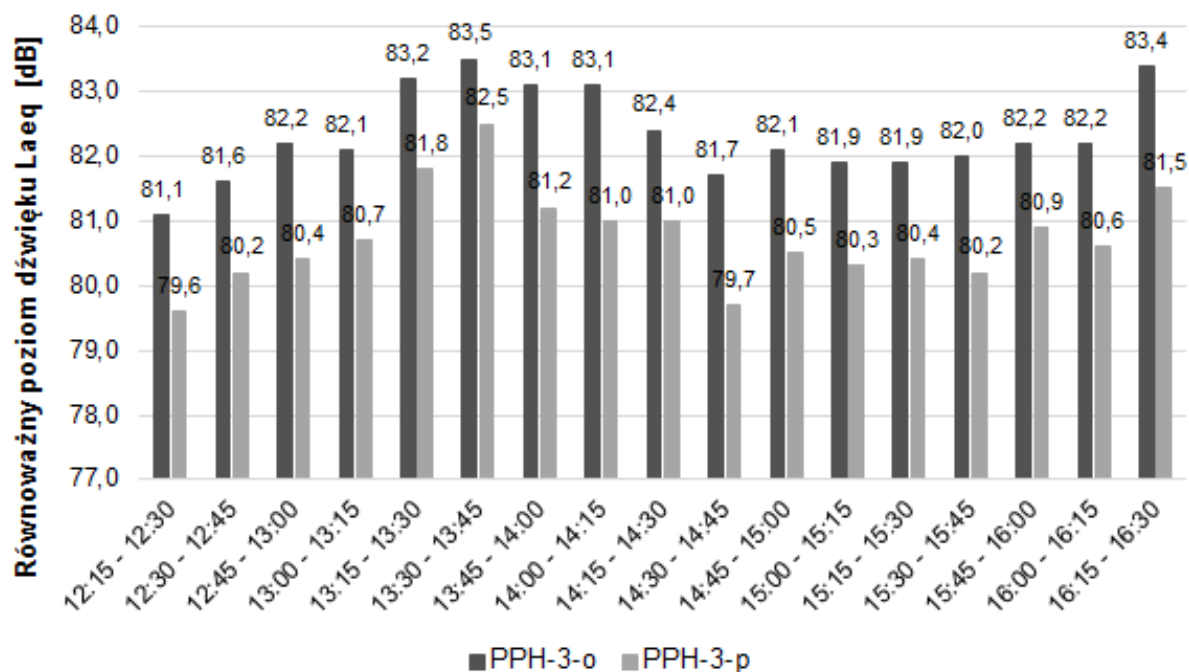
W celu porównania wyników w pomierzonych punktach wykonano obliczenia równoważnego poziomu dźwięku metodą francuską dla nawierzchni asfaltowych przy wykorzystaniu danych ruchowych uzyskanych podczas pomiarów. Wartości obliczone dla nawierzchni o ciągłym uzbrojeniu bez szczelin dylatacyjnych są większe od pomierzonych średnio o 1,7 dB rys. 11.17.



Rys. 11.17. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-1

Z wyników badań wynika, że dla każdego interwału pomierzonego nawierzchnie betonowe o ciągłym zbrojeniu (bez dylatacji) jest cichsza o 1,7 dB od nawierzchni asfaltowej, która jest przyjmowana standardowo w metodzie obliczeniowej francuskiej.

Wartości obliczone dla nawierzchni dyblowanej na podbudowie z betonu z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych są większe od pomierzonych średnio o 1,6 dB – rys. 11.18.

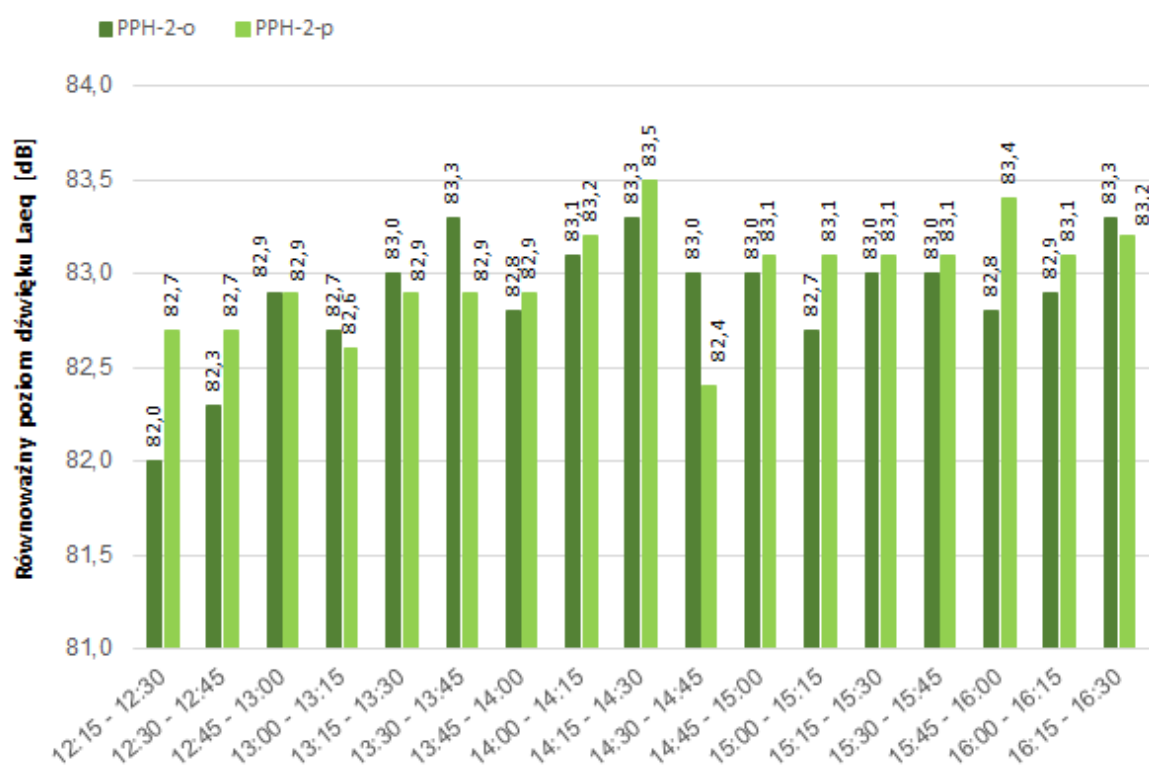


Rys. 11.18. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-3

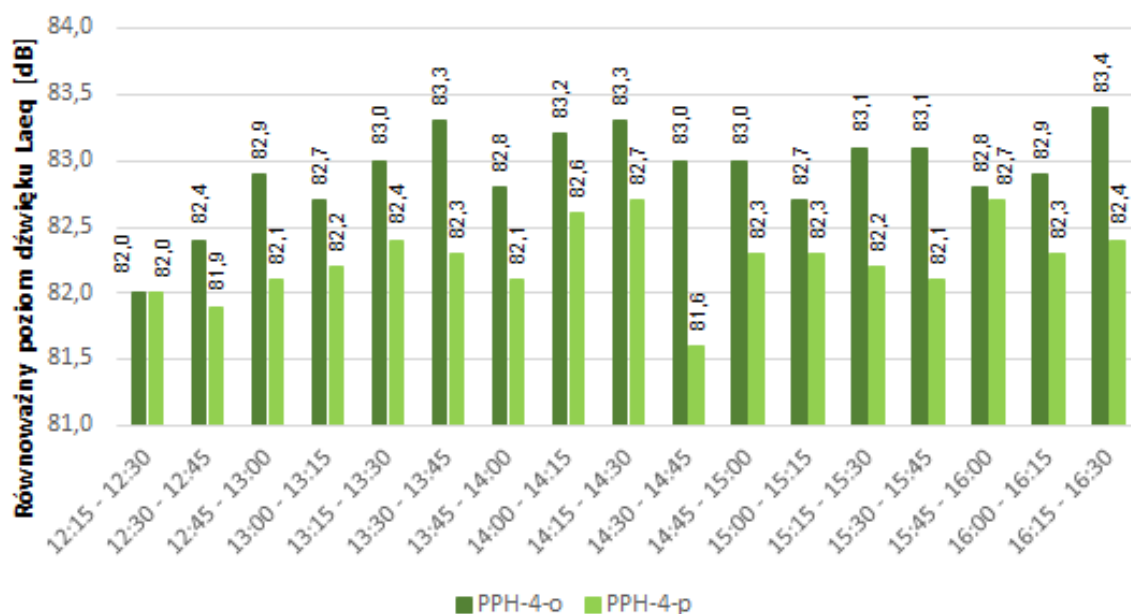
Wartości obliczone w punkcie PPH-2 dla nawierzchni dyblowanej na podbudowie z betonu na jezdni południowej z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych są większe od pomierzonych średnio o -0,1 dB – rys. 11.19.

Wartości obliczone w punkcie PPH-4 dla nawierzchni dyblowanej na podbudowie z betonu na jezdni południowej z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych są większe od pomierzonych średnio o 0,7 dB – rys. 11.20.

W analizowanym przypadku autostrady A4 najlepszymi właściwościami akustycznymi charakteryzowały się nawierzchnie o ciągłym uzbrojeniu bez zastosowania szczelin dylatacyjnych. Wskazują na to wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku w interwałach 15-minutowych wykonane w poszczególnych punktach pomiarowych. Poziom dźwięku jest o około 3 dB niższy niż poziom dla nawierzchnia dyblowanej na podbudowie z betonu na jezdni południowej, która jest starsza o 5 lat od nawierzchni na jezdni północnej. Ponadto dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu różnica pomiędzy wartością pomierzoną a wartością obliczoną dla nawierzchni asfaltowych według metody francuskiej wynosi 1,7 dB. Zbliżone wartości odnotowano w przypadku nawierzchni dyblowanej na podbudowie z betonu z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych (jezdni północna). Różnica w tym przypadku wynosiła 1,6 dB. Najniższymi różnicami charakteryzuje się nawierzchnia dyblowana na podbudowie z betonu na jezdni południowej 0,6 dB w PPH-4, a w przypadku PPH-2 wartości pomierzone były większe od obliczonych o 0,1 dB.



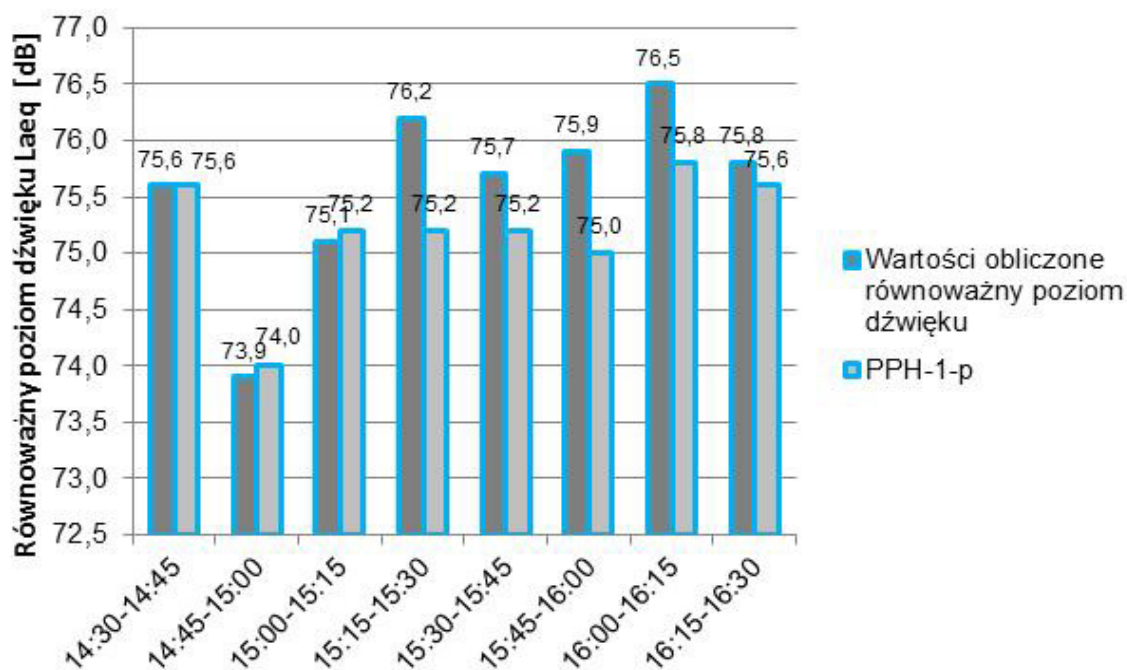
Rys. 11.19. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-2



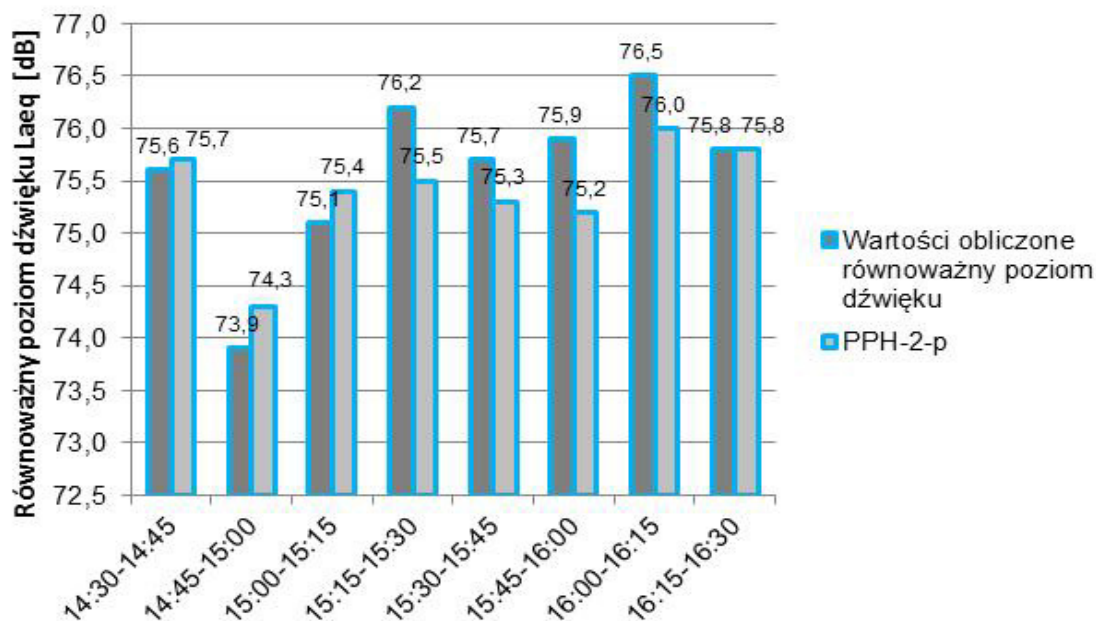
Rys. 11.20. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-4

Droga ekspresowa S8

Na analizowanym odcinku badania wykonano w dwóch punktach w celu sprawdzenia poprawności pomiaru. Porównując wyniki pomiarów w tych punktach wykonano obliczenia równoważnego poziomu dźwięku metodą francuską jak dla nawierzchni asfaltowych. Wartości obliczone w punkcie PPH-1 są większe od pomierzonych średnio o 0,4 dB – rys. 11.21. Wartości obliczone w punkcie PPH-2 są większe od pomierzonych średnio o 0,2 dB rys. 11.22.



Rys. 11.21. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-1



Rys. 11.22. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-2

Autostrada A2

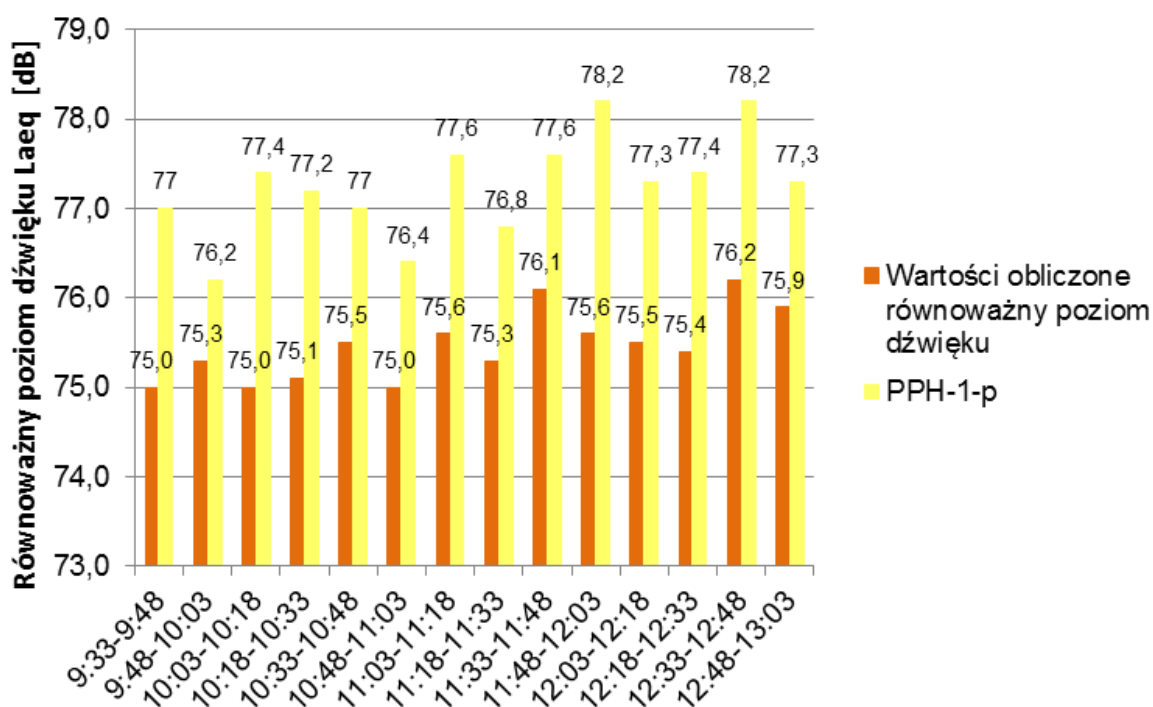
Na analizowanym odcinku badania wykonano w trzech punktach w celu sprawdzenia poprawności pomiaru. Porównując wyniki pomiarów w tych punktach wykonano obliczenia równoważnego poziomu dźwięku metodą francuską jak dla nawierzchni asfaltowych. Należy zwrócić uwagę, że pomiar ten był wykonywany w pobliżu granicy Państwa, gdzie prędkość była mniejsza w stosunku do autostrady A4 i drogi ekspresowej S8. Ponadto na wyniki pomiarów mogły mieć wpływ wyjazd z parkingu i stacji benzynowej oraz lokalizacja odcinka pomiarowego zlokalizowanego w wykopie.

Wartości obliczone w punkcie PPH-1 są mniejsze od pomierzonych średnio o 2,3 dB – rys. 11.23.

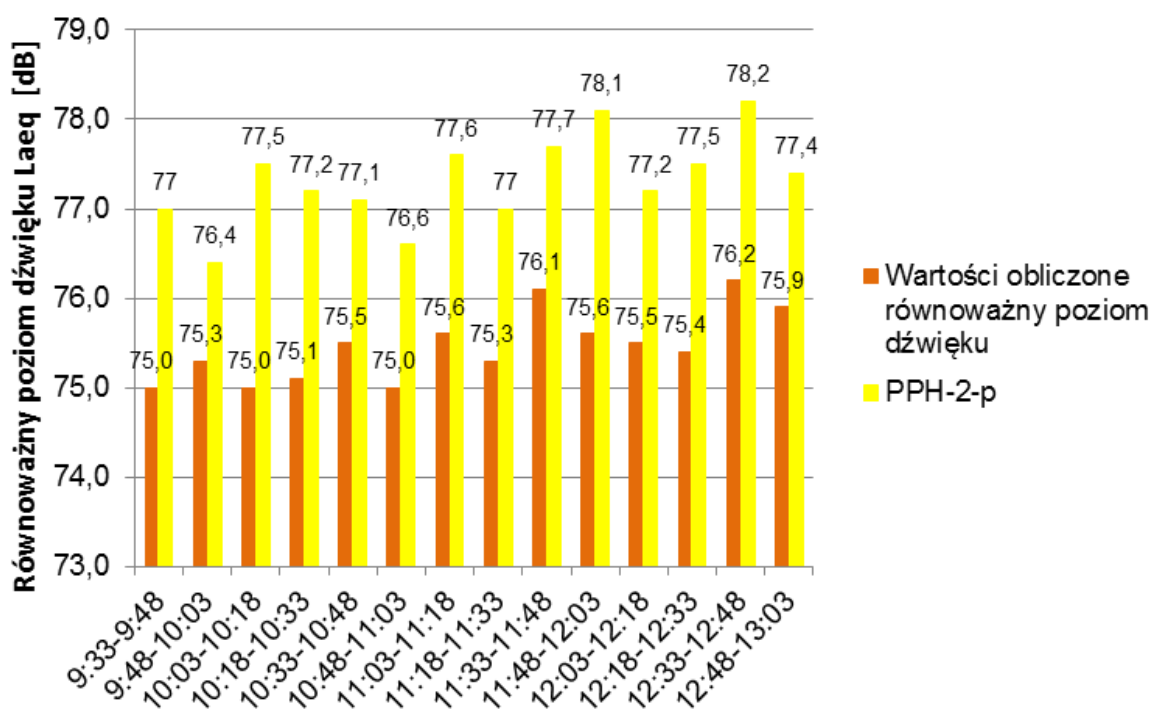
Wartości obliczone w punkcie PPH-2 są mniejsze od pomierzonych średnio o 2,3 dB – rys. 11.24.

Wartości obliczone w punkcie PPH-3 są mniejsze od pomierzonych średnio o 2,5 dB – rys. 11.25.

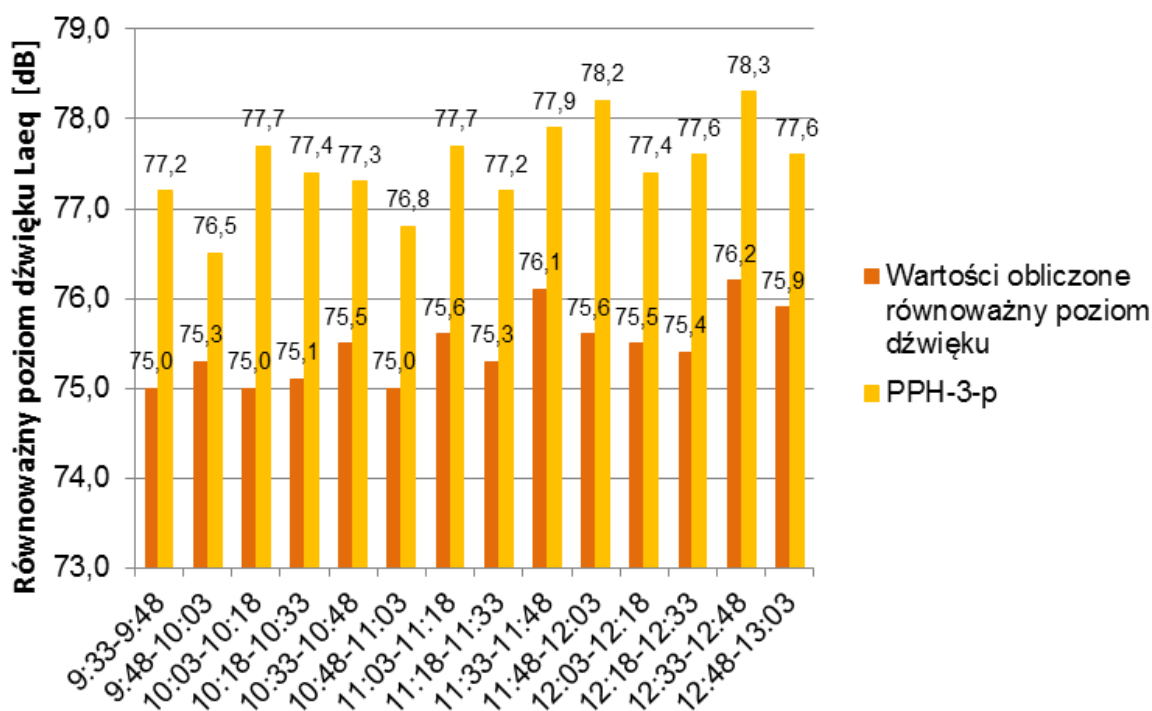
W przypadku analizy wyników na autostradzie A2 wyniki pomierzone są większe od wyników obliczonych. Średnia różnica dla wszystkich wyników wynosi 2,4 dB.



Rys. 11.23. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-1



Rys. 11.24. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-2



Rys. 11.25. Porównanie wyników pomierzonych i obliczonych równoważnego poziomu dźwięku dla punktu pomiarowego PPH-3

11.3. Podsumowanie

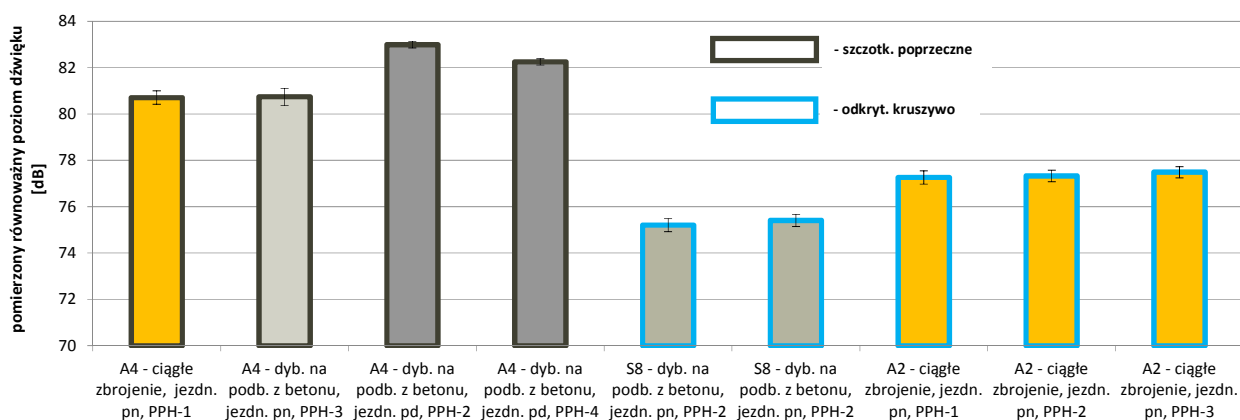
Na podstawie wykonanych pomiarów i obliczeń można zauważyć różnice pomiędzy poszczególnymi rodzajami nawierzchni betonowych. Istotną rolę odgrywa sposób wykończenia warstwy ścieralnej.

Analizując wyniki badań dla autostrady A4 stwierdzono najlepsze właściwości akustyczne w przypadku nawierzchni o ciągłym uzbrojeniu bez zastosowania szczelin dylatacyjnych. Podobnymi właściwościami charakteryzowała się nawierzchnia dyblowana na podbudowie z betonu z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych na jezdni północnej. Znacznie gorsze wyniki uzyskały starsze o 5 lat nawierzchnie dyblowane na podbudowie z betonu z zastosowaniem szczelin dylatacyjnych na jezdni południowej.

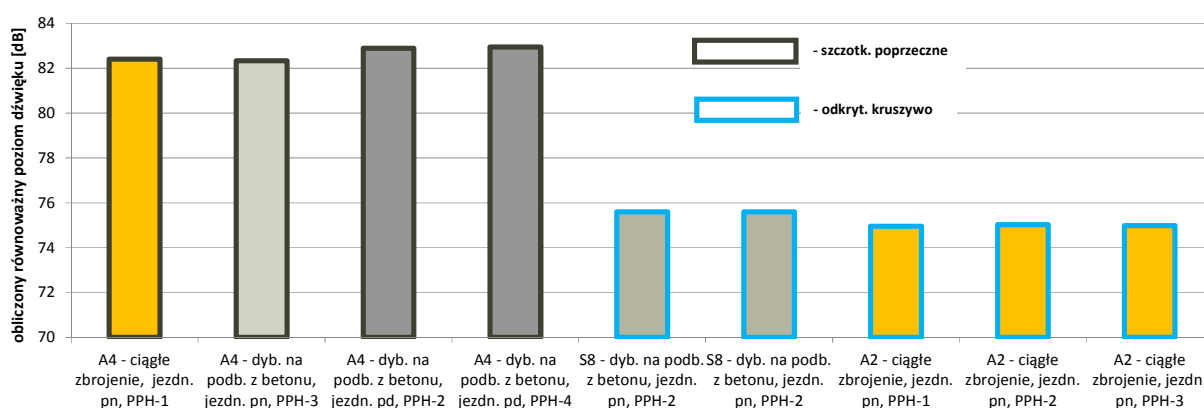
Nawierzchnia wykonana w technologii odkrytego kruszywa na drodze ekspresowej S8 podobnie jak w przypadku nawierzchni dyblowanej na podbudowie z betonu na jezdni południowej na autostradzie A4 uzyskała wyniki pomiarzone zbliżone do wartości obliczeniowych co pozwala wnioskować, że wartości obliczeniowe hałasu są zbliżone dla tego rodzaju nawierzchni betonowej i asfaltowej.

