

przegląd[®] komunikacyjny

1
2026
rocznik LXXXI
cena 36,00 zł
w tym 8% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Cechy eksploatacyjne nawierzchni betonowych

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Przegląd wybranych rezultatów badań hałasowych dla konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC. Hałaśliwość nawierzchni betonowych nowej generacji NGCS. Analiza wpływu technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane cechy eksploatacyjne. Przegląd praktyk związanych z wykonywaniem pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce. Transformacja energetyczna a obowiązki organizatora publicznego transportu zbiorowego w świetle ustawy o publicznym transporcie zbiorowym

Podstawowe informacje dla Autorów artykułów

„Przegląd Komunikacyjny” publikuje artykuły związane z szeroko rozumianym transportem oraz infrastrukturą transportu. Obejmuje to zagadnienia techniczne, ekonomiczne i prawne. Akceptowane są także materiały związane z geografią, historią i socjologią transportu.

Artykuły publikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” dzieli się na: „wnoszące wkład naukowy w dyscypliny: inżynieria lądowa i transport; ekonomia i finanse; nauki prawne; nauki socjologiczne. Prosimy Autorów o deklarację (w zgłoszeniu), do której dyscypliny zaliczyć ich prace.

Materiały do publikacji: zgłoszenie, artykuł oraz oświadczenie Autora, należy przysyłać w formie elektronicznej na adres

piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl

W zgłoszeniu należy podać: imię i nazwisko autora, adres mailowy oraz adres do tradycyjnej korespondencji, miejsce zatrudnienia, zdjęcie, tytuł artykułu oraz streszczenie (po polsku i po angielsku) i słowa kluczowe (po polsku i po angielsku). Szczegóły przygotowania materiałów oraz wzory załączników dostępne są na stronie:

www.transportation.overview.pwr.edu.pl

W celu usprawnienia i przyspieszenia procesu publikacji prosimy o zastosowanie się do poniższych wymagań dotyczących nadsyłanego materiału:

1. Tekst artykułu powinien być napisany w jednym z ogólnodostępnych programów (np. Microsoft Word). Wzory i opisy wzorów powinny być wkomponowane w tekst. Tabele należy zestawić po zakończeniu tekstu. Ilustracje (rysunki, fotografie, wykresy) najlepiej dołączyć jako oddzielne pliki. Można je także wstawić do pliku z tekstem po zakończeniu tekstu. Możliwe jest oznaczenie miejsc w tekście, w których autor sugeruje wstawienie stosownej ilustracji lub tabeli. Obowiązuje odrębna numeracja ilustracji (bez rozróżniania na rysunki, fotografie itp.) oraz tabel.
2. Całość materiału nie powinna przekraczać 12 stron w formacie Word (zalecane jest 8 stron). Do limitu stron wlicza się ilustracje załączane w odrębnych plikach (przy założeniu że 1 ilustracja = ½ strony).
3. Format tekstu powinien być jak najprostszy (nie stosować zróżnicowanych stylów, wcięć, podwójnych i wielokrotnych spacji itp.). Dopuszczalne jest pogrubienie, podkreślenie i oznaczenie kursywą istotnych części tekstu, a także indeksy górne i dolne. **Nie stosować przypisów.**
4. Nawiązania do pozycji zewnętrznych - cytaty (dotyczy również podpisów ilustracji i tabel) oznacza się numeracją w nawiasach kwadratowych [...]. Numerację należy zestawić na końcu artykułu (jako „Materiały źródłowe”). Zestawienie powinno być ułożone alfabetycznie.
5. Jeżeli Autor wykorzystuje materiały objęte nie swoim prawem autorskim, powinien uzyskać pisemną zgodę właściciela tych praw do publikacji (niezależnie od podania źródła). Kopie takiej zgody należy przesyłać Redakcji.

Artykuły wnoszące wkład naukowy w dyscypliny: inżynieria lądowa i transport, inżynieria lądowa i transport; ekonomia i finanse; nauki prawne; nauki socjologiczne podlegają procedurom recenzji merytorycznych zgodnie z wytycznymi MNIŚW, co pozwala zaliczyć je, po opublikowaniu, do dorobku naukowego oraz uwzględnić w ewaluacji jakości działalności naukowej (Dz.U. 2019 poz. 392).

Liczba uwzględnianych punktów wg listy czasopism punktowanych przez MNIŚW wynosi 20.

Do oceny każdej publikacji powołuje się co najmniej dwóch niezależnych recenzentów spoza jednostki. Zasady kwalifikowania lub odrzucenia publikacji i ewentualny formularz recenzencki są podane do publicznej wiadomości na stronie internetowej czasopisma lub w każdym numerze czasopisma. Nazwiska recenzentów poszczególnych publikacji/numerów nie są ujawniane.

Przygotowany materiał powinien obrazować własny wkład badawczy autora. Redakcja wdrożyła procedurę zapobiegania zjawisku Ghostwriting (z „ghostwriting” mamy do czynienia wówczas, gdy ktoś wniósł istotny wkład w powstanie publikacji, bez ujawnienia swojego udziału jako jeden z autorów lub bez wymienienia jego roli w podziękowaniach zamieszczonych w publikacji). Tekst i ilustracje muszą być oryginalne i niepublikowane w innych miejscach (w tym w internecie). Możliwe jest zamieszczanie artykułów, które ukazały się w materiałach konferencyjnych i podobnych (na prawach rękopisu) z zaznaczeniem tego faktu i po przystosowaniu do wymogów publikacyjnych „Przeglądu Komunikacyjnego”.

Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne wersje artykułów wraz ze streszczeniami w języku polskim (od 2010) i angielskim (od 2016) jako OPEN ACCESS. Pod koniec 2018 roku „Przegląd Komunikacyjny” rozpoczął indeksowanie artykułów angielskich z użyciem numerów cyfrowych DOI. Czasopismo ubiega się o partycypowanie w bazie SCOPUS. Rejestrowane jest w międzynarodowej bazie DOAJ <https://doaj.org/>.

Redakcja pisma oferuje objęcie patronatem medialnym konferencji, debat, seminariów itp.

Ceny zamieszczone w cenniku na stronie: www.transportation.overview.pwr.edu.pl są negocjowane indywidualnie w zależności od zakresu zlecenia. Możliwe są atrakcyjne upusty. Patronat obejmuje:

- ogłaszanie przedmiotowych inicjatyw na łamach pisma,
- zamieszczanie wybranych referatów / wystąpień po dostosowaniu ich do wymogów redakcyjnych,
- publikację informacji końcowych (podsumowania, apele, wnioski),
- kolportaż powyższych informacji do wskazanych adresatów.

Ramowa oferta dla „Sponsora strategicznego” czasopisma Przegląd Komunikacyjny

Sponsor strategiczny zawiera umowę z wydawcą czasopisma na okres roku kalendarzowego z możliwością przedłużenia na kolejne lata. Uprawnienia wydawcy do zawierania umów posiada Zarząd Oddziału SITK RP sp. z o.o. Wrocław. Przegląd Komunikacyjny oferuje dla sponsora strategicznego następujące świadczenia:

- zamieszczenie logo sponsora w każdym numerze,
- zamieszczenie reklamy sponsora w jednym, kilku lub we wszystkich numerach,
- publikacja jednego lub kilku artykułów sponsorowanych,
- publikacja innych materiałów dotyczących sponsora,
- zniżki przy zamówieniu prenumeraty czasopisma.

Możliwe jest także zamieszczenie materiałów od sponsora na stronie internetowej czasopisma.

Przegląd Komunikacyjny ukazuje się jako miesięcznik.

Szczegółowy zakres świadczeń oraz detale techniczne (formaty, sposób i terminy przekazania) są uzgadniane indywidualnie.

Osoba kontaktowa w tej sprawie:

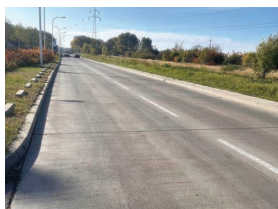
Małgorzata Skowronek

malgorzata.skowronek@pwr.edu.pl

Politechnika Wrocławska, Wybrzeże Wyspiańskiego 41, 50-370 Wrocław, tel.: +48 71 320 35 45

Cena za świadczenia na rzecz sponsora uzależniana jest od uzgodnionych szczegółów współpracy. Zapłata może być dokonana jednorazowo lub w kilku ratach (na przykład kwartalnych). Część zapłaty może być w formie zamówienia określonej liczby prenumerat czasopisma.





Na okładce: "ul. Fieldorfa Wrocław, A. Szydło"

Szanowni Czytelnicy

Przekazujemy kolejny numer Przeglądu Komunikacyjnego w Nowym 2026 Roku. Niniejszy numer poświęcony jest cechom eksploatacyjnym betonowych nawierzchni drogowych oraz ich wpływowi na hałas generowany na styku koła samochodu z nawierzchnią.

W pierwszym artykule Autor przedstawia wybrane (ważniejsze) wyniki i obserwacje związane z hałaśliwością tekstur konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC w okresie 2006-2025r. Tematyka niniejszego przeglądu pozwala przybliżyć doświadczenia badaczy z nawierzchniami PCC ze względu na teksturę i hałas. W kolejnym artykule przedstawiono wybrane (ważniejsze) wyniki i obserwacje związane z hałaśliwością nawierzchni, których górna powierzchnia wykańczana jest metodą NGCS (New Generation Concrete Surface). Jest to innowacyjna metoda wykańczania górnej powierzchni nawierzchni betonowej „diamond grinding and grooving” (GaG). Tematyka niniejszego przeglądu pozwala przybliżyć doświadczenia badaczy z nawierzchniami NGCS ze względu na teksturę i hałas.

W kolejnym artykule Autorzy na przykładzie ulicy Fieldorfa we Wrocławiu przeanalizowali wpływ rodzaju technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane cechy eksploatacyjne. Przedmiotowa ulica wykonywana była w dwóch odcinkach. Pierwszy odcinek wykonany był w technologii gospodarczej bez użycia maszyn dedykowanych do układania nawierzchni betonowych. Drugi odcinek wykonany został z użyciem specjalnych rozkładarek do nawierzchni betonowych. Na podstawie pomiarów równości wskaźnika równości podłużnej IRI, wskaźnika makrotekstry MPD oraz współczynnika tarcia, stwierdzono, że pomiędzy odcinkami istnieje różnicowanie wyników, jednak znaczące dla wskaźnika równości.

W kolejnym artykule Autorka przedstawia problem nieuregulowanego sposobu pomiaru hałasu tramwajowego. Wskazano i zobrazowano obowiązujące przepisy. Przeprowadzono analizę praktyk związanych z wykonywaniem pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce. Stwierdzono, że lokalizacja punktów pomiarowych dobierana jest indywidualnie w sposób niejednolity. Zweryfikowano obowiązujące przepisy w Polsce i zasugerowano konieczne zmiany.

W ostatnim artykule Autor analizuje obowiązki organizatora publicznego transportu zbiorowego w kontekście transformacji energetycznej, wskazując na rosnącą rolę transportu publicznego jako narzędzia polityki klimatycznej. Kluczową odpowiedzialność ponoszą jednostki samorządu terytorialnego, które planują, organizują i finansują przewozy, a jednocześnie muszą sprostać coraz bardziej rygorystycznym wymogom emisyjnym. Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym koncentruje się głównie na aspektach organizacyjnych i nie uwzględnia w sposób systemowy zagadnień transformacji energetycznej.

Życzę naszym czytelnikom dobrej lektury

Redaktor Naczelny
Prof. Antoni Szydło

W numerze

Przegląd wybranych rezultatów badań hałasowych dla konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC

Eryk Mączka 2

Hałaśliwość nawierzchni betonowych nowej generacji NGCS

Eryk Mączka 10

Analiza wpływu technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane cechy eksploatacyjne

Piotr Mackiewicz, Antoni Szydło 16

Przegląd praktyk związanych z wykonywaniem pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce

Magdalena Skiba 20

Transformacja energetyczna a obowiązki organizatora publicznego transportu zbiorowego w świetle ustawy o publicznym transporcie zbiorowym

Karol Wach 23

Wydawca:

Zarząd Oddziału, ul. Marszałka Józefa Piłsudskiego 74,
pok. 216, 50-020 Wrocław
Leszek Krawczyk - Prezes
sitk.pkpik.pl

Partner:

Adam Bisek: konstruktor, wynalazca, przedsiębiorca i autor wielu innowacyjnych technologii i wdrożeń, wizjoner z wielką pasją lotnictwa i kosmonautyki, laureat wielu prestiżowych nagród i odznaczeń m. in. Wybitny Inżynier, Honorowy Złoty Inżynier, Błękitne Skrzydła, Złota Lotka, Brylantowa Lotka - delegat Polski w ONZ ds. zagospodarowania przestrzeni kosmicznej, organizator 5 zjazdów kosmonautów.

Redaktor Naczelny:

Antoni Szydło

Redakcja:

Maciej Kruszyna (Z-ca Redaktora Naczelnego), Agnieszka Kuniczuk - Trzcinowicz (Redaktor językowy), Piotr Mackiewicz (Sekretarz), Wojciech Puła (Redaktor statystyczny), Eryk Mączka (obsługa techniczna, strona internetowa), Krzysztof Gasz, Jarosław Kuźniewski, Łukasz Skotnicki, Bartłomiej Krawczyk, Igor Gisterek, Karina Korycka (obsługa anglojęzyczna)

Adres redakcji do korespondencji:

Pocztą elektroniczną:
piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl
Pocztą „tradycyjną”:
Piotr Mackiewicz, Maciej Kruszyna
Politechnika Wrocławska,
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław
Faks: 71 320 45 39

Rada naukowa:

Antoni Szydło (Wrocław), Grzegorz Brychczyński (Warszawa), Marek Ciesielski (Poznań), Sylwia Capayowa (Bratysława), Antanas Klibavičius (Wilno), Jozef Komačka (Žilina), Andrzej S. Nowak (Auburn University), Tomasz Nowakowski (Wrocław), Jacek Sebastian Paś (Warszawa), Victor V. Rybkin (Dniepropietrowsk), Wiesław Starowicz (Kraków), Hans-Christoph Thiel (Cottbus), Tomasz Siwowski (Rzeszów), Jiri Straský (Brno), Piotr Wrzecioniarz (Wrocław), Andrea Zuzulova (Bratysława)

Deklaracja o wersji pierwotnej czasopisma

Główną wersją czasopisma jest wersja elektroniczna. Na stronie internetowej czasopisma dostępne są pełne wersje artykułów wraz ze streszczeniami w języku polskim (od 2010) i angielskim (od 2016). Redakcja zastrzega sobie prawo dokonywania zmian w materiałach nie podlegających recenzji.

Artykuły opublikowane w „Przeglądzie Komunikacyjnym” są dostępne w bazach danych 20 bibliotek technicznych oraz są indeksowane w bazach:

BAZTECH: <http://baztech.icm.edu.pl>
Index Copernicus: <http://indexcopernicus.com>
Międzynarodowa baza DOAJ <https://doaj.org/>

Prenumerata:

Szczegóły i formularz zamówienia na stronie:
<http://www.transportation.overview.pwr.edu.pl>

Obecna Redakcja dysponuje numerami archiwalnymi poczynawszy od 4/2010. Numery archiwalne z lat 2004-2009 można zamawiać w Oddziale krakowskim SITK, ul. Siostrzana 11, 30-804 Kraków, tel./faks 12 658 93 74, mrowinska@sitk.org.pl

Druk:

Grupa Intromax Sp. z o.o., ul. Biskupińska 21, 30-732 Kraków, <http://www.intromax.com.pl/>
Nakład: 800 egz.

Reklama:

Dział Marketingu:
malgorzata.skowronek@pwr.edu.pl

Przegląd wybranych rezultatów badań hałasowych dla konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC

Review of selected noise test results for conventional PCC concrete pavements



Eryk Mączka

Dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział
Budownictwa Lądowego i
Wodnego, Katedra Dróg, Mostów,
Kolei i Lotnisk

eryk.maczka@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0002-5420-5242

Streszczenie: Hałas drogowy jest jednym z negatywnych zjawisk wywołanych przejazdem pojazdu, które może być skutecznie ograniczane poprzez nadanie odpowiedniej tekstury powierzchni w konwencjonalnych nawierzchniach betonowych PCC (Portland Cement Concrete). Aby jednak rozróżnić wpływ różnych dostępnych na rynku metod teksturowania przeprowadza się w tym celu badania hałasowe - np. OBSI. W niniejszym artykule o charakterze przeglądowym przedstawiono wybrane (ważniejsze) wyniki i obserwacje związane z hałaśliwością tekstur konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC w okresie 2006-2025r. Tematyka niniejszego przeglądu pozwala przybliżyć doświadczenia badaczy z nawierzchniami PCC ze względu na teksturę i hałas.

Słowa kluczowe: Hałas drogowy; Metody teksturowania w nawierzchniach betonowych PCC; Ciche nawierzchnie betonowe

Abstract: Road noise is one of the negative phenomena caused by vehicle traffic, which can be effectively reduced by applying appropriate surface texture to conventional PCC (Portland Cement Concrete) concrete surfaces. However, to distinguish the impact of various commercially available texturing methods, noise studies based on available methods must be provided. This review article presents selected (most important) results and observations related to the noise level of conventional PCC concrete surface textures from 2006 to 2025. The subject of this review provides insight into researchers' experiences with PCC surfaces in terms of texture and noise.

Keywords: Pavement noise; PCC concrete pavement texturing methods; Quiet concrete pavements

Wstęp

Hałas drogowy generowany poprzez ruch pojazdów jest jednym z zjawisk negatywnie wpływających na zdrowie i kondycję człowieka [1–4]. Zjawisko to jest odczuwalne zarówno na obszarach zurbanizowanych jak i poza nimi.

Do jednych ze znanych metod obniżania poziomu hałasu drogowego można zaliczyć np. te związane z budową i wykończeniem (nadaniem tekstury) powierzchni konstrukcji nawierzchni drogowej [5–7]. W zależności od zastosowanego rozwiązania betonowe nawierzchnie drogowe mogą stawać się cichsze, umożliwiając tym samym naturalnie ograniczać emisję hałasu polepszając jednocześnie komfort. Aby jednak ocenić, który sposób teksturowania jest lepszy akustycznie, niezbędne jest wykonanie badań hałasowych

np. korzystając z metody On-Board Sound Intensity (OBSI). Dzięki przeprowadzeniu badań hałasowych, można nie tylko analizować techniki teksturowania nawierzchni betonowych, ale przede wszystkim można lepiej zrozumieć zagadnienie powstawania hałasu, które jest problemem złożonym [5–11]. Łącząc wszystkie te doświadczenia, łatwiej jest projektować, budować i utrzymać cichsze nawierzchnie betonowe, które poza niższą emisyjnością akustyczną muszą zapewniać też trwałość i bezpieczeństwo użytkownika.

W niniejszym artykule o charakterze przeglądowym przedstawiono wybrane (najważniejsze) wyniki i obserwacje związane z hałaśliwością tekstur konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC (Portland Cement Concrete) przy wykorzystaniu badania hałasowego OBSI. Tematyka niniejsze-

go przeglądu pozwala lepiej przybliżyć doświadczenia badaczy w zakresie konwencjonalnych nawierzchni PCC ze względu na teksturę i hałas.

Przegląd literatury

Techniki teksturowania konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC

Na podstawie [12–17] można wyróżnić następujące metody teksturowania w konwencjonalnych nawierzchniach betonowych PCC, które są przedmiotem zainteresowania w niniejszym artykule ze względu na hałas:

- ciągnięcie maty jutowej - (eng. burlap dragging lub eng. texture dragging),
- ciągnięcie maty jutowej + grabkowanie (frezowanie grabiami) - (eng.

ting),

- śrutowanie - (eng. shot blasting lub eng. wheel blasting),
- szczotkowanie - (eng. brooming),
- rowkowanie - (eng. diamond grooving lub skrótowo eng. grooving lub też DG),
- mikrofrezowanie - (eng. diamond grinding lub też CDG),
- odkryte kruszywo - (eng. exposed aggregate lub też EA),
- metody hybrydowe - konwencjonalny grinding + grooving (eng. conventional grinding + grooving), [nie mylić z grinding + grooving nawierzchnie NGCS],
- beton porowaty (właściwość materiału - objętość zamkniętych pustek powietrznych) - (eng. porous concrete).

W artykule starano uwzględnić kierunek wykonania tekstury: transverse - poprzecznie lub longitudinal - podłużnie, diagonal - ukośnie względem kierunku jazdy. Starano się również zwrócić uwagę na konfigurację teksturowania (np. rozstaw, głębokość, szerokość elementów nadających teksturę), wiek badanej konstrukcji (czas eksploatacji).

Publikacje dotyczące pomiarów hałasu nawierzchni betonowych metodą OBSI zwracając uwagę na metody i kierunki teksturowania sięgają 2006 roku [15,18,19], pomimo iż właściwe ustandaryzowanie tej metody nastąpiło dopiero w 2009 roku wraz z określeniem poziomów hałasu charakteryzujących nawierzchnie ciche (standaryzacja wykonana w USA) [20,21].

W poniższym przeglądzie zastosowano dla uproszczenia i krystalizacji pojęć nazewnictwo anglojęzyczne w odniesieniu do tekstury.