Na autostradzie A2 badano nawierzchnie o ciągłym uzbrojeniu wykonaną w technologii odkrytego kruszywa. Wyniki pomiarów znacząco odbiegają od wartości obliczeniowych. Wartości pomiarzone równoważnego poziomu dźwięku od wartości obliczonych są większe średnio o 2,4 dB. Na wyniki otrzymane z pomiarów miały wpływ ruch pojazdów odbywający się na wyjeździe z pobliskiej stacji benzynowej oraz lokalizacja odcinka w wykopie.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów równoważnego dźwięku (rys. 11.26) stwierdzono, że nawierzchnia A4 o ciągłym zbrojeniu posiada średni poziom 80.7 dB, natomiast konstrukcja dyblowana na podbudowie z betonu – j. pd. 83.0 dB. Nawierzchnia wykonana w technologii odkrytego kruszywa na S8 charakteryzuje się średnim poziomem 75.3 dB, natomiast A2 77.4 dB. Nawierzchnie wykonane w technologii odkrytego kruszywa są średnio o 6.5 dB cichsze od nawierzchni dyblowanych, szotkowanych poprzecznie oraz średnio o 4.4 dB cichsze od nawierzchni niedyblowanych, szotkowanych poprzecznie. Należy jednak dodać, że na A4 i S8 zarejestrowane podobne średnie wartości prędkości dla pojazdów, natomiast na A2 nieco mniejsze. Wartości obliczeniowe dla równoważnego poziomu dźwięku (rys. 11.27) wskazują na następujące zróżnicowanie: nawierzchnie betonowe rowkowane poprzecznie średnio 82.6 dB (odch. std. 0.3 dB), nawierzchnie z odkrytym kruszywem 75.2 dB (odch. std. 0.3 dB) co daje różnicę aż 7.4 dB.



Rys. 11.26. Zestawienie wyników pomierzonego równoważnego poziomu dźwięku dla badanych dróg



Rys. 11.27. Zestawienie wyników obliczonego równoważnego poziomu dźwięku dla badanych dróg

12. WPŁYW DYLATAcji OBIEKTÓW INŻYNIERSKICH NA GENEROWANY POZIOM HAŁASU

12.1. Badania wpływu dylatacji obiektów inżynierskich na poziom hałasu

12.1.1. Cele i zakres zadania

Celem badań była analiza porównawcza różnego rodzaju dylatacji stosowanych na obiektach inżynierskich z uwagi na hałas drogowy, a także próba identyfikacji hałasu powstającego na styku koło – dylatacja mostowa. Zagadnienie to jest bardzo ważne z punktu widzenia akustycznego i środowiskowego, gdyż pod wpływem najazdu samochodu na szczelinę dylatacyjną powstaje tzw. hałas impulsowy, który należy rozpatrywać oraz interpretować w inny sposób aniżeli hałas drogowy od przejeżdżających pojazdów po nawierzchni drogowej.

W zakres zadania wchodziło wytypowanie odcinków badawczych i wykonanie badań równoważnego poziomu dźwięku oraz hałaśliwości dylatacji obiektów inżynierskich.

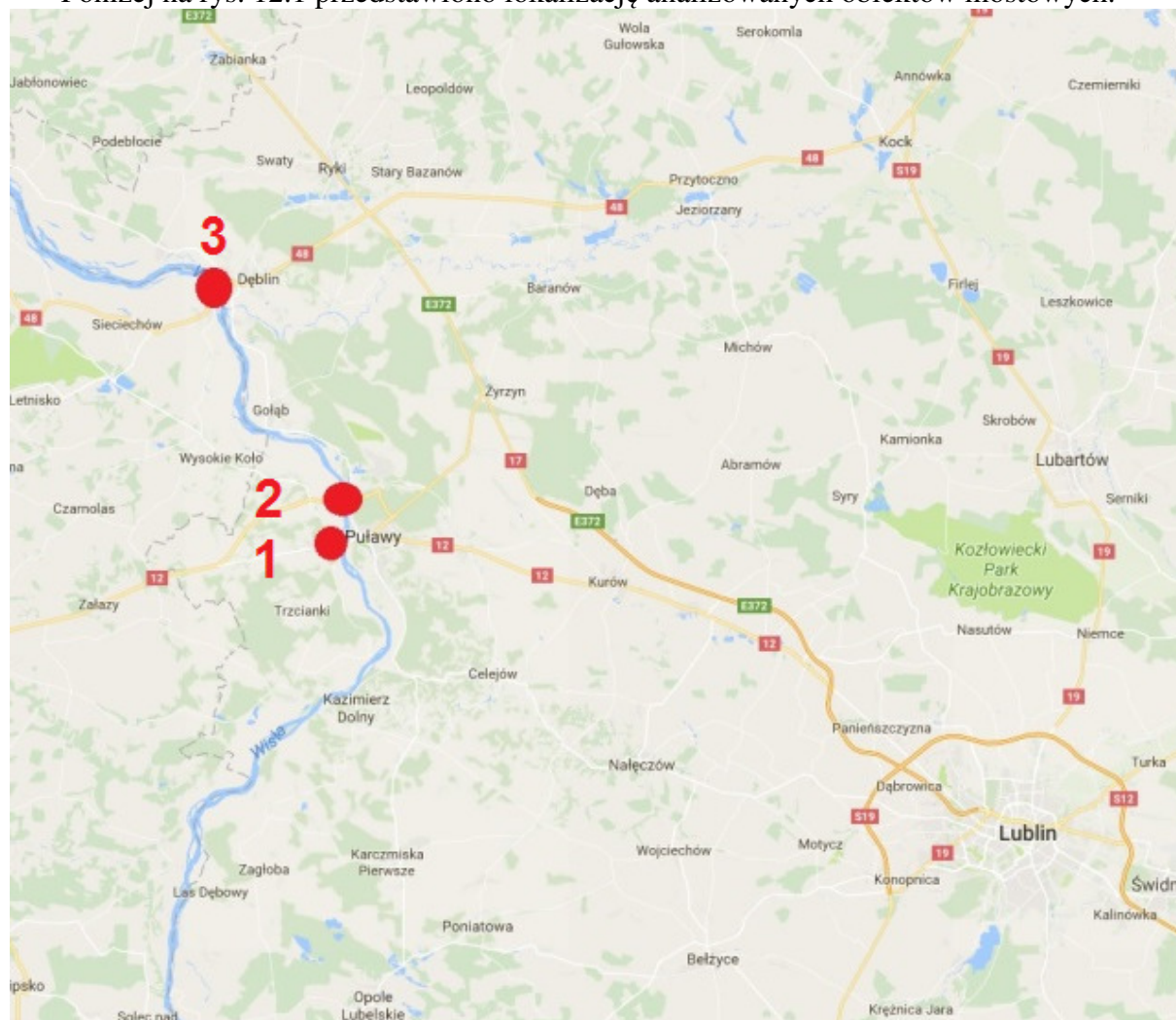
Niniejsze opracowanie przedstawia wyniki badań in situ na trzech obiektach mostowych zlokalizowanych w miejscowościach Puławy i Dęblin w Województwie Lubelskim. W ramach pracy wykonano badania hałasu, pomiary prędkości pojazdów przejeżdżających przez przekrój dylatacji oraz pomiary natężenia ruchu wraz z podziałem na jego strukturę rodzajową. Takie podejście umożliwiło weryfikację poziomu hałasu powstającego od różnego rodzaju pojazdów przejeżdżających po szczelinie oraz próbę skategoryzowania (oceny) badanych dylatacji mostowych pod kątem ich hałaśliwości.

12.1.2. Lokalizacja punktów pomiarowych

Poligon doświadczalny składał się z trzech obiektów mostowych. Badania zostały wykonane na moście Jana Pawła II w ciągu drogi DK 12 w Puławach, moście w ciągu ulicy

Marszałka Piłsudskiego w Puławach oraz moście w ciągu ulicy 15 Pułku w Dęblinie. Rozpoznanie pomiarowe umożliwiło także określenie zasad doboru i badań hałaśliwości dylatacji mostowych. W trakcie badań pomierzony został równoważny poziom hałasu od pojedynczo jadących pojazdów (bez wpływu innych pojazdów).

Poniżej na rys. 12.1 przedstawiono lokalizację analizowanych obiektów mostowych.



Rys. 12.1 Lokalizacja punktów pomiarowych: 1 – Most w ciągu ulicy Marszałka Piłsudskiego w Puławach, 2 – Most w ciągu trasy DK 12 Puławy-Zwoleń, 3 – Most w ciągu ulicy 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

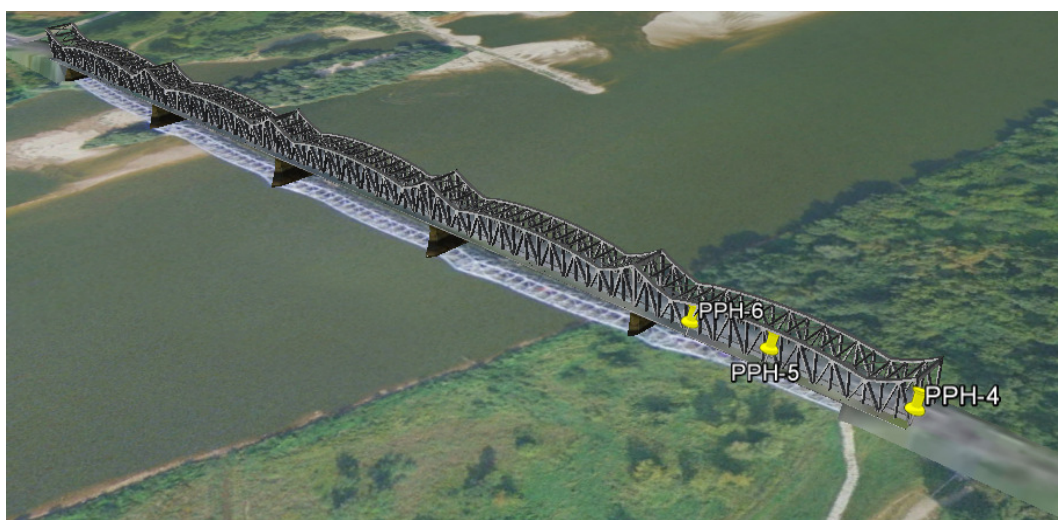
Po szczegółowym przeanalizowaniu badanych odcinków, wytypowano osiem punktów pomiarowych oznaczonych jako PPH-(1-8):

- PPH-1, PPH-2 i PPH-3 - DK 12 Puławy-Zwoleń
- PPH-4, PPH-5, PPH-6 – ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach
- PPH-7 i PPH-8 – ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie.

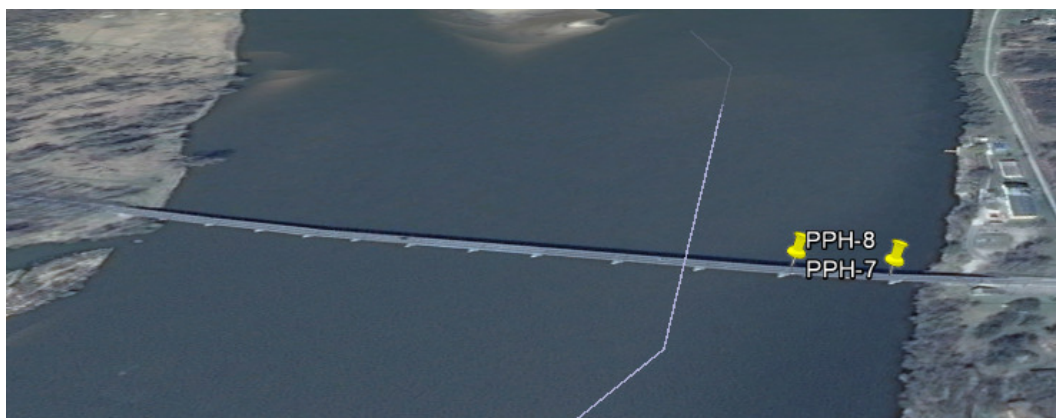
Szczegółowe dane dotyczące wyżej wspomnianych punktów przedstawiono w dalszej części opisu. Na rys. 12.2 – 12.4 przedstawiono lokalizację punktów pomiarowych na badanych obiektach.



Rys. 12.2 Lokalizacja punktów pomiarowych PPH-1, PPH-2 oraz PPH-3 - Most Jana Pawła II w Puławach



Rys. 12.3 Lokalizacja punktów pomiarowych PPH-4, PPH-5 oraz PPH-6 – w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach



Rys. 12.4 Lokalizacja punktów pomiarowych PPH-7 oraz PPH-8 – w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

Poniżej przedstawiono szczegółowe informacje odnośnie wytypowanych punktów pomiarowych:

- PPH-1
 - miejscowość: Puławy DK 12,
 - obiekt: wiadukt drogowy,
 - typ dylatacji: szczelna modułowa,
 - ograniczenie prędkości: 60 km/h.



Rys. 12.5 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-1

- PPH-2
 - miejscowość: Puławy DK 12,
 - obiekt: most,
 - typ dylatacji: punkt bazowy - nawierzchnia (odniesienie),
 - ograniczenie prędkości: 90 km/h.



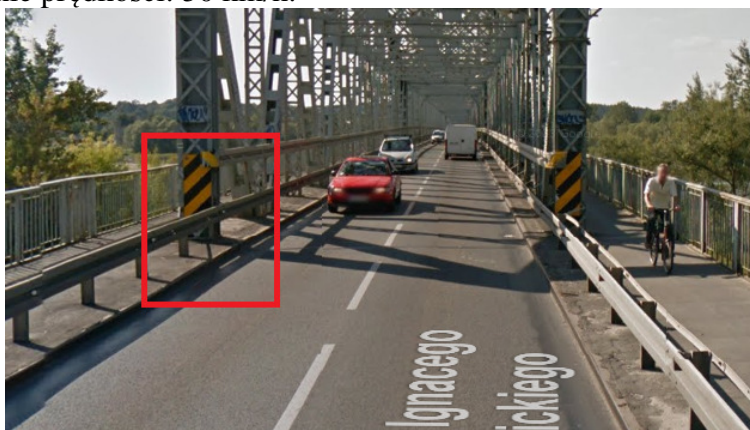
Rys. 12.6 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-2

- PPH-3
 - miejscowość: Puławy DK 12,
 - obiekt: most,
 - typ dylatacji: palczasta,
 - ograniczenie prędkości: 90 km/h.



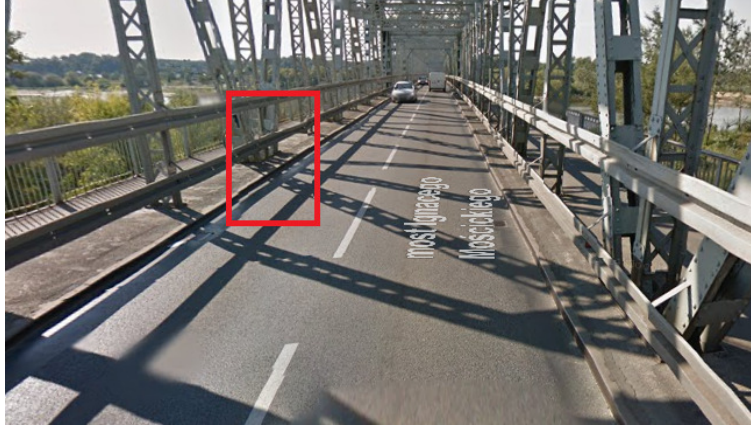
Rys. 12.7 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-3

- PPH-4
 - miejscowość: Puławy, ul. Marszałka Piłsudskiego,
 - obiekt: most,
 - typ dylatacji: szczelna modułowa,
 - ograniczenie prędkości: 50 km/h.



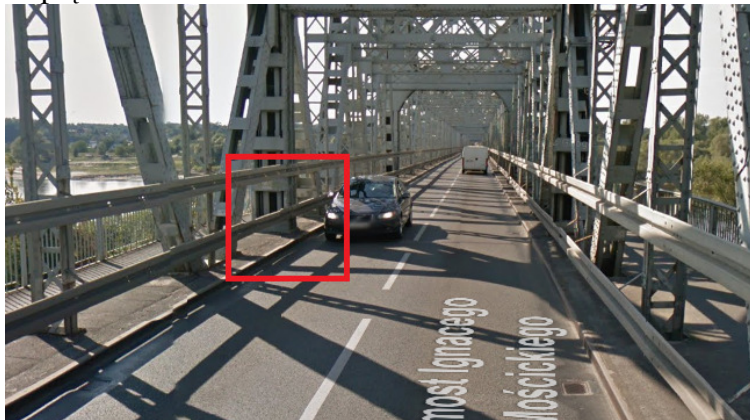
Rys. 12.8 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-4

- PPH-5
 - miejscowość: Puławy, ul. Marszałka Piłsudskiego,
 - obiekt: most,
 - typ dylatacji: punkt bazowy - nawierzchnia (odniesienie),
 - ograniczenie prędkości: 50 km/h.



Rys. 12.9 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-5

- PPH-6
 - miejscowość: Puławy, ul. Marszałka Piłsudskiego,
 - obiekt: most,
 - typ dylatacji: szczelna dwumodułowa,
 - ograniczenie prędkości: 50 km/h.



Rys. 12.10 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-6

- PPH-7
 - miejscowość: Dęblin, ul. 15 Pułku Piechoty, DK48,
 - obiekt: most,
 - typ dylatacji: blokowa,
 - ograniczenie prędkości: 50 km/h.



Rys. 12.11 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-7

- PPH-8
 - miejscowość: Dęblin, ul. 15 Pułku Piechoty, DK48,
 - obiekt: Most,
 - typ dylatacji: punkt bazowy - nawierzchnia (odniesienie),
 - ograniczenie prędkości: 50 km/h.



Rys. 12.12 Szczegółowa lokalizacja punktu PPH-8

12.1.3. Program badań

W celu wykonania badań hałasu na dylatacjach mostowych w pierwszej kolejności opracowano program badań, który zawierał informacje o sposobie ich wykonania, spisie wykorzystanej aparatury pomiarowej oraz organizacji poligonu pomiarowego. W każdym punkcie pomiarowym założono, iż mikrofon miernika rejestrującego poziom dźwięku zostanie zamontowany 30 cm nad powierzchnią dylatacji w jej osi. Dodatkowo w każdym badaniu dodano jeden punkt pomiarowy nazywany w dalszej części opracowania „punktem bazowym”. Punkt bazowy lokalizowany był pomiędzy dwoma dylatacjami (w połowie ich rozpiętości). Takie podejście umożliwiło porównanie poziomu dźwięku, który powstaje od tego samego źródła, tzn. pojazdu poruszającego się z tą samą prędkością, w tym samym przekroju, ale bez dylatacji. W trakcie badań pomierzono prędkości przejeżdżających pojazdów oraz natężenie ruchu wraz z podziałem na jego strukturę rodzajową. Dzięki temu możliwy był odczyt hałasu generowanego przez przejeżdżający pojedynczy pojazd oraz analiza porównawcza dylatacji. Wszystkie przeprowadzone badania zostały poprzedzone wizją w terenie oraz pomiarami pilotażowymi.

W badaniach wykorzystano następujący sprzęt pomiarowy:

- zestaw miernik SVAN 958 (statyw, kabel, mikrofon, gąbka ograniczająca wpływ warunków atmosferycznych),
- zestaw miernik SVAN 971 (statyw, kabel, mikrofon, gąbka ograniczająca wpływ warunków atmosferycznych),
- zestaw miernik SVAN 945A (statyw, kabel, mikrofon, gąbka ograniczająca wpływ warunków atmosferycznych),

- radar prędkości,
- arkusze do pomiaru natężenia ruchu pojazdów i prędkości,
- aparat fotograficzny,
- kamera video.

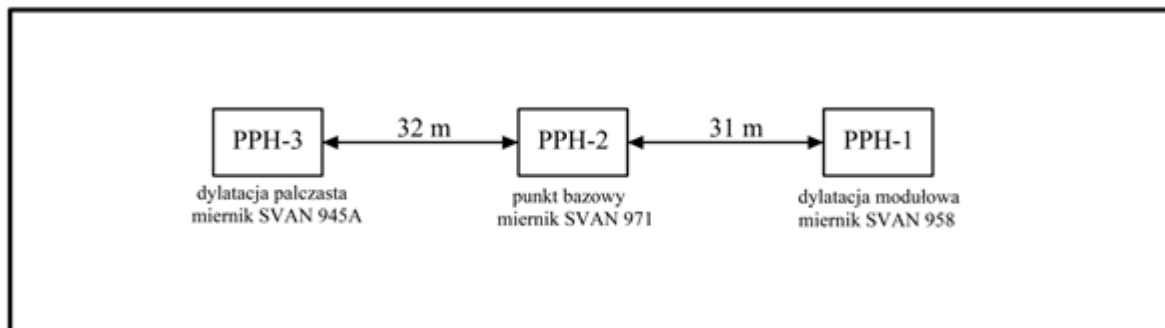
Na rys. 12.13 pokazano przygotowany do rozpoczęcia pomiarów miernik SVAN 958.



Rys. 12.13 Miernik SVAN 958 na stanowisku pomiarowym

12.1.3.1. Badania na moście Jana Pawła II w Puławach

Jako pierwsze zostały wykonane badania na moście Jana Pawła II w Puławach. Obiekt ten był ważny z punktu widzenia typów dylatacji, jakie występują na analizowanym obiekcie oraz sąsiadującym moście. Na moście Jana Pawła II zastosowano dylatacje typu palczastego, natomiast na obiekcie znajdującym się przed mostem Jana Pawła II dylatację jednomodułową. Badania w tej lokalizacji umożliwiły pomiar natężenia dźwięku od tego samego potoku ruchu, poruszającego się z tymi samymi prędkościami, przejeżdżającymi przez dwa rodzaje dylatacji. Dzięki dodatkowym pomiarom w punkcie bazowym, uzyskano obraz hałaśliwości dwóch rodzajów dylatacji w odniesieniu do nawierzchni bez dylatacji, która stanowiła punkt referencyjny (odniesienia). Poniżej na rys. 12.14 pokazano schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych w ciągu drogi krajowej nr 12.



Rys. 12.14 Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na moście w ciągu trasy DK12 Puławy-Zwoleń

Badania rozpoczęto od lokalizowania mierników hałasu we wcześniej przyjętych punktach pomiarowych. Miernik SVAN 958 usytuowano w punkcie PPH-1, miernik SVAN 945A w punkcie PPH-2, a miernik SVAN 971 w punkcie PPH-3. We wszystkich miernikach zostały ustawione te same parametry pomiaru, tzn. pomiar w pasmach 1/3 oktawowych, stała FAST oraz filtr korekcyjny A. Krok bufora (pomiarowy) ustawiono na 1 sekundę. Zgodnie z pkt. 12.1.3 mikrofony usytuowano 30 cm nad powierzchnią dylatacji (nawierzchni – w przypadku punktu bazowego). Na rys. 12.15–12.17 przedstawiono lokalizację ustawionych mierników w trakcie wykonywanych badań. Badania wykonywano przez okres 60 minut z podziałem na okresy 15 minutowe.



Rys. 12.15 Widok na punkt pomiarowy PPH-1 przy dylatacji modułowej



Rys. 12.16 Widok na punkt pomiarowy PPH-2 przy nawierzchni jezdni (punkt bazowy)

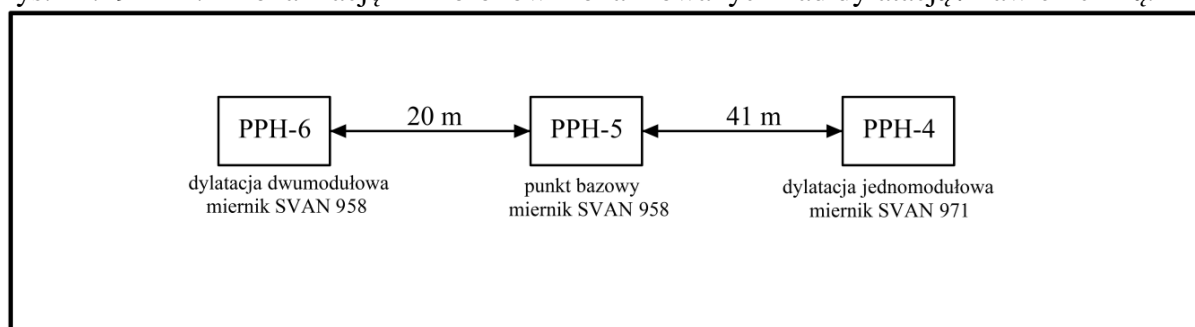


Rys. 12.17 Widok na punkt pomiarowy PPH-3 przy dylatacji palczastej

W związku z tym, iż przy punkcie pomiarowym PPH-1 znajdował się pas włączania do ruchu, pojazdy poruszały się w odległości 3,5 m od mikrofonu miernika. Zaistniała sytuacja miała wpływ na wynik uzyskany z pomiarów, co zostało opisane w dalszej części. Podczas badania mierzona była również prędkość poruszających się pojazdów za pomocą miernika (radaru) Bushnell Velocity. Ponadto w trakcie badań zliczano również liczbę pojazdów z podziałem na jego strukturę rodzajową.

12.1.3.2. Badania na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach

W drugiej kolejności wykonano badania na dylatacjach w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach. W analizowanym przypadku badano również dwa typy dylatacji, tzn. na wjeździe na obiekt zamontowane były dylatacje jednomodułowe, a pomiędzy przęsłami wewnętrznymi – dylatacje dwumodułowe. Również w tym przypadku wykonywano pomiary hałasu w punkcie bazowym. Przy punkcie PPH-4 umiejscowiono miernik SVAN 971, a w punktach PPH-5 i PPH-6 miernik SVAN 958. Poniżej na rys. 12.18 przedstawiono schemat rozmieszczenia mierników względem punktów pomiarowych, a na rys. 12.19 – 12.21 lokalizację mikrofonów zlokalizowanych nad dylatacją / nawierzchnią.



Rys. 12.18 Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



Rys. 12.19 Widok na punkt pomiarowy PPH-4 przy dylatacji jednomodułowej



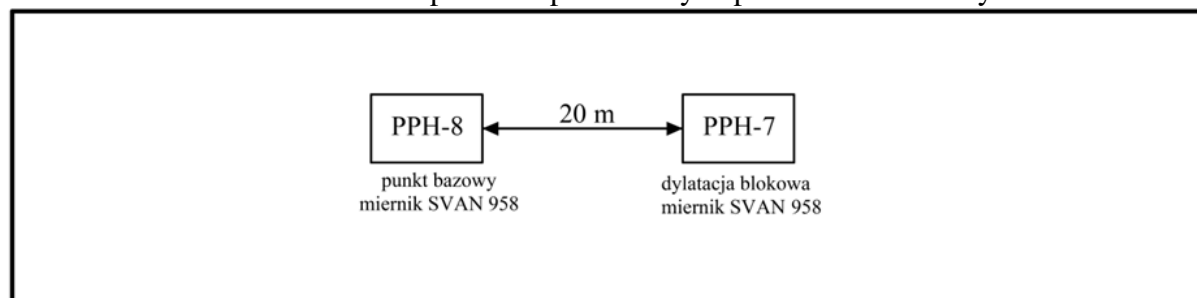
Rys. 12.20 Widok na punkt pomiarowy PPH-5 przy nawierzchni jezdni (punkt bazowy)



Rys. 12.21 Widok na punkt pomiarowy PPH-6 przy dylatacji dwumodułowej

12.1.3.3. Badania na moście w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

Trzecim z obiektów na którym zostały wykonane badania był most w ciągu trasy DK 48 ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie. Wyznaczone zostały dwa punkty pomiarowe PPH-7 oraz PPH-8. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 12.22.



Rys. 12.22 Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych na moście w ciągu trasy DK 48 ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

W analizowanym przypadku przebadano hałaśliwość dylatacji blokowej. Miernik SVAN 958 został ustawiony pomiędzy punktem (mikrofonami) PPH-7 i PPH-8. Badano hałas w punkcie bazowym i na jednej z dylatacji. Na rys. 12.23 oraz 12.24 przedstawiono widok na każdy punkt pomiarowy.



Rys. 12.23 Widok na punkt pomiarowy PPH-7 przy dylatacji blokowej



Rys. 12.24 Widok na punkt pomiarowy PPH-8 przy nawierzchni jezdni (punkt bazowy)

Przedstawione powyżej pomiary zostały wykonane dwukrotnie. Za pierwszym razem tzn. 19.05.2017 r. w celu zwiększenia dokładności wyników we wszystkich miernikach poziomu dźwięku ustawiono krok bufora czasowego na 100 milisekund, co spowodowało, iż pamięci wewnętrzne mierników zapęłniały się po około 10 minutach pomiarów. Wyników z tego pomiaru nie analizowano i wykonano ponownie pomiary, które zostały opisane w tym rozdziale.

12.2. Analiza i ocena wyników badań wpływu dylatacji obiektów inżynierskich na poziom hałasu

12.2.1. Most Jana Pawła II w Puławach - dylatacja jednomodułowa i palczasta

Z uwagi na natężenie ruchu w przekroju dylatacji jednomodułowej i palczastej w ciągu drogi krajowej DK 12 stwierdzono, iż największy udział w ruchu pojazdów miały pojazdy osobowe. Udział pojazdów ciężkich wynosił 34,2%. Podczas 60 minutowego badania przejechało w sumie 401 pojazdów. Nie odnotowano przejazdu traktorów, rowerów oraz zaprzęgów konnych. W tabl. 12.2 zostały przedstawione wyniki pomiarów natężenia ruchu z podziałem na strukturę rodzajową w czterech interwałach 15 minutowych.