Przegląd literatury - część właściwa

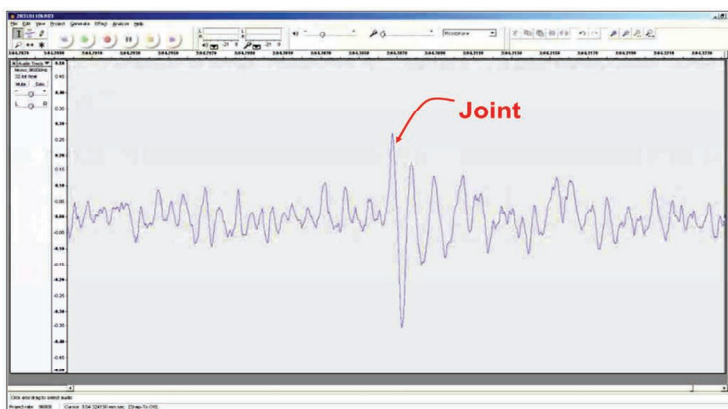
W 2006 roku Cackler i inni [22] opublikowali pierwsze większe opracowanie poświęcone zbadaniu hałaśliwości istniejących nawierzchni betonowych w USA. Z uwagi na to, iż metoda OBSI oficjalnie została ustandaryzowana w 2009 roku pomiary realizowano z wykorzystaniem procedury „FHWA traffic noise model”. Badania hałasowe przeprowadzono na 213 odcinkach betonowych nawierzchni PCC, gdzie koncentrowano się na zbadaniu wpływu metody teksturowania na powstający hałas. W raporcie analizowano takie techniki jak (eng.): „burlap dragging”, „transverse tining”, „longitudinal tining”, „diamond grinding”, „exposed aggregate” oraz „previous concrete pavement” (porous concrete). Inne szczegółowe parametry teksturowania nawierzchni są opisane w bezpośrednio w artykule (duża liczba kombinacji).

W omawianej pracy autorzy wykazali, iż analizowane techniki teksturowania betonowych nawierzchni PCC mogą zostać wykorzystane do wstępnej redukcji hałasu - nawet o 6 dB („diamond grinding” czy „burlap dragging”). Autorzy podkreślili jednak, iż studium musi zostać kontynuowane by sprawdzić czy i jak bardzo czas eksploatacji nawierzchni wpływa zmienność hałasu. W raporcie wskazano również, iż na podstawie przeprowadzonych badań najlepsze nawierzchnie betonowe mogą zostać realizowane za pomocą wykorzystania techniki „exposed aggregate” oraz „previous concrete”.

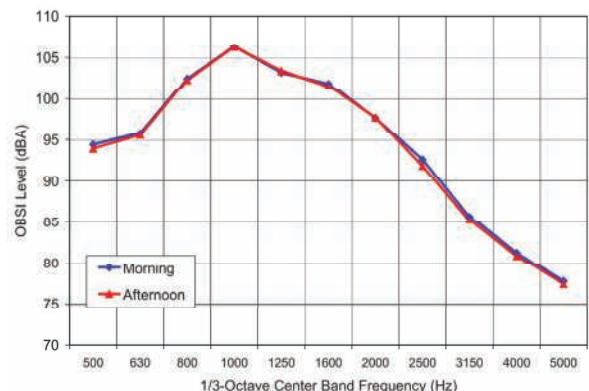
W 2007 roku Ferragut i inni [23] opublikowali raport stanowiący kontynuację pracy Cacklera z 2006 roku [22]. W raporcie rozszerzono zakres odcinków

badawczych ze względu na zastosowaną technikę teksturowania do 395 odcinków. Badania prowadzone były kilkukrotnie na tych samych odcinkach celem zweryfikowania wpływu czasu na zmienność parametrów nawierzchni i hałasu. Badania uwzględniały również sytuacje, w których nawierzchnie betonowe teksturowano ponownie - inną metodą ze względu na remont. Autorzy nadmienili w pracy, iż na chwilę obecną (2007) nie ma technik teksturowania tradycyjnych nawierzchni PCC, które pozwoliłyby osiągnąć poziom hałasu znacznie mniejszy niż 100 dB. Zaobserwowano również, iż „transverse tining” i „transverse grinding” wywołują zwiększony prób odczuwalnego dźwięku (hałas) - nawet powyżej 105 dB i należy ich konsekwentnie unikać w zakresie stosowania do cichych nawierzchni betonowych. W raporcie autorzy przedstawili również obserwacje związane z m.in. wpływem dylatacji płyt nawierzchni betonowych na hałas opona-nawierzchnia. Analizy wykazały, iż przejazd samochodu przez dylatacje pomiędzy płytami powoduje średni wzrost hałasu o 1.5 dB, natomiast lokalnie przy dylatacjach mostowych dochodzi zwiększenia intensywności dźwięku nawet o 5 dB. Przykład obserwacji przedstawiono na Rys.1.

Dalej w 2008 roku Hall i inni [24] opublikowali raport, w którym zaprezentowali kompleksowy przegląd stanu wiedzy dotyczący hałasu betonowych nawierzchni drogowych (PCC). Omówiono dotychczasową wiedzę w zakresie samego zjawiska oraz przedstawiono metody i urządzenia, które można wykorzystać do jego lepszego zrozumienia - ze względu na teksturę, tarcie, i hałas. Na uwagę zasługuje bar-



1. Ferragut (2007) - obserwacja przejazdu przez szczelinę dylatacyjną - pik rejestrowanego hałasu [23]



2. Rasmussen (2008) - hałas wybranej nawierzchni PCC o różnych porach dnia [25]

dzo dokładne omówienie poszczególnych metod i urządzeń, ich dokładność, stosowalność w warunkach in-situ oraz przedstawiona ocena kosztu samego urządzenia oraz czasu pracy. Kolejną ważną rzeczą w raporcie jest gruntowne omówienie i porównanie istniejących (na 2008r) metod teksturowania. Wskazano wady i zalety ich wzajemnego stosowania. Wewnątrz dalszej części raportu zaprezentowano wyniki pomiarów hałasu. Badania zrealizowano w kilkunastu stanach USA na drogach krajowych. W raporcie uszczegółwiono rodzaje analizowanych tekstur i konfiguracje – „longitudinal diamond grooving” – spacing: 5.59 mm, 6.22 mm; deph: 2.41mm, 3.07mm, „longitudinal turf and burlap dragging” – spacing: 1.91 mm, deph: 1.91mm, 3.18mm, „longitudinal tining” – spacing: 19.1, deph: 4.76mm. W pracy m.in. udowodniono, że stosowanie głębszych rowków przy metodzie diamond grooving, umożliwia obniżenie poziomu hałasu średnio o 4 dB.

Kolejno (2008 r.), Rasmussen [25] prowadził badania hałasu nawierzchni betonowych w stanie Iowa (USA) w ramach prac Federal Highway Administration (FHWA). Jego studium dotyczyło analizy wysokości poziomu hałasu nawierzchni PCC teksturowanych techniką: transverse tining względem porożnia (rano - wieczór). Dokładne parametry teksturowania nie zostały ujawnione. Rasmussen wykazał, iż poziom hałasu dla ocenianej nawierzchni jest o poranku i wieczorem niemal identyczny. Największy zaś hałas rejestruje się dla częstotliwości dźwięku wynoszącej

800, 1000 i 1250 [Hz] - wykres przedstawiono na Rys. 2.

Kolejno, rok później (2009) Donovan [26] opublikował artykuł, w którym również analizował poziom hałaśliwości konwencjonalnych nawierzchni PCC względem wybranych metod teksturowania. Publikacje zrealizowano w oparciu kilkulatnie pomiary dróg ekspresowych i autostrad w USA (stan California). Uwagę głównie skoncentrowano na technikach tj.:

- longitudinal tining (podłużnie, rozstaw/ głębokość tekstury 2.4-3.2 mm/1.5-8mm),
- longitudinal burlap dragging,
- brooming,
- diamond grooving [rozstaw tarcz: 9.35 - 19.05 mm, głębokość: 3.18 - 6.35 mm]
- diamond grinding [2.67 - 3.05mm rozstaw tarcz]
- metoda hybrydowa (konwencjonalna „grinding + grooving”) [3.05mm rozstaw tarcz - grinding / 19.05mm rozstaw tarcz - grooving + głębokość 9.35 mm]

Poziom hałas nawierzchni sprawdzano przy prędkości 97 km/h. W samochodzie osobowym podczas badania wykorzystano oponę Good Year P205/70R15.

W pracy udowodniono, iż najwyższy poziom hałasu odnotowany jest w częstotliwościach 900 - 1250 [Hz], pik ekstremalny 900 [Hz].

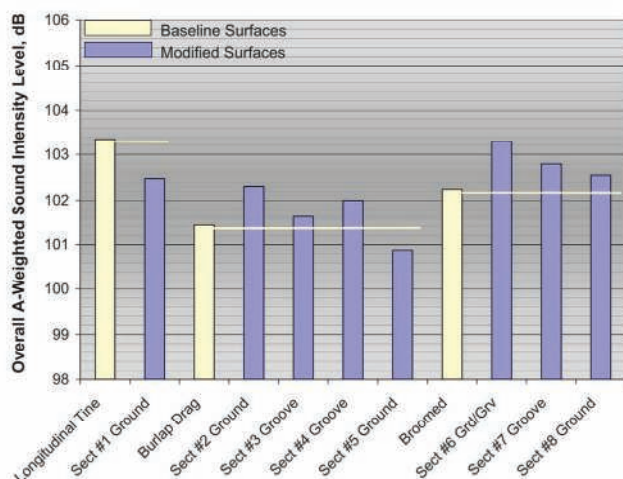
Ponadto wykazano, iż technika teksturowania: burlap dragging jest cichsza od brooming i tining nawet do 2 dB poziomu hałasu mniej. Najniższy

poziom hałas (101 dB,) odnotowano dla nawierzchni posiadającej teksturę burlap dragging, która kolejno została poddana grindingowi (sect #5). Pomiar wykazał, iż ta kombinacja teksturowania pozwoliła obniżyć poziom hałasu nawet o 2.5 dB względem innych technik co ukazano na Rys. 3.

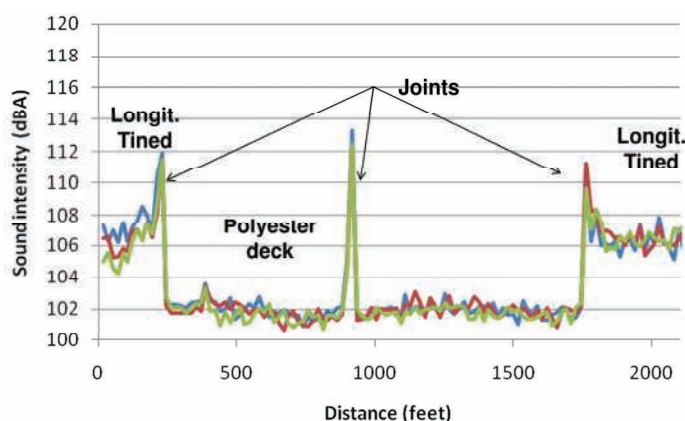
Autor w swojej pracy zajął się również porównaniem wpływu występowania dybli i kotew (uwzględniając szczeliny) na hałas (nawierzchnie teksturowane groovingiem). Potwierdzono, iż nawierzchnie dyblowane i kotwione są nawet do 4 dB głośniejsze w porównaniu do tych bez.

W tym samym roku (2009) Donovan i Lodico [27] opublikowali artykuł, w którym zajmowali się wpływem sylwetki pojazdu (pojazd osobowy, lekki ciężarowy, ciężarowy), opony (Dunlop, SRTT o szerokości opony 25 ft lub 50 ft) i prędkości ruchu (zakres 55-70 mph) na poziom hałasu m.in. w nawierzchniach betonowych PCC o różnym sposobie teksturowania. Analizowano te same techniki teksturowania co w poprzednim artykule - [26], wzbogacając rozważania o odcinki wykonane z nawierzchni asfaltowych. Wykazano, iż poziom hałasu wzrasta wraz przyrostem prędkości. Ponadto ustalono, że opony węższe (25 ft) generują nawet do 15 dB wyższy poziom hałasu w stosunku do opon o szerokości 50 ft. Ustalono, że konstrukcja opony - bieżnik tj. wysokość i kształt wpływa na poziom hałasu. Odnotowane różnice poziomu hałasu pomiędzy oponami dochodziły do 7 dB.

W 2010 roku Kohler [28] opublikował pracę, w której przedstawił wyniki badań dotyczących wpływu przyrostu prędkości na generowany hałas. Testy



3. Donovan (2009) - wyniki badań hałasowych w nawierzchniach PCC ze względu na teksturę [26]



4. Kohler (2010) - skok piku hałasu przy wjeździe na most [28]

zrealizowano na wybranych nawierzchniach betonowych PCC. Nie wskazano danych szczegółowych poza techniką teksturowania na badanych odcinkach. Analizowano przypadki: „burlap dragging”, „diamond grooving”, „longitudinal tining”, „longitudinal booming”. Analizy wykazały, że hałas opona-nawierzchnia wzrasta liniowo wraz z przyrostem prędkości niezależnie od badanej tekstury. Ponadto wykazano, iż łączenie drogi z mostem - dylatacje wywołują lokalne przyrosty hałasu nawet o 12 dB - Rys. 4.

W (2011) Kohler i inni [29] opublikowali raport sporządzony dla The California Department of Transportation (Caltrans), w którym to zajmowali się zbadaniem wpływu słyszalnych częstotliwości dźwięku na hałas opona-nawierzchnia w betonowych nawierzchniach PCC o zastosowanej technice teksturowania: longitudinal brooming (LB), diamond grinding (DG), diamond grooving (Gr), burlap dragging (BD) i longitudinal tining (LT). Parametrów tekstury nie podano. W raporcie dodatkowo zwrócono uwagę na trwałość akustyczną teksturowania określoną na przełomie 2 lat – badania poziomu hałasu na tych samych odcinkach w rocznych odstępach czasu. W pracy udowodniono, iż najbardziej słyszalny poziom dźwięku występuje w spektrum fali akustycznej pomiędzy 800-1000 Hz niezależnie od techniki teksturowania, chociaż sama metoda teksturowania nawierzchni PCC wpływa na odbierany poziom hałasu.

W raporcie wykazano również, iż teksturowanie ulega degradacji w czasie wpływając na wzrost poziomu słyszalnego hałasu. W przypadku odnotowanym dla techniki grindingu regres poziomu hałasu wyniósł średnio 8 dB. Najmniejsze fluktuacje (zmianę poziomu hałasu w czasie) zarejestrowano dla techniki burlap dragging – zmiana wyniosła średnio 1.9 dB.

W (2012) Rasmussen i inni [12] opublikowali raport dla National Concrete Pavement Technology Center, w którym przedstawili zalecenia wykonawcze dla cichych nawierzchni betonowych PCC. Autorzy zaobserwowali istotny problem z osiąganiem powtarzalności parametrów teksturowania dla wykonywanych nawierzchni, które przekła-

dają się negatywnie na generowany poziomy hałas (OBSI). Analizowano głównie takie techniki teksturowania dla nawierzchni PCC jak: Diamond Grinding, Burlap Dragging, Longitudinal Tining, Transverse Tining. Nie podano dokładnych parametrów teksturowania ani czasu eksploatacji badanych odcinków. W pracy przedstawiono obserwacje, z których wynika, iż nawierzchnie teksturowane w metodzie transverse tining są najgłośniejsze, a poziomy hałas dochodzą nawet do 111.5 dB. W przeważającej większości najcichszymi metodami teksturowania jest Burlap Dragging, dla których odnotowano poziom hałasu w okolicach 100.5 dB. Kompromisem pomiędzy wszystkimi analizowanymi nawierzchniami wydaje się być technika teksturowania Longitudinal Tining, gdzie osiągnęto poziom hałasu zbliżony do techniki burlap dragging.

Następnie Wang i inni (2012) [30] przeprowadzili eksperymentalne badania poziomu hałasu na nawierzchniach betonowych poddanych technice grinding (szlif 1-2 mm) i grooving (1.6 - 3.2 mm). Pomiary realizowano w North Carolina (USA). Nie podano dokładnych parametrów konstrukcji oraz danych technik teksturowania. Na podstawie badań wykazano, iż w niektórych przypadkach (częstotliwości dźwięku 800 -1000 Hz) nawierzchnie betonowe (PCC) mogą być cichsze nawet o 1.0 dB niż nawierzchnie z porowatego betonu asfaltowego położonych na warstwach niezwiązanych.

Kolejno, Skarabis i inni (2015) [31] przeprowadzili w Niemczech (Monachium) badania poziomu hałasu nawierzchni z betonu cementowego (PCC) wykonanych w technice exposed aggregate. Ze względu na zauważony problem dotyczący wycierania się z czasem makrotekstury nawierzchni, autorzy w artykule zwrócili głównie uwagę na wpływ rozstawu groovingu (rowków) na zmianę poziomu hałasu (grooving wykonano dodatkowo na powierzchni z odkrytym kruszywem). Badania wykonywano przy prędkości 80 km/h. Ustalono, iż mniejszy rozstaw rowków pozwala względnie zmniejszyć poziom hałasu dla badanej nawierzchni nawet o 9 dB.

W 2016r Tonin [32] opublikował pra-

cę, w której zestawiał ostatnie osiągnięcia naukowców w zakresie pomiarów hałasu w nawierzchniach betonowych i asfaltowych. Autor podkreślił, iż niewiele jest prac z wykorzystaniem metody OBSI, a w szczególności tych dotyczących nawierzchni z betonu cementowego. Większość publikacji dotyczy pomiarów metodami statystycznymi SPB ewentualnie CPX (która w pewnym znaczeniu może być alternatywą dla OBSI). W pracy nie wskazywano konkretnego rozwiązania dotyczącego parametrów teksturowania nawierzchni betonowych. Badano nawierzchnie PCC - beton komórkowy/porowaty o zawartości porów 20-25% oraz PCC z wykonanymi zabiegami: transverse tining + grooving. Autorzy wykazali, iż zastosowanie podwójnej techniki teksturowania nawierzchni PCC pozwala zmniejszyć poziom hałasu względem konwencjonalnych nawierzchni bitumicznych nawet o 3 dB.

Kolejno Zhong i inni (2018) [33] dokonali przeglądu doświadczeń różnych regionów - USA, Japonia, Europa, Chiny w zakresie poziomu hałasu dla nawierzchni z betonu cementowego (PCC z betonem porowatym). Na podstawie gruntowniejszych analiz wykonanych wewnętrznie przez Japończyków, ustalono, iż powszechnie stosowane konstrukcje o warstwach jak na Rys. 5, wyczerpują trwałość zmęczeniową po 20-30 latach. Jednak w stosunku do poziomu generowanego hałasu, przez cały okres eksploatacji, potrafią one zapewnić średnio od 6-8 dB niższy poziom hałasu (względem konwencjonalnych nawierzchni asfaltowych) dla nawierzchni suchych (bez wilgoci spowodowanej od deszczu) i od 4-8 dB mniej w stosunku do mokrych (po deszczu) przy prędkościach 40 - 75 km/h - samochody osobowe. W przypadku pojazdów ciężarowych odpowiednio: suche warunki: 4 -8 dB, mokre 2-3 dB.

Następnie Staiano (2018) [34] opublikował pracę, w której zestawiał amerykańskie doświadczenia w zakresie pomiarów hałasu dla różnych konstrukcji betonowych (PCC, beton porowaty 0/7, PCC, exposed aggregate 0/7). Pomiary przeprowadzono dla prędkości 55 oraz 100km/h. Próbowano ocenić hałas nawierzchni przy wyższych prędkościach.



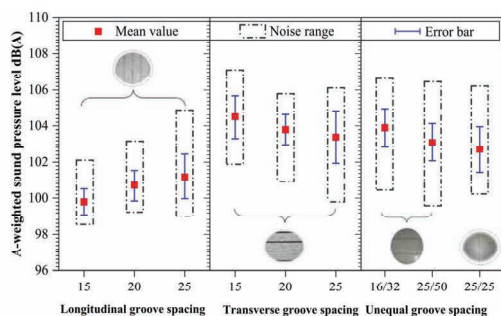
5. Zhong (2018) - typowe ułożenie warstw w nawierzchnia PCC stosowane w Japonii [33]

Niestety zauważono, iż powyżej 100 km/h pomiary są niemiernodajne. Na podstawie zebranych doświadczeń wykazano, iż nawierzchnie PCC z betonem porowatym 0/7 oraz PCC z techniką exposed aggregate mogą być cichsze od tych wykonanych z betonu asfaltowego (asfalt porowaty 0/14) nawet o 4 dB.

Kolejno Zhang i inni (2020) opublikowali artykuł [35], gdzie przedstawiono kontynuację wątku tematycznego dotyczącego poziomu hałasu nawierzchni betonowych (PCC) w tunelach [36] (Chiny). Doświadczenia wzbogacono o pomiary hałasu w innych tunelach, gdzie przed i za tunelem występowała nawierzchnia z mieszanki SMA (mastyk grynowy), natomiast w samym tunelu zastosowano nawierzchnie betonową PCC. W pracy rozszerzono analizy o wpływ kombinacji techniki teksturowania transverse grooving, longitudinal grooving oraz longitudinal + transverse grooving na poziom hałasu. Dokładne zastosowane parametry teksturowania badanych odcinków przedstawiono w pracy. Badanie zrealizowano przy prędkości 60 km/h oraz wykorzystano samochód osobowy z oponą 225/60 16.

W pracy wykazano, iż niezależnie od konstrukcji wewnątrz tunelu (betonowa czy asfaltowa) i sposobu teksturowania, poziom dźwięku rozprzestrzenia się w 4 fazach:

1. przyrost hałasu przed dojazdem do tunelu,
2. ustabilizowanie hałasu przed samym wjazdem w tunel,



6. Zhang (2020) - wyniki wpływu konfiguracji rowkowania [35]

3. przyrost hałasu na początkowym odcinku w tunelu (do 200m),
4. ustabilizowanie poziomu hałasu w tunelu.

Odnótowano, iż względne różnice we wzroście poziomu hałasu wynoszą ok. 20 dB pomiędzy fazą 1-2 oraz ok. 23 dB pomiędzy fazą 3-4.

Autorzy wykazali również, iż spośród porównywanych kombinacji teksturowania w PCC dla tuneli, teksturowanie longitudinal grooving o rozstawie tarcz co 25 mm pozwala uzyskać nawet do 2.5 dB niższy poziom hałasu w stosunku do transverse grooving. W przypadku kombinacji mieszanych (longitudinal + transverse grooving) wskazano, iż poziom hałasu odpowiada wartościom jak dla transverse grooving - przykładowe wyniki Rys. 6.

Fang i inni [37] (2020) kontynuowali badania hałasowe związane z nawierzchniami betonowymi w tunelach Chińskich opisanych w [35]. Rozważania rozszerzono o kilka nowych odcinków w tym z nawierzchniami (PCC) teksturowanymi specjalnymi polimerami oraz z techniką exposed aggregate (oznaczone w pracy jako EACCP). Wszystkie zbadane odcinki o określonych sposobach i parametrach teksturowania przedstawiono na Rys. 7. Autorzy nie wyszczególnili warstw konstrukcji nawierzchni, na których odbywały się badania. Prędkość pomiaru wynosiła 60 km/h.

W artykule główną uwagę skupiono na wpływie teksturowania na poziom hałasu biorąc równocześnie pod uwagę czas eksploatacji konstrukcji. Autorzy wykazali, iż najcichsze okazały się nawierzchnie PCC z polimerem oraz o technice exposed aggregate. Względne różnice poziomu hałasu osiągały nawet do 15 dB (PCC z polimerem vs longitudinal grooving).

W pracy zauważono również, iż nowo oddane do eksploatacji nawierzchnie w tunelach charakteryzowały się niższym poziomem hałasu (ok. 1.5 dB mniej) od odcinków używanych przez 5 lat.

W (2022), Lee i inni [38] analizowali wpływ techniki teksturowania tining oraz grooving nawierzchni betonowych (PCC) na poziom hałasu odcinków autostradowych w Korei Południowej. W pracy nie wyszczególniono dokładnych parametrów teksturowania. Prędkość pomiaru metodą OBSI wynosiła 100 km/h. Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że technika teksturowania tining pozwoliła obniżyć poziom hałasu nawierzchni średnio o 0.3 dB względem techniki groovingu. Autorzy potwierdzili wcześniejsze doniesienia, iż pomiary metodą OBSI powyżej 100 km/h mogą być niemiernodajne ze względu na duże fluktuacje rejestrowanych parametrów.

W (2024) Donovan i inni [39] opublikowali artykuł kontynuujący rozważania dotyczące hałasu w nawierzchniach betonowych (PCC) i asfaltowych ze względu na technikę teksturowania i rodzaj konstrukcji [26,27]. Do zebranych przez lata danych autorzy włączyli pomiar dla nawierzchni asfaltowych (eng. tzw. chip seal pavements). Chip Seal to nawierzchnie asfaltowe, w których zastosowano więcej niż jedną warstwę wykonaną z kruszywa drobnego. W artykule zbadano drogi w stanie Kalifornia i Arizona USA. W pracy nie wyszczególniono dokładnych parametrów teksturowania. Badania zrealizowano dla prędkości pomiaru równej 97 km/h. Autorzy wykorzystując doświadczenia z prac [26,27] wykazali, iż nawierzchnie betonowe PCC o teksturoowaniu longitudinal tining są cichsze od asfaltowych typu Cheap Seal. Różnice w poziomie hałasu dochodziły względnie aż do 4.5 dB. Wyjątek stanowiła konstrukcja PCC

TABLE 1: Details of testing concrete pavement.

No.	Pavement type	Spacing, width, and depth of groove (mm)	Test location	Traffic condition
A	Transverse groove (artificial turf drag)	20, 5, 5	Tunnel 1	Newly built
B	Transverse groove (no drag)	50, 5, 5	Tunnel 2	Newly built
C	Longitudinal grooving	25, 5, 5	Tunnel 1	5 years
D	Longitudinal grooving	25, 5, 5	Tunnel 3	Newly built
E	Transverse groove	25/50, 5, 5	Tunnel 1	3 years
F	Longitudinal grooving	random	Tunnel 4	2 years
G	Transverse groove	23, 5, 1-3	Tunnel 5	Newly built
H	EACCP	—	Tunnel 6	Newly built
I	PCC	—	Tunnel 4	Newly built
J	SMA	SMA-13	Tunnel 7	Newly built
K	HMA	AC-13	Highway pavement	Newly built
L	Transverse groove (no drag)	25, 5, 1-3	Tunnel 8	Newly built
M	Bridge deck pavement	AC-13	A large bridge	Newly built

7. Fang (2020) - zestawienie badanych odcinków w tunelach Chińskich [37]

Table 2

Experiment design of dragged textures.

Site No.	Method	Width(mm)	Height (mm)	Spacing(mm)
1	longitudinal burlap	0.5 ~ 2.5	0 ~ 1	5 ~ 20
2	drag	0 ~ 1	0 ~ 0.5	1 ~ 5
3		0.5 ~ 1.5	0 ~ 1	3 ~ 10
4		1.5 ~ 4	0 ~ 1	3 ~ 8
5		1 ~ 5	0 ~ 2	5 ~ 10
6		1.5 ~ 2	0 ~ 1.5	2 ~ 8
7		1.5 ~ 2	0 ~ 0.25	2 ~ 15
8		1 ~ 2.5	0 ~ 1	5 ~ 10

8. Yang (2025) - longitudinal burlap dragging - konfiguracja teksturowania [41]

o teksturowaniu transverse tining.

W (2025) Izevbehai [40] podjął pierwsze próby opracowania teoretycznego modelu, pozwalającego przewidzieć poziom hałasu (jako wynik pomiaru OBSI) nawierzchni betonowych PCC dla dwóch metod teksturowania - diamond griding oraz diamond grooving. Nie podano dokładnych parametrów teksturowania odcinków badawczych. Na potrzeby opracowania modelu wykonano badania poziomu hałasu (OBSI) oraz określono współczynnik tarcia DFT, równość podłużną IRI i temperaturę dla pomiaru OBSI. Wyniki próbowano korelować. Autor wykazał, iż istnieje możliwość uzyskania dokładnej formuły pozwalającej przewidywać poziom hałasu (OBSI) projektowanych i wykonywanych nawierzchni betonowych, jednak należy dołożyć starań, aby skorelować ze sobą więcej parametrów niż wskazane wyżej. Duże znaczenie w tym zakresie ma dokładna wiedza o zastosowanej technice teksturowania. Uwzględnienie różnych parametrów przy teksturowaniu (głębokość, rozstaw tarcz i dystansów) byłoby cennym doświadczeniem pozwalającym rozwinąć bieżący model. Obecnie wymaga on wnikliwszej analizy i dalszego rozwoju.

Yang i inni (2025) [41] opublikowali pracę, gdzie przedstawili gruntowne badania wpływu kombinowanej metody teksturowania (transverse grooving + longitudinal burlap dragging) z uwzględnieniem parametrów ich konfiguracji (szerokość, głębokość, przerwa - patrz Rys. 8 i Rys. 9) na generowany poziom hałasu. Prace były wykonane na 8 odcinkach dróg ekspresowych wokół miasta Zhaotong (Chiny), dla których zaplanowano i wykonano ściśle określony projekt nawierzchni względem pożądanej tekstury. Następnie wykonano pomiary w zakresie ustalenia poziomu hałasu (OBSI) oraz sprawdzono

teksturę pomiarem laserowym (Mean Profile Depth - MPD). Badania poziomu hałasu opona-nawierzchnia prowadzono dla dwóch prędkości pomiaru 60 i 80 km/h. Jednocześnie wykonano w tych samych warunkach pogodowych pomiar tekstury (MPD) w celu zbadania wzajemnych korelacji i wpływu tekstury na powstawanie hałasu. Te badania były jednym z pierwszych podejść do uwzględnienia konkretnych parametrów układu teksturowania na hałas w nawierzchniach betonowych. Autorzy w pracy udowodnili ściśle powiązanie i dobrą korelację tekstury o znanych parametrach jej realizacji z rejestrowanym poziomem hałasu. Ponadto zostało wykazane, iż transverse grooving w odstępach (spacing) większych niż 25mm lepiej rozprasza energię akustyczną (hałas), w szczególności zakresu wrażliwości ucha ludzkiego (pasmo 1000 Hz). Wskazano też, iż tekstura i generowany hałas jest ściśle powiązana z częstotliwością generowanego hałasu. Przedstawiono również, iż nadanie zdefiniowanej tekstury nawierzchni (uzyskanie konkretnej tekstury o ściśle ustalonych parametrach) dla wybranych częstotliwości fali akustycznej może skutecznie obniżyć poziom hałasu względem stosowanych nawierzchni PCC (logitudinal burlap dragging i transverse grooving). W pracy wykazano również, iż zwiększenie prędkości ruchu pojazdu o 20 km/h (z 60 do 80) skutkuje przyrostem poziomu generowanego hałasu nawet o ok. 7.1dB (badane kombinacje tekstur).

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie wykonanego przeglądu, można stwierdzić, iż hałaśliwość

Table 1

Experiment design of grooved textures.

Site No.	Method	Width (mm)	Depth (mm)	Spacing(mm)
1	Transverse	4.0	2	25
2	Grooves with	3.9	1	25
3	Equal Spacing	4.0	0.75	25
4		3.5	1	19
5		3.7	2.25	25
6		4.0	1.5	13
7	Transverse Grooves with Unequal Spacing	4.0	0.5	28-30-22-31-27-32-28-30-27-33-24-34-29 (375/13 = 28.8)
8		4.0	1	13-17-19-17-13-16-18-20-17-13-24-17-13-17-19-16-15-17-18-20-22-17-16 (390/23 = 17.0)

9. Yang (2025) - transverse grooving - konfiguracja teksturowania [41]

konwencjonalnych nawierzchni betonowych PCC uwzględniając różne sposoby teksturowania jest przez wielu badaczy cały czas gruntownie analizowana. Pomimo, że tematyka w tym wąskim zakresie (nawierzchnie PCC, metoda badania hałasowego - OBSI) jest przedmiotem rozważań od co najmniej 2006 roku obserwuje się jej ciągłą aktualność - w zakresie dalszego rozwoju zrozumienia i oceny zjawisk postawiania hałasu ze względu na teksturę betonowych nawierzchni PCC.

Istotniejszymi obserwacjami jakie można wyszczególnić to:

- konfiguracja parametrów i kierunku teksturowania (np. nacięć w technice groovingu) istotnie wpływa na obniżanie poziomu hałasu - wymaga to jednak głębszych analiz,
- zastosowanie metody teksturowania: burlap dragging lub diamond grinding umożliwia uzyskanie niższych wartości poziomu hałasu względem tining, brooming czy grooving nawet o kilka dB,
- hałas wzrasta liniowo wraz ze wzrostem prędkości samochodu niezależnie od techniki teksturowania,
- łączenia płyt lokalnie (szczeliny/dylatacje) w sposób istotny wpływają na wzrost hałasu - od 5 dB nawet do 12 dB.

Pomimo, iż w artykule wykazano różne doświadczenia badaczy – badania w świecie realizowane m.in. w USA, Korei, Chinach, Azji (Irak), Europie (np. Belgia), na podstawie wykonanego przeglądu dostrzeżono m.in., iż:

- istnieje niewiele lub jest brak doświadczeń hałasowych w zakresie techniki śrutowania,
- istnieje niewiele kompleksowych

analiz różnych konfiguracji teksturowania i wpływu na generowany poziom hałasu (publikacje większości pomijały wyszczególnienie tych informacji lub nie poświęcano temu należytej uwagi),

- istnieje niewiele artykułów dotyczących zbadania wpływu teksturowania: odkryte kruszywo, grinding, na hałas z wykorzystaniem metody OBSI. Podobnie wyszczególnia się niewielką liczbę badań wykonanych dla nawierzchni betonowych z betonu porowatego,
- nie dostrzega się doświadczeń badań hałasowych przy niższej standardyzowanej prędkości pomiaru np. 50 km/h,
- Istnieje stosunkowo niewiele publikacji, które dotyczyłyby pomiarów poziomu dźwięku w powiązaniu z parametrami i techniki teksturowania dla częstotliwości dźwięku z zakresu 800-1150 [Hz],
- chociaż poziom hałaśliwości badano dla pory dziennej i wieczornej, to jednak nie dostrzeżono analiz poziomu hałasu w nawierzchniach betonowych PCC przy zmiennych warunkach pogodowych z jednoczesnym ich uwzględnieniem (wilgoć, temperatura, inne).

W związku z powyższym pożądanym jest dalej zgłębiać zjawisko powstawania hałasu w celu jego lepszego zrozumienia dla konwencjonalnych nawierzchniach betonowych PCC - zwłaszcza dla ściśle ustalonych konfiguracji teksturowania pośród znanych technik dostępnych w wykonawstwie. Zgłębienie tej tematyki z pewnością pomoże w przyszłości opracować lepsze rozwiązania wykonawcze w tematyce cichych nawierzchni betonowych.

Artykuł powstał w ramach realizacji grantu badawczego „Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania” realizowanego w ramach programu RID II – Rozwój Innowacji Drogowych. Nr umowy 01RD/0001/23. Projekt realizowany w ramach wspólnego przedsięwzięcia RID, finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad”. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Singh, D.; Kumari, N.; Sharma, P. A Review of Adverse Effects of Road Traffic Noise on Human Health. *Fluct. Noise Lett.* 2018, 17, 1830001, doi:10.1142/S021947751830001X.
- [2] Wrótny, M.; Bohatkiewicz, J. Traffic Noise and Inhabitant Health—A Comparison of Road and Rail Noise. *Sustainability* 2021, 13, 7340, doi:10.3390/su13137340.
- [3] Montes González, D.; Barrigón Morillas, J.M.; Rey-Gozalo, G. Effects of noise on pedestrians in urban environments where road traffic is the main source of sound. *Sci. Total Environ.* 2023, 857, 159406, doi:10.1016/j.scitotenv.2022.159406.
- [4] Arregi, A.; Vegas, O.; Lertxundi, A.; Silva, A.; Ferreira, I.; Bereziartua, A.; Cruz, M.T.; Lertxundi, N. Road traffic noise exposure and its impact on health: evidence from animal and human studies-chronic stress, inflammation, and oxidative stress as key components of the complex downstream pathway underlying noise-induced non-auditory health effects. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2024, 31, 46820–46839, doi:10.1007/s11356-024-33973-9.
- [5] P. G. Abbott; P. A. Morgan; B. McKell. A review of current research on road surface noise reduction techniques PPR443, Scotland, United Kingdom, 2010. Available online: https://www.researchgate.net/profile/Phil-Abbott-3/publication/369182337_A-REVIEW_OF_CURRENT_RESEARCH_ON_ROAD_SURFACE_NOISE_REDUCTION_TECHNIQUES/links/640e29b0315dfb4cce7255ef/A-REVIEW-OF-CURRENT-RESEARCH-ON-ROAD-SURFACE-NOISE-REDUCTION-TECHNIQUES.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFhZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwiaWF0IjoxNjUwMDAwMDAwfQ (dostęp: 2025).
- [6] Ohiduzzaman, M.D.; Sirin, O.; Kassem, E.; Rochat, J. State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 1: Traffic Noise Measurement and Abatement Techniques. *Sustainability* 2016, 8, 742, doi:10.3390/su8080742.
- [7] Sirin, O. State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 2: Factors Affecting Tire-Pavement Noise and Prediction Models. *Sustainability* 2016, 8, 692, doi:10.3390/su8070692.
- [8] National Research Council. Hearing Loss: Determining Eligibility for Social Security Benefits; The National Academies Press: Washington, DC, 2005, ISBN 978-0-309-09296-8.
- [9] Bendtsen, H.; Kohler, E.; Lu, Q.; Rymmer, B. Temperature influence on noise measurements No. 175, Edinburgh, 2009 (dostęp: 2025).
- [10] Pardo-Jadue, J.; Dragicevic, C.D.; Bowen, M.; Delano, P.H. On the Origin of the 1,000 Hz Peak in the Spectrum of the Human Tympanic Electrical Noise. *Front. Neurosci.* 2017, 11, 395, doi:10.3389/fnins.2017.00395.
- [11] Zofka, A.; Mechowski, T.; Graczyk, M.; Sudyka, J.; Harasim, P. Przegląd literatury na temat metod pomiaru hałaśliwości nawierzchni, Warszawa, 2018 (dostęp: 2025).
- [12] Rasmussen, R.; Wiegand, P.; Fick, G.; Harrington, D. How to Reduce Tire-Pavement Noise: Better Practices for Constructing and Texturing Concrete Pavement Surfaces DTFH61-06-H-00011, USA, 2012. Available online: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2018/08/How_to_Reduce_Tire-Pavement_Noise_final.pdf (dostęp: 2025).
- [13] Michałek Andrzej. Uszorstnienie nawierzchni w technologii śrutowania, Warszawa, 2021. Available online: <https://nbi.com.pl/archiwum-nbi/uszorstnienie-nawierzchni-w-technologie-srutowania/> (dostęp: 2025).
- [14] Wegarten. Nawierzchnie betonowe nowej generacji. Available online: https://www.wegartenconstruction.com/media/broszura_ngcs.pdf (dostęp: 2025).
- [15] Federal Highway Administration. Concrete Pavement Texturing - Tech Brief, Washington D.C., 2019. Available online: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif17011.pdf> (dostęp: 2024).

- [16] Witczak Sebastian; Konopska-Piechurska Małgorzata; Jackiewicz-Rek Wioletta. Badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni betonowych oraz metody poprawy tych właściwości. *Budownictwo Technologie Architektura* 2017, 2017, 48–51.
- [17] Michalski, W. Metody nadawania tekstury nawierzchniom betonowym. *Drogownictwo* 2016, 2016, 126–134.
- [18] Gardziejczyk, W. Mobilne i stacjonarne metody pomiaru i oceny hałaśliwości nawierzchni drogowych. *CONSTRUCTION MATERIALS* 2025, 1, 81–88, doi:10.15199/33.2025.08.10.
- [19] Gardziejczyk, W. Hałaśliwość nawierzchni drogowych; Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej: Białystok, 2018, ISBN 978-83-65596-58-1.
- [20] Measurement of Tire/Pavement Noise using the On-Board Sound 3 Intensity (OBSI) Method: TP 76-09, 2009.
- [21] Transportation Research Board; National Academies of Sciences, Engineering; Medicine. Texturing of Concrete Pavements: National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 634: Texturing of Concrete Pavements; The National Academies Press: Washington, DC, 2009, ISBN 978-0-309-11792-0.
- [22] Cackler, T. Evaluation of U.S. and European Concrete Pavement Noise Reduction Methods, USA, 2006. Available online: https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/24417/dot_24417_DS1.pdf-HiZZ0ffU7s0 (dostęp: 2025).
- [23] Ferragut, T.; Cackler, T. ISU-FHWA-ACPA Concrete Pavement Surface Characteristics Program Part 2: Preliminary Field Data Collection, USA, 2007. Available online: <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/38927> (dostęp: 2025).
- [24] Hall, J.W.; Smith, K.L.; Littleton, P. Texture of concrete pavements 10-67, USA, 2008. Available online: https://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_634appendixes.pdf (dostęp: 2025).
- [25] Rasmussen, R. Measuring and modeling tire-pavement noise on various concrete pavement textures. *Noise Control Eng. J.* 2008, 57, 139, doi:10.3397/1.3081451.
- [26] Donovan, P.R. Noise evaluation of various pavement textures on new Portland cement concrete. *Noise Control Engineering* 2009, 2009, 63–76, doi:10.3397/1.3106563.
- [27] Donovan, P.R.; Lodico, D.M. Estimation of Vehicle Pass-By Noise Emission Levels from Onboard Sound Intensity Levels of Tire-Pavement Noise. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2009, 2123, 137–144, doi:10.3141/2123-15.
- [28] Kohler, E. OBSI Testing - Dynatest presentation: Pavement evaluation, Roanoke, Virginia, USA, 2010. Available online: https://www.vtti.vt.edu/PDFs/PE_2010/Kohler%20-%20OBSI%20Testing.pdf (dostęp: 2025).
- [29] Kohler, E.; Harvey, J. Quieter Pavement Research: Concrete Pavement Tire Noise UCPRC-RR-2010-03, USA, 2011. Available online: <https://dot.ca.gov/-/media/dot-media/programs/research-innovation-system-information/documents/f0016619-2012-05-task-1200a1of5-pavement.pdf> (dostęp: 2025).
- [30] Wang, G.; Smith, G.; Shores, R. Pavement noise investigation on North Carolina highways: an on-board sound intensity approach. *Can. J. Civ. Eng.* 2012, 39, 878–886, doi:10.1139/l2012-076.
- [31] Skarabis, J.; Stöckert, U. Noise emission of concrete pavement surfaces produced by diamond grinding. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)* 2015, 2, 81–92, doi:10.1016/j.jtte.2015.02.006.
- [32] Tonin, R. Quiet Road Pavements: Design and Measurement—State of the Art. *Acoust Aust* 2016, 44, 235–247, doi:10.1007/s40857-016-0066-3.
- [33] Zhong, R.; Leng, Z.; Poon, C. Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: A state-of-the-art and state-of-the-practice review. *Construction and Building Materials* 2018, 183, 544–553, doi:10.1016/j.conbuildmat.2018.06.131.
- [34] Staiano, M.A. Tire-Pavement Noise and Pavement Texture. *J. Transp. Eng., Part B: Pavements* 2018, 144, 4018034, doi:10.1061/JPE-ODX.0000047.
- [35] Zhang, Z.; Luan, B.; Liu, X.; Zhang, M. Effects of surface texture on tire-pavement noise and skid resistance in long freeway tunnels: From field investigation to technical practice. *Applied Acoustics* 2020, 160, 107120, doi:10.1016/j.apacoust.2019.107120.
- [36] Wei, D.; Li, B.; Zhang, Z.; Han, F.; Zhang, X.; Zhang, M.; Li, L.; Wang, Q. Influence of Surface Texture Characteristics on the Noise in Grooving Concrete Pavement. *Applied Sciences* 2018, 8, 2141, doi:10.3390/app8112141.
- [37] Fang, J.; Tu, J.; Wu, K. Analysis of Skid Resistance and Noise Characteristics for Varieties of Concrete Pavement. *Advances in Materials Science and Engineering* 2020, 2020, doi:10.1155/2020/7427314.
- [38] Comparisons of tire-pavement noise characteristics between longitudinal tining and diamond grinding concrete pavement; Lee, W.-Y.; Kim, C.-W., Eds., 2022.
- [39] Donovan, P.R.; Janello, C.J. Noise Performance of Chip Seal Pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2024, 2678, 809–815, doi:10.1177/03611981231176548.
- [40] Izevbekhai, B.; Aydin, C. Pervious Concrete Acoustics and Tire-Pavement Interaction Noise Prediction. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2025, 2679, 746–759, doi:10.1177/03611981251353714.
- [41] Yang, S.; Wei, Y.; Ye, Z.; Liu, H.; Yang, B.; Liu, W.; Wang, L. Characterization and modeling of textured cement concrete pavement surfaces for tire-pavement noise prediction. *Applied Acoustics* 2025, 227, doi:10.1016/j.apacoust.2024.110183.