Tablica 12.1 Natężenie ruchu na moście w ciągu trasy DK 12 Puławy - Zwoleń

Godzina	Struktura rodzajowa						Q	Q _l	Q _c	p _c [%]
	M	O	SD	C	Cp	A				
12:19-12:34	0	57	10	0	23	1	91	67	24	26,4
12:34-12:49	0	53	10	0	44	1	108	63	45	41,7
12:49-13:04	2	60	9	0	39	0	110	69	41	37,3
13:04-13:19	2	51	14	0	25	0	92	65	27	29,4
SUMA:	4	221	43	0	131	2	401	264	137	34,2

Oznaczenia wykorzystane w tabeli:

- M – motocykle,
- O – osobowe,
- SD – samochody dostawcze,
- C – ciężarowe,
- Cp – ciężarowe z przyczepą,
- A – autobusy,
- Q – suma pojazdów,
- Q_c – suma pojazdów ciężkich,
- Q_l – suma pojazdów lekkich,
- p_c – procentowy udział pojazdów ciężkich.

W tabl. 12.2 przedstawiono wyniki pomierzonych prędkości pojazdów z podziałem na lekkie i ciężkie, dla analizowanego okresu czasu.

Tablica 12.2 Zestawienie prędkości pomierzonych na moście w ciągu trasy DK 12 Puławy - Zwoleń

Przedział czasowy	Prędkość pojazdów ciężkich [km/h]		Prędkość pojazdów lekkich [km/h]				
12:19 – 13:19	73	76	95	71	79	95	112
	71	83	83	109	45	65	91
	75	83	66	92	92	63	51
	79	85	60	107	60	89	77
	78	84	74	86	81	70	105
	73	74	58	52	85	102	54
	69	83	63	111	78	90	92
	82	85	68	97	104	52	
	81	62	76	72	66	51	
	77	59	52	83	68	105	
	82	52	74	71	94	96	
	65	76	84	59	66	98	
	77	76	78	66	72	51	
	75	52	51	85	69	96	
	74	70	64	48	92	54	
	83	70	73	59	72	57	
	76	78	70	56	100	86	
	82	54	63	58	80	96	
	65	70	78	87	62	58	
	75	82	82	72	78	77	
Średnia prędkość	74,2		76,2				
Liczebność próby	40		87				

Z każdego miernika odczytano wartość równoważnego poziomu dźwięku dla interwału 15 minutowego. Następnie obliczono różnicę natężenia dźwięku pomiędzy dylatacją palczastą, a jednomodułową, a ich wartości porównano w odniesieniu do punktu bazowego. Wyniki analizy przedstawiono w tabl. 12.3. Należy pamiętać, iż pkt PPH-1 zlokalizowany był zgodnie z pkt 12.1.3.1 na pasie włączania, co miało bezpośredni wpływ na pomierzone wartości natężenia dźwięku.

Tablica 12.3 Zestawienie równoważnych poziomów dźwięku w interwałach 15 minutowych na moście w ciągu trasy DK 12

Nr punkt pomiarowego		PPH-1 (dylatacja jednomodułowa)	PPH-2 (bez dylatacji)	PPH-3 (dylatacja palczasta)	Różnica między punktem PPH-1 i PPH-2	Różnica między punktem PPH-3 i PPH-1	Różnica między punktem PPH-3 i PPH-2
Typ miernika		SVAN 958	SVAN 958	SVAN 971			
Równoważny poziom dźwięku	12:19– 13:19	78,1	78,4	82,2	-0,3	4,1	3,8
	12:34– 12:49	78,4	78,6	82,9	-0,2	4,5	4,3
	12:49– 13:04	78,2	78,3	82,6	-0,1	4,4	4,3
	13:04– 13:19	79,4	79,5	83,6	-0,1	4,2	4,1

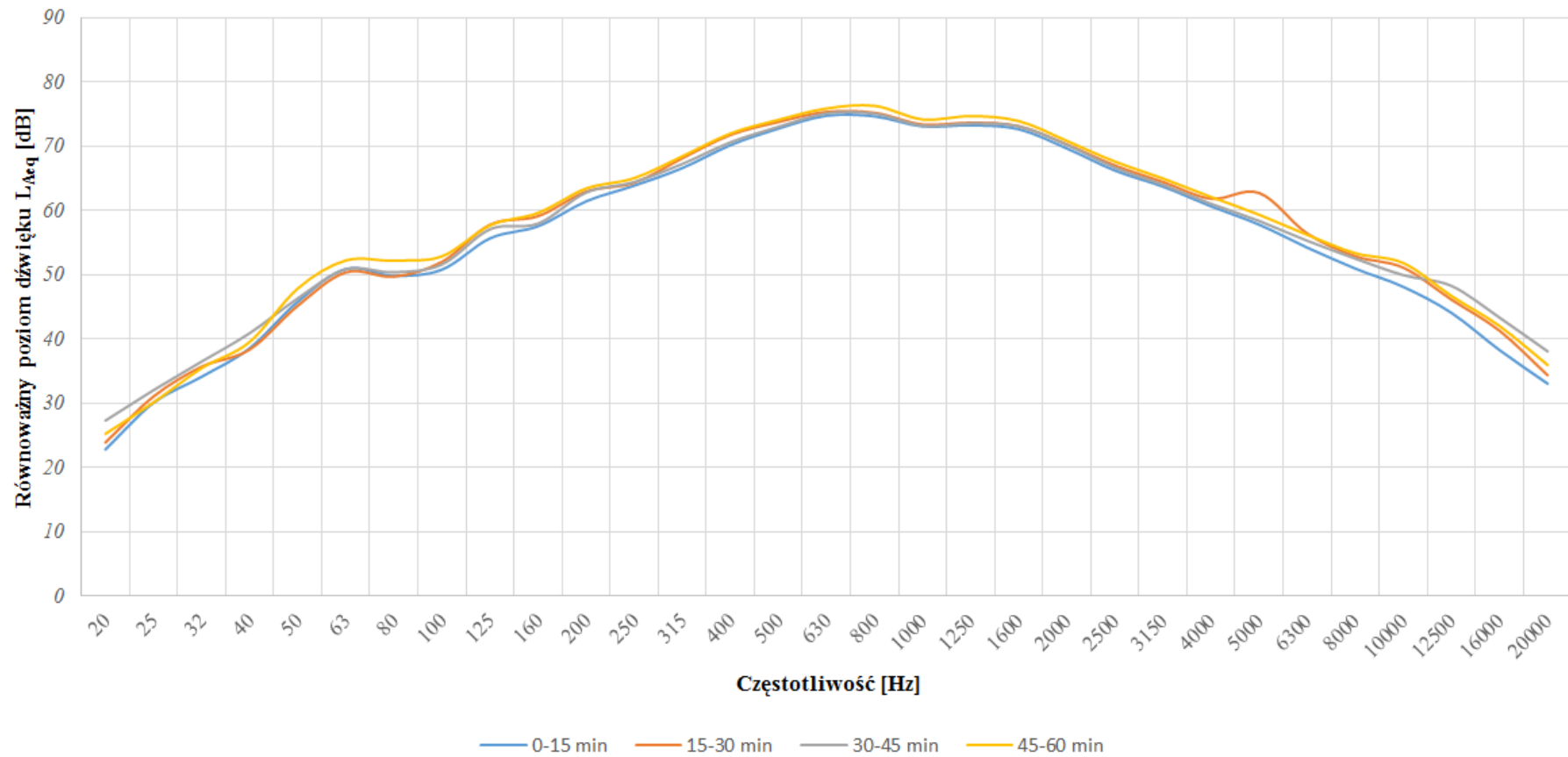
Dla lepszego zobrazowania rozrzutów wartości natężenia dźwięku w różnych pasmach częstotliwościowych dla trzech mierzonych punktów, uzyskane wartości pomiarowe przedstawiono w formie tablicy (tabl. 12.4 i tabl. 12.5) oraz wykresów (rys. 12.25 – 12.27). Dodatkowo w celu dokładnej analizy porównano na wykresach wszystkie 15 minutowe mierzone okresy. Dzięki takiemu podejściu możliwa jest weryfikacja, czy istnieje zakres pasma częstotliwościowego, dla którego widoczny jest wzrost natężenia dźwięku. Wykresy przedstawiono na rys. 12.28 – 12.31.

Tablica 12.4 Zestawienie wielkości dźwięków w punktach pomiarowych w różnych pasmach częstotliwości na moście w ciągu trasy DK 12 Puławy - Zwolen (0 - 30 min)

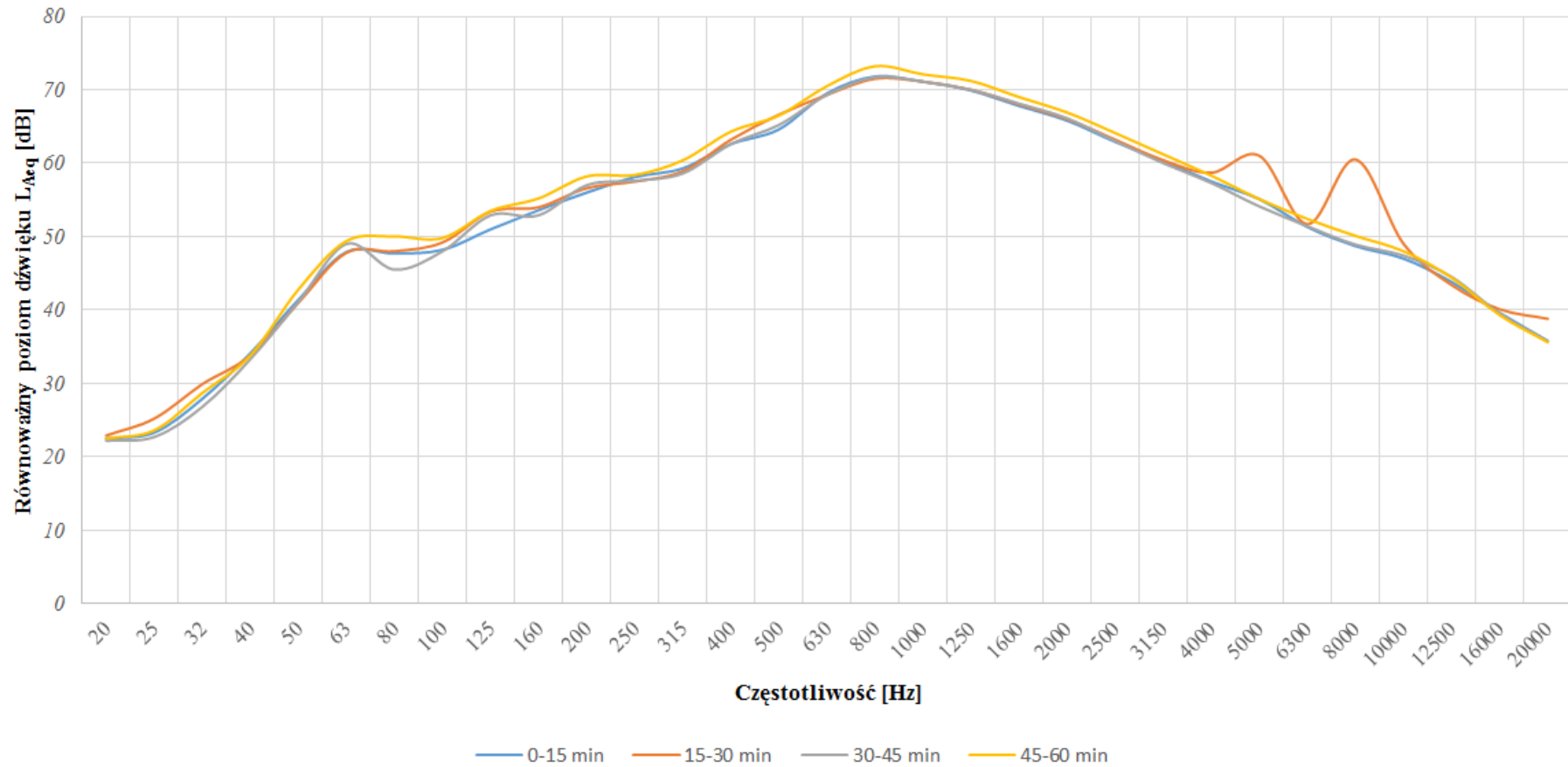
Pasma częstotliwości	Wartość dźwięku [dB]					
	12:19-12:34			12:34-12:49		
	PPH-1 dylatacja modułowa	PPH-2 punkt bazowy	PPH-3 dylatacja palczasta	PPH-1 dylatacja modułowa	PPH-2 punkt bazowy	PPH-3 dylatacja palczasta
20 Hz	22,80	22,50	22,40	23,89	22,90	22,40
25 Hz	30,06	23,30	22,80	31,05	25,20	25,10
31,5 Hz	34,11	27,90	27,70	35,67	29,90	30,10
40 Hz	38,55	34,10	33,30	38,35	33,80	34,70
50 Hz	45,78	41,40	40,40	45,15	41,00	41,20
63 Hz	50,87	47,90	47,40	50,35	47,80	47,40
80 Hz	49,80	47,70	47,30	49,69	48,00	47,50
100 Hz	50,77	48,20	47,70	51,98	49,20	48,30
125 Hz	55,64	51,00	50,70	57,75	53,40	52,40
160 Hz	57,53	53,60	52,70	59,09	54,00	53,00
200 Hz	61,40	56,00	55,00	62,91	56,60	55,20
250 Hz	63,84	58,10	57,60	64,29	57,50	57,30
315 Hz	66,56	59,30	59,60	68,10	58,90	59,80
400 Hz	70,13	62,60	63,90	71,72	63,20	64,90
500 Hz	72,72	64,60	64,90	73,75	66,60	66,80
630 Hz	74,70	69,50	69,90	75,31	69,30	70,00
800 Hz	74,62	71,80	71,80	75,16	71,50	71,30
1000 Hz	73,05	71,10	72,00	73,35	71,10	72,00
1250 Hz	73,22	69,90	70,20	73,63	70,00	70,60
1600 Hz	72,61	67,80	68,10	73,09	68,00	68,40
2000 Hz	69,62	65,80	65,60	70,25	66,00	65,90
2500 Hz	66,19	62,90	62,10	66,97	63,20	62,70
3150 Hz	63,69	60,30	58,80	64,41	60,40	59,60
4000 Hz	60,62	57,50	55,60	61,81	58,70	56,90
5000 Hz	57,77	55,10	52,50	62,70	61,00	53,20
6300 Hz	54,21	51,30	48,60	56,40	51,70	50,30
8000 Hz	50,94	48,70	45,30	52,86	60,50	47,90
10000 Hz	48,09	47,00	42,50	51,08	49,00	44,60
12500 Hz	44,05	43,80	38,50	46,11	43,40	41,10
16000 Hz	38,27	39,60	34,50	41,27	40,10	38,00
20000 Hz	33,05	35,80	32,50	34,36	38,80	33,80
Total A	82,25	78,10	78,40	82,96	78,40	78,60

Tablica 12.5 Zestawienie wielkości dźwięków w punktach pomiarowych w różnych pasmach częstotliwości na moście w ciągu trasy DK 12 Puławy - Zwoleń (30 - 60 min)

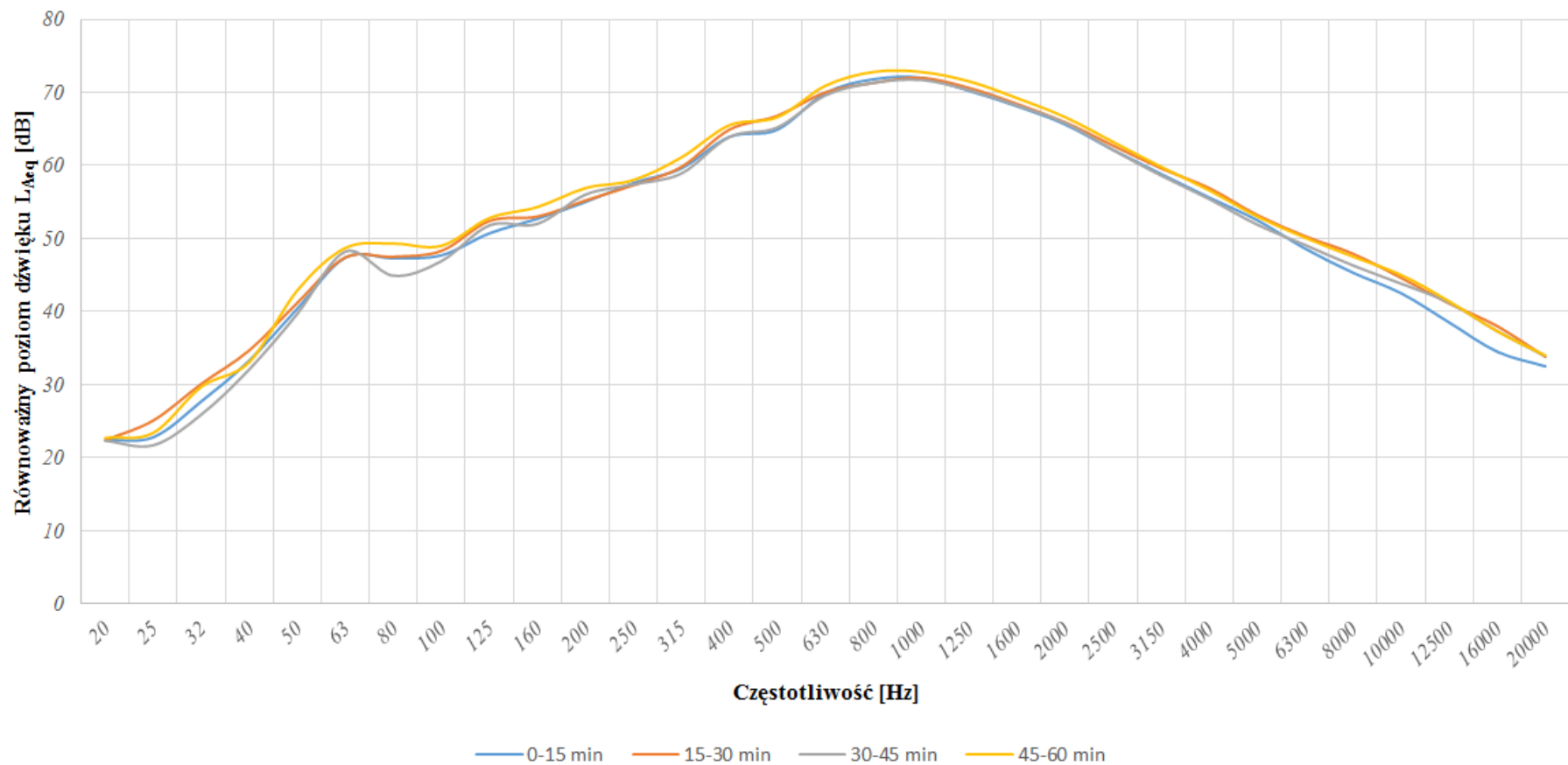
Pasma częstotliwości	Wartość dźwięku [dB]					
	12:49-13:04			13:04-13:19		
	PPH-1 dylatacja modułowa	PPH-2 punkt bazowy	PPH-3 dylatacja palczasta	PPH-1 dylatacja modułowa	PPH-2 punkt bazowy	PPH-3 dylatacja palczasta
20 Hz	27,30	22,20	22,30	25,25	22,50	22,70
25 Hz	32,03	22,70	21,70	30,11	23,60	23,40
31,5 Hz	36,47	26,80	25,90	35,45	28,70	29,70
40 Hz	40,90	33,30	32,10	39,54	33,80	33,10
50 Hz	46,30	41,10	39,70	47,84	42,80	42,90
63 Hz	50,82	49,00	48,20	52,21	49,40	48,70
80 Hz	50,36	45,50	44,90	52,16	50,00	49,30
100 Hz	51,57	48,00	46,90	52,85	49,80	49,00
125 Hz	57,06	52,90	51,80	57,66	53,50	52,80
160 Hz	57,94	52,90	52,00	59,60	55,20	54,30
200 Hz	62,76	57,00	56,00	63,39	58,20	56,90
250 Hz	64,39	57,60	57,40	65,01	58,40	58,00
315 Hz	67,21	58,60	58,90	68,40	60,40	61,10
400 Hz	70,58	62,60	63,90	71,94	64,30	65,50
500 Hz	72,98	65,20	65,20	74,07	66,50	66,60
630 Hz	75,07	69,30	69,60	75,84	70,50	70,90
800 Hz	75,02	71,70	71,30	76,25	73,20	72,80
1000 Hz	73,17	71,10	71,70	74,13	72,10	72,80
1250 Hz	73,50	70,00	70,30	74,65	71,20	71,50
1600 Hz	73,06	68,10	68,20	73,88	69,00	69,20
2000 Hz	70,17	66,10	65,80	70,80	66,90	66,60
2500 Hz	66,63	63,00	62,10	67,58	64,10	63,20
3150 Hz	63,98	60,00	58,60	64,95	61,20	59,80
4000 Hz	61,02	57,30	55,40	62,08	58,30	56,60
5000 Hz	58,35	54,10	51,90	59,31	55,10	53,00
6300 Hz	55,27	51,40	49,10	56,19	52,40	50,10
8000 Hz	52,49	48,90	46,30	53,33	50,10	47,50
10000 Hz	49,92	47,40	43,80	51,80	48,00	45,00
12500 Hz	48,24	44,50	41,20	46,68	44,40	41,40
16000 Hz	43,31	39,50	37,30	42,01	39,30	37,30
20000 Hz	38,07	35,70	33,90	35,95	35,60	34,00
Total A	82,62	78,20	78,30	83,63	79,40	79,50



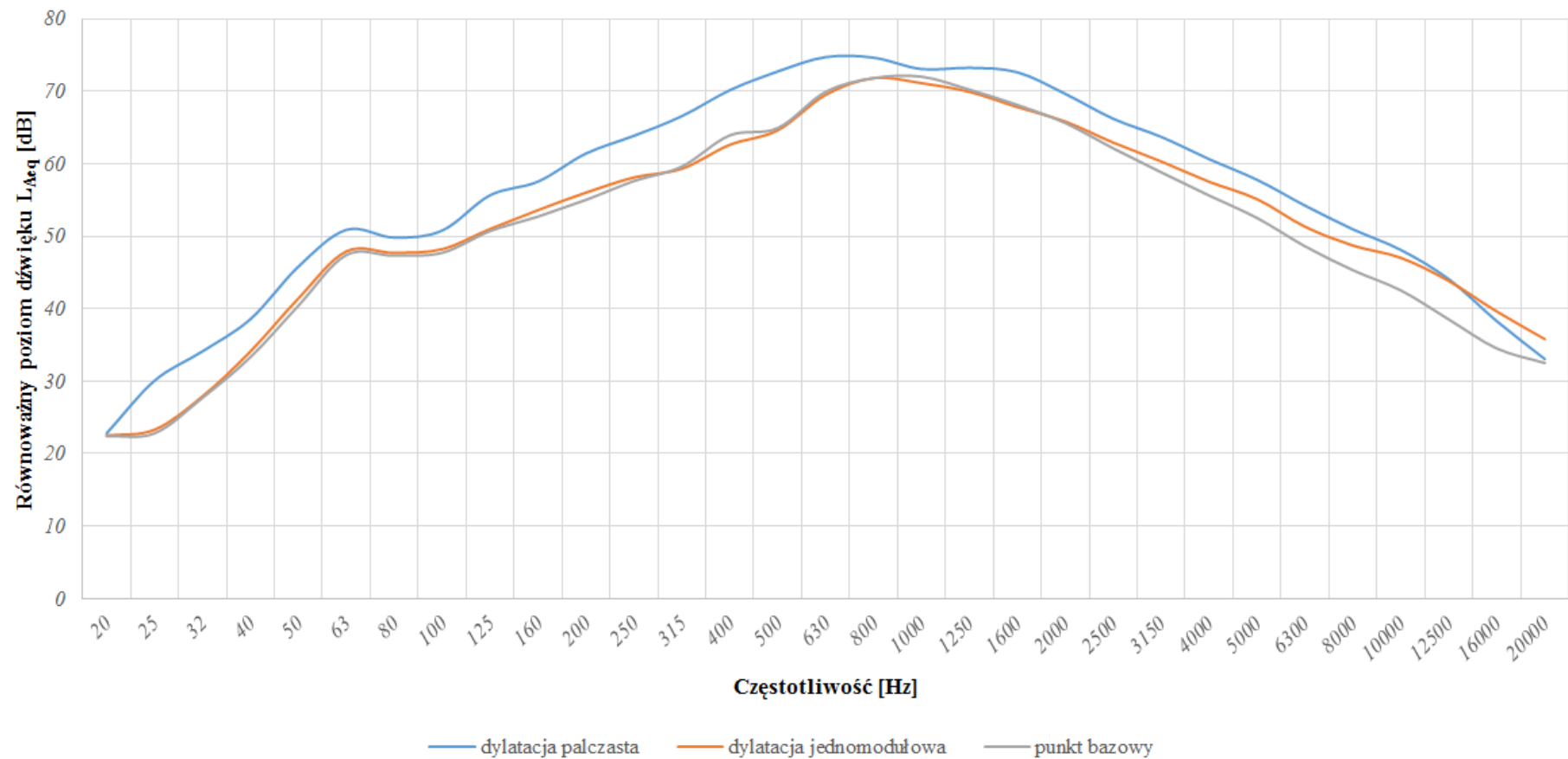
Rys. 12.25 Natężenie dźwięku powstałego na styku dylatacji palczastej w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – Most Jana Pawła II w Puławach



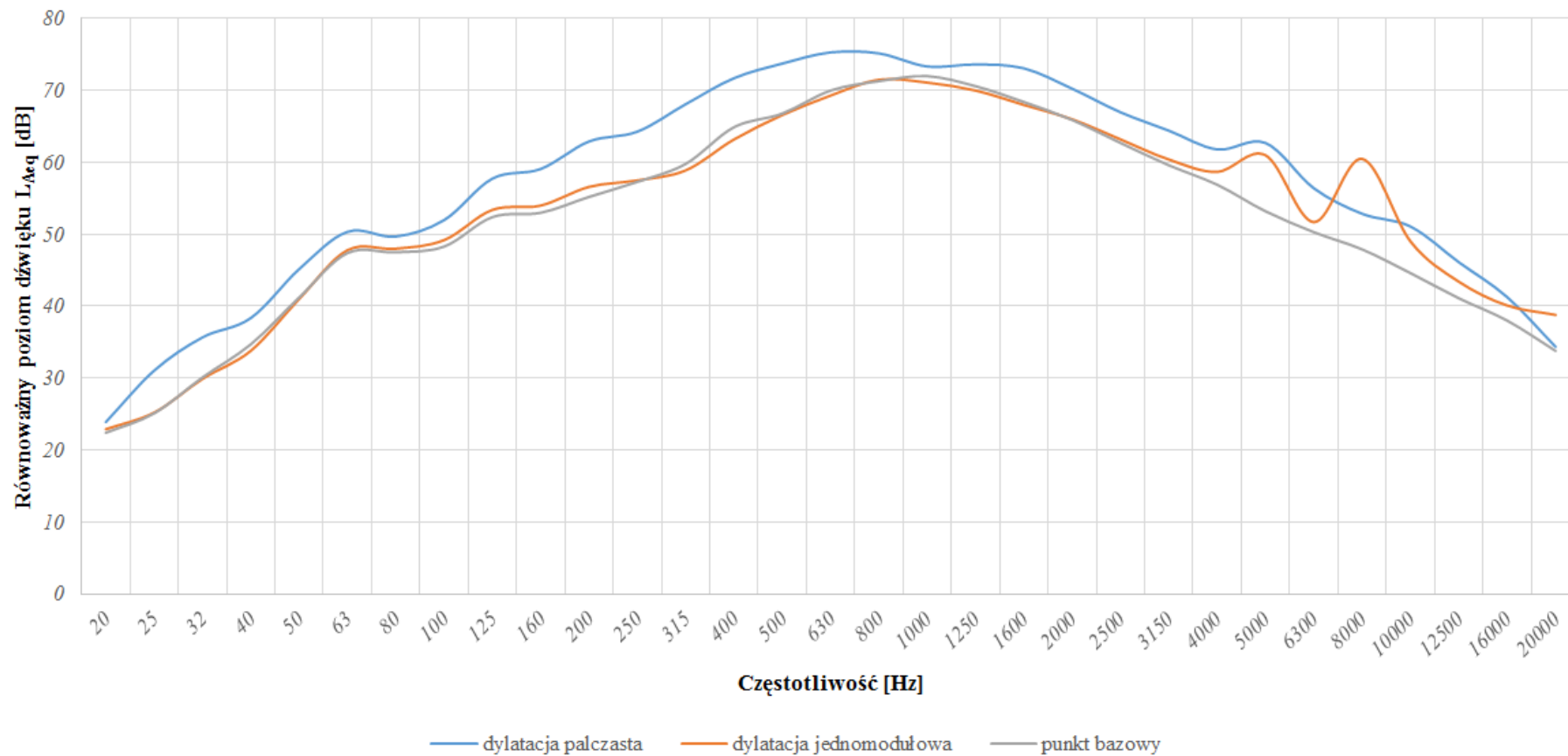
Rys. 12.26 Natężenie dźwięku powstałego na styku dylatacji jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – Most Jana Pawła II w Puławach