Hałaśliwość nawierzchni betonowych nowej generacji NGCS

Noise level of new generation NGCS concrete pavement



Eryk Mączka

Dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział
Budownictwa Lądowego i
Wodnego, Katedra Dróg, Mostów,
Kolei i Lotnisk

eryk.maczka@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0002-5420-5242

Streszczenie: Nadanie odpowiedniej tekstury powierzchni w nawierzchniach betonowych jest jednym ze sposobów ograniczania hałasu drogowego. Jedną z najnowszych znanych metod tekstuowania jest innowacyjny „diamond grinding and grooving” (GaG) charakteryzujący się m.in. nowym układem głowic względem starych rozwiązań konwencjonalnych. Wdrożenie ulepszeń umożliwiło na wykonywanie cichszych akustycznie nawierzchni betonowych znanych w tej technologii jako nawierzchnie betonowe nowej generacji NGCS (New Generation Concrete Surface) lub inaczej w skrócie (GaG NGCS). Aby jednak ocenić hałaśliwość nowych rozwiązań związanych z teksturą przeprowadza się w tym celu badania - np. OBSI. W niniejszym artykule o charakterze przeglądowym przedstawiono wybrane (ważniejsze) wyniki i obserwacje związane z hałaśliwością nawierzchni NGCS. Tematyka niniejszego przeglądu pozwala przybliżyć doświadczenia badaczy z nawierzchniami NGCS ze względu na teksturę i hałas.

Słowa kluczowe: *Hałas drogowy; Nawierzchnie betonowe NGCS; Ciche nawierzchnie betonowe*

Abstract: Implementing appropriate surface texture to concrete surfaces is one way to reduce road noise. One of the newest texturing methods is the innovative "diamond grinding and grooving" (GaG), characterized by, among other things, a new grinding head arrangement compared to older conventional solutions. Implementation of these improvements has enabled the creation of acoustically quieter concrete surfaces, known in this technology as New Generation Concrete Surfaces (NGCS), or simply (GaG NGCS). However, to assess the noise performance of new textured solutions, noise tests are conducted. This review article presents selected (and more important) results and observations related to the noise performance of NGCS surfaces. The subject of this review provides a closer look at researchers' experiences with NGCS surfaces regarding texture and noise.

Keywords: *Pavement noise; NGCS pavements; Quiet concrete pavements*

Wstęp

Hałas drogowy generowany poprzez ruch pojazdów jest jednym z zjawisk negatywnie wpływających na zdrowie i kondycję człowieka [1–4]. Zjawisko to jest odczuwalne zarówno na obszarach zurbanizowanych jak i poza nimi.

Do jednych ze znanych metod obniżania poziomu hałasu drogowego można zaliczyć np. te związane z budową i wykończeniem (nadaniem tekstury) powierzchni konstrukcji nawierzchni drogowej [5–7]. W zależności od zastosowanego rozwiązania betonowe nawierzchnie drogowe mogą stawać się cichsze, umożliwiając tym samym naturalnie ograniczać emisję hałasu

polepszając jednocześnie komfort. Aby jednak ocenić, który sposób tekstuowania jest lepszy akustycznie, niezbędne jest wykonanie badań hałasowych np. korzystając z metody On-Board Sound Intensity (OBSI). Dzięki przeprowadzeniu badań hałasowych, można nie tylko analizować techniki tekstuowania nawierzchni betonowych, ale przede wszystkim można lepiej zrozumieć zagadnienie powstawania hałasu, które jest problemem złożonym [5–11]. Łącząc wszystkie te doświadczenia, łatwiej jest projektować, budować i utrzymać cichsze nawierzchnie betonowe, które poza niższą emisyjnością akustyczną muszą zapewniać też trwałość i bezpieczeństwo użytkowania.

W niniejszym artykule o charakterze przeglądowym przedstawiono wybrane (ważniejsze) wyniki i obserwacje związane z hałaśliwością tekstur nowych nawierzchni betonowych NGCS (Next Generation Concrete Surface) przy wykorzystaniu badania hałasowego OBSI. Tematyka niniejszego przeglądu pozwala lepiej przybliżyć doświadczenia badaczy w zakresie nowych nawierzchni NGCS ze względu na teksturę i hałas.

Nowe nawierzchnie NGCS - krótka charakterystyka

Technologia tekstuowania nawierzchni betonowych nowej generacji

(NGCS), znana również jako technologia diamentowego szlifowania i rowkowania (eng. diamond grinding and grooving - GaG), została po raz pierwszy wprowadzona w 2007 roku przez Uniwersytet Purdue (USA) i stanowi najnowszą innowację w zakresie metod teksturowania. Grinding and Grooving betonowych nawierzchni nowej generacji NGCS (w skrócie GnG NGCS) wykonuje się najczęściej dwuetapowo. Pierwszy etap polega na wykonaniu płaskiej wyszlifowanej powierzchni poprzez proces „diamond flush grinding”. W drugim etapie wykonywane są rowkowania poprzez technikę „diamond grooving” [12–14].

Nawierzchnie NGCS charakteryzują się połączeniem gładkiego wyszlifowanego profilu z dodatkowymi rowkami, który zapewnia dobrą mikro i makro-teksturę (bezpieczeństwo) zmniejszającą również efekty hydro-planingu.

Teksturę nawierzchni NGCS można stosować zarówno na nowo wybudowanych, jak i istniejących nawierzchniach, a właściwości wytworzonej tekstury są powtarzalne na całym wykonywanym odcinku, co czynią ją prawdopodobnie najcichszą opracowaną dotąd, nieporowatą teksturą nawierzchni betonowych.

Grinding and Grooving dla nowych nawierzchni NGCS (NGCS GaG), przypomina zasadniczo konwencjonalne techniki teksturowania stosowane w betonowych nawierzchniach PCC - „conventional grinding and grooving” (C GnG) jako połączenie diamond grinding (CDG - Conventional Diamond Grinding, również technologicznie wykonywane w 1 etapie) z diamond groovingiem (DG lub CDG - Conventional Diamond Grooving, drugi etap) [15–20].

Głównymi różnicami pomiędzy konwencjonalną metodą (C GnG), a nowymi

mi nawierzchniami NGCS (NGCS GaG) jest starannie dobrany rozkład tarcz cięcia i dystansów oraz budowa głowic do wykonywania diamond grindingu. Dzięki przeprowadzonym badaniom laboratoryjnym (testy parametrów tarcz cięcia i dystansów do głowic) możliwym było dobranie wydajniejszego (precyzyjniejszego) rozwiązania, umożliwiającego uzyskanie w warunkach in-situ gładkiego wyszlifowania teksturowanej powierzchni (diamond flush grinding) (NGCS). W starych, konwencjonalnych rozwiązaniach po wykonywaniu diamond grindingu (CDG) uzyskiwana tekstura była najczęściej postrzępiona, nieregularna co negatywnie wpływało na komfort użytkowania, trwałość samej tekstury i hałas [12,21,22]. Wizualne różnice powierzchni po operacji grindingu (CDG vs NGCS) zaprezentowano na Rys. 1.

Przegląd literatury w zakresie badań hałasowych

Z uwagi, iż wyniki hałaśliwości tekstury nawierzchni betonowych nowej generacji (GaG NGCS) są w artykułach często komentowane w porównaniu do wyników innych badań dla tekstur charakteryzujących konwencjonalne nawierzchnie betonowe PCC (Portland Cement Concrete), w przeglądzie zastosowano anglojęzyczne nazwy ocenianych rozwiązań, których nazwy są zestawione poniżej [15–20]:

- ciągnięcie maty jutowej - (eng. burlap dragging lub eng. texture dragging),
- ciągnięcie maty jutowej + grabkowanie (frezowanie grabiami) - (eng. tining),
- rowkowanie - (eng. diamond grooving lub eng. grooving; skrótnie CDG lub DG),
- mikrofrezowanie - (eng. diamond

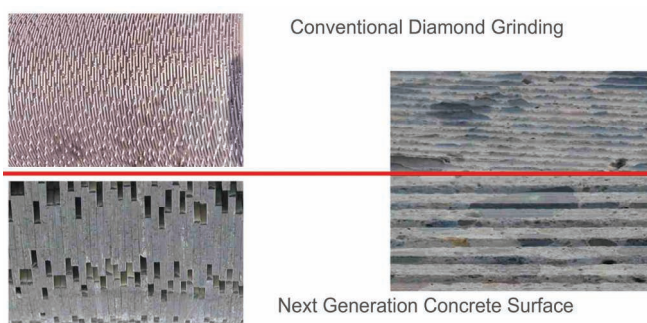
grinding, skrótnie CDG),

- odkryte kruszywo - (eng. exposed aggregate skrótnie EA),

Ponadto uwzględniając kierunek nadawania tekstur konwencjonalnych dla nawierzchni PCC można wyróżnić kierunki: transverse - poprzecznie lub longitudinal- podłużnie.

W (2010) Cable [12] opublikował raport sporządzony dla National Concrete Pavement Technology Center (USA), w którym przedstawił plan wdrażania nowej technologii teksturowania nawierzchni betonowych – New Generation Concrete Surfaces (NGCS). Autor nadmienił, iż teksturowanie (GaG NGCS) ze względu na swą innowacyjność wymaga przeprowadzenia gruntownych badań hałasowych w warunkach in-situ. W raporcie przedstawiono trzy odcinki testowe (każdy po 2 km), które zostaną przebadane pod kątem poziomu rejestrowanego hałasu metodą OBSI oraz parametrów tekstury. Pierwszy odcinek wykonany został w technologii GaG NGCS (longitudinal grinding: spacing 0.8mm; wide: 0.3mm oraz longitudinal grooving: spacing 12.7mm; wide: 3.2mm; depth: 3.2mm). Drugi jako złożenie konwencjonalnego grindingu i groovingu. Trzeci – grinding konwencjonalny. Parametry teksturowania odcinków w technologiach konwencjonalnych były identyczne jak dla NGCS. Niniejszy raport był wstępem do poważniejszych dalszych analiz hałasowych wykonywanych w stanie lowa (USA), skupiającym uwagę na procesach technologicznych nadawania teksturowania GaG dla nowych nawierzchni NGCS.

Kolejno (2011) Anderson i inni [22] opublikowali raport dla Washington Departament of Transportation (WDT), w którym przedstawiono wyniki badań poziomu hałasu opona-nawierzchnia



1. IPA (2011) - różnice pomiędzy CDG vs NGCS (operacja grindingu) [23]

Table 9. Post-construction		noise data.	
Section	Lane		Noise (dBA)
NGCS	EB1		101.6
NGCS	EB2		99.6
CDG	EB1		104.4
CDG	EB2		103.0

2. Anderson (2011) - OBSI noise level compared between transverse tining (old concrete), NGCS, CDG concrete paves [22]

generowanego w nowych nawierzchniach betonowych NGCS, dla odcinków testowych w miejscowości Sunnyside (USA). W raporcie porównano dwa odcinki badawcze o długości 200m każdy nawierzchni NGCS (GaG NGCS) i PCC (teksturowanej poprzez metodę conventional diamond grinding (CDG)). W pracy nie przedstawiono dokładnych parametrów teksturowania porównywanych nawierzchni betonowych PCC i NGCS. Autorzy wykazali, iż nawierzchnie NGCS pozwalają obniżyć poziom hałasu nawet od 2-4 dB w stosunku do tradycyjnych nawierzchni PCC (CDG) - Rys. 2.

W (2012) roku Scofield [24] omówił w raporcie dla American Concrete Pavement Association kierunek rozwoju technologii cichszych nawierzchni betonowych NGCS przedstawiając wyniki poziomu hałasu (OBSI) nawierzchni betonowych PCC i NGCS wykonanych w Minnesocie (USA). Porównywano ze sobą poziomy zarejestrowanego hałasu dla technologii teksturowania: GaG NGCS, conventional diamond grinding (CDG) oraz exposed aggregate (EA). Parametry teksturowania badanych nawierzchni w raporcie nie wyszczególniono. W raporcie wykazano, że w zależności od dokładności wykonania i dalej czasu eksploatacji nawierzchnie NGCS charakteryzują się zbliżonym i niskim poziomem hałasu w stosunku do nawierzchni PCC teksturowanych CDG i EA. Poziom zarejestrowanego hałasu wahał się od 99.6 – 103 dB i był związany z dokładnością wykonanej tekstury i jej powtarzalnością.

W raporcie podkreślono, że technologię cichych nawierzchni betonowych NGCS należy rozwijać w szczególności w zakresie dobierania odpowiedniego rozstawu układu tarcz i dystansów wpływających bezpośrednio na uzyskiwaną teksturę, gdyż spersonalizowana

konfiguracja może spowodować uzyskanie jeszcze cichszych nawierzchni betonowych.

nie (2012) Guada i inni [25] opublikowali raport przygotowany dla California Department of Transportation, który miał na celu przedstawić plan badawczy oraz zakres prac celem wykonania analiz porównawczych. Plan badawczy obejmował porównanie nawierzchni betonowych wykonanych w technologii grinding and grooving (GaG NGCS) oraz conventional diamond grinding (CDG) – nawierzchnie PCC. W raporcie określono również wpływ zastosowania technologii teksturowania grinding and grooving (GnG NGCS) na zmianę parametrów użytkowych eksploatowanych nawierzchni CDG, które po remoncie stały się nawierzchniami NGCS. W pracy nie wyszczególniono dokładnych parametrów teksturowania oraz budowy konstrukcji rozpatrywanych odcinków badawczych. Raport wykazał m.in., iż zastosowanie technologii (GaG NGCS) na istniejących nawierzchniach z teksturowaniem CDG pozwala obniżyć poziom generowanego hałasu średnio o 1.5 dB. Ustalono również, iż teksturowanie metodą (GnG NGCS) jest od 2 do 3 razy bardziej efektywne w redukcji poziomu hałasu od metody CDG. Ponadto, stosowanie teksturowania (GnG NGCS) pozwala zmniejszyć hałas nawet o 4.5 dB, a metodą CDG o max. 2 dB wykonując zabiegi utrzymaniowe (ponowne teksturowanie) na istniejących, zdegradowanych powierzchniowo nawierzchniach betonowych.

Dalej (2013) Anderson i inni [26] wykonali raport dla WDT, w którym analizowali tekstury nawierzchni be-

tonowych PCC i NGCS. Badano takie przypadki tekstury: burlap dragging, tining (podłużnie, poprzecznie), diamond grinding (CDG) oraz grinding and grooving (GaG NGCS). W raporcie nie wyszczególniono konkretnych informacji dotyczących konfiguracji teksturowania. Badania prowadzono przy prędkości 60 km/h. W analizach starano się uwzględnić również wpływ czasu na zmiany poziomu hałasu (okres pomiędzy pomiarami znajdował się w zakresie (15-78 msc). Autorzy raportu udowodnili, iż nawierzchnie NGCS poddane grindingowi i groovingowi są cichsze od pozostałych tekstur nawierzchni PCC nawet o 8 dB (najgorzej wypadła technika transverse tining). Ponadto w raporcie wykazano, iż największy przyrost hałasu w czasie eksploatacji odnotowano dla nawierzchni NGCS w czasie 29 msc i wynosił on aż 3.8 dB. Dla nawierzchni PCC poddanych samemu diamond grindingowi okazało się, iż w czasie 15 msc eksploatacji, poziom dźwięku obniżył się o 1.5 dB.

W (2014) Anderson i inni [21] opublikowali raport napisany dla Washington Departament of Transportation, będący kontynuacją badań wykonanych w 2010 na odcinkach testowych Sunnyside (USA) [22]. W raporcie porównano dwa odcinki badawcze o długości 200m każdy nawierzchni NGCS i PCC (teksturowanej poprzez metodę conventional diamond grinding (CDG)). Autorzy analizowali zmianę poziomu hałaśliwości nawierzchni betonowych w czasie (2010 - 2013 roku). W pracy nie wykazano dokładnych parametrów teksturowania porównywanych nawierzchni betonowych PCC i NGCS.

Table 9.3. Summary of differences in on-board sound intensity (OBSI) between projects constructed using conventional diamond grinding and NGCS

Agency	OBSI difference at time of construction, dBA*	Most recent OBSI-tested difference, dBA*(age when tested)
Arizona	-2.9	-1.6 (1 year)
California	?	-2 (≤4 years)
Illinois	-0.2	+0.4 (7 years)
Iowa	-1.3	-0.5 (1 year)
Kansas	-2.3	-0.3 (6 years)
Minnesota	-4.2	-0.8 (6 years)
Virginia	-3	+2.4 (2 years)
Average Difference	-2.3	-1.4

* Negative value indicates NGCS measured as quieter than its conventionally diamond-ground counterpart

Table 9. Noise data for the NGCS and CDG sections.

Section	Lane	November 2010 (dBA)	March 2011 (dBA)	June 2011 (dBA)	October 2011 (dBA)	April 2012 (dBA)	April 2013 (dBA)
NGCS	1	101.6	103.4	105.8	105.9	107.7	105.2
NGCS	2	99.6	102.9	101.8	102.4	104.1	103.6
CDG	1	104.4	105.0	104.6	106.3	105.2	105.4
CDG	2	103.0	103.6	103.3	104.0	104.0	103.6

Note: Lane 1 is the travel lane, lane 2 the passing lane. Colors for the lanes are the same in the bar charts that follow.

3. Anderson (2014) - wyniki zmian poziomu hałaśliwości nawierzchni NGCS i CDG w okresie 2010-2013 [21]

4. Smith (2022) nawierzchnie betonowe NGCS zmiana hałaśliwości w czasie (doświadczenia stanowe) [30]

Autorzy wykazali, iż w ciągu trzech lat eksploatacji odcinków testowych nawierzchnie NGCS wykazują większą degradację akustyczną (hałas) względem nawierzchni teksturowanych metodą CDG. Przyrost poziomu hałasu wyniósł odpowiednio 3.8 (dB) NGCS, 0.8 (dB). Zauważono, że nawierzchnie NGCS pomimo, że w początkowej fazie eksploatacji są cichsze to jednak ostatecznie stają się porównywalnie głośnie jak nawierzchnie w technologii CDG. Na podstawie zaobserwowanych trendów zmian hałaśliwości (Rys. 3) stwierdzono, iż nawierzchnie NGCS wymagają częstszych zabiegów odświeżających, gdyż są bardziej podatne na degradację akustyczną.

Następnie (2016), Weissmann i inni [27] opublikowali raport wykonany dla Texas Department of Transportation, celem którego była ogólna ocena wpływu zmiany tekstury nawierzchni (PCC, transverse tining zmieniono teksturę dla nawierzchni NGCS ale w technice NGDG - Next Generation Diamond Grinding) na poziom hałasu. Badania dotyczyły kilometrowego odcinka drogi prowincjonalnej zlokalizowanej w Harris County (USA). Do oceny zmian wykorzystano wcześniejsze pomiary oraz te wykonane tuż po zastosowaniu nowego teksturowania (NGDG). W raporcie nie określono parametrów teksturowania odcinka badawczego. Autorzy wykazali, iż zmiana wyeksploatowanej tekstury pozwoliła obniżyć hałas opona-nawierzchnia średnio o 75 % natomiast.

Kolejno (2020) oraz (2024) Scofield opublikował prace [13,28], w których w podobny sposób przedstawił osiągnięcia w zakresie stosowania nowych cichszych nawierzchni betonowych NGCS. W materiałach zwrócono uwagę badania poziomu hałasu, z których wynika, iż wykorzystanie metody teksturowania grinding and grooving (NGCS) pozwala zredukować poziom hałasu istniejących nawierzchni PCC (transverse tining) nawet o 6.5 dB. Wskazano również, iż nawierzchnie NGCS pozwalają osiągnąć hałas na poziomie średnio 99 dB, który w czasie eksploatacji zwiększa się średnio do 103 dB (degradacja akustyczna poprzez zmiany struktury wynikające z eksploatacji).

Następnie (2022) Mikhailenko i inni

[29], opublikowali pracę o charakterze przeglądowym, w którym zestawili różne konstrukcje (asfaltowe i betonowe) wykonane w odmiennych technikach teksturowania. Uwagę poświęcono wpływowi tekstury na poziom hałasu drogowego. Zauważono, iż w pracach innych naukowców pojawiły się pierwsze publikacje w Europie dotyczące badań porównawczych poziomu hałasu nawierzchni NGCS (New Generation Concrete Surface) z nawierzchniami PCC (diamond grooving) i PCC EA (exposed aggregate). Na podstawie wykonanej analizy literatury ustalono, iż nawierzchnie betonowe NGCS są do 5 dB cichsze od konwencjonalnych PCC (w tym z exposed aggregate) i 1.5 – 2 dB cichsze od nawierzchni bitumicznych wykonanych z mieszanki SMA 9.5.

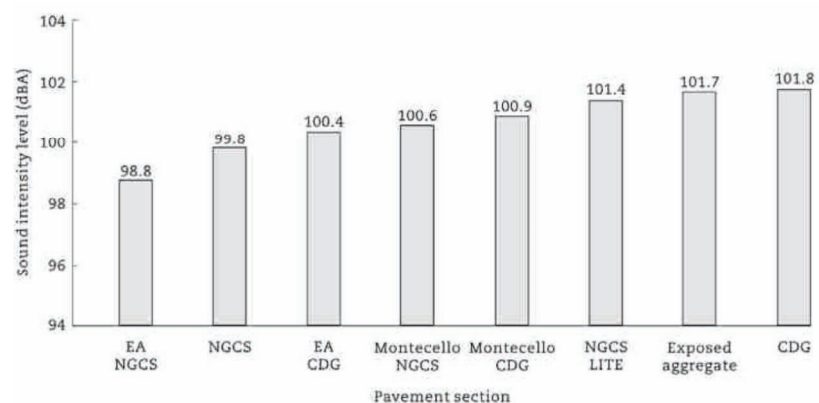
Następnie (2022) Smith i inni [30] opublikowali raport przygotowany dla National Concrete Pavement Technology Center, w którym szczególną uwagę zwrócono na wpływ zastosowania takich technik teksturowania jak: conventional diamond grinding (CDG) i grinding and grooving (GaG NGCS) na poziom hałasu opona-nawierzchnia. Autorzy przedstawili doświadczenia stanowe wykazujące, iż stosowanie nawierzchni NGCS pozwala długoterminowo (1-7lat) obniżyć hałas - średnio o 2.3 dB. W pracy podkreślono, że przy pomiarach bardzo często obserwuje się fluktuacje, które związane są z błędami wykonawczymi i czynnikami zewnętrznymi. Nie podano konkretnych parametrów dla metod teksturowania przy badanych odcinkach. Przykład rezultatów przedstawiono na Rys. 4.

Następnie Leng i inni [14] (2023) opublikowali pracę, w której zestawili pomiary wpływu teksturowania w na-

wierzchniach NGCS (różne konfiguracje rozstawu tarcz i nacinania dla grinding i groovingu) oraz PCC (grinding CDG i exposed aggregate - EA) na poziom hałasu. Badania wykonano w Niemczech na drogach z betonu cementowego w Bawarii.

Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, iż nawierzchnie NGCS charakteryzują się nawet o 3.5 dB niższym poziomem dźwięku niż nawierzchnie PCC o teksturowaniu metodą exposed aggregate czy grinding (CDG). Najlepsze rezultaty uzyskuje się, gdy na nawierzchnie z teksturą exposed aggregate wdroży się technologie nawierzchni (GaG NGCS). Wówczas poziom rejestrowanego hałasu może spaść nawet do 98.8 dB (Rys. 5). W pracy zasugerowano, iż nawierzchnie NGCS zaleca się stosować w szczególności w dużych miastach oraz tunelach, gdzie poziom rejestrowanego hałasu należy do wysokich. Problemem tych nawierzchni jest jednak koszt ich wykonania. Mimo wszystko autorzy podkreślili, iż obecnie (2023) jest bardzo niewiele badań dotyczących testów tekstury nowych nawierzchni betonowych (NGCS) ze względu na hałas - w szczególności z uwzględnieniem innych kombinacji szlif i nacięć grinding and grooving.

W 2024 roku Lee i inni [31], przeprowadzili rozszerzone badania nawierzchni betonowych (PCC, NGCS) w Korei Południowej ze względu na hałas (częstotliwości przy których poziom dźwięku jest najwyższy) i sposób teksturowania nawierzchni betonowych. W artykule badano takie techniki teksturowania jak: tining (podłużnie, poprzecznie), grinding and grooving (GaG NGCS), grinding (CDG). Nie wyszczególniono dokładnych parametrów kon-



5. Leng (2023) hałaśliwość nawierzchni NGCS, EA, CDG [14]

figuracji teksturowania. Na podstawie pozyskanych rezultatów badań hałasowych ustalono, iż nawierzchnie betonowe NGCS są cichsze od nawierzchni teksturowanych CDG czy tinining względnie o 14 dB. W pracy udowodniono również, iż dla częstotliwości 800-1150 [Hz] uzyskuje się najwyższe poziomy hałasu w nawierzchniach.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie wykonanego przeglądu, można stwierdzić, iż hałaśliwość nowych nawierzchni NGCS (GaG NGCS) jest przez wielu badaczy cały czas gruntownie analizowana. Pomimo, że tematyka w tym wąskim zakresie (nawierzchnie NGCS, metoda badania hałasowego - OBSI) jest przedmiotem rozważań od co najmniej 2010 roku obserwuje się jej ciągłą aktualność - w zakresie dalszego rozwoju zrozumienia i oceny zjawisk postawiania hałasu ze względu na teksturę w innowacyjnych nawierzchniach NGCS. Obecnie wyróżnia się niewiele opracowań poświęconych temu zagadnieniu. Przyczyną może być bardzo wysoki koszt nabycia maszyn i wykonania zabiegów teksturujących, które sprawiają, że technologia staje się unikatowa. Mimo wszystko ze względu na potencjał teksturowania (GaG NGCS) wielu autorów wykazywało potrzebę wykonania złożonych badań w zakresie stosowania tej metody teksturowania (GaG NGCS) i jej wpływu na hałas (w szczególności wpływu tekstury na trwałość akustyczną).

Istotniejsze obserwacje jakie można wyszczególnić z tego artykułu to:

- nawierzchnie betonowe NGCS charakteryzują się niższym poziomem hałasu od konwencjonalnych nawierzchni PCC (średnio o około 5 dB). Dzięki zastosowaniu grinding and grooving NGCS można uzyskać teksturę o hałaśliwości w zakresie 99.6 – 103 dB (znacznie mniej niż dla konwencjonalnych nawierzchni PCC gdzie zakres hałaśliwości może wynosić aż 100-115 dB),
- stosowanie nawierzchni NGCS pozwala czasowo (średnio kilka lat) skutecznie obniżać hałas - średnio o 2.3 dB (względem nawierzchni konwencjonalnych PCC CDG),

- zmiana wyeksploatowanej dowolnej tekstury PCC na teksturę NGCS pozwala obniżyć hałas opona-nawierzchnia względnie nawet o 75 %,
- nawierzchnie NGCS ulegają szybkiej degradacji akustycznej zbliżając się w dłuższym okresie czasu poziomem hałaśliwości do nawierzchni PCC o teksturowaniu CDG. Wymagana jest w tym kierunku wnikliwsza analiza problemowa.
- personalizowanie układu tarcz i dystansów głowic teksturujących dla nawierzchni NGCS może pozwolić efektywniej obniżać hałas drogowy.

W związku z powyższym pożądanym jest dalej zgłębiać zjawisko powstawania hałasu w celu jego lepszego zrozumienia dla nawierzchni nowych generacji NGCS - zwłaszcza dla ściśle zdefiniowanych konfiguracji teksturowania (rozstawy tarcz, głębokości nacięć, kształty nacięć). Zgłębienie tej tematyki z pewnością pomoże w przyszłości opracować lepsze rozwiązania wykonawcze w tematyce cichych nawierzchni betonowych.

Artykuł powstał w ramach realizacji grantu badawczego „Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania” realizowanego w ramach programu RID II – Rozwój Innowacji Drogowych. Nr umowy 01RD/0001/23. Projekt realizowany w ramach wspólnego przedsięwzięcia RID, finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad”. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Singh, D.; Kumari, N.; Sharma, P. A Review of Adverse Effects of Road Traffic Noise on Human Health. *Fluct. Noise Lett.* 2018, 17, 1830001, doi:10.1142/S021947751830001X.
- [2] Wrótny, M.; Bohatkiewicz, J. Traffic Noise and Inhabitant Health—A Comparison of Road and Rail Noise. *Sustainability* 2021, 13, 7340, doi:10.3390/su13137340.
- [3] Montes González, D.; Barrigón Morillas, J.M.; Rey-Gozalo, G. Effects of noise on pedestrians in urban environments where road traffic is

the main source of sound. *Sci. Total Environ.* 2023, 857, 159406, doi:10.1016/j.scitotenv.2022.159406.

- [4] Arregi, A.; Vegas, O.; Lertxundi, A.; Silva, A.; Ferreira, I.; Bereziartua, A.; Cruz, M.T.; Lertxundi, N. Road traffic noise exposure and its impact on health: evidence from animal and human studies-chronic stress, inflammation, and oxidative stress as key components of the complex downstream pathway underlying noise-induced non-auditory health effects. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2024, 31, 46820–46839, doi:10.1007/s11356-024-33973-9.
- [5] P. G. Abbott; P. A. Morgan; B. McKell. A review of current research on road surface noise reduction techniques PPR443, Scotland, United Kingdom, 2010. Available online: https://www.researchgate.net/profile/Phil-Abbott-3/publication/369182337_A_REVIEW_OF_CURRENT_RESEARCH_ON_ROAD_SURFACE_NOISE_REDUCTION_TECHNIQUES/links/640e29b0315dfb4cce7255ef/A-REVIEW-OF-CURRENT-RESEARCH-ON-ROAD-SURFACE-NOISE-REDUCTION-TECHNIQUES.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uLiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uLn19 (dostęp: 2025).
- [6] Ohiduzzaman, M.D.; Sirin, O.; Kassem, E.; Rochat, J. State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 1: Traffic Noise Measurement and Abatement Techniques. *Sustainability* 2016, 8, 742, doi:10.3390/su8080742.
- [7] Sirin, O. State-of-the-Art Review on Sustainable Design and Construction of Quieter Pavements—Part 2: Factors Affecting Tire-Pavement Noise and Prediction Models. *Sustainability* 2016, 8, 692, doi:10.3390/su8070692.
- [8] National Research Council. Hearing Loss: Determining Eligibility for Social Security Benefits; The National Academies Press: Washington, DC, 2005, ISBN 978-0-309-09296-8.
- [9] Bendtsen, H.; Kohler, E.; Lu, Q.; Rymer, B. Temperature influence on noise measurements No. 175, Edin-

- burgh, 2009 (dostęp: 2025).
- [10] Pardo-Jadue, J.; Dragicevic, C.D.; Bowen, M.; Delano, P.H. On the Origin of the 1,000 Hz Peak in the Spectrum of the Human Tympanic Electrical Noise. *Front. Neurosci.* 2017, 11, 395, doi:10.3389/fnins.2017.00395.
- [11] Zofka, A.; Mechowski, T.; Graczyk, M.; Sudyka, J.; Harasim, P. Przegląd literatury na temat metod pomiaru hałaśliwości nawierzchni, Warszawa, 2018 (dostęp: 2025).
- [12] Cable, J. Next Generation Grooving and Grinding Iowa Test Site Construction - Surface Characteristics, USA, 2010. Available online: <https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2018/03/surface-grinding-report-web.pdf> (dostęp: 2025).
- [13] Scofield, L. A look back at the NGCS surfaces (2007-2024): Indiana Workshop 22.02.24, USA, 2024. Available online: <https://indianaconcretepavement.com/wp-content/uploads/2024/07/A-Look-Back-at-NGCS-Indiana-Workshop-2-22-24.pdf> (dostęp: 2025).
- [14] Leng, Z.; Fan, Z.; Liu, P.; Kollmann, J.; Oeser, M.; Wang, D.; Jiang, X. Texturing and evaluation of concrete pavement surface: A state-of-the-art review. *Journal of Road Engineering* 2023, 3, 252–265, doi:10.1016/j.jreng.2023.08.001.
- [15] Rasmussen, R.; Wiegand, P.; Fick, G.; Harrington, D. How to Reduce Tire-Pavement Noise: Better Practices for Constructing and Texturing Concrete Pavement Surfaces DTFH61-06-H-00011, USA, 2012. Available online: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2018/08/How_to_Reduce_Tire-Pavement_Noise_final.pdf (dostęp: 2025).
- [16] Michałek Andrzej. Uszorstnienie nawierzchni w technologii śrutowania, Warszawa, 2021. Available online: <https://nbi.com.pl/archiwum-nbi/uszorstnienie-nawierzchni-w-technologie-śrutowania/> (dostęp: 2025).
- [17] Wegarten. Nawierzchnie betonowe nowej generacji. Available online: https://www.wegartenconstruction.com/media/broszura_ngcs.pdf (dostęp: 2025).
- [18] Federal Highway Administration. Concrete Pavement Texturing - Tech Brief, Washington D.C., 2019. Available online: <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/pubs/hif17011.pdf> (dostęp: 2024).
- [19] Witczak Sebastian; Konopska-Piechurska Małgorzata; Jackiewicz-Rek Wioletta. Badania właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni betonowych oraz metody poprawy tych właściwości. *Budownictwo Technologie Architektura* 2017, 2017, 48–51.
- [20] Michalski, W. Metody nadawania tekstury nawierzchniom betonowym. *Drogownictwo* 2016, 2016, 126–134.
- [21] Anderson, K.; Uhlmeier, J.; Sexton, T.; Russell, M.; Weston, J. Evaluation of Long-Term Pavement Performance and Noise Characteristics of the Next Generation Concrete Surface: Final report WA-RD 767.2, USA, 2014. Available online: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/767.2.pdf> (dostęp: 2025).
- [22] Anderson, K.; Uhlmeier, J.; Russell, M. Evaluation of Long-Term Pavement Performance and Noise Characteristics of the Next Generation Concrete Surface WA-RD 767.1, USA, 2011. Available online: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/767.1.pdf> (dostęp: 2025).
- [23] IPA. Diamond Grinding and Grooving NGCS vs Conventional texturing methods, USA, 2011. Available online: https://www.concretestate.org/uploads/1/1/8/9/118914016/session_6_diamond_grinding_and_grooving.pdf (dostęp: 2025).
- [24] Scofield, L. Development and Implementation of the Next Generation Concrete Surface, USA, 2012. Available online: <https://1204075.sites.myregisteredsite.com/NGC-Sinfo/NGCS%20%20Development%20and%20Implrmentation%201-12-12.pdf> (dostęp: 2025).
- [25] Guada, I.; Rezaei, A.; Harvey, J.; Spinner David. Evaluation of Grind and Groove (Next Generation Concrete Surface) Pilot Projects in California UCPRC-RR-2013-01, USA, 2012. Available online: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/814.1.pdf> (dostęp: 2025).
- [26] Anderson, K.; Sexton, T.; Uhlmeier, J.; Russell, M.; Weston, J. Concrete Pavement Noise: I-90 Spokane, I-90 Easton, I-5 Federal Way, I-82 Sunnyside, and I-5 Northgate WA-RD 814.1, USA, 2013. Available online: <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/814.1.pdf> (dostęp: 2025).
- [27] Weissmann, A.; Weissmann, J.; Papagiannakis, A.T. Noise Abatement and Performance Evaluation of a Next-Generation Diamond Grinding Test Section in Harris County FHWA/TX-12/ 5-9046-03, USA, 2016. Available online: https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/54868/dot_54868_DS1.pdf (dostęp: 2025).
- [28] Scofield, L. Development and Deployment of the Next Generation Concrete Surface: Map brief, USA, 2020. Available online: www.cpro-admap.org (dostęp: 2025).
- [29] Mikhailenko, P.; Piao, Z.; Kakar, M.R.; Bueno, M.; Athari, S.; Pieren, R.; Heutschi, K.; Poulikakos, L. Low-Noise pavement technologies and evaluation techniques: a literature review. *International Journal of Pavement Engineering* 2022, 23, 1911–1934, doi:10.1080/10298436.2020.1830091.
- [30] Smith, K.; Grogg, M.; Ram, P.; Smith, K.; Harrington, D. Concrete Pavement Preservation Guide (Third Edition), USA, 2022. Available online: https://www.intrans.iastate.edu/wp-content/uploads/2022/08/concrete_pvmt_preservation_guide_3rd_edition_web.pdf (dostęp: 2025).
- [31] Lee, J.K.; Kim, B.K.; Choi, H.; Chang, S.I. Road-pavement classification by artificial neural network model based on tire-pavement noise and road-surface image. *Applied Acoustics* 2024, 225, 110194, doi:10.1016/j.apacoust.2024.110194.

Analiza wpływu technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane cechy eksploatacyjne

Analysis of the impact of concrete pavement construction technology on selected operational characteristics

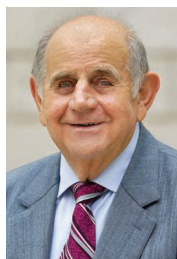


Piotr Mackiewicz

Dr hab. inż., Prof. PWR

Politechnika Wrocławska, Katedra
Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk

piotr.mackiewicz@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0002-3170-6415



Antoni Szydło

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra
Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk

antoni.szydlo@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0002-3363-9391

Streszczenie: Na przykładzie ulicy Fieldorfa we Wrocławiu przeanalizowano wpływ rodzaju technologii wykonania nawierzchni betonowych na wybrane jej cechy eksploatacyjne. Przedmiotowa ulica wykonywana była w dwóch odcinkach. Pierwszy odcinek wykonany był w technologii gospodarczej bez użycia maszyn dedykowanych do układania nawierzchni betonowych. Drugi odcinek wykonany został z użyciem specjalnych rozkładarek do nawierzchni betonowych. Na podstawie pomiarów równości wskaźnika równości podłużnej IRI, wskaźnika makrotekstury MPD oraz współczynnika tarcia, stwierdzono, że pomiędzy odcinkami istnieje zróżnicowanie wyników, jednak znaczące dla wskaźnika równości.

Słowa kluczowe: Tekstura; Równość; Nawierzchnie betonowe, OBSI, IRI, MPD

Abstract: Using Fieldorfa Street in Wrocław as an example, the impact of concrete pavement construction technology on selected performance characteristics was analyzed. The street in question was constructed in two sections. The first section was constructed using commercial technology without the use of dedicated concrete paving machines. The second section was constructed using specialized concrete pavers. Based on measurements of the longitudinal evenness index (IRI), the macrotexture index (MPD), and the coefficient of friction, it was found that there was variation in results between the sections, but significant variation in the evenness index.

Keywords: Texture; Roughness; Concrete Pavement, OBSI, IRI, MPD

Wprowadzenie

Nawierzchnie betonowe swój „drugi” rozwój osiągnęły przy budowie dróg ekspresowych i autostrad. W 1995 roku na autostradzie A4 wybudowano odcinki dla ruchu o wyższej kategorii ruchu oraz dużego natężenia. W dalszej perspektywie wybudowano odcinek na A2 (2012 rok), a następnie drogę S8 (2015 rok). Ponadto zrealizowano dwa odcinki w technologii bezdylatacyjnej na A2 (2012 rok) i A4 (2004 rok). Zna- ne są też starsze odcinki o nawierzchni betonowej jak np. DK50 z 2002 roku oraz autostrada A18 z lat czterdziestych ubiegłego wieku. Aktualnie buduje się nawierzchnie poza terenem zabudowy dla dróg krajowych oraz także gmin- nych w tym w miastach. Jedną z takich ulic jest ul. Fieldorfa we Wrocławiu.

Kluczowym problemem przy budowie nawierzchni betonowych jest uzyskanie właściwych cech eksploatacyjnych

związanych z odpowiednim wykończe- niem górnej powierzchni płyty beto- nowej. Do kluczowych należą równość oraz cechy przeciwpoślizgowe. Aktu- alnie w ramach wielu projektów i prac badawczych analizowano zależności pomiędzy cechami eksploatacyjnymi i hałaśliwością nawierzchni [5], [7], [8], [10], [3], [2], [6].

Charakterystyka odcinka badawczego

Ulica Fieldorfa zlokalizowana jest w pół- nocnej części miasta Wrocławia (rys. 1). Łączy się od południa ulicą Kosmonau- tów skrzyżowaniem skanalizowanym oraz od północy z ulicą Wojnarowską w postaci ronda. Długość ulicy wynosi około 1 000 m.

Na przedmiotowej ulicy wyróżnio- no dwa odcinki pomiarowe 1 i 2, które były wykonywane w dwóch etapach. Pierwszy odcinek od ulicy Kosmonau-

tów o długości ok. 500 m wykonany był w technologii gospodarczej bez użycia maszyn do układania. Na odcinku tym występują znaczne nierówności. Drugi odcinek wykonany został z użyciem rozkładarek. Odcinek ten jest w znacz- nie lepszym stanie technicznym. Na rys. 2, 3, 4 zaprezentowano stan nawierzch- ni tych odcinków.

Odcinek pierwszy od ul. Kosmo- nautów 500 m oddano do eksploatacji



1. Lokalizacja odcinków pomiarowych – ul. Fieldorfa we Wrocławiu

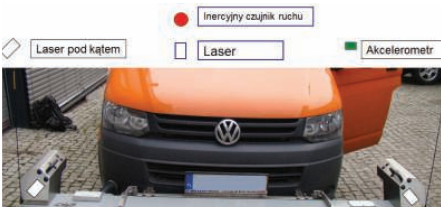


2. Widok nawierzchni odcinka pierwszego od ul. Kosmonautów 0+000 do 0+500

3. Widok nawierzchni ul. Fieldorfa odcinek drugi 0+500 do 1+000 (rondo)



4. Połączenie odcinka pierwszego i drugiego



5. Profilograf laserowy wykorzystany w pomiarach

w 2013 roku.