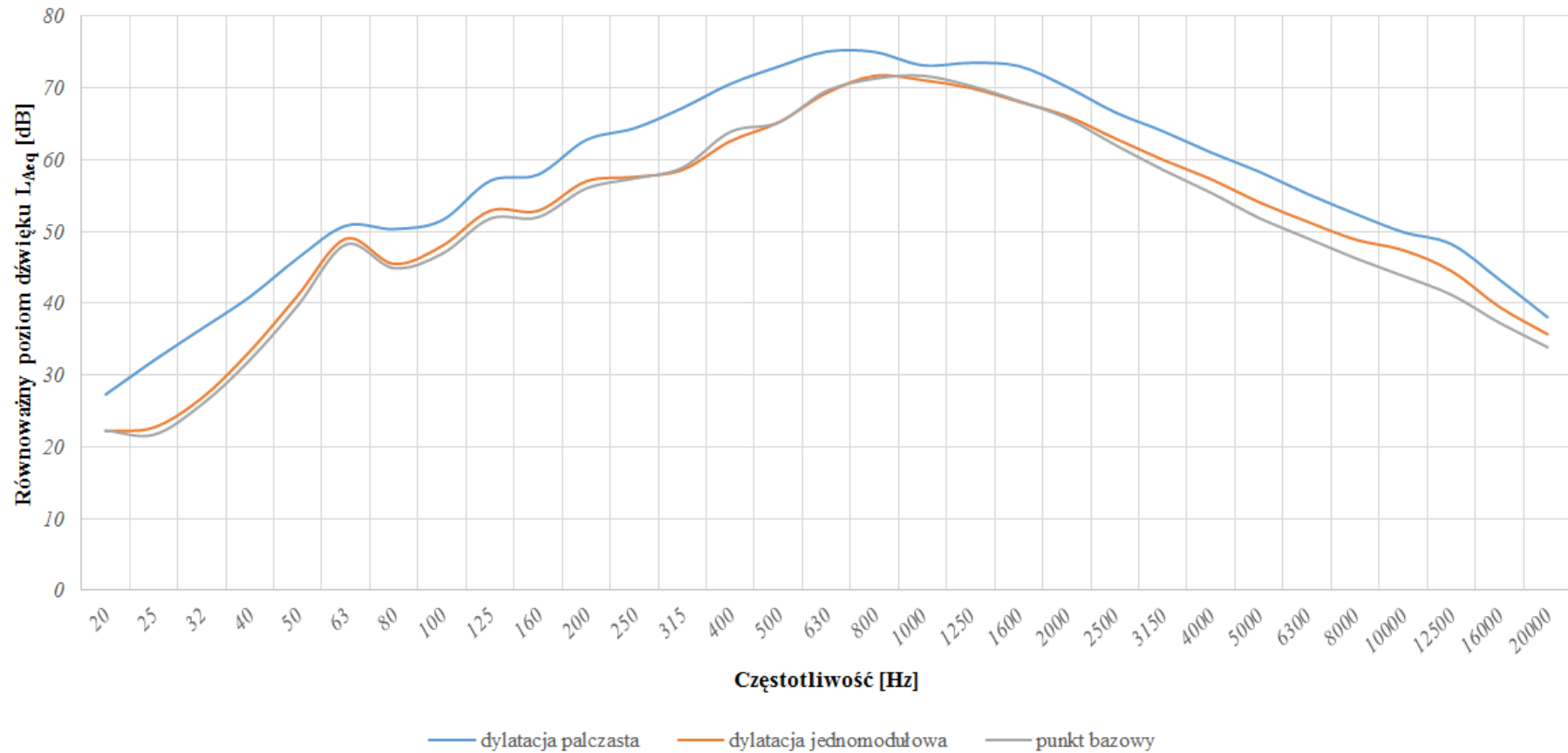
Rys. 12.27 Natężenie dźwięku powstałego na nawierzchni pomiędzy dylatacjami w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – Most Jana Pawła II w Puławach



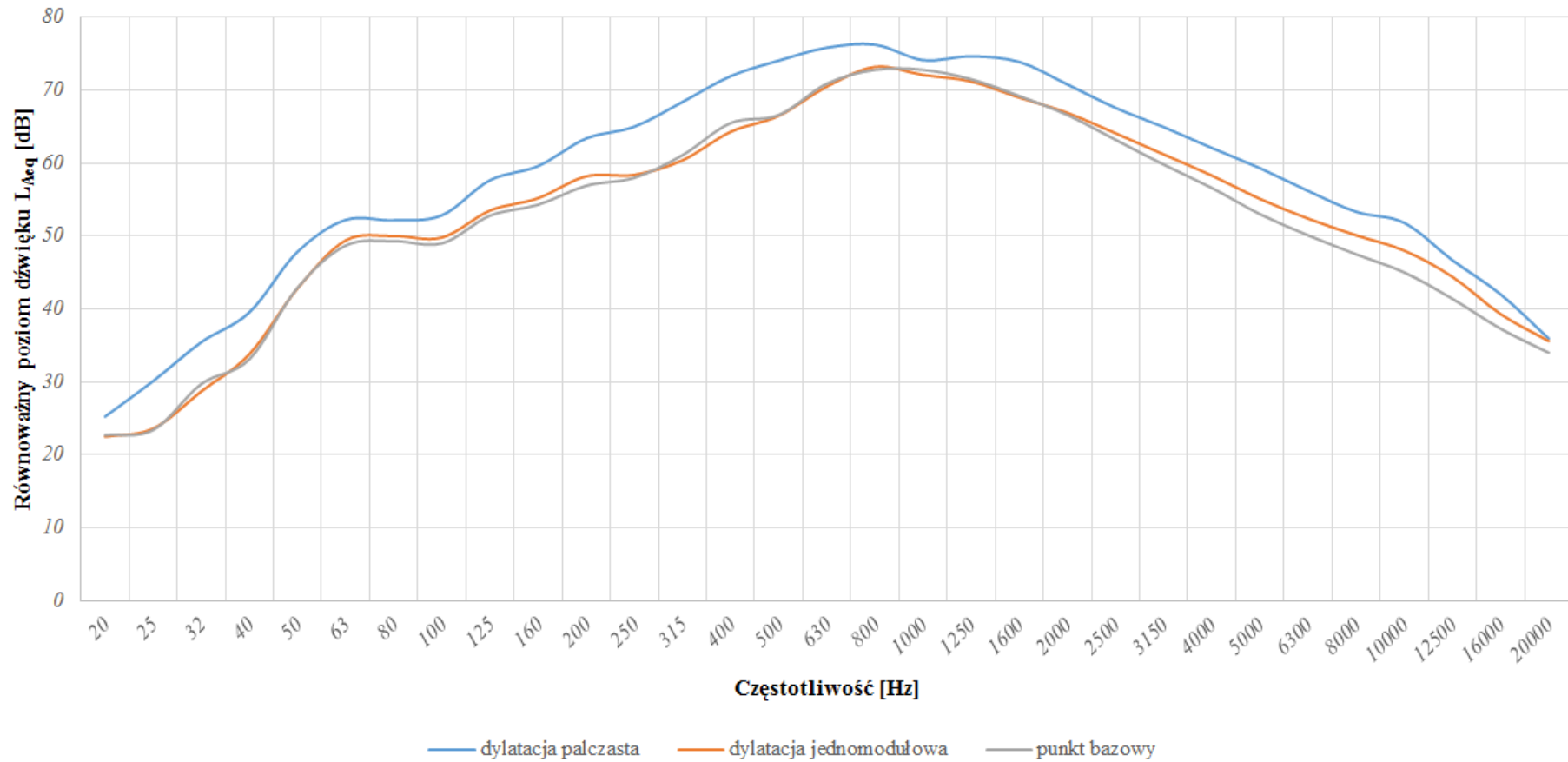
Rys. 12.28 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji palczastej i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 0 – 15 min - Most Jana Pawła II w Puławach



Rys. 12.29 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji palczastej i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 15 – 30 min - Most Jana Pawła II w Puławach



Rys. 12.30 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji palczastej i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 30 – 45 min - Most Jana Pawła II w Puławach



Rys. 12.31 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji palczastej i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 45– 60 min - Most Jana Pawła II w Puławach

12.2.2. Most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach - dylatacja jednomodułowa i dwumodułowa

W przypadku badanego przekroju jezdni na obiekcie mostowym zlokalizowanym w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach, zdecydowana większa liczba pojazdów to pojazdy osobowe. Stanowią one ponad 97,1% pojazdów przejeżdżających przez analizowany przekrój. Podczas 60 minutowego badania przejechało w sumie 621 pojazdów. Nie odnotowano przejazdu traktorów oraz zaprzęgów konnych. W tabl. 12.6 zostały przedstawione wyniki pomiarów natężenia ruchu z podziałem na strukturę rodzajową w czterech interwałach 15 minutowych.

Tablica 12.6 Natężenie ruchu na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach

Godzina	Struktura rodzajowa							Q	Q _l	Q _c	P _c [%]
	M	O	SD	C	Cp	A	R				
14:13-14:28	1	178	10	0	0	3	0	192	188	4	2,1
14:28-14:43	1	147	8	0	1	0	0	157	155	2	1,8
14:43-14:58	1	118	11	1	0	4	0	135	129	6	4,4
14:58-15:13	2	125	5	0	1	3	1	137	131	6	4,4
SUMA:	5	568	34	1	2	10	1	621	603	18	2,9

Oznaczenia wykorzystane w tabeli:

- M – motocykle,
- O – osobowe,
- SD – samochody dostawcze,
- C – ciężarowe,
- Cp – ciężarowe z przyczepą,
- A – autobusy,
- R – rowery,
- Q – suma pojazdów,
- Q_c – suma pojazdów ciężkich,
- Q_l – suma pojazdów lekkich,
- p_c – procentowy udział pojazdów ciężkich.

W tabl. 12.7 przedstawiono wyniki pomierzonych prędkości pojazdów z podziałem na lekkie i ciężkie, dla analizowanego okresu czasu.

Tablica 12.7 Zestawienie prędkości pomierzonych na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach

Przedział czasowy	Prędkość pojazdów ciężkich [km/h]	Prędkość pojazdów lekkich [km/h]		
14:13 – 15:13	38	49	25	46
	47	52	30	50
	32	50	50	55
	46	46	60	30
	41	27	60	52
	37	59	24	42
	45	64	38	54
	35	78	61	48
	37	63	47	52
	36	63	30	52
	39	50	24	40
	39	62	49	54
	26	75	46	58
	41	55	56	53
	41	49	37	42
	44	66	50	44
	37	62	42	38
	42	56	50	44
	38	52	30	54
	47	55	29	53
	32	27	48	50
	46	25	70	57
	41	67	48	47
	37	58	44	35
	45	52	76	60
	35	57	63	52
	37	54	36	48
	36	55	33	31
	39	27	55	42
	25	46	54	
	52	50	54	
	55	47	36	
	46	63	48	
	62	32	60	
	53	41	51	
	52	59	33	
Średnia prędkość	39,1	48,8		
Liczebność próby	29	108		

Z każdego miernika odczytano wartość równoważnego poziomu dźwięku dla interwału 15 minutowego. Obliczono różnicę natężenia dźwięku pomiędzy dylatacją dwumodułową, a jednomodułową, a ich wartości porównano w odniesieniu do punktu bazowego. Wyniki analizy przedstawiono w tabl. 12.8.

Tablica 12.8 Zestawienie równoważnych poziomów dźwięku w interwałach 15 minutowych na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach

Nr punkt pomiarowego		PPH-4 (dylatacja jednomodułowa)	PPH-5 (bez dylatacji)	PPH-6 (dylatacja dwumodułowa)	Różnica między punktem PPH-4 i PPH-5	Różnica między punktem PPH-6 i PPH-4	Różnica między punktem PPH-6 i PPH-5
Typ miernika		SVAN 971	SVAN 958	SVAN 958			
Równoważny poziom dźwięku	14:13- 14:28	82,0	79,7	82,9	2,3	0,9	3,2
	14:28- 14:43	82,3	79,9	82,7	2,4	0,4	2,8
	14:43- 14:58	82,5	80,4	82,9	2,1	0,4	2,5
	14:58- 15:13	83,0	80,4	83,6	2,6	0,6	3,2

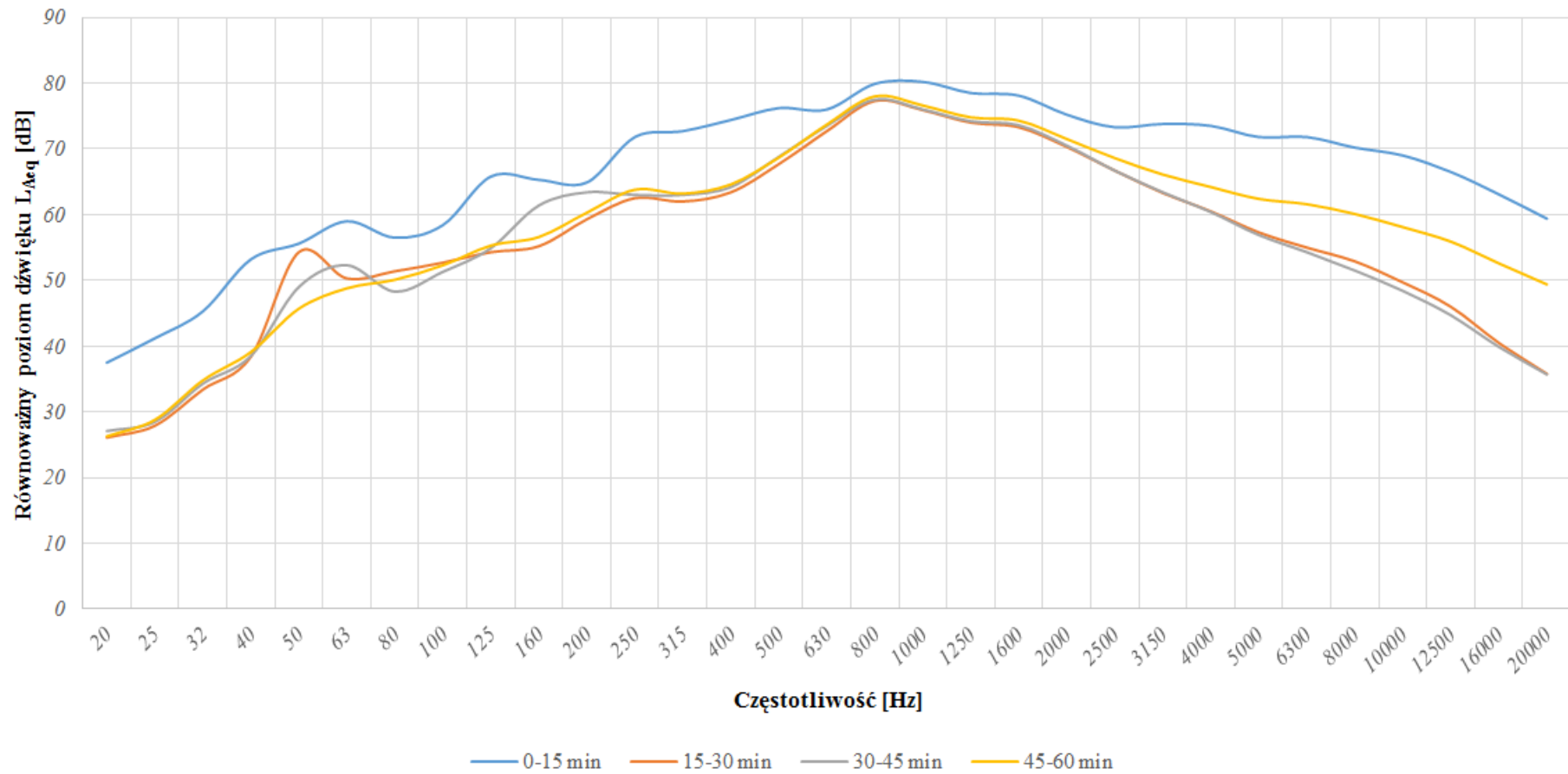
Dla lepszego zobrazowania rozrzutów wartości natężenia dźwięku w różnych pasmach częstotliwościowych dla trzech mierzonych punktów, uzyskane wartości pomiarowe przedstawiono w formie tablicy (tabl. 12.9 oraz 12.10) oraz wykresów (rys. 12.32 – 12.34). Dodatkowo w celu dokładnej analizy porównano na wykresach wszystkie 15 minutowe mierzone okresy. Dzięki takiemu podejściu możliwa jest weryfikacja, czy istnieje zakres pasma częstotliwościowego, dla którego można zauważyć wzrost natężenia dźwięku. Wykresy przedstawiono na rys. 12.35 – 12.38.

Tablica 12.9 Zestawienie wielkości dźwięków w punktach pomiarowych w różnych pasmach częstotliwości na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach (0 - 30 min)

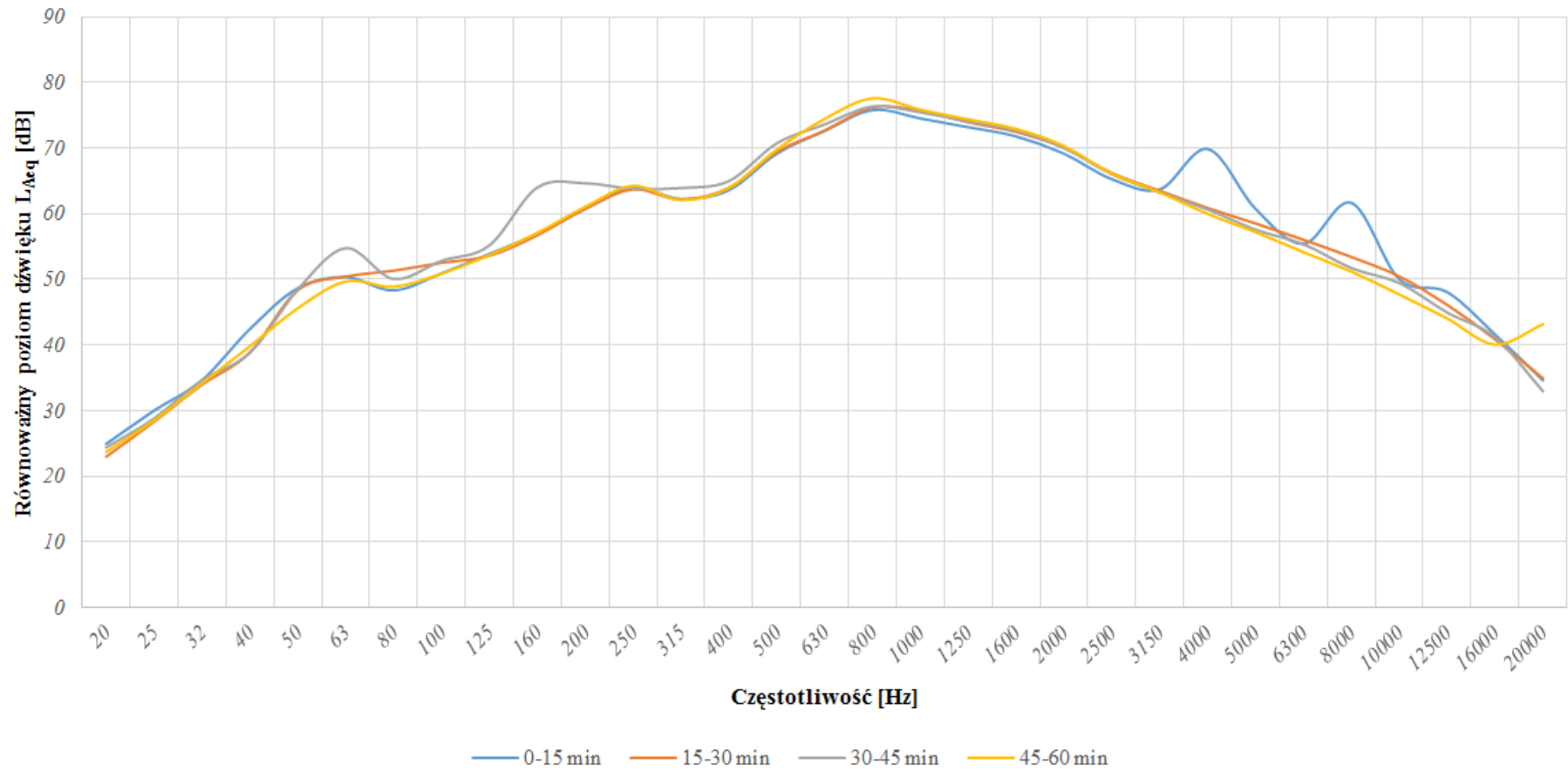
Pasma częstotliwości	Wartość dźwięku [dB]					
	14:13-14:28			14:28-14:43		
	PPH-4 dylatacja jednomodułowa	PPH-5 punkt bazowy	PPH-6 dylatacja dwumodułowa	PPH-4 dylatacja jednomodułowa	PPH-5 punkt bazowy	PPH-6 dylatacja dwumodułowa
20 Hz	24,91	37,50	25,50	22,96	26,10	23,50
25 Hz	29,99	41,20	26,30	28,30	27,90	24,70
31,5 Hz	34,62	45,30	30,70	33,93	33,40	27,90
40 Hz	42,41	53,20	37,60	38,83	38,40	35,60
50 Hz	48,64	55,60	46,90	48,34	54,30	50,20
63 Hz	50,33	59,00	50,20	50,40	50,30	52,90
80 Hz	48,31	56,50	45,40	51,31	51,40	49,30
100 Hz	50,89	58,40	49,30	52,50	52,70	51,40
125 Hz	53,85	65,80	53,00	53,58	54,30	51,80
160 Hz	56,92	65,30	56,20	56,71	55,20	53,30
200 Hz	60,74	64,90	57,80	60,74	59,30	56,30
250 Hz	63,94	71,80	59,80	63,70	62,50	59,00
315 Hz	62,23	72,70	60,00	62,17	62,00	59,30
400 Hz	63,58	74,40	62,30	63,92	63,40	62,10
500 Hz	69,13	76,20	66,40	69,39	67,70	66,20
630 Hz	72,60	76,00	67,50	72,64	72,70	67,30
800 Hz	75,78	79,90	70,80	76,16	77,30	70,80
1000 Hz	74,51	80,20	73,20	75,68	75,90	73,50
1250 Hz	73,17	78,50	72,80	73,93	74,00	72,90
1600 Hz	71,77	78,10	71,90	72,46	73,30	72,20
2000 Hz	69,13	75,20	69,30	70,04	70,30	69,70
2500 Hz	65,24	73,30	65,20	66,18	66,70	65,20
3150 Hz	63,70	73,80	62,10	63,48	63,30	61,70
4000 Hz	69,84	73,50	58,70	60,85	60,50	58,60
5000 Hz	60,72	71,80	55,30	58,51	57,30	55,10
6300 Hz	55,39	71,80	52,30	56,02	55,00	52,00
8000 Hz	61,64	70,20	48,70	53,39	52,90	49,50
10000 Hz	50,01	69,00	44,50	50,43	49,70	47,00
12500 Hz	48,04	66,50	40,20	46,11	46,00	42,50
16000 Hz	41,57	63,10	37,00	40,85	40,50	38,10
20000 Hz	34,60	59,40	32,80	34,91	35,80	33,40
Total A	81,98	88,00	79,70	82,96	78,40	78,60

Tablica 12.10 Zestawienie wielkości dźwięków w punktach pomiarowych w różnych pasmach częstotliwości na moście w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego w Puławach (30 - 60 min)

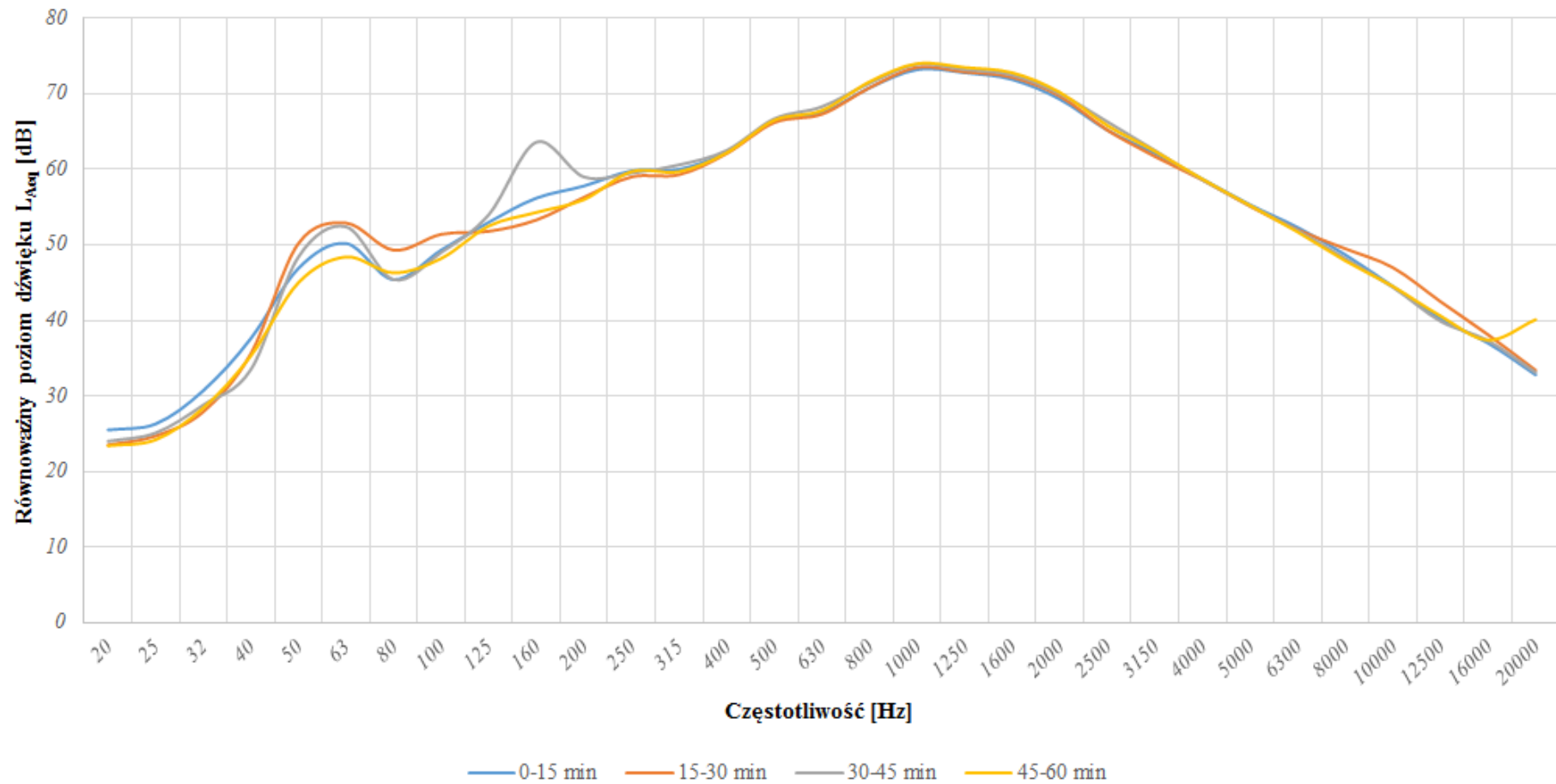
Pasma częstotliwości	Wartość dźwięku [dB]					
	14:43-14:58			14:58-15:13		
	PPH-4 dylatacja jednomodułowa	PPH-5 punkt bazowy	PPH-6 dylatacja dwumodułowa	PPH-4 dylatacja jednomodułowa	PPH-5 punkt bazowy	PPH-6 dylatacja dwumodułowa
20 Hz	24,36	27,10	24,00	23,69	26,30	23,40
25 Hz	28,79	28,50	25,10	28,50	28,80	24,20
31,5 Hz	34,62	34,30	28,80	34,15	34,80	28,40
40 Hz	38,81	38,50	33,50	39,79	39,10	35,30
50 Hz	48,42	49,00	48,40	45,58	45,70	45,00
63 Hz	54,74	52,30	52,40	49,66	48,80	48,40
80 Hz	50,05	48,30	45,40	48,85	50,10	46,30
100 Hz	52,80	51,30	49,00	50,84	52,30	48,20
125 Hz	55,14	54,90	54,00	53,66	55,30	52,50
160 Hz	63,97	61,40	63,60	57,05	56,60	54,30
200 Hz	64,63	63,40	59,00	61,02	60,30	56,00
250 Hz	63,78	63,00	59,50	64,22	63,80	59,70
315 Hz	63,90	63,00	60,60	62,06	63,20	59,70
400 Hz	64,96	64,20	62,50	63,91	64,60	62,20
500 Hz	70,70	68,80	66,70	69,74	68,70	66,50
630 Hz	73,59	73,50	68,30	74,43	73,70	67,80
800 Hz	76,32	77,50	71,40	77,56	78,00	71,60
1000 Hz	75,43	76,00	73,90	75,84	76,60	74,00
1250 Hz	74,06	74,20	73,20	74,37	74,80	73,50
1600 Hz	72,63	73,60	72,50	72,91	74,30	72,80
2000 Hz	70,03	70,50	70,00	70,30	71,50	70,20
2500 Hz	66,00	66,70	66,30	66,07	68,60	65,80
3150 Hz	63,22	63,40	62,50	63,23	66,10	62,40
4000 Hz	60,63	60,40	58,60	59,95	64,20	58,70
5000 Hz	57,55	56,90	55,20	57,19	62,40	55,20
6300 Hz	55,34	54,30	51,90	54,13	61,60	51,70
8000 Hz	51,70	51,50	48,20	51,16	60,10	47,90
10000 Hz	49,42	48,40	44,40	47,69	58,10	44,50
12500 Hz	44,93	44,70	39,90	44,02	55,90	40,60
16000 Hz	41,16	39,90	37,30	40,06	52,60	37,40
20000 Hz	32,93	35,70	33,10	43,14	49,40	40,10
Total A	82,62	78,20	78,30	83,63	79,40	79,50