Dla tego odcinka (1) wykonano konstrukcję:

- płyty betonowe C35/45 dyblowane i kotwione, grubości 25 cm, beton układany ręcznie i zagęszczany listwami wibracyjnymi, dyble i kotwy na podpórkach.
- geowłóknina,
- chudy beton C8/10, grubości 18 cm, układany ręcznie,
- stabilizacja cementem, grubość 15 cm.
- warstwa mrozoochronna, grubość 15 cm.

Odcinek drugi od 0+500 do 1+000 (rondo), oddano do eksploatacji w 2017

roku. Dla tego odcinka (2) wykonano konstrukcję:

- płyty betonowe C35/45 dyblowane i kotwione, grubości 23 cm, beton układany maszynowo, dyble i kotwy wwibrowywane,
- beton asfaltowy, grubości 8 cm,
- stabilizacja cementem, grubości 18 cm,
- warstwa mrozoochronna, grubości 15 cm.

Należy zauważyć, że poza zróżnicowaną technologią układania, obie nawierzchnie różnią się grubościami płyty betonowej oraz rodzajami kolejnych warstw. Wstępna analiza wskazuje, że odcinek drugi może posiadać większą podatność odkształceniową od obciążenia. Jednakże należy zauważyć, że w obu konstrukcjach zastosowano wysoką klasę betonu oraz uwzględniono dyblowanie i kotwienie zapewniające właściwą współpracę płyt betonowych. Konstrukcje mogą odpowiadać nośności KR3/KR4.

Wyniki pomiarów cech powierzchniowych

Uwzględniając wymagania i zalecenia badań [1], [9], [11] z wykorzystaniem profilografu laserowego (rys. 5) przeprowadzono pomiary parametru IRI (International Roughness Index) oraz tekstury wyrażanej wskaźnikiem MPD (średnia głębokość profilu, Mean Profile Depth). Dodatkowo analizie poddano parametry przeciwpoślizgowe badając współczynnik tarcia. Parametry te stosowane są także w systemie DSN [4] służącym do oceny stanu nawierzchni w Polsce [4].

Ocenę równości podłużnej wykona-

no w śladzie prawego koła, zgodnie z projektowanym kierunkiem jazdy. Wartość wskaźnika IRI wyznaczano z krokiem co 50 m. Analizowano odcinki o długościach po 500 m.

Na rys. 6 i 7 zaprezentowano wyniki pomiarów wskaźnika IRI.

Uzyskano następujące wyniki wskaźnika IRI:

Kierunek do ronda:

Odcinek 1

IRI_{max} = 6.6 mm/m

IRI_{śr} = 3.9 mm/m

Odcinek 2

IRI_{max} = 1.9 mm/m

IRI_{śr} = 1.2 mm/m

Kierunek do ul. Kosmonautów:

Odcinek 1

IRI_{max} = 5.1 mm/m

IRI_{śr} = 3.9 mm/m

Odcinek 2

IRI_{max} = 1.8 mm/m

IRI_{śr} = 1.2 mm/m

Na podstawie pomiarów wskaźnika równości podłużnej stwierdzono, że dla odcinka 1 uzyskano wyższe wartości wskaźnika zarówno maksymalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu (kierunku jazdy). Są to wartości około trzy razy większe niż dla odcinka 2.

Badania tekstury przeprowadzono z krokiem co 100 mm. Dla wybranego pasa ruchu i odcinka drogi określono wartość średnią dla odcinków o długości 50 m oraz po 500 m.

W dalszym etapie w celu przeprowadzenia oceny klasyfikacji badanych odcinków wg na podstawie wskaźnika

MPD wyznaczono wskaźnik MTD stanowiący Średnią Głębokość Tekstury (Mean Texture Depth). Zastosowano zależności:

$$MPD_{60} = MPD_{pom} - 0,002 \cdot (60 - V_{pom})$$

$$MTD \approx ETD = 1,1 \cdot MPD_{60}$$

Na rys. 8 - 11 zaprezentowano wyniki pomiarów wskaźnika MPD. Uzyskano następujące wyniki wskaźnika MTD:

Kierunek do ronda:

Odcinek 1

MTD_{max} = 0.40 mm

MTD_{śr} = 0.27 mm

Odcinek 2

MTD_{max} = 0.23 mm

MTD_{śr} = 0.17 mm

Kierunek do ul. Kosmonautów:

Odcinek 1

MTD_{max} = 0.36 mm

MTD_{śr} = 0.24 mm

Odcinek 2

MTD_{max} = 0.20 mm

MTD_{śr} = 0.15 mm

Na podstawie pomiarów wskaźnika tekstury stwierdzono, że dla odcinka 1 uzyskano wyższe wartości wskaźnika zarówno maksymalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu (kierunku jazdy). Są to wartości około 1.5 raza większe niż dla odcinka 2.

Pomiar cech przeciypoślizgowych, tarcia wykonano się przy prędkości pomiarowej wynoszącej 60 km/h oraz 30 km/h. Wyniki pomiarów uśredniano dla kolejnych odcinków o długości 20 m. Długość ocenianego odcinka nawierzchni wykonano co 100 m. Wyniki pomiarów współczynników tarcia zostały skalibrowane do urządzenia DFT (projekt WR-D 64).

Miarą właściwości przeciypoślizgowych na ocenianym odcinku nawierzchni były: wartość średnia współczynnika tarcia μ_{sr} oraz wartość minimalna współczynnik tarcia μ_{min} .

Na rys. 12 - 15 zaprezentowano wyniki pomiarów tarcia dla ulicy Fieldorfa we

Wrocławiu. Dla analizowanych odcinków ulicy Fieldorfa we Wrocławiu użytkano następujące wartości współczynnika tarcia (sprowadzonych do DFT):

Kierunek do ronda:

Odcinek 1

$\mu_{min} = 0.25$ mm

$\mu_{sr} = 0.31$ mm

Odcinek 2

$\mu_{min} = 0.22$ mm

$\mu_{sr} = 0.26$ mm

Kierunek do ul. Kosmonautów:

Odcinek 1

$\mu_{min} = 0.22$ mm

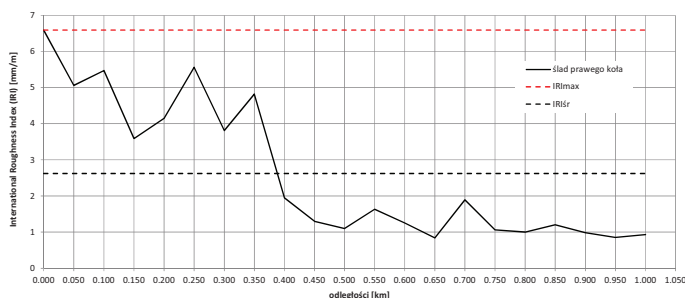
$\mu_{sr} = 0.26$ mm

Odcinek 2

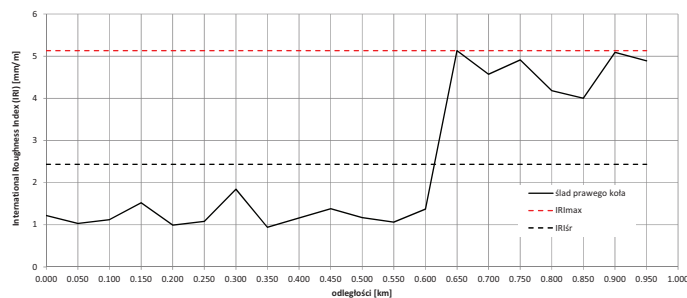
$\mu_{min} = 0.22$ mm

$\mu_{sr} = 0.25$ mm

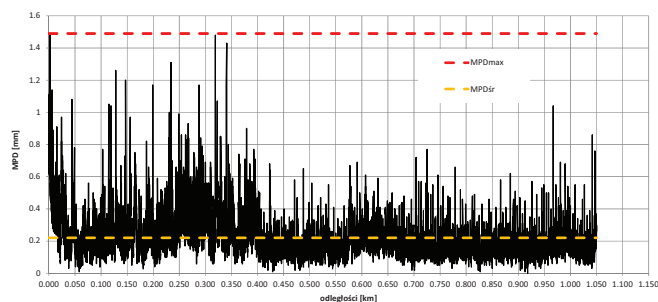
Na podstawie pomiarów współczynnika tarcia stwierdzono, że dla odcinka 1 uzyskano nieznacznie wyższe wartości wskaźnika zarówno minimalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu



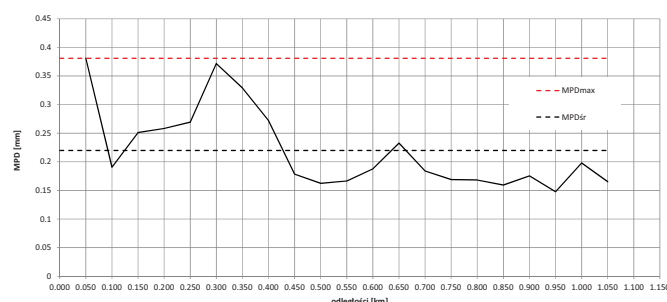
6. Wyniki pomiarów równości wskaźnika IRI (kier. do ronda)



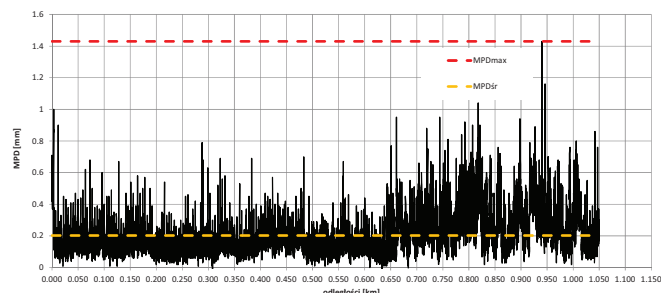
7. Wyniki pomiarów równości wskaźnika IRI (kier. do ul. Kosmonautów)



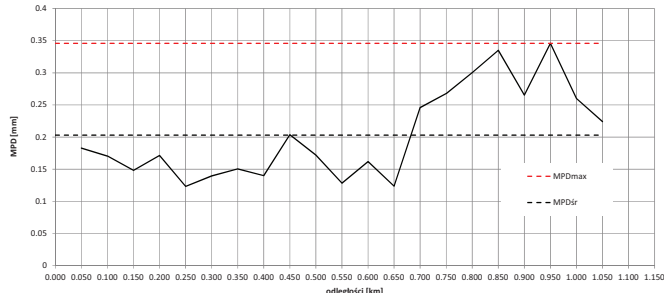
8. Wyniki pomiarów wskaźnika MPD (kier. do ronda, wyniki co 100 mm)



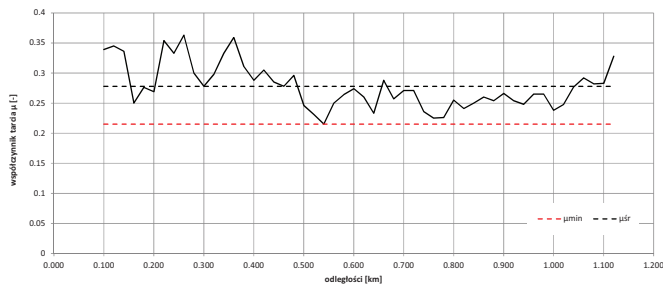
9. Wyniki pomiarów wskaźnika MPD (kier. do ronda, wyniki co 50 m)



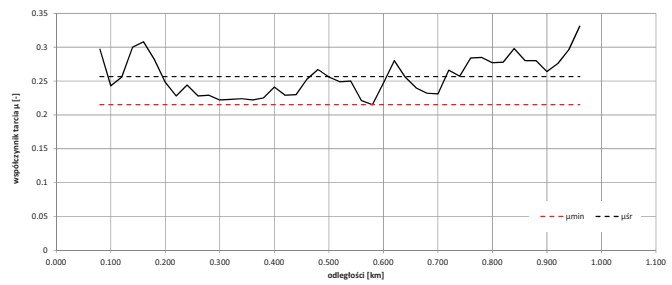
10. Wyniki pomiarów MPD (kier. do ul. Kosmonautów, wyniki co 100 mm)



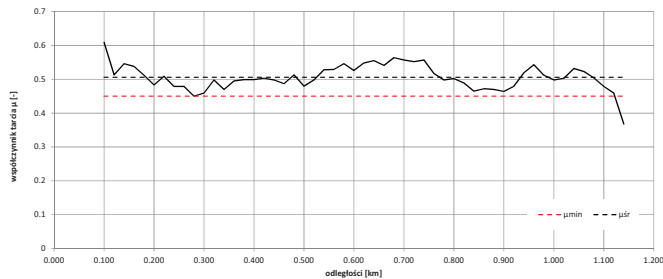
11. Wyniki pomiarów MPD (kier. do ul. Kosmonautów, wyniki co 50 m)



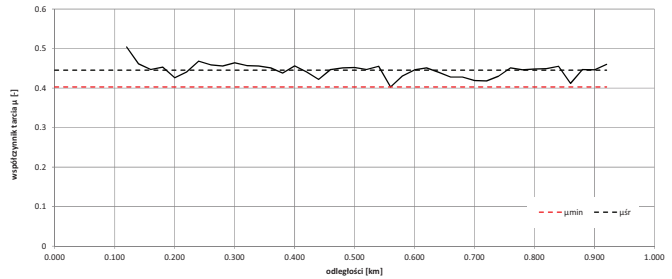
12. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ronda, dla $v = 60$ km/h, co 20 m)



13. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ul. Kosmonautów, dla $v = 60$ km/h, co 20 m)



14. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ronda, dla $v = 30$ km/h, co 20 m)



15. Wyniki pomiarów tarcia (kier. do ul. Kosmonautów, dla $v = 30$ km/h, co 20 m)

(kierunku jazdy). Są to wartości porównywalne różniące się o około 10%.

Podsumowanie

Analiza wyników badań nad parametrami cech eksploatacyjnych nawierzchni ulicy Fieldorfa (równość, tekstura, tarcie) wykazała, że w zależności od technologii wykonania oraz także okresu eksploatacji (różnica 4 lata) istnieje zróżnicowanie w badanych cechach nawierzchni.

Największe zróżnicowanie wyników stwierdzono dla wskaźnika równości podłużnej. Dla odcinka 1 uzyskano wyższe (trzykrotnie) wartości wskaźnika zarówno maksymalnego jak i średniego, niezależnie od pasa ruchu (kierunku jazdy).

Mniejsze zróżnicowanie wykazały pomiary dla tekstury (wyższe 1.5 raza wartości wskaźnika MTD dla odcinka 1 względem odcinka 2) oraz dla tarcia (wyższe o 10% wartości współczynnika tarcia dla odcinka 1 względem odcinka 2).

W przypadku badanej ulicy wykonanej w dwóch technologiach należy zwrócić uwagę, że wykonywanie metodą gospodarczą bez użycia specjalnych maszyn do układania nawierzchni betonowej może istotnie pogarszać równość nawierzchni. Zaskakujące jest jednak to, że dla odcinka w tej technologii uzyskano większy wskaźnik tekstury i nieznacznie większy współczynnik tarcia mimo nawierzchni o 4 lata starszej. Może to być związane ze zwiększo-

ną degradacją powierzchni w wyniku złuszczeń i ubytków kruszywa. Nie wyklucza się w dalszej perspektywie eksploatacji nawierzchni ten efekt będzie niepożądany ze względu na zwiększoną emisję hałasu. W dalszym etapie prac autorzy przeprowadzą analizy związane z hałaśliwością tej nawierzchni.

Artykuł powstał w ramach projektu "Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania, Zadanie 6. Trwałość akustyczna i eksploatacyjna nawierzchni betonowych o różnych technologiach budowy i technikach tekstrowania, RID II, (Ochrona przed hałasem drogowym)", który jest współfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекję Dróg Krajowych i Autostrad. ◀

Materiały źródłowe

- [1] ASTM E 1926 – 08 Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements
- [2] 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
- [3] Development and Implementation of the Next Generation Concrete Surface, IGGA, ACPA, Report, 2016
- [4] Diagnostyka stanu nawierzchni i jej elementów. Wytyczne stosowania,

GDDKiA, Warszawa kwiecień, 2015

- [5] Farnsworth E., Johnson M.: Reduction of Wet Pavement Accidents on Los Angeles Metropolitan Freeways, SAE Technical Paper 710574, 1971
- [6] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Rozwój Innowacji Drogowych, RID Ochrona przed hałasem drogowym. Zadanie 3. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni betonowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości. 2017
- [7] Hibbs O., Larson R.: Tire Pavement Noise and Safety Performance. PCC Surface Texture Technical Working Group, FHWA-SA-96-068, May, 1996
- [8] Noise and Texture on PCC Pavements – Results of a Multi-State Study, Report Number WI/SPR-08-99, Wisconsin Department of Transportation, June, 2000
- [9] PN-EN ISO 13473-1:2005E, Charakterystyka struktury nawierzchni przy użyciu profili powierzchniowych - Część 1: Określenie średniego profilu głębokości
- [10] Scofield L.: Transportation Noise and Concrete Pavements, Using Quiet Concrete Pavements as the Noise Solution, ACPA, 2009
- [11] WR-D-64. Wytyczne określania cech powierzchniowych nawierzchni jezdni i innych części dróg. Wzorce i standardy rekomendowane przez Ministra właściwego ds. transportu. 02-2025.12.09

Przegląd praktyk związanych z wykonywaniem pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce

Review of noise measurement practices in the area of tram tracks in Poland



Magdalena Skiba

Mgr inż.

Doktorantka, Politechnika
Wrocławska, Wydział
Budownictwa Lądowego i
Wodnego

magdalena.skiba@pwr.edu.pl
ORCID: 0000-0001-7998-4767

Streszczenie: W artykule zwrócono uwagę na problem nieuregulowanego sposobu pomiaru hałasu tramwajowego. Wskazano i zobrazowano obowiązujące przepisy. Przeprowadzono analizę praktyk związanych z wykonywaniem pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce. Stwierdzono, że lokalizacja punktów pomiarowych dobierana jest indywidualnie w sposób niejednorodny. Zweryfikowano obowiązujące przepisy w Polsce i zasugerowano konieczne zmiany.

Słowa kluczowe: Torowisko tramwajowe; Hałas; Pomiary

Abstract: This article highlights the problem of unregulated tram noise measurement. It identifies and illustrates the applicable regulations. It analyzes practices related to noise measurement in the vicinity of tram tracks in Poland. It concludes that the location of measurement points is selected on an individual basis and is inconsistent. It reviews the applicable regulations in Poland and suggests necessary changes.

Keywords: Tram track; Noise; Measurement

Wstęp

Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25.06.2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku rekomendowała metody do prognozowania hałasu w środowisku związanymi z ruchem samochodowym, kolejowym i lotniczym, pomijając hałas tramwajowy. We wskazanej holenderskiej metodzie prognozowania hałasu kolejowego jedną z kategorii pociągów były metro i szybki tramwaj. Jednak ze względu na różnorodność konstrukcji torowisk i taboru tramwajowego eksploatowanego w Europie, bezpośrednie zastosowanie tej metody w Polsce nie było możliwe [1].

W 2009 r. [1] w zakresie diagnozowania poziomu hałasu tramwajowego w środowisku można było wskazać dwa rozporządzenia Ministra Środowiska:

- rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [2], które określało poziomy dopuszczalny uzależniając je od kategorii terenu objętego ochroną przed hałasem, rodzaju obiektu bądź działalności będącej źródłem hałasu,

- rozporządzenie w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową linią tramwajową, lotniskiem, portem [3], które ustala ogólne metodyki wykonywania pomiarów hałasu w środowisku związane z eksploatacją lądowych, wodnych i powietrznych środków transportu. Rozporządzenie to również nakładało obowiązek na zarządzających drogami, liniami kolejowymi, liniami tramwajowymi obowiązek okresowego monitorowania poziomu dźwięku.

Do 2011 r. [4] nie istniały przepisy uwzględniające hałas tramwajowy w sposób dosłowny.

Metodyka pomiaru hałasu tramwajowego

Na potrzeby niniejszego artykułu dokonano analizy zapisów dotyczących pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych zawartych w dwóch aktach prawnych [4,5].

Pomiary wykonywane są:

- w celu oceny hałasu w środowisku

- oraz oceny źródła hałasu [4],
- na potrzeby homologacji pojazdu [5].

Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem [4] rozróżnia się ciągłe (długookresowe) pomiary poziomów wskazanych energii w środowisku oraz okresowe pomiary poziomów wskazanych substancji lub energii w środowisku.

Załącznik C rozporządzenia [4] opisuje metodykę wykonywania okresowych pomiarów poziomów hałasu wprowadzanego do środowiska w związku z eksploatacją dróg, linii kolejowych i linii tramwajowych oraz kryteria lokalizacji punktów pomiarowych. Zgodnie z zawartymi w nim zapisami lokalizację punktu pomiarowego ustala się indywidualnie dla każdego punktu pomiarowego w zależności od:

- 1) celu pomiarów;
- 2) charakterystyk i usytuowania źródeł hałasu;
- 3) własności pochłaniających i odbijających terenu oraz zagospodarowania terenu, w szczególności własności ekranowania i uginania fal dźwiękowych.

Mając na uwadze powyższe zapisy w



1. Lokalizacja dwóch stanowisk pomiarowych dla linii tramwajowej dwutorowej, interpretacja zapisu „odległość 7,5 m od osi toru” oprac. wł. [4]



2. Lokalizacja jednego stanowiska pomiarowego dla linii tramwajowej dwutorowej, interpretacja zapisu „odległość 7,5 m od osi torowiska” oprac. wł. [4]

przypadku oceny hałasu emitowanego przez przejeżdżający tramwaj należy zastosować następujące zasady wskazane w dziale B:

- ust. 2 pkt 2 ppkt a):

„na terenie niezabudowanym punkty pomiarowe lokalizuje się na wysokości nie mniejszej niż 1,5 m nad powierzchnią terenu”

- ust. 3 pkt 1 ppkt c):

„Jeżeli głównym celem pomiaru jest ocena źródła hałasu, punkty pomiarowe lokalizuje się w miarę możliwości, w odniesieniu do linii tramwajowych, w odniesieniu do odcinków torowisk w odległości 7,5 m od osi toru, po którym porusza się pojazd.”