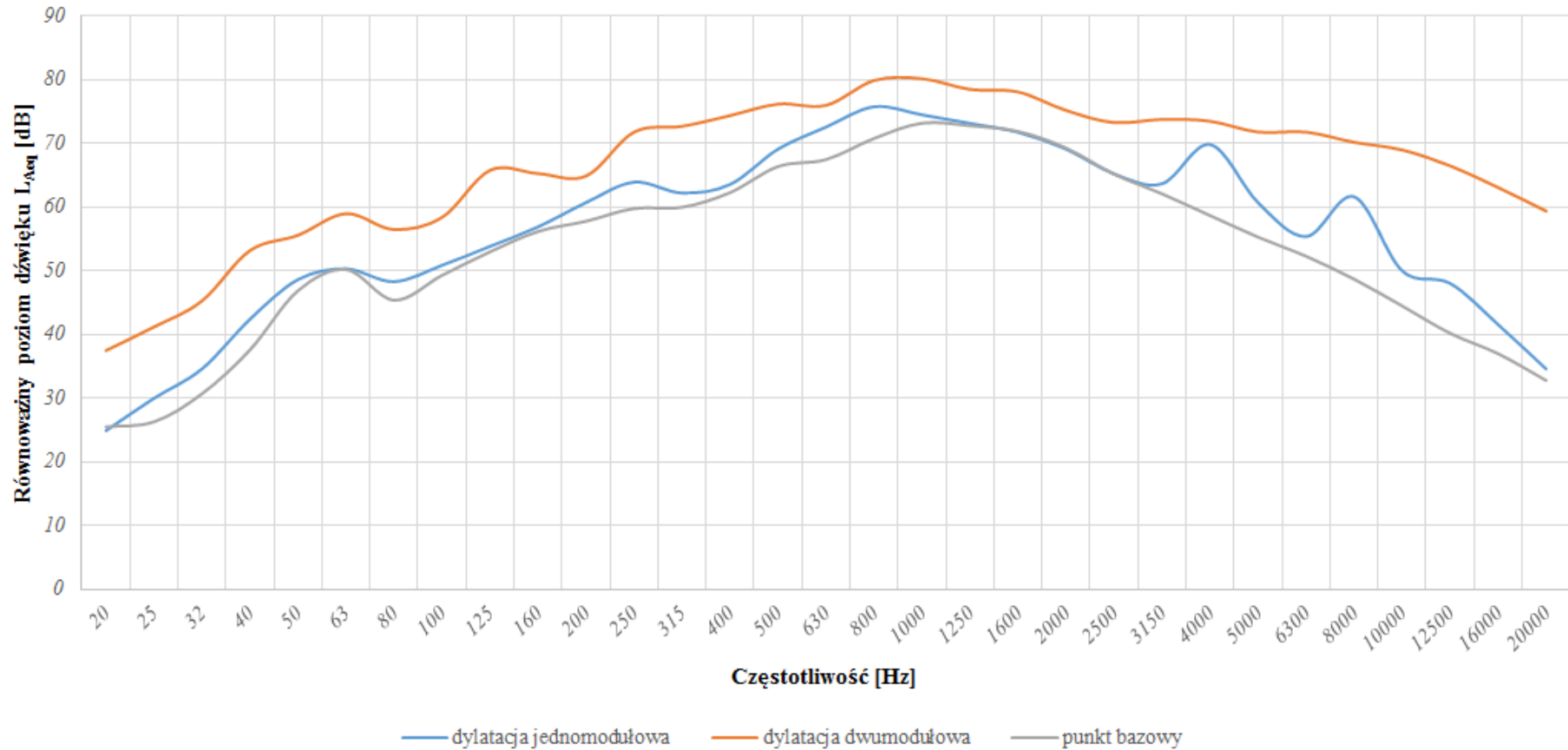
Rys. 12.32 Natężenie dźwięku powstałego na styku dylatacji dwumodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



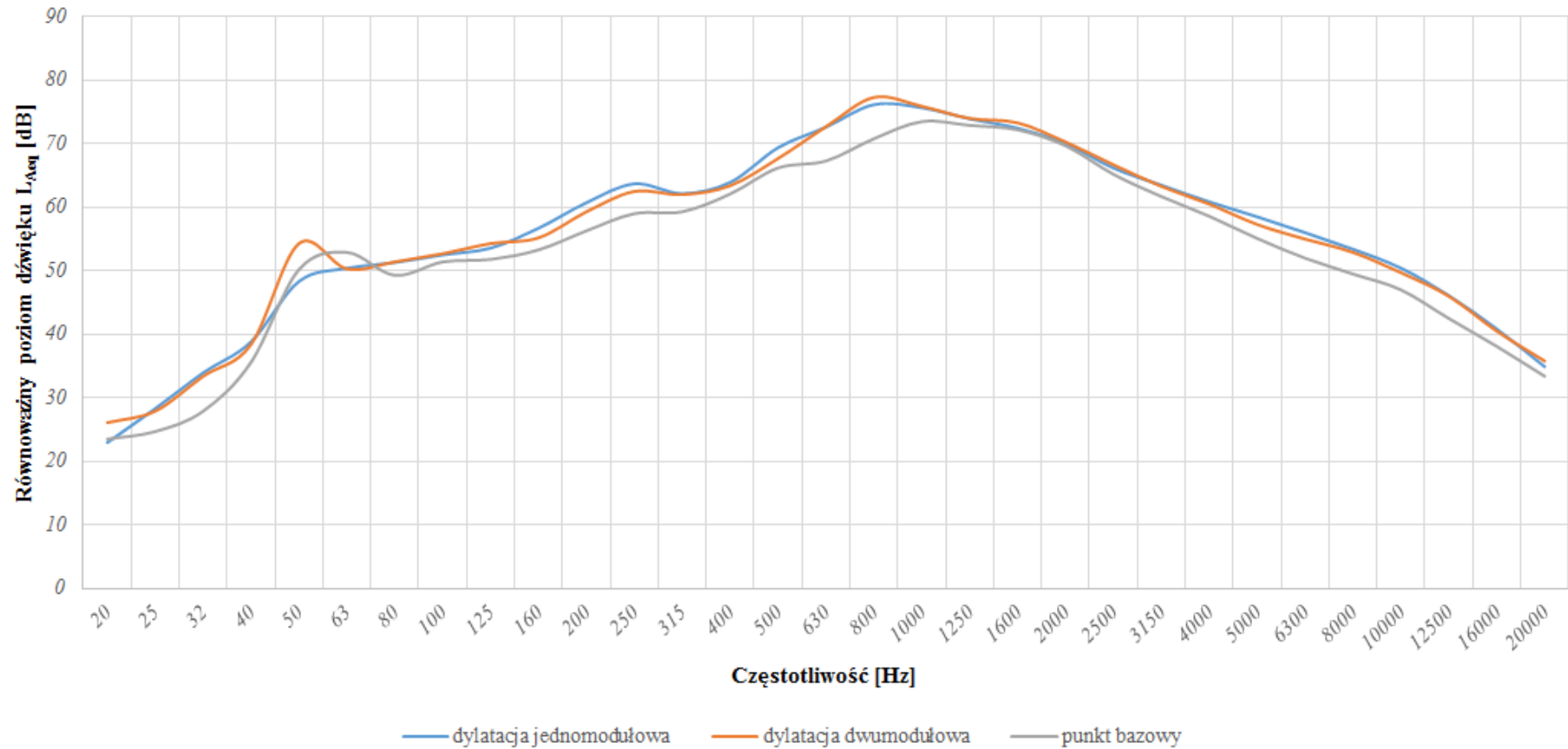
Rys. 12.33 Natężenie dźwięku powstałego na styku dylatacji jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



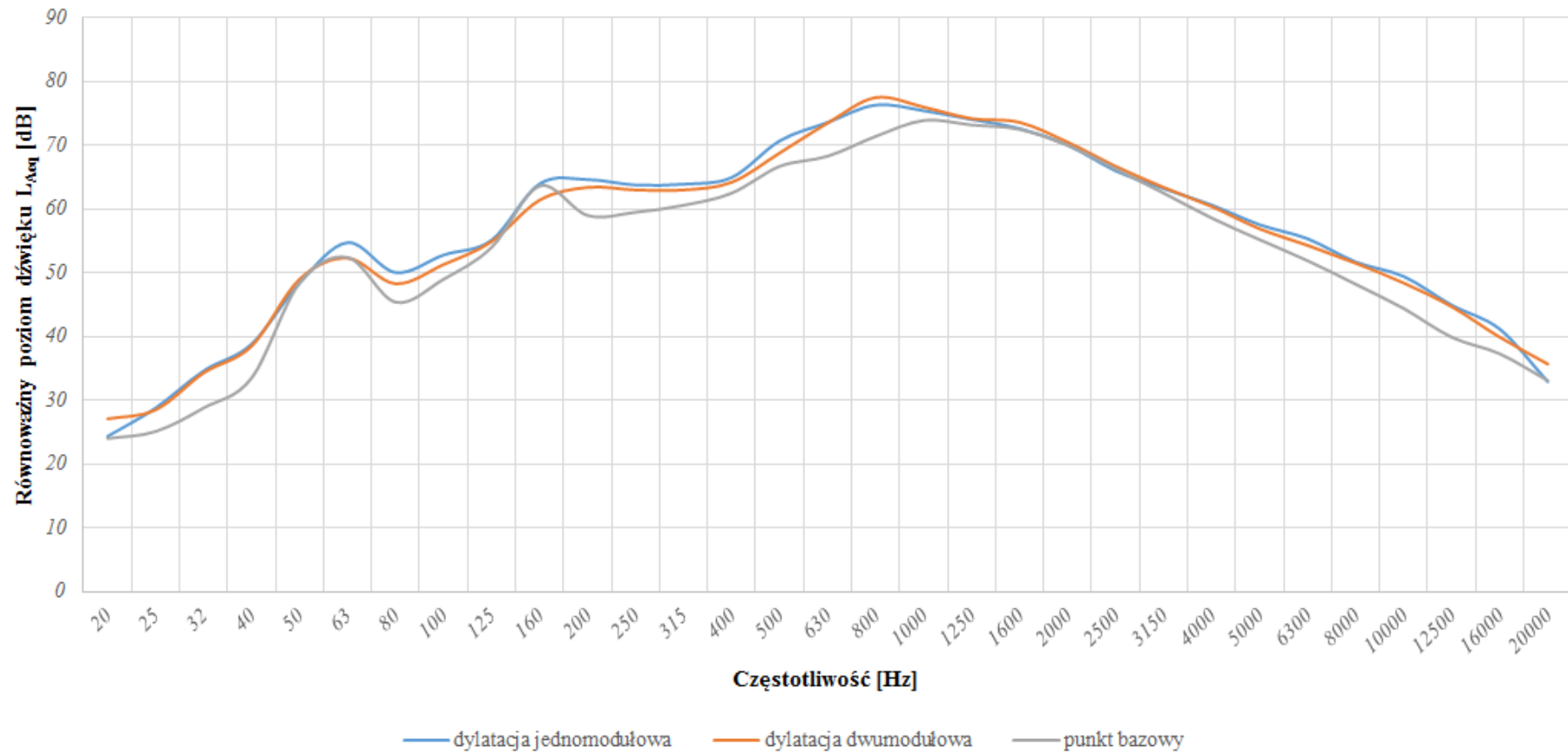
Rys. 12.34 Natężenie dźwięku powstałego na nawierzchni pomiędzy dylatacjami w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



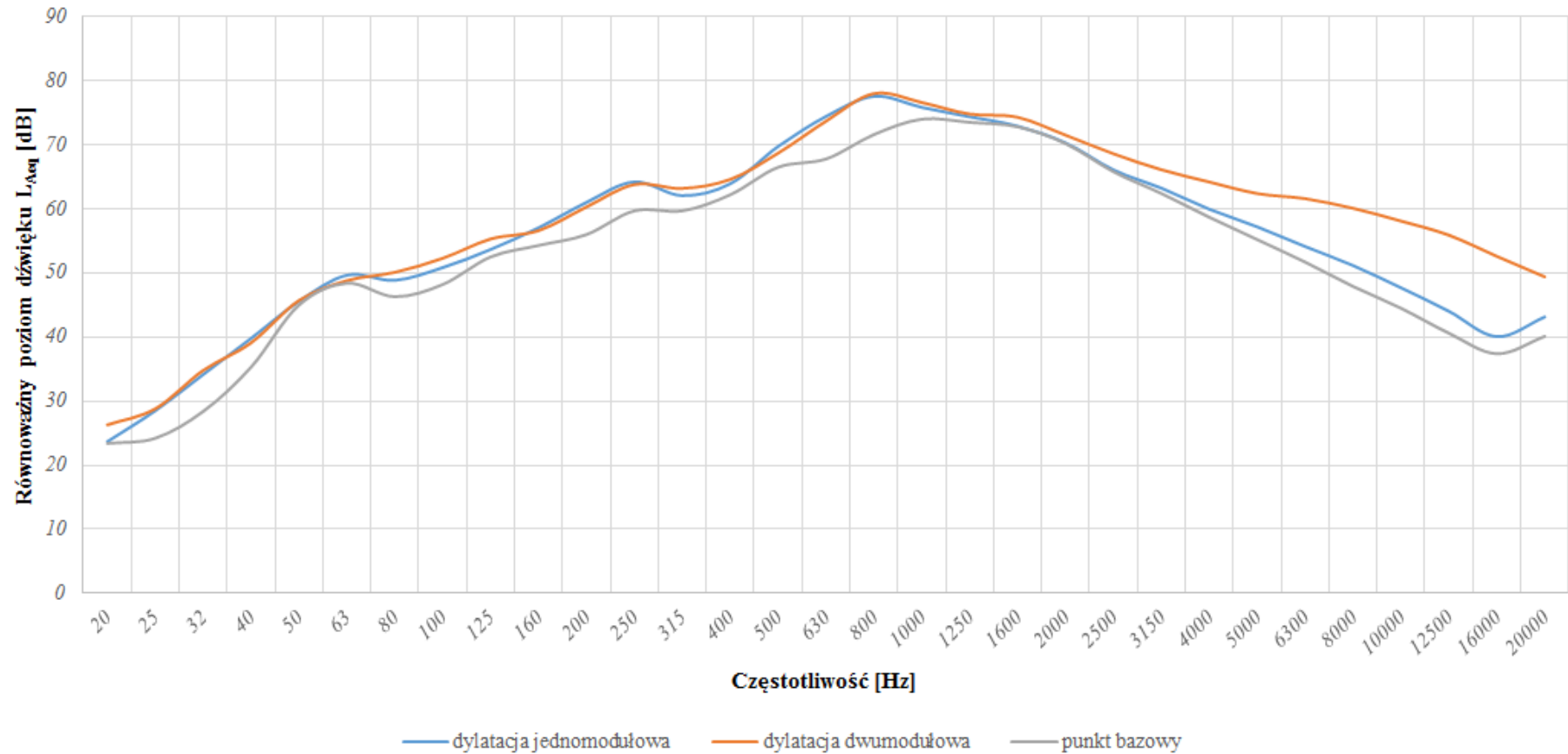
Rys. 12.35 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji dwumodułowej i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 0 – 15 min – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



Rys. 12.36 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji dwu i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 15 – 30 min – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



Rys. 12.37 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji dwu i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 30 – 45 min – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego



Rys. 12.38 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji dwu i jednomodułowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w odniesieniu do punktu bazowego dla okresu badań 45 – 60 min – most w ciągu ul. Marszałka Piłsudskiego

12.2.3. Most w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie – dylatacja blokowa

Pomiary natężenia ruchu na odcinku, na którym był badany poziom dźwięku zostały wykonane w godzinach od 10:25 do 10:55. Największy udział w ruchu pojazdów miały pojazdy osobowe. Pojazdy ciężkie stanowiły 2,1% ze wszystkich poruszających się drogą pojazdów. Podczas 30 minutowego badania przejechało w sumie 290 pojazdów. Nie odnotowano przejazdu traktorów, rowerzystów oraz zaprzęgów konnych. W tabl. 12.11 zostały przedstawione wyniki pomiarów natężenia ruchu z podziałem na strukturę rodzajową w dwóch interwałach 15 minutowych.

Tablica 12.11 Natężenie ruchu na moście w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

Godzina	Struktura rodzajowa						Q	Q _l	Q _c	p _c [%]
	M	O	SD	C	Cp	A				
10:25-10:40	1	143	11	0	1	0	156	154	2	1,3
10:40-10:55	0	119	11	0	4	0	134	130	4	3,0
SUMA:	1	262	22	0	5	0	290	284	6	2,1

Oznaczenia wykorzystane w tabeli:

- M – motocykle,
- O – osobowe,
- SD – samochody dostawcze,
- C – ciężarowe,
- Cp – ciężarowe z przyczepą,
- A – autobusy,
- Q – suma pojazdów,
- Q_c – suma pojazdów ciężkich,
- Q_l – suma pojazdów lekkich,
- p_c – procentowy udział pojazdów ciężkich.

W tabl. 12.12 przedstawiono wyniki pomierzonych prędkości pojazdów z podziałem na lekkie i ciężkie, dla analizowanego okresu czasu.

Tablica 12.12 Zestawienie prędkości pomierzonych na moście w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

Przedział czasowy	Prędkość pojazdów lekkich [km/h]	Prędkość pojazdów ciężkich [km/h]	Przedział czasowy	Prędkość pojazdów lekkich [km/h]	Prędkość pojazdów ciężkich [km/h]
10:25-10:40	76	78	10:40-10:55	65	47
	71	43		58	51
	46	50		66	66
	51			60	58
	67			61	63
	58			42	55
	57			46	54
	60			55	49
	55			69	50
	47			48	71
	58			68	46
	41			73	52
	56			78	
	43			64	
	59			56	
	50			79	
	43			65	
	49			64	
	57			62	
	40			68	
	41			55	
	62			66	
	63			55	
	46			47	
	43			43	
	48			43	
	54			54	
	64			52	
	46			51	
	76			66	
39		43			
65		69			
50		39			
59		66			
67		51			
48		48			
Średnia prędkość	54	57	Średnia prędkość	58	57
Liczebność próby	36	3	Liczebność próby	36	12

W tabl. 12.13 zestawiono wartości równoważnego poziomu dźwięku dla poszczególnych interwałów czasowych.

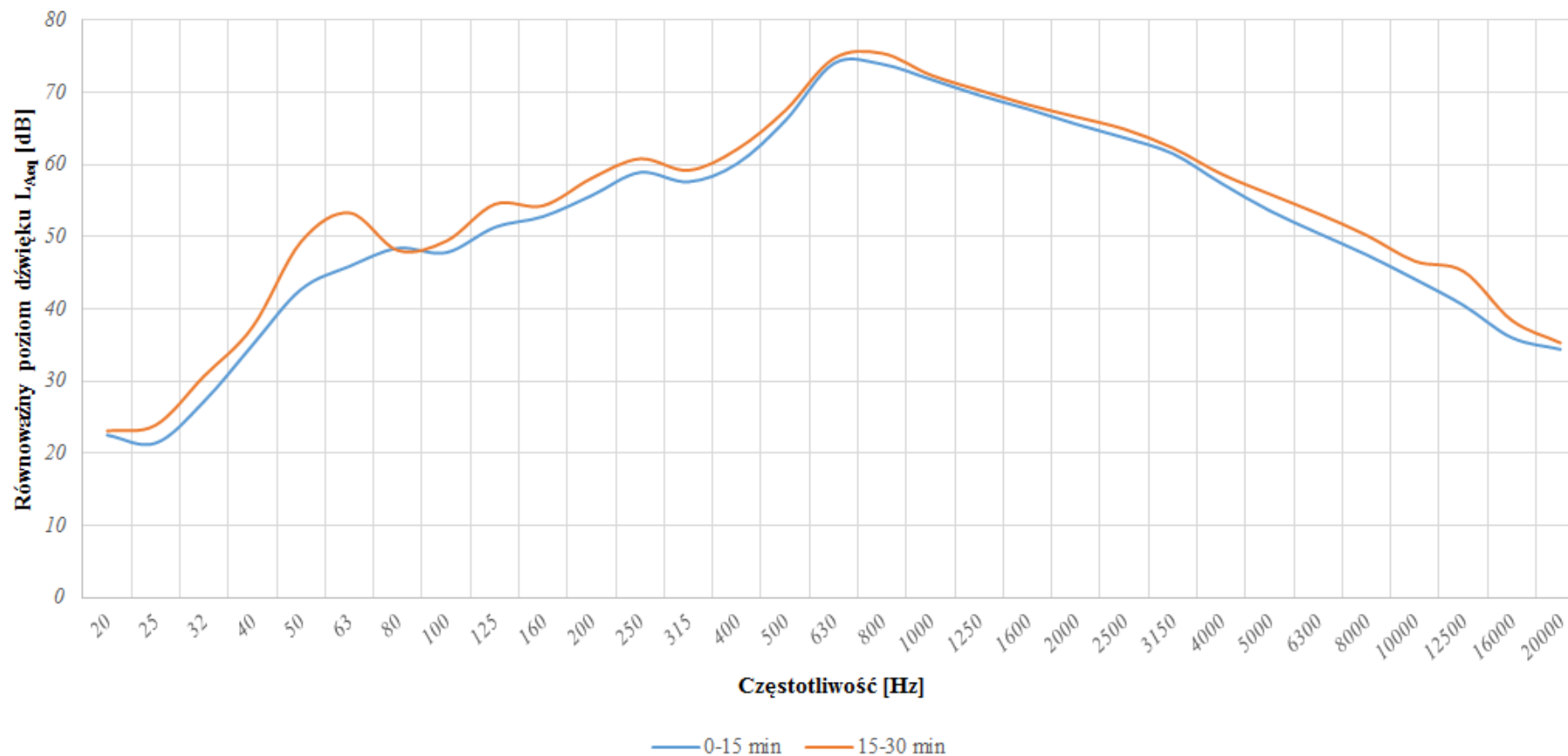
Tablica 12.13 Zestawienie równoważnych poziomów dźwięku w interwałach 15 minutowych na moście w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

Nr punkt pomiarowego		PPH-7 (dylatacja blokowa)	PPH-8 (punkt bazowy)	Różnica między punktem PPH-7 i PPH-8
Typ miernika		SVAN 958	SVAN 958	
Równoważny poziom dźwięku	10:25-10:40	79,6	74,3	5,3
	10:40-10:55	80,7	75,8	4,9

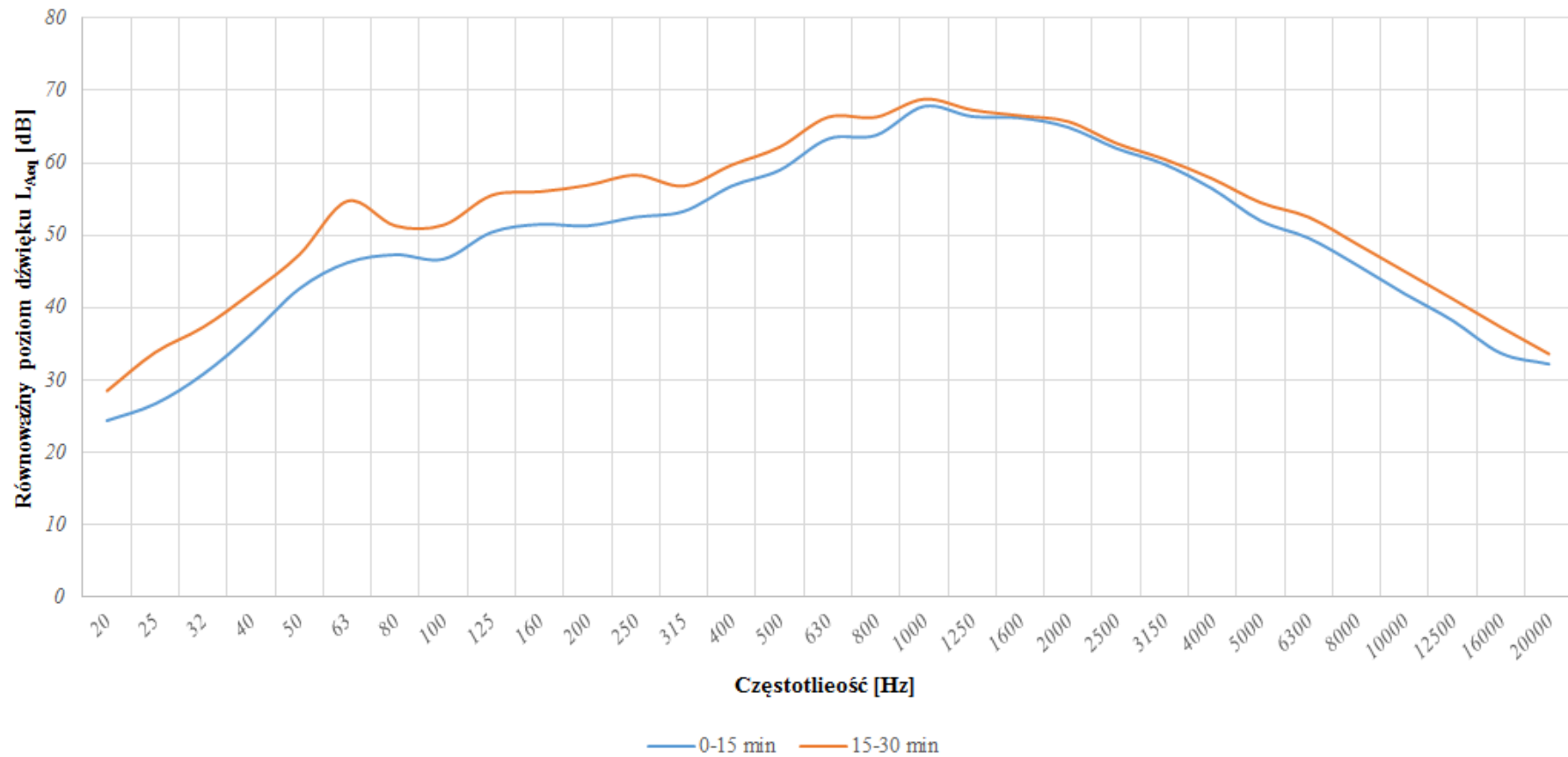
Również w przypadku dylatacji blokowej i punktu bazowego w celu lepszego zobrazowania rozrzutów wartości natężenia dźwięku w różnych pasmach częstotliwościowych dla dwóch mierzonych punktów, uzyskane wartości pomiarowe przedstawiono w formie tablicy (tabl. 12.14) oraz wykresów (rys. 12.39 – 12.42).

Tablica 12.14 Zestawienie wielkości dźwięków w punktach pomiarowych w różnych pasmach częstotliwości na moście w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie (0 - 30 min)

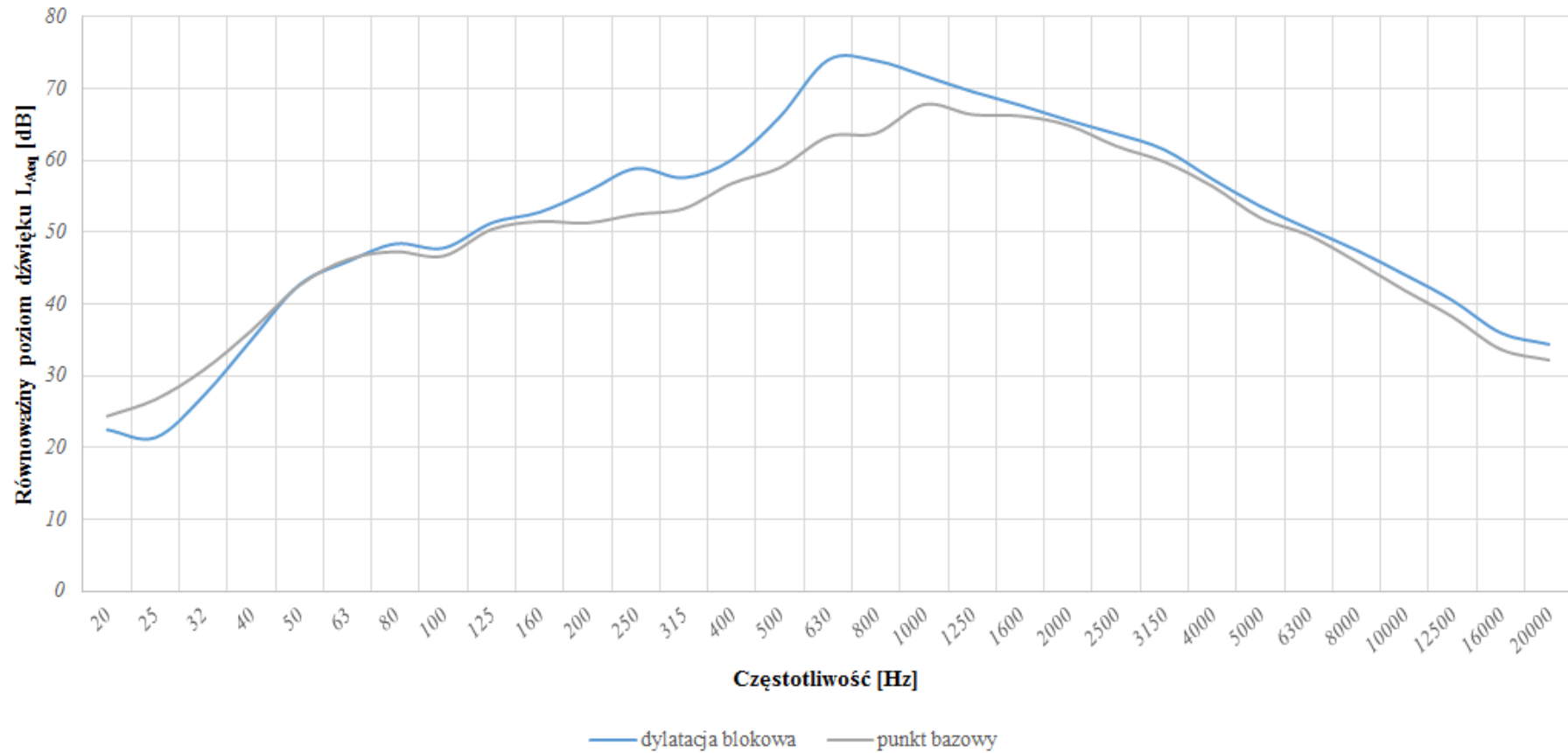
Pasma częstotliwości	Wartość dźwięku [dB]			
	PPH-7 dylatacja blokowa		PPH-8 punkt bazowy	
	10:25-10:40	10:40-10:55	10:25-10:40	10:40-10:55
20 Hz	22,50	23,10	24,40	28,50
25 Hz	21,40	23,90	26,70	33,80
31,5 Hz	27,20	30,70	30,80	37,30
40 Hz	35,00	37,50	36,30	42,00
50 Hz	42,70	49,30	42,60	47,30
63 Hz	45,90	53,30	46,20	54,70
80 Hz	48,40	48,10	47,30	51,30
100 Hz	47,80	49,40	46,70	51,40
125 Hz	51,30	54,50	50,40	55,50
160 Hz	52,80	54,30	51,50	56,00
200 Hz	55,70	58,10	51,30	56,90
250 Hz	58,90	60,80	52,50	58,30
315 Hz	57,60	59,20	53,30	56,80
400 Hz	60,10	62,10	56,80	59,70
500 Hz	66,10	67,50	59,00	62,20
630 Hz	74,00	74,70	63,30	66,30
800 Hz	73,90	75,40	63,80	66,30
1000 Hz	71,80	72,40	67,80	68,80
1250 Hz	69,60	70,30	66,40	67,30
1600 Hz	67,70	68,30	66,20	66,50
2000 Hz	65,60	66,60	64,90	65,70
2500 Hz	63,70	64,90	62,00	62,70
3150 Hz	61,50	62,30	59,80	60,50
4000 Hz	57,40	58,70	56,40	57,80
5000 Hz	53,60	55,90	52,00	54,50
6300 Hz	50,50	53,20	49,60	52,50
8000 Hz	47,50	50,20	45,90	48,80
10000 Hz	44,10	46,60	41,90	45,00
12500 Hz	40,50	45,20	38,20	41,20
16000 Hz	36,00	38,40	33,70	37,30
20000 Hz	34,40	35,30	32,20	33,60
Total A	79,60	80,70	74,30	75,80



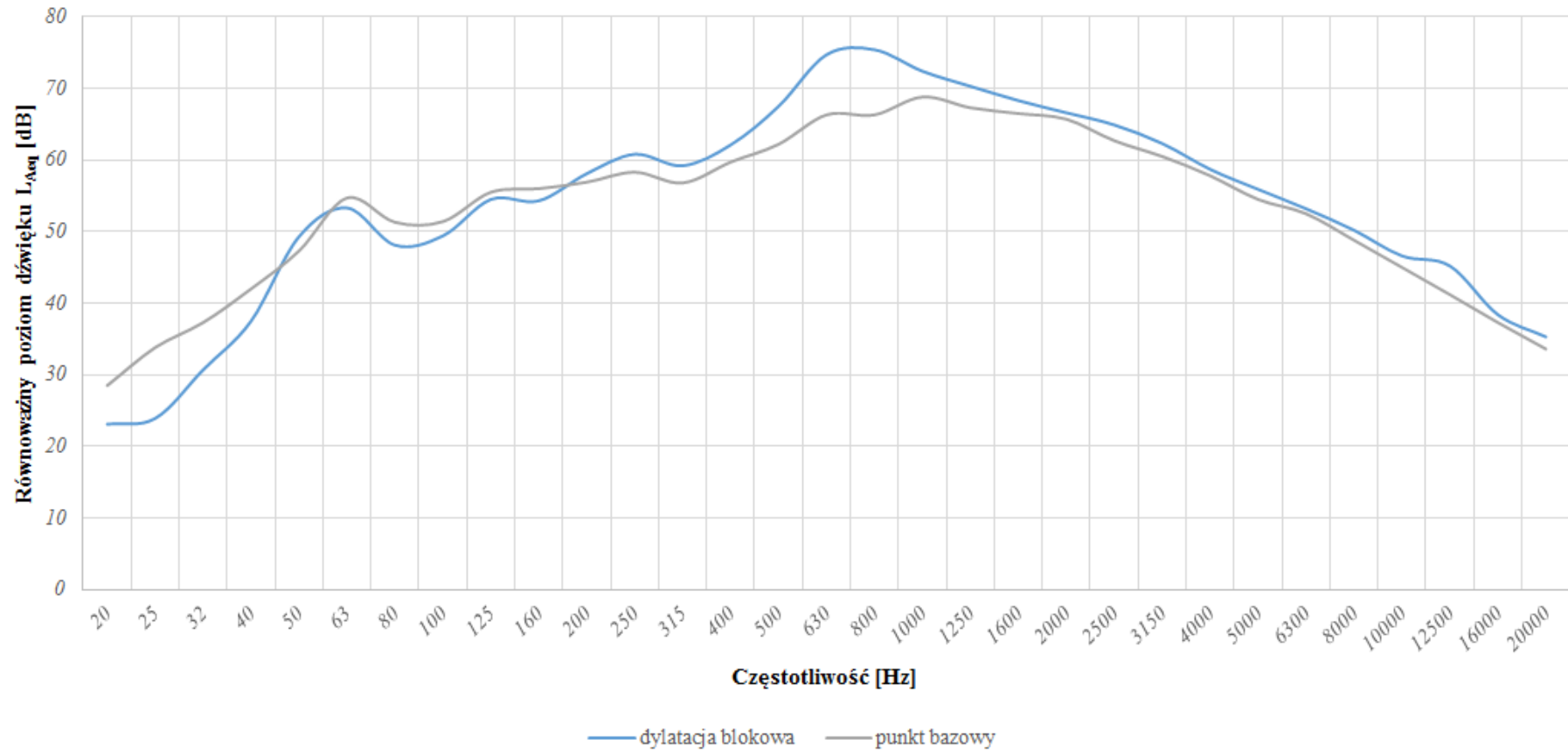
Rys. 12.39 Natężenie dźwięku powstałego na styku dylatacji blokowej w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – most w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie



Rys. 12.40 Natężenie dźwięku powstałego na nawierzchni pomiędzy dylatacjami w pełnym paśmie częstotliwościowym w poszczególnych interwałach pomiarowych – most w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie



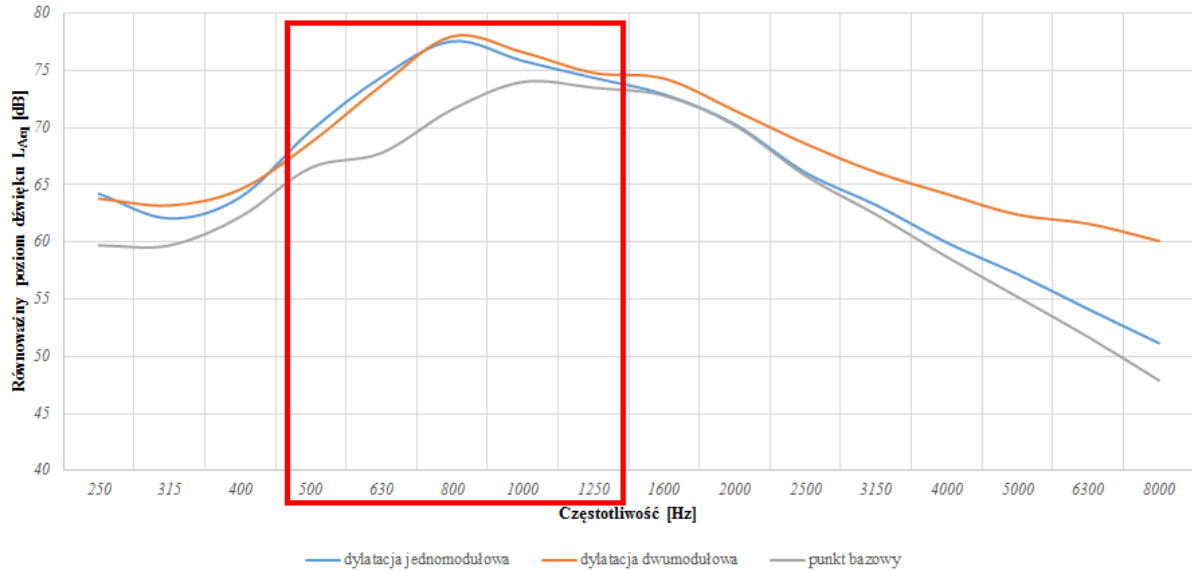
Rys. 12.41 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji blokowej w odniesieniu do punktu bazowego w pełnym paśmie częstotliwościowym dla okresu badań 0 – 15 min – most w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie



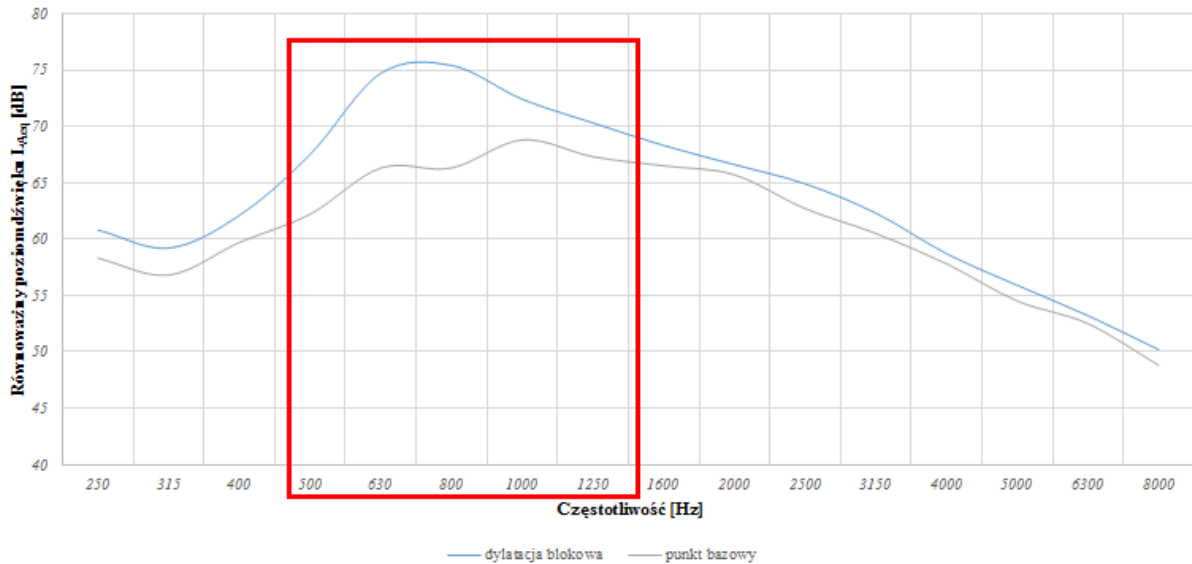
Rys. 12.42 Analiza porównawcza hałaśliwości dylatacji blokowej w odniesieniu do punktu bazowego w pełnym paśmie częstotliwościowym dla okresu badań 15 – 30 min – most w ciągu ul. 15 Pułku Piechoty w Dęblinie

12.3. Wnioski z wyników badań

Analizując wyniki badań dylatacji wnioskuje się, iż w każdym przypadku można zauważyć różnicę w poziomie hałasu generowanego przez dylatację w zakresie pasma częstotliwości o zakresie 500 – 1250 Hz. Hałas generowany na styku koło – dylatacja mostowa powoduje wzrost poziomu dźwięku we wspomnianym paśmie, które wchodzi w zakres pasma słyszalnego dla człowieka, które może powodować negatywne oddziaływania. Przykładowe wyniki wskazujące na ten efekt pokazano na rys. 12.43 – 12.44.

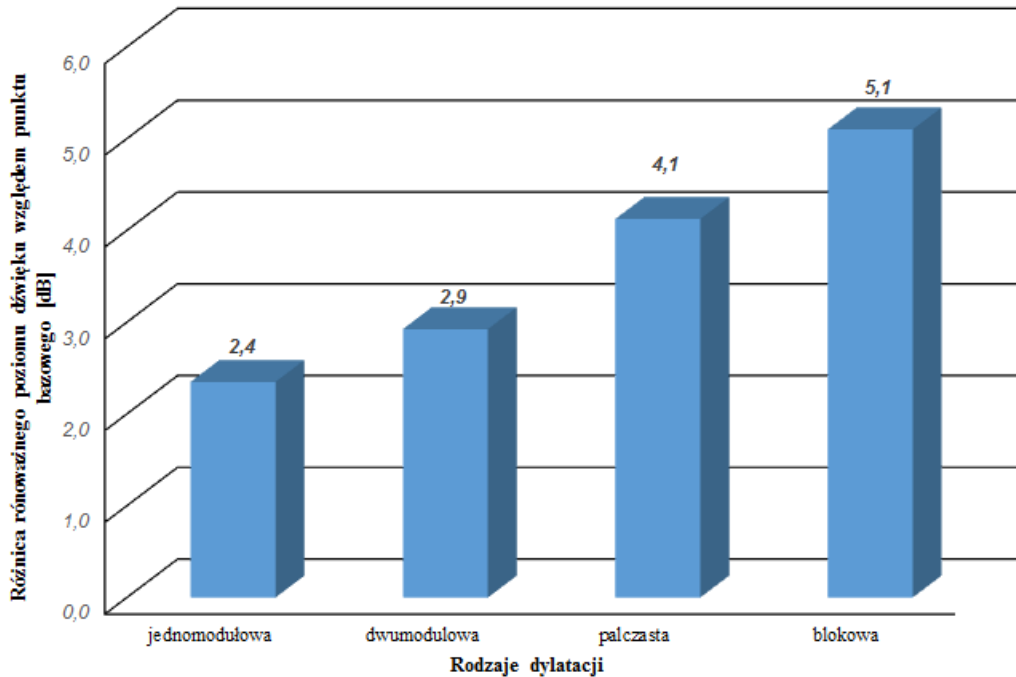


Rys. 12.43 Analiza w pasmach częstotliwościowych dla dylatacji jedno i dwumodułowej w odniesieniu do punktu bazowego na moście Jana Pawła II w Puławach



Rys. 12.44 Analiza w pasmach częstotliwościowych dla dylatacji blokowej w odniesieniu do punktu bazowego na moście w ciągu ul. 15 Puku Piechoty w Dęblinie

Odnosząc się do pomierzonych wartości równoważnego poziomu dźwięku w zależności od punktów bazowych dla każdego analizowanego przypadku zestawiono (rys. 12.45) różnice poziomów dźwięku. W zestawieniu nie uwzględniono punktu PPH-1 (dylatacja jednomodułowa zlokalizowana przy moście Jana Pawła II), który znajdował się na pasie włączania, ponieważ pomierzone wartości równoważnego poziomu dźwięku są mniejsze od punktu odniesienia znajdującego się przy nawierzchni.



Rys. 12.45 Różnice równoważnych poziomów dźwięku dla każdej analizowanej dylatacji w stosunku do odpowiadających im punktom bazowym (nawierzchnia bez dylatacji)

Na podstawie powyższego wykresu można wnioskować, iż najcichsza jest dylatacja jednomodułowa i dwumodułowa, jednakże analizując otrzymane wartości dźwięku generowanego na styku koło – dylatacja mostowa należy zwrócić również uwagę na:

- stan techniczny dylatacji,
- szerokość dylatacji.

Zarówno stan dylatacji jak i jej szerokość w sposób znaczący wpływają na otrzymane wyniki. Analizując wykres (rys. 12.45) ze względu na szerokości badanych dylatacji (rys. 12.46 i 12.47) można wnioskować, iż dylatacja palczasta ma dobre parametry akustyczne - jej szerokość jest ponad 6 razy większa od szerokości dylatacji dwumodułowej, a różnica poziomu dźwięku wynosi 1,2 dB. Na podstawie wykonanych badań można natomiast stwierdzić, iż dylatacja blokowa jest najgłośniejsza.

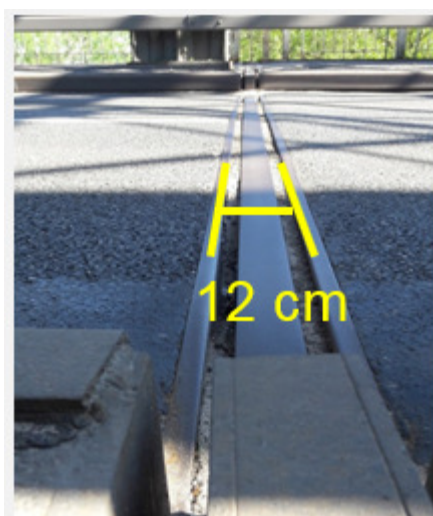
Zarówno w polskiej jak i zagranicznej literaturze brak jest szczegółowych opracowań dot. pomiarów hałaśliwości dylatacji mostowych. W Polsce [15] przeprowadzono badania na kilku obiektach mostowych wykorzystując inną metodykę badań hałaśliwości dylatacji niż tą pokazaną w rozdziale 12.1. Hałas impulsowy badano pod kątem wartości szczytowej dźwięku $L_{A\text{Peak}}$ w celu zidentyfikowania pojedynczego pojazdu. W tym celu zastosowano krok bufora czasowego z krokiem 10 ms. Badania wykonano na sześciu obiektach mostowych [15]:

- Most Świętokrzyski w Warszawie (dylatacja palczasta o przesuwie ± 150 mm).
- Most Siekierkowski w Warszawie (dylatacja wielomodułowa o przesuwie ± 150 mm).

- Most w Puławach (dylatacja palczasta o przesuwie ± 350 mm).
- Most w Puławach (dylatacja palczasta o przesuwie ± 250 mm).
- Most w Puławach (dylatacja jednomodułowa o przesuwie ± 40 mm).
- Most przez Bóbr w ciągu drogi krajowej DK18 (dylatacja wielomodułowa o przesuwie ± 160 mm).
- Wiadukt na drodze A4 (dylatacja wielomodułowa o przesuwie ± 200 mm).
- Wiadukt nad torami PKP w ciągu ul. Sulechowskiego w Zielonej Górze (dylatacja jednomodułowa z nakładką wyciszającą o przesuwie ± 50 mm).



Rys. 12.46 Szerokość dylatacji palczastej (lewa) oraz dylatacji blokowej (prawa)



Rys. 12.47 Szerokość dylatacji palczastej dwumodułowej

Na podstawie dotychczas wykonanych badań zawartych w wielu publikacjach wnioskuje się, iż najcichszymi dylatacjami są dylatacje palczaste, niemniej należy zwrócić uwagę na urządzenia jednomodułowe z nakładką wyciszającą, które też wykazują dobre parametry akustyczne. Brak jest w literaturze dogłębnych badań pozwalających skategoryzować rodzaje dylatacji pod kątem ich hałaśliwości. W niniejszym opracowaniu autorzy wskazują jednak na dylatacje jednomodułowe i dwumodułowe wywołujące najniższe poziomy hałas. Większa część dostępnej literatury odnosi się do sposobów i metod pozwalających na redukcję negatywnego oddziaływania akustycznego na styku koło-dylatacja mostowa. W artykułach omawiane są przede wszystkim różnego rodzaju nakładki wyciszające o różnych kształtach [3] [49] bądź elementy montowane pod konstrukcją dylatacji [121]. Dostępna literatura odnosi się również do badań dynamicznych na styku koło – dylatacja mostowa [3] [96] oraz

analiz numerycznych dotyczących pracy urządzeń dylatacyjnych pod wpływem obciążeń dynamicznych [48]. W pracy [121] [49] przedstawiono inny sposób wykonywania badań polegający na montażu mikrofonu, na wysokości 1.2 m w stosunku do dylatacji oraz badając (mierząc) wartość poziomu ekspozycyjnego dźwięku. Ze względu na brak unormowanej metodyki przeprowadzania badań na dylatacjach mostowych, wskazanym byłoby porównanie dotychczasowych metodologii badań. Ze względu na dużą liczbę rodzajów stosowanych dylatacji mostowych zagadnienie jest bardzo obszerne i powinno stanowić odrębne opracowanie, w skład którego powinny wchodzić badania na wszystkich rodzajach dylatacji zarówno z elementami wyciszającymi jak i bez nich. Dobór urządzeń dylatacyjnych w obszarach akustycznie chronionych nie powinien opierać się jedynie na wymaganych wartościach przemieszczeń, rodzaju obciążeń czy charakterze obiektu [15], lecz przede wszystkim ze względu na parametry akustyczne.

W ramach wykonanych badań oraz w wyniku przeglądu literatury należy stwierdzić, że dylatacje stosowane na obiektach inżynierskich mogą być źródłem odczuwalnego przez ludzi i środowisko niekorzystnego oddziaływania. Wartości zwiększenia poziomu hałasu równoważnego o 3-5 dB o impulsowym charakterze mogą wpływać niekorzystnie zarówno na komfort jak i zdrowie ludzi. O wielkości zwiększenia poziomu hałasu decydują zarówno rodzaj jak i stan utrzymania dylatacji. Efekty dodatkowe może powodować także szerokość dylatacji oraz wykorzystywane elementy wyciszające stosowane dla dylatacji (nakładki itp.). Największy efekt akustyczny powodują dylatacje blokowe. Ze średnim zwiększeniem hałasu należy liczyć się w przypadku stosowania dylatacji jedno- i wielomodułowych oraz palczastych. Należy również zwrócić uwagę, że w przypadku badań hałaśliwości dylatacji istotne jest stosowanie jednolitych metod pomiarowych z uwzględnieniem hałaśliwości sąsiadującego odcinka nawierzchni drogowej bez tych urządzeń.

13. PODSUMOWANIE

13.1. Uwagi ogólne

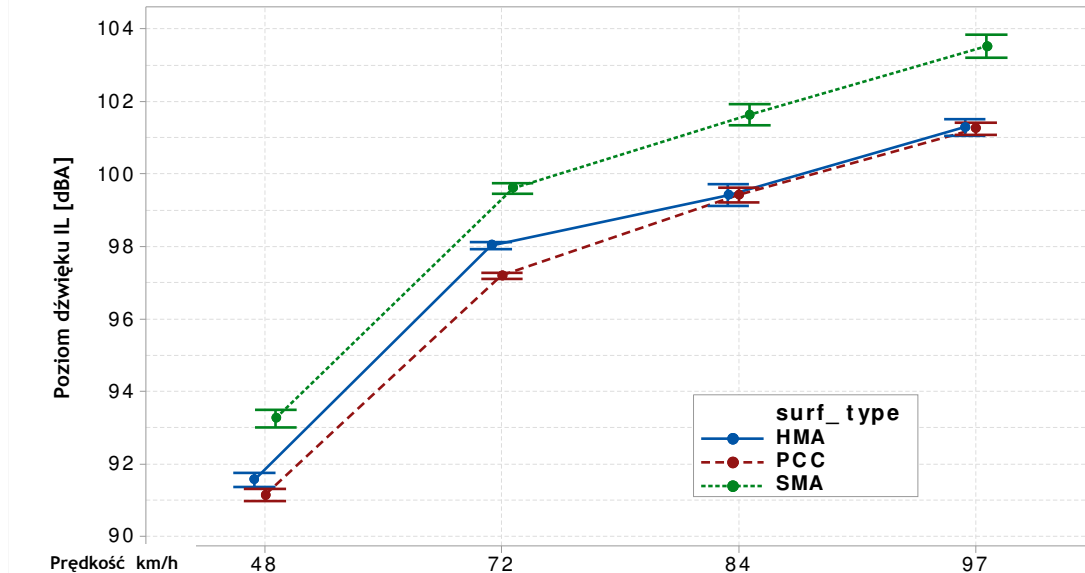
Nawierzchnie betonowe nie miały jak dotąd ugruntowanej pozycji na polskich drogach. Rozwijano technologie budowy nawierzchni mieszanek mineralno-asfaltowych, zwłaszcza w latach 90-tych ubiegłego wieku. Wykonane w połowie lat 90-tych ubiegłego wieku pierwsze nawierzchnie betonowe na drogach krajowych o dłuższych odcinkach i ich dobre zachowanie sprawiło, że nawierzchnie te stały się równoprawne na naszych drogach. Zaczęto rozwijać nowe technologie budowy jak i wykańczania górnych powierzchni. Brak było w związku z tym badań i doświadczeń w zakresie hałasu generowanego przez te nawierzchnie. Panował pogląd, że nawierzchnie te są głośniejsze od nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych. Jednakże między innymi z tych powodów zaczęto doskonalić technologie budowy nawierzchni betonowych z punktu widzenia redukcji hałasu. Pierwsze nawierzchnie miały teksturę poprzecznie szorstkowaną, ponieważ chodziło o uzyskanie wysokich współczynników tarcia. Stosowano również teksturu podłużną, jednak nie uzyskiwano wymaganych współczynników tarcia. Następnie zaczęto stosować technologię odkrytego kruszywa, która znakomicie obniżyła poziom hałasu tych nawierzchni.

Jednym z najbardziej źle rozumianym aspektem hałasu nawierzchni ze strony odbiorcy jest długowieczność akustyczna. Większość użytkowników kreuje wrażenia na podstawie ich doświadczenia z jazdy. Odbierają hałas we wnętrzu swojego pojazdu (z reguły dobrze wytłumionego), postrzegając jezdnię jako „cichą”. Kiedy nawierzchnie są nowo budowane, ta sytuacja praktycznie zawsze występuje. Jednak, jak wykazano właściwości akustyczne nawierzchni zmieniają się z czasem. Ta zmiana pojawia się raczej stopniowo, więc kierowca niekoniecznie musi być świadomy tej zmiany. Potem, po wielu latach, gdy pojawia się nowa nawierzchnia, konsument po raz kolejny zachwyca się zmniejszonym poziomem hałasu, nie zdając sobie sprawy, że nastąpi pogorszenie poziomu hałasu w przyszłości. Niestety, ta reakcja użytkowników na nową nawierzchnię pozwoliła na utrwalenie mitu, że nawierzchnie asfaltowe są cichsze niż betonowe.

Należy zaznaczyć, że w praktyce nawierzchnie asfaltowe mają częściej wymienianą nawierzchnię na nową, ze względu na trudności z zachowaniem różnych cech eksploatacyjnych. To stanowi drugie zagadnienie, które utrudnia dyskusję pomiędzy typami nawierzchni. Ponieważ nawierzchnie betonowe mają dłuższy okres eksploatacji, nierzadko zdarza się, że betonowe konstrukcje zostały zrealizowane w ubiegłym wieku i są nadal eksploatowane. W niniejszym raporcie analizowano oprócz nawierzchni z odkrytym kruszywem także nawierzchnie o „wytartej” już teksturze „podłużnej-jutowej” lub wykonane w technologii szorstkowania poprzecznego.

Aktualnie zastosowanie nowych technik teksturowania pozwala na konkurowanie nawierzchni betonowych w stosunku do asfaltowych pod względem akustycznym. Należy zaznaczyć, że w przypadku nawierzchni betonowych istnieje większa różnorodność i możliwość teksturowania i uzyskiwania zróżnicowanych poziomów emisji dźwięku dostosowanych dodatkowo do wymagań współczynnika tarcia czy tekstury. Szczególne nadzieje pokłada się w metodzie pomiaru hałasu OBSI, która zdecydowanie lepiej niż inne (bez ograniczeń terenowych i funkcjonalnych) pozwala identyfikować różne typy nawierzchni z uwzględnieniem zmian tekstury i równości. Na rysunku 13.1. przedstawiono wyniki pomiarów porównawczych hałasu na nawierzchni betonowej (PCC), z SMA oraz AC (HMA)

dla różnych prędkości pomiarowych. Badania zostały przeprowadzone w ramach niniejszego grantu na drodze S8. Nawierzchnia betonowa wykonana była w technologii rowkowania podłużnego (juta).



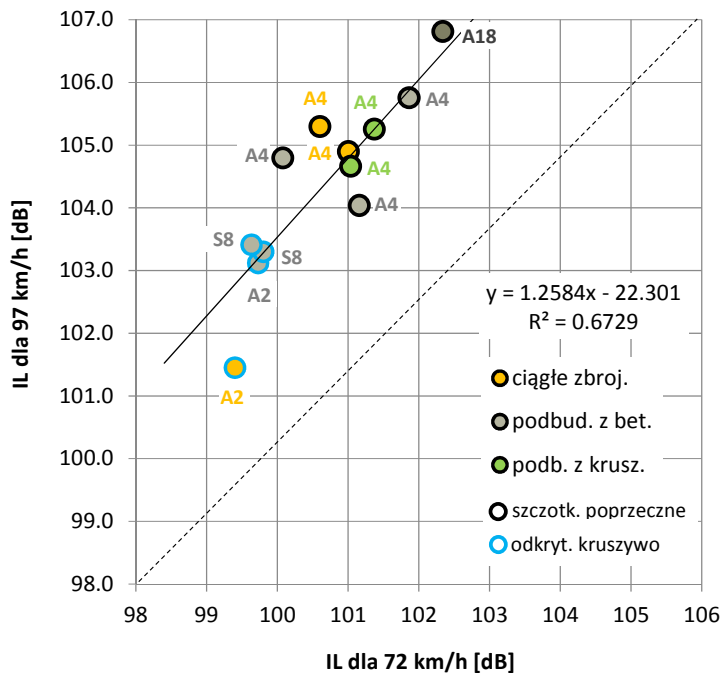
Rys. 13.1. Porównanie poziomów dźwięku w metodzie OBSI na podstawie wstępnych badań na nawierzchniach na drodze S8.