Należy jednak zauważyć, że:

- teren niezabudowany nie został zdefiniowany przez rozporządzenie [4], wydaje się zatem prawidłowe zinterpretowanie powyższego pojęcia jako przestrzeń wolną od przeszkód pomiędzy punktem pomiarowym a odcinkiem torowiska będącym przedmiotem badań;
- zapis „odległość 7,5 m od osi toru” w przypadku dosłownej interpretacji w przypadku linii dwutorowej powoduje konieczność zamontowania dwóch mikrofonów (Rys. 1) lub zamontowania jednego mikrofonu w odległości 7,5 m od osi torowiska (Rys. 2).

Zgodnie z drugim obowiązującym rozporządzeniem [5] tramwaj powinien być tak zbudowany, wyposażony i utrzymany, aby poziom dźwięku A na zewnątrz nie przekraczał:

- 1) 80 dB — przy stałej prędkości 50 km/h, na torowisku wydzielonym z podkładami żelbetowymi na tłuczniu, w odległości 7,5 m od osi toru, na wysokości 1,2 m $\pm$ 0,2 m od główki szyny, a w przypadku tramwaju wyprodukowanego przed wejściem w życie rozporządzenia dopuszcza się poziom dźwięku A nie wyższy niż 85 dB (Rys. 3);
- 2) 64 dB — na postoju, w odległości 6 m od ściany nadwozia, na wysokości 1,2 m $\pm$ 0,2 m od główki szyny,

a w przypadku tramwaju wyposażonego w układ jazdy autonomicznej, dla którego źródłem energii jest silnik spalinowy, dopuszcza się, aby poziom dźwięku A mierzony na postoju nie przekraczał 80 dB.

Powyższy przepis dedykowany jest dla konkretnej prędkości tramwaju oraz konkretnej konstrukcji torowiska, co powoduje, że zgodnie z powyższym rozporządzeniem nie jest możliwy pomiar m.in.:

- w rejonie pętli tramwajowych, rozjazdów, skrzyżowań z uwagi na eksploatacyjne ograniczenia prędkości (ograniczenia stawiane m. in. przez producentów rozjazdów lub przez zarządców torowisk tramwajowych),
- na torowisku z podkładami drewnianymi np. pętle tramwajowe.

Nie jest również zrozumiałe określenie tak wysokiego dopuszczalnego poziomu dźwięku A. Rozporządzenie nie ma jednak zastosowania dla oceny źródła hałasu, rozpatrywanej w niniejszym artykule.

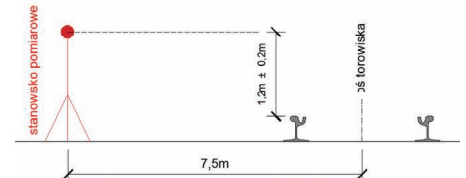
Przegląd i analiza wykonywania pomiarów hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce

Na potrzeby niniejszego artykułu zebrano protokoły oraz opisy pomiarów:

- uzyskane od zarządców torowisk tramwajowych w Polsce [6-9],
- uzyskane od producenta smarownic tramwajowych [10-12],
- ogólnodostępne (artykuły, protokoły) [13-19].

Uzyskane dane zebrano w Tabeli 1. Obejmują one 11 opracowań 17 punktów pomiarowych.

Od zarządcy torowisk tramwajowych w Elblągu i Warszawie uzyskano protokoły z pomiarów wykonywanych w celu ustalenia skuteczności smarownic torowych, dlatego fakt ten został odnotowany poprzez dodanie odpowiedniej kolumny w tabeli 1 (kolumna „Smarownica”).



3. Lokalizacja stanowiska pomiarowego dla torowiska tramwajowego, oprac. wł. [5]

Przeanalizowano 17 punktów pomiarowych. W wyniku analizy ustalono następujące informacje:

- w 6 przypadkach odległość punktu pomiarowego określono na 7,5 m od toru, w pozostałych przypadkach jest ona zmienna,
- wysokość punktów pomiarowych waha się od 1,2 m do 14 m, w 5 przypadkach została określona na 1,5 m,
- w 6 przypadkach nie uwzględniono prędkości tramwaju,
- w 2 przypadkach pominięto warunki atmosferyczne,
- w 1 przypadku nie uwzględniono zmiennego taboru.

Podsumowanie

Przedmiotem niniejszego opracowania jest analiza i interpretacja obowiązujących przepisów oraz analiza i porównanie praktyk związanych z wykonywaniem pomiaru hałasu w rejonie torowisk tramwajowych w Polsce. Powyższe przeprowadzono na podstawie zapytań kierowanych do zarządców torowisk tramwajowych i operatorów publicznego transportu zbiorowego, producentów smarownic tramwajowych oraz na podstawie artykułów i opracowań ogólnodostępnych. Dokonano interpretacji obowiązującego rozporządzenia ze wskazaniem nieprecyzyjnych zapisów.

Przeprowadzona analiza protokołów oraz opisów pomiarów uzyskanych od zarządców torowisk tramwajowych w Polsce, od producenta smarownic tramwajowych oraz z opracowań ogólnodostępnych wykazała, że punkty pomiarowe dobierane są indywidualnie, co dopuszczone jest rozporządzeniem [4]. Powoduje to jednak, że nie jest możliwe porównanie uzyskiwanych warto-

ści. Wynika to z braku precyzyjnych wytycznych w tym zakresie. Obowiązujące przepisy nie wskazują konkretnej wysokości punktu pomiarowego [4].

Zmienna i nie zawsze uzasadniona w analizowanych opracowaniach jest również odległość punktów pomiarowych od źródła hałasu, choć w tym przypadku przepis określa ją w dokładniejszy sposób.

W związku z powyżej zauważonymi nieścisłościami sugeruje się doprecyzowanie zapisów zawartych w obowiązującym rozporządzeniu [4] dotyczących odległości i wysokości punktu pomiarowego w przypadku wykonywania pomiarów w rejonie torowisk tramwajowych przynajmniej poprzez sformułowanie odpowiednich obowiązkowych do stosowania wytycznych zarządców torowisk tramwajowych. Z przeanalizowanych opracowań wynika, że obowiązujące rozporządzenie [4] nie jest dostatecznie precyzyjne i powoduje rozbieżną interpretację metodyki wykonywania okresowych pomiarów poziomów hałasu. Pomimo dopuszczonej w rozporządzeniu zmiennej wysokości punktu pomiarowego (min. 1,5 m nad powierzchnią terenu) należałoby wskazać wartość konkretną, co umożliwiłoby prawidłowe porównanie uzyskiwanych wyników. Doprecyzowania wymaga również zapis dotyczący odległości punktu pomiarowego, sugeruje się potwierdzenie czy odnosi się on do „toru” czy jednak do „torowiska”, jak wskazano w poniższym opracowaniu. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Orczyk M, Czechyra B, Wojciechowska E. Ocena poziomu hałasu generowanego podczas fazy ruchu wybranych typów tramwajów. Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe. 2009;(2):44-48. doi:10.53502/RAIL-139757.
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku, w sprawie Dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. Dz. U. Nr 120, poz. 826.
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 2 października 2007 roku, w sprawie Wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem. Dz. U. nr 192, poz. 1392.
- [4] 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).

Tab. 1. Zestawienie danych dotyczących sposobu wykonywania pomiarów hałasu w Polsce

Źródło danych	Nr oprac.	Smarownica	Punkt pomiarowy		Uwzględniono		
			Odległość	Wys.	Tabor	War. atm.	V tram.
Zarządcy	1	LUBCON POLSKA typu ST 10	ok. 13,5 m od toru wjazdowego na pętlę, ok. 20 m od toru wjazdowego z pętli	2,5 m	+	+	+
	2	-	7,5 m	1,5 m	-	+	-
	3	CL-E1 ws firmy ELPA	7,5 m	1,2 m	+	+/-	-
Producenci	1	Rail Tech Papla Sp. z o.o.	7,5 m	4,0 m	+	-	-
	2	Rail Tech Papla Sp. z o.o.	7,5 m	1,5 m	+	+	+
Artykuły, opracowania - pomiary wykonywane z uwzględnieniem obowiązujących przepisów	1	-	7,5 m	bd.	+	+	+
	2	-	7,5 m	1,2 m	+	+	+
	3	-	29,5 m	4,0 m	+	+	+
	-	-	27,0 m	4,0 m	+	+	+
	4	-	15 m (od toru południowego) 31 m (od toru północnego)	5 m	+	+	+
		-	15 m (od toru południowego) 31 m (od toru północnego)	11 m	+	+	+
		-	20 (od toru południowego) 36 (od toru północnego)	14 m	+	+	+
		-	23,5 (od toru południowego) 7,5 (od toru północnego)	4 m	+	+	+
Artykuły, opracowania - pomiary wykonywane przed wprowadzeniem obowiązujących przepisów	1	-	3,0 m od osi toru	1,6 m	+	-	+/-
	2	-	ok. 3 m od najbliższego toru	1,5 m	+	+	-
		-	ok. 9 m najbliższego toru	1,5 m	+	+	-
		-	ok. 3 m od najbliższego toru	1,5 m	+	+	-

- [5] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 2 marca 2011 r. w sprawie warunków technicznych tramwajów i trolejbusów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia, 2011 (Dz.U. 2011 nr 65 poz. 344)
- [6] "Usługi dot. Ochrony Powietrza Andrzej Jamiołkowski", Sprawozdanie z pomiarów hałasu dla linii kolejowych i tramwajowych wykonanych metodą pośrednich pomiarów pojedynczych zdarzeń akustycznych Numer 20/2023, Olsztyn, 21.11.2023
- [7] Raport z badań Nr Cz/3/2019 sporządzony dnia 19.11.2018 r., Badanie hałasu, 2018
- [8] Raport z badań Nr Cz/2/2021 sporządzony dnia 13.09.2021 r., Analiza porealizacyjna, pomiary emisji hałasu, 2021
- [9] Gąsiewski M. Lechowska L. Ocena pracy smarownicy CL – E1 ws w okresie testowym ul. Dywizjonu 303 pomiędzy przystankami Fort Blizne i Kocjana. 11.12.2017 r.
- [10] Żuchowski R. Nowoświat A. Kucharski I. Reduction of tram noise by using a rail lubrication device. Applied Acoustics. Vol. 210. 2023. ISSN 0003-682X. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109429>.
- [11] Żuchowski R. Pomiary hałasu na Pętli Słonecznej przy al. Korfanteo w Katowicach. Sosnowiec. 2019
- [12] Świątek, Ł. Chołody, B. Sprawozdanie z badań NR: 5876/PPH-1/2020.
- [13] Biskup, K., Gałęzia, A., Lubikowski, K., Rzeszódka, P., & Wikary, M. (2013). Pomiar hałasu tramwajowego. Zeszyty Naukowe Instytutu Pojazdów, 2, Article 93.
- [14] Komorski P, Czechyra B, Nowakowski

T. Możliwości uproszczenia procedury monitorowania hałasu tramwajowego z punktu widzenia automatyzacji procesu analitycznego. Problemy Kolejnictwa. 2016;(170):25–30.

- [15] Matys M, Piotrowski K, Mleczo D, Pawlik P. Narażenie podróżujących na drgania i hałas w zależności od rodzaju środka transportu : wyniki badań pilotażowych. Bezpieczeństwo Pracy : nauka i praktyka. 2019;(3):23–27.
- [16] Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaai '96 Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 November 1996.
- [17] Pomiary hałasu drogowego w 11 punktach i hałasu komunikacyjnego w 4 punktach w ramach opracowania pn.: Raport o oddziaływaniu na środowisko dla przedsięwzięcia „Budowa trasy tramwajowej na Gocław odcinek Aleja Waszyngtona – pętla Gocław”, Pracownia Hałasu Wojciech Babicz, Radosław Jeżyna s.c., 2016.
- [18] Orczyk M, Czechyra B, Wojciechowska E. Ocena poziomu hałasu generowanego podczas fazy ruchu wybranych typów tramwajów. Rail Vehicles/Pojazdy Szynowe. 2009;(2):44-48. doi:10.53502/RAIL-139757.
- [19] Pomiary hałasu i wibracji w środowisku dla fragmentu linii tramwajowej biegnącej ul. Kocmyrzowską w Krakowie, Kraków 2008/2009 r., Biuro analiz „ENVI-PRO” Waldemar Wiatrak.

Transformacja energetyczna a obowiązki organizatora publicznego transportu zbiorowego w świetle ustawy o publicznym transporcie zbiorowym

Energy transformation and the obligations of the organizer of public collective transport in the light of the Act on Public Collective Transport



Karol Wach

Dr

TransInfo.pl

k.wach@transinfo.pl

ORCID: 0000-0002-0167-3974

Streszczenie: Artykuł analizuje obowiązki organizatora publicznego transportu zbiorowego w kontekście transformacji energetycznej, wskazując na rosnącą rolę transportu publicznego jako narzędzia polityki klimatycznej. Kluczową odpowiedzialność ponoszą jednostki samorządu terytorialnego, które planują, organizują i finansują przewozy, a jednocześnie muszą sprostać coraz bardziej rygorystycznym wymagom emisyjnym. Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym koncentruje się głównie na aspektach organizacyjnych i nie uwzględnia w sposób systemowy zagadnień transformacji energetycznej. Obowiązki związane z dekarbonizacją wynikają przede wszystkim z ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, co zmusza organizatorów do funkcjonowania w ramach dwóch odrębnych porządków prawnych: transportowego i energetycznego. Istotnym problemem jest fakultatywny charakter uwzględniania celów energetycznych w planach transportowych oraz brak jednoznacznych podstaw prawnych do wprowadzania standardów zeroemisyjnych w umowach z operatorami. Skutkuje to dużymi różnicami w podejściu samorządów oraz utrudnia długoterminowe planowanie inwestycji. Szczególne znaczenie ma obowiązek nabywania autobusów zeroemisyjnych od 1 stycznia 2026 r., który pociąga za sobą konieczność inwestycji w tabor i infrastrukturę, bez zapewnienia odpowiednich mechanizmów finansowych w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym.

Słowa kluczowe: Transformacja energetyczna; Publiczny transport zbiorowy; Autobus zeroemisyjny

Abstract: The article analyzes the responsibilities of public transport organizers in the context of the energy transition, pointing to the growing role of public transport as a climate policy tool. Local government units bear key responsibility, as they plan, organize, and finance transport while simultaneously meeting increasingly stringent emission requirements. The Public Transport Act focuses primarily on organizational aspects and does not systematically address energy transition issues. Decarbonization obligations stem primarily from the Act on Electromobility and Alternative Fuels, forcing organizers to operate within two separate legal systems: the transport and energy sectors. A significant problem is the optional nature of including energy targets in transport plans and the lack of a clear legal basis for implementing zero-emission standards in agreements with operators. This results in significant differences in local government approaches and complicates long-term investment planning. Of particular importance is the mandatory purchase of zero-emission buses from January 1, 2026, which requires investments in rolling stock and infrastructure, without providing appropriate financial mechanisms in the Public Transport Act.

Keywords: Energy transformation; Public transport; Zero-emission bus

Wstęp

Publiczny transport zbiorowy odgrywa współcześnie istotną rolę w zapewnianiu mobilności mieszkańców poszczególnych obszarów. Co więcej coraz częściej traktowany jest jako jeden z kluczowych instrumentów realizacji polityki publicznej w obszarze ochrony środowiska, przeciwdziałania zmianom klimatycznym oraz transformacji energetycznej [9, s. 6, 8, 15]. W tym kontekście transport zbiorowy postrzegany jest jako alternatywa dla indywidualne-

go transportu samochodowego, a jednocześnie jako sektor, w którym możliwe jest relatywnie szybkie wdrażanie rozwiązań nisko i zeroemisyjnych.

Szczególna rola w tym procesie przypada jednostkom samorządu terytorialnego, które – nabywając w oparciu o art. 7 i 8 ustawy z dnia 16 grudnia 2010 r. o publicznym transporcie zbiorowym (dalej: u.p.t.z.) [15] status organizatora publicznego transportu zbiorowego (dalej: organizator) – odpowiadają za planowanie, organizowanie i finansowanie przewozów o charakterze uży-

teczności publicznej [7]. To właśnie na szczeblu lokalnym i regionalnym zapadają decyzje dotyczące kształtu sieci komunikacyjnej, wyboru taboru, standardów usług przewozowych czy sposobów finansowania transportu publicznego. Jednocześnie na organizatorów nakładane są coraz dalej idące obowiązki wynikające z przepisów krajowych i unijnych, w szczególności w zakresie ograniczania emisji i modernizacji taboru w oparciu o pojazdy zeroemisyjne.

Podstawowym aktem prawnym re-

gulującym funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego w Polsce pozostaje przywołana już wcześniej ustawa o publicznym transporcie zbiorowym. Została ona jednak przyjęta w realiach, w których zagadnienia transformacji energetycznej oraz dekarbonizacji transportu nie zajmowały jeszcze tak istotnego miejsca w prawie i polityce publicznej, jak ma to miejsce obecnie. W tym kontekście można zatem postawić pytanie o adekwatność obowiązujących regulacji wobec aktualnych wyzwań stojących przed poszczególnymi organizatorami.

Celem niniejszego artykułu jest analiza obowiązków organizatora, wynikających z ustawy o publicznym transporcie zbiorowym oraz ocena, w jakim stopniu regulacje te umożliwiają realizację celów transformacji energetycznej. Szczególna uwaga została poświęcona relacji pomiędzy tą ustawą a przepisami ustawy z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (dalej: u.e.p.a.) [16], które od 1 stycznia 2026 r. wprowadziły obowiązek nabywania autobusów zeroemisyjnych przez poszczególne jednostki samorządu terytorialnego.

Organizator publicznego transportu zbiorowego – pojęcie, status i zakres odpowiedzialności

Zgodnie z definicją przyjętą w art. 4 pkt 9) u.p.t.z. organizatorem publicznego transportu zbiorowego jest właściwa jednostka samorządu terytorialnego albo minister właściwy do spraw transportu, zapewniający funkcjonowanie publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze. Organizator publicznego transportu zbiorowego jest „właściwym organem”, o którym mowa w przepisach rozporządzenia (WE) nr 1370/2007. Status organizatora ma charakter normatywny i wynika bezpośrednio z przepisów ustawy, a nie z uznania organów administracji czy decyzji o charakterze fakultatywnym [7]. Przy czym celowe jest wskazanie, iż minister właściwy do spraw transportu – zgodnie z art. 7 ust. 1 pkt 6) u.p.t.z. pełni funkcję organizatora jedynie w odniesieniu do międzywojewódzkich i międzynarodowych przewozów pasażerskich w transporcie kolejowym [7].

Organizator wykonuje zadania o charakterze publicznym, które mieszczą się w sferze zadań własnych poszczególnych jednostek samorządu terytorialnego. Oznacza to, iż odpowiedzialność za zapewnienie funkcjonowania publicznego transportu zbiorowego spoczywa na organizatorze, niezależnie od formy organizacyjnej, w jakiej realizowane są przewozy, oraz niezależnie od tego, czy zadania te wykonywane są bezpośrednio przez jednostkę samorządu, czy za pośrednictwem wybranych – zgodnie z przepisami art. 19 u.p.t.z. – operatorów publicznego transportu zbiorowego.

Zakres odpowiedzialności organizatora jest szeroki i obejmuje zarówno aspekt planistyczny, jak i organizacyjny oraz finansowy. Zgodnie z art. 8 u.p.t.z. do zadań organizatora należy planowanie rozwoju transportu, organizowanie i zarządzanie publicznym transportem zbiorowym oraz ustanowienie zintegrowanego systemu taryfowo-biletowego, obowiązującego w granicach jego działania. Organizator w praktyce odpowiada zatem m.in. za: kształt sieci komunikacyjnej, ustalenie standardów jakościowych usług, wybór operatorów, zawieranie umów o świadczenie usług publicznych, a także za zapewnienie finansowania przewozów [13, s.191]. Odpowiedzialność ta ma charakter systemowy, ponieważ decyzje organizatora wpływają nie tylko na bieżące funkcjonowanie transportu publicznego, lecz także na jego rozwój w perspektywie wieloletniej.

W kontekście transformacji energetycznej oznacza to, iż organizator staje się podmiotem, od którego oczekuje się inicjowania i wdrażania zmian technologicznych, w tym wprowadzania do ruchu taboru zeroemisyjnego. Jednocześnie zakres tych oczekiwań nie znajduje pełnego odzwierciedlenia w obowiązujących przepisach ustawy o publicznym transporcie zbiorowym.

W literaturze i praktyce samorządowej publiczny transport zbiorowy traktowany jest jako klasyczny przykład zadania o charakterze usługowym, realizowanego w interesie publicznym oraz w celu zaspokajania zbiorowych potrzeb lokalnej wspólnoty [1, s.131-132]. Dla oceny relacji pomiędzy ustawą o publicznym transporcie zbiorowym a obowiązkami wynikającymi z

transformacji energetycznej istotne jest jednak to, iż wskazany akt prawny konstruuje obowiązki organizatora przede wszystkim jako obowiązki „transportowe”, a nie „energetyczne”. Oznacza to, że w ramach wykładni językowej i systemowej przepisów ustawy o publicznym transporcie zbiorowym trudno jest wyprowadzić wprost obowiązek dekarbonizacji jako elementu koniecznego do wykonania zadań w ramach publicznego transportu zbiorowego.