Analizując wyniki zestawione na rys. 13.1 widać, że nawierzchnia betonowa jest dla badanego przedziału prędkości znacznie cichsza niż nawierzchnia typu SMA. Nawierzchnia typu SMA jest najczęściej stosowaną warstwą ścieralną na polskich drogach.

Niniejsza praca jest pierwszym kompleksowym opracowaniem w zakresie badań hałasu na polskich nawierzchniach betonowych. Poniżej przedstawione zostaną podsumowania z badań hałaśliwości nawierzchni betonowych. Przy czym podstawowe wnioski będą dotyczyły nawierzchni betonowych z odkrytym kruszywem.

13.2. Podsumowanie badań metodą OBSI różnych rodzajów nawierzchni betonowych

Zastosowana metoda OBSI pomiaru poziomu dźwięku w kontakcie opony z nawierzchnią pozwoliła na ilościową ocenę różnych tekstur nawierzchni betonowych. Zastosowanie dwóch prędkości pomiarowych pozwoliło potwierdzić uzyskane korelacje i zależności pomiędzy różnymi nawierzchniami. Stwierdzono, że zmiana prędkości o około 30% powoduje zmianę poziomu dźwięku o około 4 - 5 dB. Na rys 13.2 zaprezentowano korelację wyników z pomiarów OBSI w zależności od dwóch prędkości. Największe zróżnicowanie wyników wystąpiło dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu na A4 (01.06.2017) oraz na nawierzchni dyblowanej A4 na podbudowie z betonu (01.06.2017) (j. północna), natomiast najmniejsze dla nawierzchni o ciągłym zbrojeniu na A2 (30.05.2017).



Rys. 13.2. Korelacja wyników poziomu dźwięku dla dwóch prędkości wg metody OBSI

Zależność (13,1) prezentuje korelację wyników pomiarów hałasu dla różnych prędkości wg metody OBSI.

$$IL_{97} = 1.2584 IL_{72} - 22.301 \quad (13.1)$$

gdzie: IL_{97} – poziom dźwięku przy prędkości 97 km/h,

IL_{72} - poziom dźwięku przy prędkości 72 km/h.

W zakresie analizy widma dźwięku dla różnych konstrukcji, stwierdzono, że niezależnie od typu konstrukcji najwyższe poziomy dźwięku przy prędkości 97 km/h osiągnęte są dla częstotliwości 1000 Hz. Natomiast dla prędkości 72 km/h maksymalny poziom dźwięku występuje dla mniejszej częstotliwości 800 Hz. Odpowiednie pomiary w kabinie pojazdu przy prędkości około 100 km/h wskazują na częstotliwość około 100 Hz, przy której pojawiają się najwyższe poziomy dźwięku.

Jedną z badanych cech nawierzchni betonowych był wpływ szczelin dylatacyjnych tworzących nieciągłość geometryczną. Na podstawie analizy porównawczej trzech typów nawierzchni dla autostrady A4 (nawierzchnia ze szczelinami na podbudowie z kruszywa, na podbudowie z betonu oraz nawierzchnia bez szczelin o ciągłym zbrojeniu) w podobnym stopniu eksploatowanych (klasa A ze względu na IRI oraz klasa D ze względu na MTD), nie stwierdzono zróżnicowania w poziomach dźwięku ze względu na występowanie szczelin. Nawierzchnie na tych odcinkach były wykańczane metoda szczotkowania poprzecznego oraz posiadały niski poziom makrotekstury (MTD poniżej 0,4 mm).

Nieco inne zróżnicowanie zauważono dla autostrady A2, na której analizowano dwa typy konstrukcji (nawierzchnia bez szczelin na jezdni północnej, nawierzchnia ze szczelinami na podbudowie z betonu na jezdni południowej) z wysokim poziomem tekstury MTD w klasie A oraz w „technologii odkrytego kruszywa”. W tym przypadku stwierdzono większe wartości poziomu dźwięku na nawierzchni betonowej ze szczelinami w stosunku do nawierzchni o ciągłym zbrojeniu. Dla prędkości 72 km/h większe o 0.3 dB, natomiast dla prędkości 97 km/h większe o 1.6 dB. Podobne spostrzeżenia zaobserwowano przy pomiarze hałasu środowiskowego.

Należy stwierdzić, że na nawierzchniach z niskim poziomem makrotekstury, dobrze wykonane i utrzymane skurczowe szczeliny dylatacyjne nie generują dodatkowego poziomu dźwięku w wyniku przejazdów kół pojazdów. Potwierdzeniem tej tezy były wyniki badań hałasu przeprowadzone na starej wyeksploatowanej nawierzchni autostrady A18. Analiza przebiegu ciśnienia dźwięku w krótkich interwałach czasowych pozwoliła wskazać dwukrotnie zwiększone poziomy pojawiające się co około 4-5 m. Odpowiadają one lokalizacjom uszkodzonym szczelinom w nawierzchni. Na podstawie obserwacji odcinka autostrady A18 stwierdzono, że połączenia poprzeczne płyt mogą przyczynić się do ogólnego poziomu hałasu w dwóch przypadkach. Pierwsza sytuacja występuje, gdy nie istnieje wystarczający transfer obciążenia pomiędzy płytami, wtedy opony pojazdów będą wywoływać "uderzenie w szczelinie". Gdy uskoki płyt przekraczają 4-5 mm, może to być zauważalne i niekomfortowe, szczególnie w przypadku poziomu hałasu wewnątrz pojazdu. Druga sytuacja dotyczy zbyt dużej szerokości szczeliny oraz jej jakości wypełnienia. Im szersza szczelina i źle utrzymana, tym większy poziom hałasu. Połączenia bez wypełnień lub ze znacznie uszkodzonymi wypełnieniami już o szerokości większej niż 5 mm mogą powodować zauważalne poziomy hałasu. Aby wywołać wyraźne uderzenie opony pojazdu w szczelinę wymagana jest szerokość większa niż 10 mm. Nie stwierdzono wpływu sposobu wypełnienia szczelin masą zalewową lub profilami elastycznymi na zmianę poziomu dźwięku.

Jednym z głównych celów raportu było określenie korelacji poziomu dźwięku generowanego przez nawierzchnie z różnymi wykończeniami powierzchni z parametrem równości podłużnej IRI oraz parametrem makrotekstury MTD.

Przeprowadzone pomiary i analizy wyników wykazały, że występuje wzrost poziomu dźwięku wraz ze wzrostem wskaźnika równości nawierzchni IRI. Zależności takie zaobserwowano dla techniki wykończenia nawierzchni w technologii „odkrytego kruszywa” oraz dla tekstury poprzecznej. Wyjątek stanowi jedynie tekstura podłużna, dla której nie jest obserwowana zmiana. Dla wybranej technologii „odkrytego kruszywa” określono zależności pozwalające oszacować poziom dźwięku IL [dB] na podstawie wskaźnika IRI [mm/m]:

$$\text{dla } 97 \text{ km/h} \qquad \qquad \qquad \text{IL} = 3.3087 \text{ IRI} + 98.722 \qquad \qquad \qquad (13.2)$$

$$\text{dla } 72 \text{ km/h} \qquad \qquad \qquad \text{IL} = 1.0081 \text{ IRI} + 98.380 \qquad \qquad \qquad (13.3)$$

Przeprowadzone analizy pozwalają na stwierdzenie, że jeżeli wskaźnik IRI nie przekroczy 1mm/m to poziom dźwięku nie powinien przekroczyć 99.5 dB dla prędkości 72 km/h oraz 102 dB dla 97 km/h. Ponadto dla prędkości pomiaru 72 km/h obserwuje się mniejszy wzrost poziomu dźwięku względem wskaźnika IRI, wynosi on około 1.4 dB / 1mm/m. Natomiast dla prędkości 97 km wzrost jest prawie dwa razy większy i wynosi około 2.6 dB / 1mm/m. Natomiast zmiana wskaźnika IRI z klasy A do B (ze względu na równość podłużną) może spowodować wzrost poziomu dźwięku o ok. 3 dB.

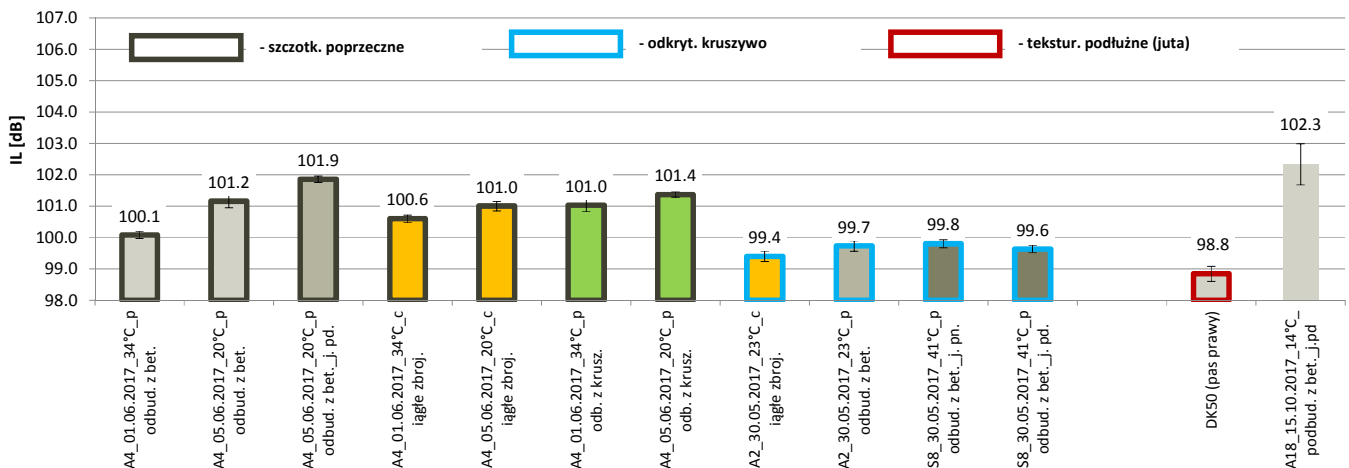
Pomiary makrotekstury z uwzględnieniem wskaźnika MTD pozwoliły zróżnicować konstrukcje ze względu na sposób wykończenia górnej powierzchni. W jednej grupie wyników znajdują się nawierzchnie autostrady A4 o teksturze szcztokowania poprzecznego, natomiast w drugiej nawierzchnie na A2 i S8 wykonane w technologii „odkrytego kruszywa”. Podobną segregację uzyskano na podstawie badania hałasu. Stwierdzono, że zakres zmniejszania się poziomu dźwięku (- 2.5 dB) odpowiada nawierzchniom o teksturze szcztokowania poprzecznego (na stosunkowo niskim poziomie MTD (0.4 – 0.5 mm), natomiast zakres wzrostu (+ 3 dB) występuje dla nawierzchni wykonanych w technologii „odkrytego kruszywa” o dużych wartościach MTD powyżej 1.0 mm. Potwierdzają to określone rosnące funkcje liniowe poziom dźwięku IL [dB] względem wskaźnika tekstury MTD [mm]:

$$\text{dla } 97 \text{ km/h} \quad \text{IL} = 17.079 \text{ MTD} + 86.173 \quad (13.4)$$

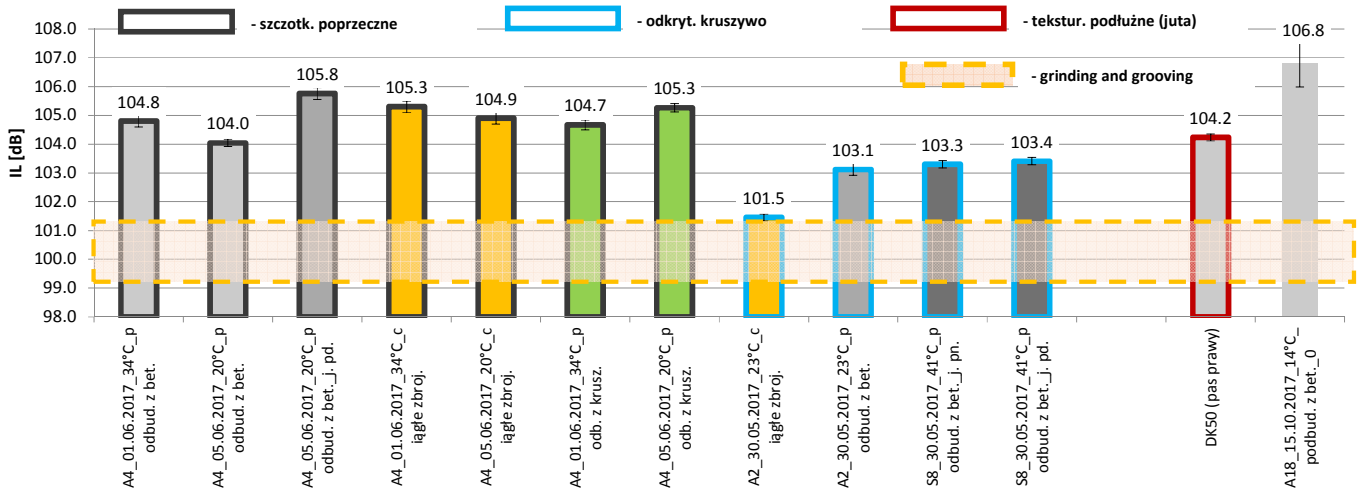
$$\text{dla } 72 \text{ km/h} \quad \text{IL} = 4.4783 \text{ MTD} + 95.298 \quad (13.5)$$

Mimo, iż pomiary dla różnych technologii nie pozwoliły zarejestrować wyników dla makrotekstury w przedziale od 0.5 do 0.9 mm to stwierdzono, że istnieje optymalny przedział makrotekstury (od 0.7 do 0.8 mm), wyrażonej wskaźnikiem MTD, dla którego można zarejestrować minimalny poziom dźwięku. Na podstawie zaprezentowanych wyników, można stwierdzić, że dla technologii „odkrytego kruszywa”, każda zmiana stanu nawierzchni wynikająca ze zmiany tekstury o jedną klasę wg DSN będzie odpowiadać zmianie poziomu dźwięku o około 1 dB (dla 72 km/h) oraz 2.0 dB (dla 97 km/h). Przy wyższych prędkościach eksploatacyjnych (np. 130km/h) taka zamiana może wynosić nawet 4 dB.

Zestawienie porównawcze dla badanych konstrukcji z uwzględnieniem różnych metod wykończenia pokazano na rys. 13.3 oraz 13.4.



Rys. 13.3. Porównanie wyników badań hałasu dla różnych konstrukcji dla 72 km/h



Rys. 13.4. Porównanie wyników badań hałasu dla różnych konstrukcji dla 97 km/h

Należy zauważyć, że dla technologii szczotkowania poprzecznego uzyskuje się około 2 dB wyższe poziomy dźwięku niż dla technologii „odkrytego kruszywa”. Na rys. 13.4 naniesiono dodatkowo wyniki badań amerykańskich dla nowej technologii wykończenia „Next Generation Concrete NGCS=Grinding & Grooving”, dla której uzyskuje się niskie poziomy dźwięku w zakresie 99 - 101 dB. Ta technologia „Grinding & Grooving” z powodzeniem stosowana jest w Stanach Zjednoczonych i w Europie Zachodniej. Po zapoznaniu się możliwościami technologicznymi i przeprowadzeniu odpowiednich testów w Polsce należy przyrzeć się tej metodzie, a następnie w przypadku uzyskania zadowalających rezultatów wdrożyć na polskich nawierzchniach betonowych.

Należy zauważyć, że niewiele wyższe poziomy dźwięku od NGCS osiąga nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu wykończona w technologii „odkrytego kruszywa”. Na wykresach ujęto także wyniki dla teksturowania podłużnego. Należy przypomnieć, że teksturowanie podłużne było zrealizowane na starej wyeksploatowanej nawierzchni DK50. Dla tej nawierzchni uzyskano wysokie poziomy dźwięku przy pomiarze metodą OBSI 97 km/h, a niskie dla 72 km/h.

Przeprowadzone kompleksowe badania dla nawierzchni betonowych z różnych lat pozwoliły określić zmiany zachodzące w makroteksturze w zależności od natężenia pojazdów. Na tej podstawie w dalszej kolejności określono zmiany akustyczne nawierzchni betonowych, wyrażane natężeniem dźwięku IL [dB] w zależności od sumarycznego natężenia pojazdów N (około 35% udziału pojazdów ciężarowych) w jednym kierunku:

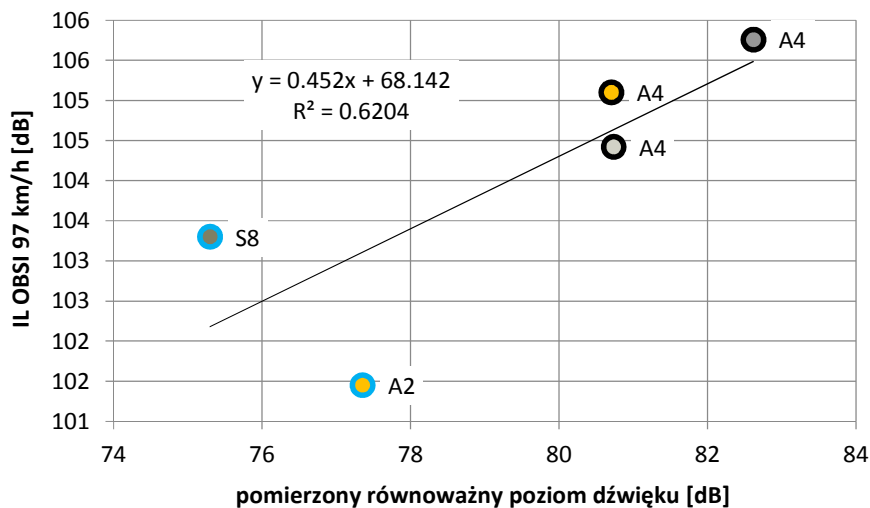
$$IL = 1.053 \cdot 10^{-8} \cdot N + 103.89 \quad (13.6)$$

Wyznaczona zależność, jest wynikiem zmiany tekstury w okresie eksploatacji zmniejszającej się o około 0.1 mm na każde przejechane 20 mln pojazdów. Natomiast po przejechaniu około 130 mln pojazdów poziom dźwięku może wzrosnąć o około 1-2 dB. Podane wyżej zależności odnoszą się do makrotekstury wykonanej w technologii szczotkowania poprzecznego, ponieważ dla takiej tekstury dostępne były dane z długiego okresu eksploatacji (ponad 10 lat). Pomiary na nawierzchniach z odkrytym kruszywem nie mają tak długiej historii. Wstępne analizy wykazały również wpływ ruchu na zmianę makrotekstury a tym samym generowany poziom hałasu. Jednakże tendencja ta jest bardziej łagodna. Obserwuje się mniejszą degradację tekstury a tym samym potrzebna będzie większa liczba przejazdów pojazdów ażeby uzyskać zwiększenie hałasu w proporcjach jak dla nawierzchni rowkowanej poprzecznie. Szacuje się, że ok. 20-30% więcej pojazdów.

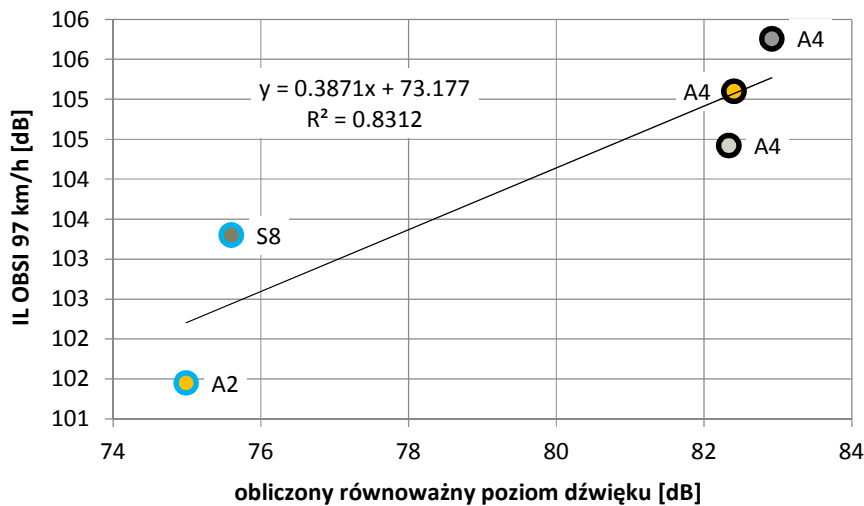
13.3. Podsumowanie z badania hałasu środowiskowego

Wobec badania OBSI należy docenić pomiary hałasu środowiskowego. Mimo zróżnicowania terenowego i lokalizacyjnego dla punktów pomiarowych, a także zróżnicowania prędkości i natężenia pojazdów, uzyskano w badaniach na potrzeby niniejszego raportu zadawalające wyniki potwierdzające spostrzeżenia uzyskane dla metody OBSI. Zarówno dla pomierzonego jak i obliczeniowego poziomu równoważnego dźwięku stwierdzono, że nawierzchnie wykonane w technologii odkrytego kruszywa są średnio o 7.0 dB cichsze od nawierzchni dyblowanych, rowkowanych poprzecznie. Należy dodać, że uzyskano niskie wartości odchyłeń standardowych dla wyników badań. Ponadto zarejestrowano znacznie mniejszy poziom hałasu dla nawierzchni betonowych bez dylatacji niż z dylatacjami.

Określono korelację (rys. 13.5) wyników pomierzonego równoważnego poziom dźwięku z wynikami pomiaru dźwięku metodą OBSI 97 km/h. Uzyskano współczynnik determinacji 0.62. Lepszą korelację (rys. 13.6) uzyskano dla wyników obliczonego równoważnego poziom dźwięku z wynikami pomiaru dźwięku metodą OBSI 97 km/h. Współczynnik determinacji wyniósł 0.83.



Rys. 13.5. Korelacja wyników pomierzonego równoważnego poziom dźwięku z wynikami pomiaru dźwięku metodą OBSI 97 km/h



Rys. 13.6 Korelacja wyników obliczonego równoważnego poziom dźwięku z wynikami pomiaru dźwięku metodą OBSI 97 km/h

Na podstawie pomiarów hałasu środowiskowego przeanalizowano także wpływ różnych dylatacji stosowanych na obiektach inżynierskich na poziom dźwięku. Stwierdzono, że najcichsza jest dylatacja jednomodułowa i dwumodułowa. Należy jednak zwrócić uwagę, że otrzymane wartości dźwięku generowanego na styku koła z dylatacją uwarunkowane są stanem technicznym dylatacji oraz szerokością. Mimo iż dylatacja palczasta jest ponad 6 razy szersza od dylatacji dwumodułowej, posiada także dobre parametry, różnica poziomu dźwięku wynosi 1.2 dB. Dylatacja blokowa posiada najgorsze parametry akustyczne, różnica w stosunku do punktu bazowego wyniosła 5.1 dB.

13.4. Podsumowanie badania hałasu w kabinie pojazdu

Pomiary z różnymi prędkościami w dwóch pojazdach: benzynowym oraz diesel wykazały zróżnicowanie stanu eksploatacyjnego nawierzchni oraz prędkości na poziom dźwięku w kabinie. Mimo, iż analizie poddano tylko nawierzchnie autostrady A4 oraz A18 stwierdzono, że powyżej prędkości 120 km/h zauważalny jest wyraźny wzrost poziomu dźwięku. Jest to szczególnie widoczne w nawierzchniach wykazujących znaczne uszkodzenia nawierzchni (A18). Poziom dźwięku w kabinie wzrasta nawet o 10 dB. Należy dodać, że pojazd benzynowy okazuje się cichszy od pojazdu diesel o około 6 dB. Uzyskane dobre korelacje pomiarów w kabinie z pomiarami OBSI wskazują, że pomiary w kabinie mogą być przydatne do wstępnych analiz związanych z oceną hałaśliwości nawierzchni dla kierowcy i pasażera.

13.5. Podsumowanie badania tarcia i poślizgu

Analiza wyników badań tekstury urządzeniem RSP oraz tarcia z wykorzystaniem SRT-3 nie pozwoliła wyznaczyć korelacji o wysokim współczynniku determinacji. Mimo dużej liczby wyników badań występował mały zakres zmienności współczynnika tarcia mieszczący się tylko w dwóch klasach wg oceny DSN.

Zauważono nieznaczny trend wzrostu tarcia względem tekstury dla technologii „odkrytego kruszywa”. Przykładowo dla nawierzchni drogi A2 zarówno tekstura jak i tarcie

znajduje się w klasie B, a dla nawierzchni drogi ekspresowej S8 oba parametry w klasie A. Stwierdzono także, że dla technologii odkrytego kruszywa przy makroteksturze < 1 mm jest możliwe uzyskanie wymaganego współczynnika tarcia ($\geq 0,49$). Jest to istotne stwierdzenie w kontekście faktu uzyskania optymalnego poziomu hałasu dla makrotekstury oscylującej wokół wartości 1 mm.

W badaniach laboratoryjnych stwierdzono dobrą korelację wskaźnika PVT (wyznaczanego za pomocą wahadła angielskiego), a poziomem dźwięku wyznaczanym metodą OBSI. Badania wskaźnika poślizgu PTV na próbkach pochodzących z eksploatowanych nawierzchni wskazują, że wraz z jego wzrostem zmniejsza się poziom dźwięku wyznaczany metodą OBSI (około 6 jednostek PTV na 1 dB). Jednakże ze względu na małą liczbę pomiarów uzyskane wyniki powinny być prowadzone prace nad tym zagadnieniem.

14. WNIOSKI

Kompleksowa analiza wyników badań wskazuje, że teksturowanie poprzeczne (szczotkowanie) i podłużne (ciągniona juta itp.) ostatecznie ściera się już po kilkunastu latach eksploatacji, pozostawiając nawierzchnię o stosunkowo małej głębokości tekstury a tym samym bardziej hałaśliwą. Wobec tego technologię „odkrytego kruszywa” zaleca się stosować i rozwijać dla nowo budowanych nawierzchni betonowych w Polsce. Przemawia za tym duża jednorodność i powtarzalność w wynikach badanych cech eksploatacyjnych nawierzchni, a przede wszystkim korzystne cechy związane z „hałaśliwością”. Górna powierzchnia z „odkrytym kruszywem” tworzy matrycę wzajemnie powiązanych ścieżek poniżej płaskiej nawierzchni jezdnej, którymi może spływać woda, co pozwala utrzymać dobre właściwości przeciwpoślizgowe przy dużej prędkości i sprzyja zmniejszeniu hałasu opona/droga na tej powierzchni. Wygląd nawierzchni betonowej z „odkrytym kruszywem” przypomina wygląd warstwy z SMA, a powierzchnia przybiera kolor wyeksponowanego kruszywa. Nie ma także problemów związanych z nanoszeniem oznakowania na powierzchnie z „odkrytym kruszywem”. Jednocześnie nawierzchnia z „odkrytym kruszywem” zachowuje właściwości akustyczne dłuższe niż nawierzchnie asfaltowe.

Dobre właściwości akustyczne nawierzchni betonowych względem nawierzchni asfaltowych potwierdzają także badania na różnych drogach w Polsce przeprowadzone na potrzeby niniejszego grantu badawczego metoda OBSI (rys. 13.1).

W globalnym podsumowaniu należy stwierdzić, że zastosowana metoda OBSI pozwala na identyfikację hałasu generowanego przez nawierzchnię betonową. Zaobserwowano zależności korelacyjne pomiędzy wynikami uzyskiwanymi w metodzie OBSI oraz podczas pomiaru środowiskowego jak również w kabinie pojazdu. Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz stwierdza się:

1. Nawierzchnia betonowa wykonana w technologii „odkrytego kruszywa” może być przyjęta jako nawierzchnia referencyjna i konkurencyjna w stosunku do nawierzchni typu SMA z mieszanek mineralno-asfaltowych.
2. Na nawierzchniach wykonanych w technologii odkrytego kruszywa bez szczelin obserwuje się niższe poziomy hałasu (o ok. 1.7 dB – 2 dB) niż na podobnej nawierzchni ze szczelinami poprzecznymi.

3. Ogólnie należy stwierdzić, że przy niskich parametrach makrotekstury nawierzchni (MTD poniżej 0,4 mm), współcześnie stosowane technologie wykonywania szczelin skurczowych w nawierzchniach betonowych tj. dyblowanie szczelin, szerokość do 8 mm, fazowanie oraz wypełnianie masą zalewową lub profilami nie są w ciągu drogi dodatkowym źródłem hałasu.
4. Znaczny wpływ szczelin na poziom dźwięku występuje w przypadku bardzo uszkodzonych i zdegradowanych nawierzchni klasyfikujących się w klasie D wg DSN, posiadających szczeliny o szerokościach większych niż 10 mm i uskokach powyżej 5 mm.
5. Nie stwierdzono wpływu sposobu wypełnienia szczelin (masa zalewowa, profile) na zmianę poziomu hałasu, (nieznacznie cichsze – w granicach błędu pomiarowego - są szczeliny zalewane masą)
6. Stwierdzono zadowalającą korelację wskaźnika IRI i wskaźnika MTD z poziomem dźwięku. Optymalny przedział makrotekstury MTD dla którego możliwe jest uzyskanie najniższego poziomu dźwięku (99 dB dla 72 km/h i 101 dla 97km/h) wynosi od 0.7 do 0.8 mm. Dla wskaźnika IRI o wartości mniejszej niż 1 mm/m możliwe jest zapewnienie poziomu dźwięku poniżej 99.5 dB dla prędkości 72 km/h oraz 101 dB dla 97 km/h.
7. Stwierdzono w nawierzchniach z teksturą szorstkowania poprzecznego wpływ natężenia ruchu w dłuższym okresie czasu na zwiększanie poziomu hałasu; związane jest to ze zmianą makrotekstury.
8. Nie stwierdzono wpływu temperatury na zmianę hałaśliwości nawierzchni betonowych.
9. Dla technologii szorstkowania poprzecznego uzyskuje się o około 2 dB większe poziomy dźwięku niż dla technologii „odkrytego kruszywa”.
10. Obliczeniowe wartości równoważnego poziomu dźwięku określane podczas pomiarów środowiskowych dobrze korelują z pomiarami metodą OBSI przy prędkości 97 km/h.
11. Pomiary środowiskowe pozwalają na identyfikację hałasu w związku z różną technologią wykonania nawierzchni. Oczywiście nie pozwalają w sposób detaliczny jak metoda OBSI na uzyskiwanie zależności korelacyjnych z równością czy makroteksturą.
12. Pomiary dźwięku w kabinie pojazdu dobrze korelują z pomiarami metodą OBSI przy prędkości około 100 km/h.
13. Podczas pomiarów w kabinie pojazdu stwierdzono wyższe poziomy dźwięku dla mocno uszkodzonych i zdegradowanych nawierzchni dochodzące do 10 dB.
14. Dylatacje stosowane na obiektach inżynierskich mogą być źródłem odczuwalnego przez ludzi i środowisko niekorzystnego oddziaływania. Najcichsza jest dylatacja jednomodułowa i dwumodułowa. Dylatacja blokowa posiada najgorsze parametry akustyczne, różnica w stosunku do punktu bazowego wyniosła 5.1 dB.
15. Możliwa jest wstępna ocena hałaśliwości nawierzchni na podstawie badania wskaźnika poślizgu PTV wahadłem angielskim.
16. Doświadczenia amerykańskie pokazują, że technologia Grinding & Grooving daje obniżone wartości poziomu dźwięku w porównaniu do tradycyjnych rozwiązań. Niestety w kraju nie ma takich rozwiązań. W ostatnim czasie pojawiła się informacja, że GDDKiA przygotowuje testowy odcinek (etap przetargu) na drodze S8 na którym będzie zastosowana taka technologia.

W tabeli 14.1. zestawiono wyniki badań hałasu metodą OBSI oraz hałasu środowiskowego dla różnych sposobów wykończenia nawierzchni. W tabeli 14.2. zamieszczono zmiany poziomu hałasu w stosunku do nawierzchni referencyjnej. Wyniki dotyczące technologii Grinding & Grooving zaczerpnięto z literatury wg której badania prowadzono metodą OBSI.

Tablica 14.1. Zestawienie wyników badań hałasu metodą OBSI oraz hałasu środowiskowego dla różnych sposobów wykończenia nawierzchni

rodzaj wykończenia:	szczotkowanie poprzeczne				„odkryte kruszywo”				tekstura podłużna	
oznaczenie drogi:	A4_podbud. z bet._j. pn.	A4_podbud. z bet._j. pd.	A4_ciągłe zbroj._j. pn.	A4_podb. z krusz._j. pn.	A2_ciągłe zbroj._j. pn.	A2_podbud. z bet._j. pd.	S8_podbud. z bet._j. pn.	S8_podbud. z bet._j. pd.	DK50	A18_podbud. z bet._j. pd
IL72 [dB]	100.6	101.9	100.8	101.2	99.4	99.7	99.8	99.6	98.8	102.3
IL97 [dB]	104.4	105.8	105.1	105.0	101.5	103.1	103.3	103.4	104.2	106.8
L_{aeq} [dB]	82.3	82.9	82.4	-	75.0	-	75.6	-	-	-

Tablica 14.2. Zestawienie zmiany poziomu hałasu w stosunku do nawierzchni referencyjnej z „odkrytym kruszywem 0/8”

Typ nawierzchni	Zmiana poziomu dźwięku
nawierzchnia bez szczelin z odkrytym kruszywem 0/8	-2.0 dB
nawierzchnia ze szczelinami z odkrytym kruszywem 0/8	0 dB
nawierzchnia bez szczelin ze szczotkowaniem poprzecznym	+1.0 dB
nawierzchnia ze szczelinami ze szczotkowaniem poprzecznym	+2.0 dB
nawierzchnia ze szczelinami z teksturą podłużną	+1.0 dB
nawierzchnia bez szczelin z odkrytym kruszywem 0/8, IRI < 1mm/m	-2.5 dB
nawierzchnia ze szczelinami z odkrytym kruszywem 0/8, IRI > 1.0mm/m	0 dB
nawierzchnia bez szczelin ze szczotk. poprzecznym, IRI > 1.0mm/m	+1.5 dB
nawierzchnia ze szczelinami ze szczotk. poprzecznym, IRI > 1.3mm/m	+2.0 dB
nawierzchnia ze szczelinami ze teksturą podłużną IRI > 1.0mm/m	+1.0 dB
nawierzchnia bez szczelin z odkrytym kruszywem 0/8, MTD < 1.0mm	-2.5 dB
nawierzchnia ze szczelinami z odkrytym kruszywem 0/8, MTD > 1.0mm	0 dB
nawierzchnia bez szczelin ze szczotk. poprzecznym, MTD < 1.0mm	+1.5 dB
nawierzchnia ze szczelinami ze szczotk. poprzecznym, MTD < 0.45mm	+2.5 dB
nawierzchnia ze szczelinami z teksturą podłużną, MTD ~ 0.45mm	+1.5 dB
Grinding & Grooving	-3 dB

15. EFEKTY FINANSOWE Z REALIZACJI ZADANIA

Do obecnie najpopularniejszych i dotychczas najpowszechniej stosowanych rozwiązań ochrony przed hałasem na polskich drogach należą ekrany akustyczne. Rozwiązanie to zaczęto stosować w Polsce na masową skalę w połowie lat dziewięćdziesiątych XX w. W 2013 r. tylko przy samych drogach krajowych było wybudowanych 1009 km ekranów akustycznych, o średniej wysokości 4,1 km, powierzchni 4,14 km² i szacowanym koszcie około 2,9 mld zł [21]. Blisko 50% długości tych ekranów zostało zbudowanych w tej samej technologii (ekran pochłaniający w charakterystycznym zielonym kolorze). Stworzyło to swoistą monokulturę w przestrzeni polskich dróg powodując przy okazji niebezpieczny efekt monotonii drogowej oraz ograniczenia widoczności w pobliżu skrzyżowań i wjazdów oraz zakłócenia widokowe w krajobrazie. Eksperti CEDR oszacowali, że koszty całkowite dla zminimalizowania hałasu drogowego w UE to około 6 mld euro (wartość netto). W przypadku Polski eksperci CEDR oszacowali w 2013 r. [82], [17] koszty całkowite w ciągu 20 lat na poziomie 123 858 027 euro co daje ponad 0,5 mld zł. Eksperti CEDR wskazali na sposoby ochrony przed hałasem i koszty im towarzyszące dla Polski – należą do nich [82]:

- ekrany akustyczne – szacowana długość 167 km,
- wymiana okien – koszt około 147 009 euro,
- nawierzchnie z porowatego asfaltu – długość odcinków około 2 957 km,
- cienkie warstwy (nakładki) bitumiczne – długość około 13 065 km.

Powyższe oszacowanie wykonano dla dróg istniejących (krajowych i wojewódzkich, dla których wykonywane są mapy akustyczne). Wartości te są mało realne i należy je traktować czysto teoretycznie, a w przypadku stosowania asfaltu porowatego i cienkich warstw bitumicznych należy te założenia uznać jako błędne (świadczy to choćby o nieznaności uwarunkowań klimatycznych Polski przez autorów raportu [82] i trendów w rozwoju nawierzchni w Polsce). Powyższe danych nie można przyjmować do analiz kosztów ze względu na możliwy bardzo duży błąd szacunków.

Do akceptowalnych danych należą natomiast w raporcie [82] wielkości redukcji hałasu po zastosowaniu cienkiej warstwy nawierzchni bitumicznej oraz nawierzchni betonowej z odkrytym kruszywem, którą przyjęto na poziomie 2 dB. W tym przypadku szacuje się, że po zastosowaniu takiego rozwiązania liczba osób narażonych na wysoką dokuczliwość poziomu hałasu zmniejszy się o około 2,2 mln spośród 81,8 mln osób w całej UE, które mieszkają w otoczeniu tych odcinków dróg, które kwalifikują się do wymiany tego rodzaju nawierzchni. Koszty jakie podawane są dla tego rozwiązania to około 136 Euro/osobę/rok. Dla porównania można przyjąć, że w Polsce na drogach istniejących może być narażonych na negatywne oddziaływania hałasu prawie 10 mln osób.

Obecnie budowanych jest na wszystkich drogach w Polsce około 100 km ekranów akustycznych na rok (wg danych GUS z 2015 i 2016 r. [115] za średnią kwotę około 0,5 mln zł za 1 km (bieżący) ekranu akustycznego. Daje to kwotę około 50 mln zł na rok. W roku 2014 r. wybudowano 77,8 km ekranów za kwotę około 21,806 mln zł, a w roku 2015 wybudowano już 120,7 km ekranów akustycznych za kwotę około 80,102 mln zł.

Wprowadzenie nawierzchni betonowych w Polsce redukujących hałas o 2 dB może spowodować ograniczenie kosztów budowy ekranów poprzez zmniejszenie ich liczby a także wysokości. W praktyce nie jest możliwe oszacowanie kosztów ograniczeń widoczności, zagrożeń jakie powodują w przypadku wypadków drogowych, kosztów

wypadków i kolizji spowodowanych ekranami czy zaburzeń krajobrazu. **Przyjmując, że wprowadzenie ograniczeń emisji hałasu poprzez zastosowanie nawierzchni betonowych ograniczających hałas o 2 dB może obniżyć koszty budowy ekranów akustycznych o 10% szacuje się, że powinno dać oszczędności rzędu 5 mln zł na rok. Uwzględniając trwałość takich nawierzchni 20 lat i zachowanie ich skuteczności akustycznej daje to 100 mln zł oszczędności. Ponadto w szacunkach tych można uwzględnić co najmniej jednokrotną wymianę ekranów akustycznych, których trwałość w najlepszym przypadku nie przekracza czasu około 10-15 lat. Daje to ostatecznie kwotę oszczędności około 175 mln zł w ciągu 20 lat.**

16. BIBLIOGRAFIA

- [1] AASHTO, Measurement of Tire/Pavement Noise using the On-Board Sound 3 Intensity (OBSI) Method, TP 76-09, 2009
- [2] American Concrete Pavement Association, Concrete Paving Technology: Constructing Smooth Concrete Pavements, Report RB006P, 2003
- [3] Ancich E. J., Brown S. C., Engineering methods of noise control for modular bridge expansion joints, Acoustics Australia, Vol. 32 December (2004) No. 3-85.
- [4] Anderson K., Sexton T., Uhlmeyer J., Russell M., Weston J., Concrete Pavement Noise, WARD 814.1, WSDOT Research Report, July, 2013
- [5] ASIS Sp. z o.o., Blokowe urządzenia dylatacyjne - komfort i trwałość użytkowania, Inżynier Budownictwa, 2015/5.
- [6] ASTM E 1926 – 08 Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements
- [7] ASTM E 2157 -02 Standard method for determining Mean Profile Depth using the Circular Track Meter. URL www.astm.org . Assessed 5/30/2009
- [8] ASTM E1845-96 Standard Practice for Calculating Pavement Macrotexture Mean Profile Depth
- [9] ASTM E1911 - 09 Standard Test Method for Measuring Paved Surface Frictional Properties Using the Dynamic Friction Tester
- [10] ASTM E2157 - 01(2005) Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Properties Using the Circular Track Meter
- [11] ASTM E274 - 06 Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire
- [12] ASTM International, Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth using a Volumetric Technique, Specification E965-96, 2001
- [13] Bajor M., Łożyska i dylatacje 2015. Cz. I, Opis prezentacji i dyskusji, Drogi, 2016/5.
- [14] Bęben D., Hałas wokół szlaków transportowych, Drogownictwo, 2010/9.
- [15] Beczek P., Maciejczyk J., Rymś B., Pomiar poziomu hałasu generowanego przez urządzenia dylatacyjne, Materiały Budowlane 2013 nr 8, str. 34-36.
- [16] Bernhard, R. J., “The state of the art of quiet highways”, Presentation at the 88th Purdue Road School, March 2002
- [17] Bohatkiewicz J. Modelowanie i ocena rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym. Politechnika Lubelska. 2017.
- [18] Bohatkiewicz J., Adameczyk J., Tracz M., Kokowski A., Przysłalski A. i inni. Podręcznik dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych, Kraków 2008.

- [19] Bohatkiewicz J., Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu, GDDKiA, 2005
- [20] BRITE/EURAM project BE 3415 “Surface properties of concrete roads in accordance with traffic safety and reduction of noise”, November 1994
- [21] Buczek P., Zabezpieczenia akustyczne w aspekcie możliwej racjonalizacji. [w:] Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka. (red.) Bohatkiewicz J., z.1. Portal drogowy Edroga.pl. Zakopane. 2013.
- [22] Cable J.K., Wiegand P., Surface Characteristics Next Generation Grooving and Grinding Iowa Test Site Construction, Final Report, National Concrete Pavement Technology Center, September 2010
- [23] Cackler E.T., Evaluation of U.S. and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods, National Concrete Pavement Technology Center, Part 1, Task 2, of the ISU-FHWA, July, 2006
- [24] Cackler, E.T., et. al., Concrete Pavement Surface Characteristics: Evaluation of Current Methods for Controlling Tire-Pavement Noise, Final Report of FHWA Cooperative Agreement DTFH61-01-X-00042, Project 15, 2006
- [25] Chalupnik J.D., Anderson D.S., Acoustic Characterization of Roadway Surfaces. Seattle, WA: Washington State Department of Transportation. WA-RD 129.1, 1987
- [26] Descornet G., Optimizing the surface texture of cement concrete roads in : 6th International Symposium on Concrete Roads Madrid (Spain), 8-10 October, 1990, Theme A, Vol. III, p. 27-34
- [27] Descornet G., Sandberg U., Road Surface Influence on Tire/Road Noise - Part II. Proceedings of Inter-Noise 80, Miami, Noise Control Foundation, New York, USA, 1980, pp. 259-272.
- [28] Development and Implementation of the Next Generation Concrete Surface, IGGA, ACPA, Report, 2016
- [29] Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów. Wytyczne stosowania, GDDKiA, Warszawa kwiecień, 2015
- [30] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady Europy z dnia 25 czerwca 2002 roku [Dz. U. EU. L Nr 189].
- [31] Ejsmont J.A., Ronowski G., Świczko-Żurek B., Sommer S., Road texture influence on tyre rolling resistance. Road Materials and Pavement Design, 18 (1), 2017, pp. 181-198
- [32] Ejsmont, J., Taryma, S., Ronowski, G., Swieczko-Zurek, B., Influence of temperature on the tyre rolling resistance. International Journal of Automotive Technology, 19 (1), 2018, pp. 45-54
- [33] Farnsworth E., Johnson M., Reduction of Wet Pavement Accidents on Los Angeles Metropolitan Freeways, SAE Technical Paper 710574, 1971
- [34] Federal Highway Administration, Construction of Portland Cement Concrete Pavements, Participant’s Manual, National Highway Institute Course No. 131033, Report FHWA HI-96-027, 1996
- [35] Federal Highway Administration, Surface Texture for Asphalt and Concrete Pavements, Technical Advisory T 5040.36, 17 June, 2005
- [36] Federal Highway Administration. Highway Traffic Noise Analysis and Abatement – Policy and Guidance. June, 1995. Federal Highway Administration, Washington, D.C.
- [37] Ferragut T., Rasmussen R.O., Wiegand P., Mun E., Cackler E.T., ISU-FHWA-ACPA Concrete Pavement Surface Characteristics Program Part 2: Preliminary Field Data Collection, National Concrete Pavement Technology Center Report DTFH61-01-X-00042 (Project 15, Part 2), 2007
- [38] Foglar M., Goringer J., Influence of the Structural arrangement of Bridges on the noise induced by traffic, Engineering Structures 56 (2013) str. 642 – 655.
- [39] Folliard, K.J., and K.D. Smith. Aggregate tests for Portland Cement Concrete pavements: Review and Recommendations. Research Results Digest, No. 281, 2003
- [40] Fowler, D.W. and M.M. Rached. Polish resistance of fine aggregates in Portland cement concrete pavements. Transportation Research Board Record: Journal of the Transportation

- Research Board, No. 2267, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, pp. 29-36
- [41] Franklin, R.E. and A.J.J. Calder. The skidding resistance of concrete: the effect of materials under site conditions. Department of the Environment, TRRL Laboratory Report LR 640. Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, 1974
- [42] Gardziejczyk W., „Cicha” nawierzchnia drogowa jako sposób na ograniczenie poziomu hałasu od ruchu samochodowego. Inżynieria Ekologiczna, Vol. 40, 2014, 65–73
- [43] Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Influence of texturing method on tyre/road noise of cement concrete pavement. International Journal of Pavement Engineering, pp. 1-16, 2016, (Article in Press)
- [44] Gardziejczyk W., Wasilewska M., Evaluation of Microtexture Changes of Coarse Aggregate during Simulated Polishing. Archives of Civil Engineering, 62 (2), 2016, pp. 19-34
- [45] Germaniuk K., Dobór mostowych urządzeń dylatacyjnych, 2016.
- [46] Germaniuk K., Zalecenia dotyczące doboru mostowych urządzeń dylatacyjnych oraz ich wbudowania i odbioru, Warszawa 2007.
- [47] Gharabegian A., Tuttle E., Diamond Grinding for Roadway Noise Control. Sound and Vibration Magazine, December, 2002
- [48] Ghimire J.P., Matusmoto Y., Yamaguchi H., Kurahashi I., Numerical investigation of noise generation and radiation from an existing modular expansion joint between prestressed concrete bridges, Journal of Sound and Vibration 328 (2009), str. 129 – 147.
- [49] Glaeser K.P., Schwalbe G., Zoller M., Mitigation of noise emissions from vehicles passing bridge expansion joints, Noise Control Engineering Journal, Vol. 60 number 2, March 2012, str. 125-131.
- [50] Graf, R.A.G., et al., Horn Amplification at a Tyre/Road Interface – Part I: Experiment and Computation, Internoise: Fort Lauderdale, FL, 1999
- [51] Grogg, Max G., Smith, Kurt D., PCC Pavement Smoothness: Characteristics and Best Practices for Construction, Report FHWA-IF-02-025, October, 2001
- [52] Guntert & Zimmerman Const. Div., Inc., Paving Guidelines for Best Results, 18thP Annual Concrete PavingSchool, 25-27 January, 2005
- [53] Guntert & Zimmerman Const. Div., Inc., Various Engineering Drawings, 4/20/2008.30. Minnesota Department of Transportation, Minnesota’s Astro-Turf Drag Technique Texturing Concrete Pavements, 2008
- [54] Hall J. W., Smith K. L., Littleton Texturing of Concrete Pavements, NCHRP report 634
- [55] Harris, C., Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control, 3rd Ed. McGraw-Hill. pp. 3.1-3.26, 1991
- [56] Harvey J.T., Kohler E., Quieter Pavement Research: Concrete Pavement Tire Noise, Research Report: UCPRC-RR-2010-03, May, 2011
- [57] Henderson M., Kalevela S., A Comparison of Traffic Noise for Asphalt Rubber Asphalt Concrete Friction Courses (ARACFC) and Portland Cement Concrete Pavements (PCCP). Phoenix, AZ: Arizona Department of Transportation. FHWA-AZ96-433, 1996
- [58] Hendrickx Ir L., Noiseless concrete pavements, n° 18 FEBELCEM "DOSSIER CEMENT", 1998
- [59] Herman L., Ambroziak M., Final Report: Effects of Pavement Type on Traffic Noise Levels. Columbus, OH: Ohio Department of Transportation, 2000
- [60] Herman L., McAvoy D., Richardson W., Effectiveness of Noise Barriers Installed Adjacent to Transverse Grooved Concrete Pavements. Federal Highway Administration, Job Number 134365, October 16, 2009
- [61] Herman, L., Ambroziak Matt J., Pinckney E., Investigation of Tire-Road Noise Levels for Ohio Pavement Types. Transportation Research Record 1702, p.57-62. Transportation Research Board – National Research Council, Washington, D.C., 2000
- [62] Herman, L., Withers J., Pinckney E., Surface Retexturing to Reduce Tire-Road Noise for Existing Concrete Pavements. TRR Journal of the Transportation Research Board – 1983 (51-58), 2006

- [63] Hibbs and R. Larson, Tire Pavement Noise and Safety Performance. PCC Surface Texture Technical Working Group, FHWA-SA-96-068, May, 1996
- [64] <http://www.asis.com.pl/main.php>
- [65] <http://www.msp-intop.pl/urzadzenia-dylatacyjne.html>
- [66] <http://www.rekma.pl/>
- [67] <http://www.tarcopol.pl/>
i diagnostyka akustyczna dylatacji mostowych na terenach górniczych, VII Ogólnopolska Konferencja Mostowców – Konstrukcja i Wyposażenie Mostów, Wisła 2015.
- [68] Instrukcja o sposobie przeprowadzania generalnego pomiaru ruchu w roku 2015 GDDKiA, 2014
- [69] International Organization for Standardization. Method for Measuring the Influence of Road Surfaces on Traffic Noise: “The Statistical Pass-by Method”. Draft Standard ISO/01S 11819-1. Delft, Netherlands: ISO/TC43/SC 1/WG 33 N 63, 1997
- [70] ISO 11819-1. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: Statistical Pass-By method
- [71] ISO 11819-2. Acoustics – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method (CPX)
- [72] ISO 13325. Tyres -- Coast-by methods for measurement of tyre-to-road sound emission
- [73] Izevbekhai Igbafen Bernard, tire-pavement interaction noise of concrete pavements, dissertation, University of Minnesota, July, 2012
- [74] Karamihas S.M., Gillespie T.D., Perera R.W., Kohn S.D. Diurnal changes in profile of eleven jointed PCC pavement. Proceedings of 7th International Conference on Concrete Pavements, Orlando, FL., 2001
- [75] Katalog firmy ARMA Firma Inżynierska - Elastomerowe Urządzenia dylatacyjne.
- [76] Katalog firmy B2 Sp. z o.o.- Katalog produktów B2.
- [77] Katalog firmy BBR Polska Sp. z o.o.- Urządzenia dylatacyjne, Wielomodulowe- typ LR.
- [78] Kowalski K.J., Bańkowski W., Król J.B., Gajewski M., Horodecka R., Świeżewski P., Selection of quiet pavement technology for Polish climate conditions on the example of CiDRO project - Transportation Research Procedia 14 (2016) 2724 – 2733
- [79] Lee C.S., Fleming G.G., Measurement of Highway-Related Noise. FHWA-PO-96-046. John A. Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics Facility, FHWA, U.S. DOT, Cambridge, MA., 1996
- [80] Łucyk-Ossowska J., Radomski W., Urządzenia dylatacyjne w mostowych obiektach drogowych: projektowanie, montaż, utrzymanie, Wyd. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2011.
- [81] McNERNEY, M.T., et al., “Comparative Field Measurements of Tire Pavement Noise of Selected Texas Pavement”, Center of Transportation Research: Austin, TX, 1997.
- [82] Milford I. et al., Value for Money in Road Traffic Noise Abatement. CEDR. Paris. 2013.
- [83] Mioduszewski P., Przegląd hałaśliwości nawierzchni drogowych w Polsce i w innych krajach Unii Europejskiej. Metody ochrony przed hałasem. Teoria i praktyka. Zeszyt 1, 2013, 159–173
- [84] Mirowska, M., Parametry charakteryzujące hałas, Materiały Budowlane, 2008/1.
- [85] Nelson, P. M., “Designing porous road surfaces to reduce traffic noise”, TRL Annual Review, Transportation Research Laboratories, UK, 1994.
- [86] Nelson, P. M., and Phillips, S. M., “Quieter road surfaces”, TRL Annual Review, Transportation Research Laboratories, UK, 1994

- [87] NF S31-119-2. Acoustics - In situ characterization of the acoustic qualities of road surfaces - Pass by acoustic measurement - Part 2 : controlled pass-by method - Acoustique
- [88] Niemierko A., Aspekty prawne stosowania urządzeń dylatacyjnych i łożysk mostowych, Materiały Budowlane, 2011/7.
- [89] Niemierko A., Modern bridge bearings and expansion joints for road bridges, Transportation Research Procedia 14 (2016), str. 4040 – 4049.
- [90] Noise and Texture on PCC Pavements – Results of a Multi-State Study, Report Number WI/SPR-08-99, Wisconsin Department of Transportation, June, 2000
- [91] Otto R., Rasmussen Sabrina I. Garber, Gary J. Fick, Theodore R. Ferragut, Paul D. Wiegand, How to reduce tire-pavement noise interim better practices for constructing and texturing concrete pavement surfaces, Pooled Fund TPF-5(139), NCPTC, FHA, July, 2008
- [92] Pitre Jonathan Gene, Improving the sound absorbing capacity of portland cement concrete pavements using recycled materials. Thesis, Bachelor of Science, University of New Hampshire, 2000
- [93] PN-EN ISO 13473-1:2005E, Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych - Część 1: Określenie średniego profilu głębokości
- [94] Poelmans F., Hendrikx L., Bogaerts E., Continuously reinforced concrete with noise reducing surface for the reconstruction of the E313 (A13) motorway in Hasselt (Belgium) in: 7th International Symposium on Concrete Roads Vienna (Austria), 3-5 October, 1994 Session 8, p. 119-123
- [95] Rasmussen, R., Sohaney R., Fick G., Cackler E.T., How to Design and Construct Quieter Concrete Pavements. 10th International Conference on Concrete Pavements, July 8-12, 2012, Quebec
- [96] Ravshanovich K.A., Yamaguchi H., Matsumoto Y., Tomida N., Uno S., Mechanism of noise generation from a modular expansion joint under vehicle passage, Engineering Structures 29 (2007) str. 2206 – 2218.
- [97] Reinforced Continuous Concrete Pavement A8 Motorway (Lamain-Kain), 09.2015. Presentation Febelcem, TRBA, STADSBADER
- [98] Rezaei A., Harvey J., Investigation of Tire/Pavement Noise for Concrete Pavement Surfaces: Summary of Four Years of Measurements, UCPRC-RR-2013-12, September 29, California Department of Transportation, Division of Research, Innovation and System Information, 2014
- [99] Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych
- [100] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 roku zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz. U. 2012, poz.1109].
- [101] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz. U. nr 120, poz. 826].
- [102] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 roku w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz. U. 2014, poz.112].
- [103] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. 2011 nr 140 poz. 824).

- [104] Sandberg U., Ejsmont J.A., Texturing of Cement Concrete Pavements to Reduce Traffic Noise Emissions”, TRB 77th Annual Meeting: Washington, D.C., 1998
- [105] Sandberg, U., and Ejsmont, J. A., “Tyre / Road noise reference book”, Informex, Kisa, Sweden, 2002.
- [106] Scofield L., Transportation Noise and Concrete Pavements, Using Quiet Concrete Pavements as the Noise Solution, ACPA, 2009
- [107] Skarabis J., Stockert U., Noise emission of concrete pavement surfaces produced by diamond grinding, Journal of traffic and transportation engineering (english edition) 2015; 2(2): 81 -92
- [108] Skarabis Jens, Stoockert Ulrike, Noise emission of concrete pavement surfaces produced by diamond grinding, Journal of Traffic and Transportation Engineering, Volume 2, Issue 2, April, 2015, Pages 81–92
- [109] Sommer H., Optimierung der Lärmindernden Waschbeton-oberfläche (Optimisation of Noise Reducing Exposed Aggregate Concrete Surfaces), Vienna (Austria) : State Ministry for Economic Affairs, File 447, 1995
- [110] Stankiewicz B., Właściwy dobór ekranów akustycznych i dylatacji do autostradowych konstrukcji mostowych, Autostrady, 2014/7.
- [111] Szydło, A. „Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria wymiarowanie, realizacja.” Polski Cement, 2004
- [112] Taryma, S., Ejsmont, J.A., Ronowski, G., Swieczko-Zurek, B., Mioduszewski, P., Drywa, M., Woźniak, R. Road texture influence on tire rolling resistance. Key Engineering Materials, 597, 2014, pp. 193-198
- [113] Terex Corporation, CMI Operation and Maintenance: Texture/Cure Machine TC 140&280
- [114] The French national computation method “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPCSTB)”, referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6
- [115] Transport drogowy w Polsce w latach 2014 i 2015. Główny Urząd Statystyczny. 2017.
- [116] Wang D., Chen X., Stanjek H., Oeser M., Steinauer B. Influence of freeze–thaw on the polishing resistance of coarse aggregates on road surface, Construction and Building Materials 64, 2014, 192–200
- [117] Wasilewska M., Gardziejczyk W., Analiza ilościowa i jakościowa zmian mikroteksturalnych powierzchni kruszywa stosowanego do warstwy ścieralnej. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, 2012, z. 59, nr 3/IV, 361-368
- [118] Wasilewska, M., Polishing resistance of aggregates in aspect of its usage to wearing course road pavements. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, (134), 2012, pp. 301-310
- [119] Wyrwas P., Mostowe urządzenia dylatacyjne. Rodzaje i kryteria doboru, Autostrady, 2006.
- [120] Żuchowski R., Bętkowski P., Dulak L., Salamak M., Skoplak Z., Dobór, utrzymanie
- [121] Żuchowski R., Salamak M., Hałas generowany przez urządzenia dylatacyjne w drogowych obiektach mostowych, Mosty nr 3/4 2017, str. 44-50.