Konsekwencją takiej konstrukcji jest przeniesienie na organizatora ciężaru godzenia niejako dwóch porządków normatywnych. Po pierwsze stanowionego przez przepisy ustawy o publicznym transporcie zbiorowym, w którym kluczowe są dostępność, ciągłość i standard usług, po drugie zaś porządku transformacyjnego, w którym nacisk kładzie się na zeroemisyjność, efektywność energetyczną i modernizację taboru. Relacja między nimi nie jest regulowana wprost przez ustawę o publicznym transporcie zbiorowym, co w praktyce może powodować pewne trudności dla realizacji zadań przez poszczególne jednostki samorządu terytorialnego.

W tym kontekście warto podkreślić, iż organizator nie jest wyłącznie podmiotem „zamawiającym usługę przewozową”. W praktyce jego zadania są o wiele szersze. Odpowiada on bowiem za politykę transportową na danym terenie w tym m.in. za: siatkę połączeń, integrację taryfową, węzły przesiadkowe, standardy informacji pasażerskiej, koordynację rozkładów, mechanizmy nadzoru, czy tabor wykorzystywany do realizacji usługi [12, s. 108]. W odniesieniu do transformacji energetycznej oznacza to również konieczność zarządzania ryzykami systemowymi, które pojawiają się przy przejściu na tabor zeroemisyjny (m.in. zapewnienie zaplecza technicznego, rezerw mocy, logistyki ładowania, planowania obiegu).

Brak norm regulujących wprost te aspekty w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym powoduje, iż organizator – nawet jeśli podejmuje działania protransformacyjne – porusza się w reżimie, w którym ustawodawca nie dostarcza wystarczających instrumentów prawnych. Z perspektywy bezpieczeństwa prawnego organizatora

problematiczne jest zwłaszcza to, że transformacja energetyczna dotyczy w znacznym zakresie infrastruktury i majątku (zajezdnie, ładowarki, modernizacje), podczas gdy ustawa o publicznym transporcie zbiorowym jest aktem prawnym, koncentrującym się najogólniej rzecz ujmując na organizowaniu przewozów.

Planowanie publicznego transportu zbiorowego jako podstawowy obowiązek organizatora

Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym, w art. 4 ust. 1 pkt 28, posługuje się pojęciem zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego w kontekście planowania publicznego transportu zbiorowego. Pojęcie to ma charakter dość ogólny i nie tworzy samoistnego obowiązku zakupu taboru określonego rodzaju czy typu. Można więc przyjąć, iż wskazany akt prawny umożliwia organizatorowi publicznego transportu zbiorowego uwzględnianie transformacji energetycznej, ale nie czyni z tego obowiązku, wprost z niego wynikającego. Tym samym organizator może działać proaktywnie, lecz będzie musiał uzasadniać swoje decyzje poprzez cele pośrednie: jakość usługi, efektywność kosztową w horyzoncie wieloletnim, bezpieczeństwo energetyczne lub politykę środowiskową, posilając się przy tym koniecznością realizacji obowiązku wynikającego wprost z art. 36 u.e.p.a.

Nie ulega wątpliwości, iż jednym z kluczowych obowiązków organizatora jest planowanie rozwoju transportu. Wskazany w art. 9 – 14 u.p.t.z. instrumentem jest plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego (zwany również planem transportowym), będący aktem prawa miejscowego [7]. Ma on określać m.in.: sieć komunikacyjną, prognozowane potrzeby przewozowe, standardy usług oraz zasady finansowania transportu publicznego. Należy przyjmować, iż katalog zagadnień, które powinny znaleźć się w planie transportowym jest katalogiem otwartym, na co wskazuje użyte przez ustawodawcę – w art. 12 u.p.t.z. sformułowanie „plan transportowy określa w szczególności”.

Analiza wskazanych powyżej prze-

pisów ustawy o publicznym transporcie zbiorowym prowadzi do wniosku, iż plan transportowy pełni przede wszystkim funkcję organizacyjną i porządkującą. Ustawodawca koncentruje się na zapewnieniu spójności sieci komunikacyjnej oraz dostępności transportu publicznego dla mieszkańców danego obszaru [6, s. 11]. W przepisach wskazujących na zawartość tego aktu prawa miejscowego można znaleźć odniesienia do kwestii transformacji energetycznej, ale ich wprowadzenie pozostawione zostało do decyzji danego organizatora (art. 12 ust. 1a u.p.t.z.). W praktyce oznacza to, iż uwzględnianie tych aspektów w planach transportowych ma charakter fakultatywny i zależy od woli danego organizatora, a być może także od jego możliwości finansowych. Brak normatywnego obowiązku w tym zakresie może powodować znaczne różnice pomiędzy poszczególnymi jednostkami samorządu terytorialnego tego samego szczebla oraz utrudniać realizację spójnej polityki energetycznej w obszarze transportu publicznego.

Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego powinien porządkować decyzje organizatora. W praktyce pełni m.in. funkcje: informacyjną (dla mieszkańców i rynku), koordynacyjną (dla powiązania różnych gałęzi transportu) oraz uzasadniającą (dla późniejszych decyzji organizacyjnych i finansowych). Jednocześnie ustawowa konstrukcja planu transportowego skupia się na elementach klasycznych: układzie linii, częstotliwości kursowania, standardach dostępności, węzłach przesiadkowych czy integracji taryfowej [5, s. 74-76].

W kontekście transformacji energetycznej pojawia się zatem pytanie o zasadność obligatoryjnego wskazania w planie transportowym kwestii energetycznych (np. standardów emisyjności, harmonogramów wymiany taboru, zaplecza ładowania), zwłaszcza w przypadku jednostek samorządu terytorialnego, które zostały zobligowane do zakupu pojazdów niskoemisyjnych przez przywołane już wcześniej przepisy ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych. W aktualnym stanie prawnym część jednostek samorządu terytorialnego może tworzyć

plany transportowe zawierające mierzalne cele zeroemisyjności, inne po prostu na ogólnikach, bądź pominąć ten aspekt całkowicie. Skutkiem tego będzie brak porównywalności planów i ograniczona możliwość oceny, czy dany organizator realizuje transformację energetyczną w sposób racjonalny i przewidywalny.

Z perspektywy rynku operatorów i dostawców taboru niewskazanie jednolitych ram prowadzi także do niepewności inwestycyjnej. Brak bowiem w danym regionie czytelnego planu wymiany taboru na niskoemisyjny uniemożliwia rynkowe oszacowanie skali zamówień. Tymczasem transformacja energetyczna wymaga przewidywalności, ponieważ zarówno inwestycje w tabor, jak i w infrastrukturę ładowania planowane powinny być z wyprzedzeniem.

Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym nie zawiera szczegółowych regulacji dotyczących kwestii energetycznych i zeroemisyjności, stąd też organizator w praktyce zobligowany jest do sięgnięcia po instrumenty, wynikające z innych aktów prawnych, w tym przede wszystkim ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, ale także strategii rozwoju, dokumentów środowiskowych, planów zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe, a także programów ochrony powietrza. Z punktu widzenia spójności systemu prawa sytuacja ta może wydawać się niekorzystna, ponieważ plan transportowy, który powinien być głównym dokumentem regulującym kompleksowo zagadnienia dotyczące publicznego transportu zbiorowego na danym obszarze, staje się aktem wtórnym wobec innych dokumentów. Innymi słowy, organizator ma formalnie plan transportowy, ale rzeczywiste cele energetyczne wynikają z innych dokumentów, co może utrudniać kontrolę legalności i racjonalności przyjętych rozwiązań.

W tym kontekście zasadne wydaje się przyjęcie postulatu *de lege ferenda*, aby plan transportowy zawierał obligatoryjnie chociażby minimalny komponent energetyczny, np.: analizę miks energetycznego zużywanego przez transport publiczny, harmonogram wymiany taboru w kierunku zeroemi-

syjności, ocenę zdolności infrastruktury (ładowanie/wodór), analizę kosztów w cyklu życia taboru czy wskaźniki monitorujące (np. udział taboru zeroemisyjnego, zużycie energii na wozokilometr, emisja w przeliczeniu na pasażerokilometr). Powyższe wyliczenie ma jedynie charakter przykładowy, nie mniej jednak takie elementy w praktyce zwiększałyby przewidywalność i spójność systemu. Obowiązek ten powinien dotyczyć przede wszystkim organizatorów, o których mowa w art. 36 u.e.p.a.

Organizowanie przewozów i zawieranie umów o świadczenie usług publicznych

Kolejnym kluczowym obowiązkiem organizatora, wynikającym z przepisów ustawy o publicznym transporcie zbiorowym, jest organizowanie przewozów o charakterze użyteczności publicznej. Realizowany jest on przede wszystkim poprzez zawieranie umów o świadczenie usług publicznych z operatorami publicznego transportu zbiorowego [8, s. 153]. Przepisy art. 19 – 29 u.p.t.z. określają podstawowe zasady zawierania takich umów, w tym ich przedmiot, okres obowiązywania oraz mechanizmy finansowania [7].

Z perspektywy transformacji energetycznej istotne znaczenie ma to, iż wskazana ustawa pozostawia organizatorowi swobodę w zakresie kształtowania treści umów o świadczenie usług publicznych. Organizator może określać wymagania dotyczące standardów jakościowych, dostępności taboru czy parametrów technicznych pojazdów. Jednocześnie brak jest w tym akcie prawnym jednoznacznego wskazania na możliwość uwzględniania kryteriów energetycznych lub emisyjnych przy zawieraniu umów. W praktyce oznacza to, że wprowadzenie wymogów dotyczących zeroemisyjności taboru odbywa się na podstawie decyzji organizatora. Taki stan rzeczy prowadzi do sytuacji, w której organizatorzy transportu realizują cele transformacji energetycznej w drodze praktyki kontraktowej, bez wyraźnego umocowania normatywnego w przepisach regulujących ich podstawową działalność, przy konieczności uwzględnienia odpowiednich przepisów ustawy o elektromobilności i pali-

wach alternatywnych. Nawet przy założeniu, iż zapisy poszczególnych umów mogą być swobodnie kształtowane przez strony je zawierające celowe wydaje się wprowadzenie do ustawy o publicznym transporcie zbiorowym instrumentów, które mogą przyczynić się do poprawy czy przyspieszenie procesu wdrażania rozwiązań zeroemisyjnych.

Finansowanie publicznego transportu zbiorowego a wyzwania energetyczne

Finansowanie publicznego transportu zbiorowego stanowi jeden z najistotniejszych elementów działalności organizatora [2, s.74, 78-79]. Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym reguluje te kwestie w rozdziale 6. Najogólniej rzecz ujmując mechanizmy tam wskazane mają na celu zapewnienie ciągłości świadczenia usług publicznych oraz pokrycie kosztów realizacji przewozów, które nie są rentowne z ekonomicznego punktu widzenia [14, s. 12-14].

Transformacja energetyczna w sposób istotny wpływa na strukturę kosztów funkcjonowania transportu publicznego. Zakup autobusów zeroemisyjnych, budowa infrastruktury ładowania oraz zapewnienie odpowiednich mocy przyłączeniowych generują znaczące nakłady inwestycyjne, które wykraczają poza tradycyjnie pojmowane koszty organizowania przewozów. Jednocześnie ustawa o publicznym transporcie zbiorowym nie przewiduje odrębnych mechanizmów finansowych dedykowanych realizacji celów energetycznych.

Brak normatywnego powiązania pomiędzy obowiązkami finansowymi organizatora a wymogami transformacji energetycznej może prowadzić do sytuacji, w której jednostki samorządu terytorialnego zmuszone zostaną do poszukiwania środków finansowych poza systemem przewidzianym w ustawie. W praktyce oznaczałoby to korzystanie np. z funduszy celowych, programów wsparcia czy środków unijnych, które nie zawsze są elementem spójnego modelu finansowania transportu publicznego przewidzianego w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym.

W obecnym stanie prawnym głównym instrumentem, za pomocą którego organizator może realnie wdrożyć cele transformacji energetycznej, jest przywołana już wcześniej umowa o świadczenie usług publicznych. To do tego dokumentu można wprowadzić standard taboru (np. zeroemisyjny), wymagania dotyczące infrastruktury, zasady rozliczania energii, a nawet parametry efektywności energetycznej. Jednak brak jednoznacznych norm w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym regulujących te kwestie powoduje, iż poziom „energetyzacji” umów jest zróżnicowany i zależy od dojrzałości i decyzji organizatora, jego zaplecza prawnego i finansowego. Problematyczne wydaje się również to, iż wymogi zeroemisyjności w umowie mogą wpływać na ryzyko kontraktowe operatora (np. dostępność taboru, serwis, czas ładowania, spadek zasięgu w zimie). Organizator powinien więc wyważyć standardy energetyczne z wymaganiami ciągłości świadczenia usług.

Transformacja energetyczna przenosi ciężar kosztów z poziomu operacyjnego (paliwo) na poziom inwestycyjny (tabor i infrastruktura). Mechanizm rekompensaty powinien więc uwzględniać koszty w cyklu życia taboru. W przeciwnym razie organizator może mieć formalnie prawidłową umowę, ale bez mechanizmu, który realnie umożliwia operatorowi realizację usług z wykorzystaniem taboru zeroemisyjnego. Ponadto może pojawić się ryzyko oceny, czy rekompensata nie ma charakteru nadmiernego w relacji do ponoszonych kosztów i rozsądnego zysku. W praktyce wymaga to od organizatorów: modelowania kosztów, wprowadzania mechanizmów waloryzacji energii, definiowania standardów rozliczeń i amortyzacji oraz przejrzystych zasad rozdzielania ryzyk (kto odpowiada za wzrost cen energii, kto za niedobory mocy, kto za awarie ładowania). Brak tych elementów może prowadzić do sporów z operatorami, a w szerszej perspektywie — do problemów z realizacją usług.

W wielu polskich miastach rozwój taboru zeroemisyjnego jest realizowany przy wykorzystaniu modelu powierzchni realizacji usług spółce komunalnej. Z punktu widzenia transformacji ener-

tycznej ten model bywa atrakcyjny, ponieważ ułatwia skoordynowanie inwestycji w tabor i infrastrukturę w ramach jednego systemu miejskiego [4, s. 97, 100-104]. Jednocześnie wymaga szczególnej staranności w uzasadnianiu decyzji i wykazywaniu, że rozwiązanie jest racjonalne ekonomicznie. Ryzyko praktyczne polega na tym, iż transformacja energetyczna może zostać oceniona jako „kosztowna modernizacja”, której efekty finansowe rozłożone są w czasie. Tym samym zasadne może okazać się pytanie, czy organizator właściwie zbadał alternatywy i czy w sposób dostateczny wykazał, że wybrany model realizacji przewozów jest optymalny.

Transformacja energetyczna jako czynnik zewnętrzny wobec ustawy o publicznym transporcie zbiorowym

Transformacja energetyczna oddziałuje na publiczny transport zbiorowy w sposób pośredni. W szczególności istotne znaczenie mają przepisy, które wprowadzają wymogi dotyczące nabywania pojazdów nisko- i zeroemisyjnych. Z punktu widzenia ustawy o publicznym transporcie zbiorowym pozostaje ona jednak czynnikiem zewnętrznym. Nie definiuje bowiem pojęcia transformacji energetycznej, nie odwołuje się do celów dekarbonizacyjnych ani nie nakłada na organizatorów transportu obowiązku stopniowego ograniczania emisyjności taboru. Wskazuje jedynie – w art. 12 ust. 2 b i 2c – na konieczność przeprowadzenia konsultacji w sytuacji, gdy plan transportowy przewiduje wykorzystanie autobusów zeroemisyjnych lub autobusów napędzanych gazem ziemnym. W efekcie cele energetyczne realizowane są obok systemu regulacyjnego przewidzianego w tym akcie prawnym, a nie w jego ramach.

Taki stan rzeczy rodzi pytanie o spójność systemu prawa regulującego transport publiczny. Organizatorzy transportu zostają objęci obowiązkami wynikającymi z aktów prawnych innych niż ustawa o publicznym transporcie zbiorowym, co może prowadzić do rozproszenia regulacyjnego i utrudniać jednolitą interpretację zakresu ich obowiązków.

Obowiązek nabywania autobusów zeroemisyjnych od 1 stycznia 2026 r.

Szczególnie istotnym elementem transformacji energetycznej w transporcie publicznym jest obowiązek nabywania autobusów zeroemisyjnych, który zaczął obowiązywać 1 stycznia 2026 r. Wynika on z art. 36 u.e.p.a., która wdrożyła do polskiego porządku prawnego dyrektywę (UE) 2019/1161 w sprawie promowania ekologicznych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego [3]. W praktyce oznacza to, iż wymienieni w ww. przepisach organizatorzy, dokonując zakupów taborowych, zostali zobowiązani do nabywania autobusów zeroemisyjnych (elektrycznych czy wodorowych) bądź napędzanych biometanem. Autobusy z napędem spalinowym zostały – co do zasady – wyeliminowane z nowych zamówień, realizowanych przez jednostki samorządu terytorialnego, o których mowa w przywołanych powyżej przepisach.

Wprowadzenie tego obowiązku ma istotne znaczenie, ponieważ w sposób bezpośredni wpływa na decyzje inwestycyjne organizatorów. Jak się jednak wydaje obowiązek ten został wprowadzony bez dostosowania ustawy o publicznym transporcie zbiorowym, która nie przewiduje ani mechanizmów planistycznych, ani finansowych umożliwiających jego realizację. Jak już zasygnalizowano wcześniej ten akt prawny ogranicza się jedynie do możliwości zawarcia w planie transportowym zapisów dotyczących autobusów zeroemisyjnych lub autobusów napędzanych gazem ziemnym (art. 12 ust. 1a, 2b i 2c u.p.t.z.), ale nie obliuguje organizatora do wskazania czy takie pojazdy są przewidziane czy też nie do wykorzystania w realizacji usługi na danym terenie. Stąd też celowe wydaje się rozważenie wprowadzenia przepisów, nakładających na każdego organizatora takiego obowiązku.

Regulacje obowiązujące od 1 stycznia 2026 r. należy rozumieć przede wszystkim jako zmianę reżimu dla zamówień na autobusy wykorzystywane w komunikacji miejskiej. Przy czym trzeba zauważyć, iż docelowo mają one prowadzić do wymiany całej floty, poprzez proces nabywania nowych,

zeroemisyjnych pojazdów. W efekcie, wraz z upływem czasu, tabor ma zmieniać się poprzez kolejne zakupy, aż do całkowitego wyeliminowania z ruchu pojazdów z napędem spalinowym [10, s. 354-356].

Dla organizatora oznacza to konieczność planowania zakupu i eksploatacji taboru co najmniej w dwóch perspektywach. Po pierwsze to obowiązek zakupowy (jakie autobusy należy kupować od 2026 r.). Po drugie zaś to horyzont operacyjny (jak zapewnić ciągłość usług przy taborze o innych parametrach technicznych). Należy przy tym pamiętać, iż autobusy zeroemisyjne wymagają odpowiedniej infrastruktury. Jeżeli organizator ma kupować tabor elektryczny, musi równolegle zapewnić ładowarki, moce przyłączeniowe, modernizację zajezdni czy reorganizację obiegów (czas ładowania, rezerwy). Jeżeli wybierze wodór, uwagi wymagają kwestie: stacji tankowania, logistyki dostaw paliwa czy bezpieczeństwa. W obu przypadkach transformacja energetyczna wychodzi daleko poza sam proces zakupu autobusów.

Stąd też uzasadniona wydaje się teza, iż obowiązek realizacji przepisów odnoszących się do zeroemisyjności jest w istocie obowiązkiem „systemowym”, choć formalnie zlokalizowanym w reżimie zamówieniowym. To właśnie ta nieoczywistość pogłębia problem braku odpowiednich rozwiązań w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym, która – co do zasady – określa system przewozów, zaś obowiązek zeroemisyjny uregulowany jest w innych aktach prawnych, w tym przede wszystkim ustawie o elektromobilności i paliwach alternatywnych.

Nie ulega wątpliwości, iż obecnie transformacja energetyczna przestała być postulatem, a stała się wymogiem prawnym. Jednocześnie wydaje się, iż ustawodawca nie znowelizował ustawy o publicznym transporcie zbiorowym w taki sposób, aby dostarczała organizatorowi systemowych instrumentów wdrożeniowych (planistycznych i finansowych). W rezultacie organizator musi posilkować się innymi normami prawnymi, a być może sięgać także do innych dokumentów strategicznych. Nałożenie obowiązku nabywania autobusów zeroemisyjnych prowadzić może

w praktyce do pewnych wątpliwości, dlatego ustawodawca nie stworzył w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym odpowiednich instrumentów prawnych dla organizatorów w zakresie wprowadzania pojazdów zeroemisyjnych. Ich brak sprawia, iż realizacja obowiązków w tym zakresie wymaga podejmowania decyzji inwestycyjnych o znacznym ciężarze finansowym, które nie znajdują jednoznacznego oparcia w przepisach ustawy o publicznym transporcie zbiorowym.

Skutki praktyczne transformacji energetycznej dla organizatorów publicznego transportu zbiorowego

Należenie na organizatorów obowiązków związanych z transformacją energetyczną, w szczególności obowiązku nabywania autobusów zeroemisyjnych, wywołuje daleko idące skutki praktyczne. Mają one charakter finansowy, organizacyjny oraz prawny, zaś ich skala znacząco wykracza poza ramy tradycyjnie pojmowanego organizowania przewozów o charakterze użyteczności publicznej.

W pierwszej kolejności należy wskazać na istotne obciążenia finansowe po stronie jednostek samorządu terytorialnego. Jak już wspomniano zakup autobusów zeroemisyjnych wiąże się z kosztami znacząco wyższymi niż nabycie taboru spalinowego. Dodatkowo konieczne jest ponoszenie wydatków na budowę lub rozbudowę infrastruktury ładowania, modernizację zajezdni oraz zapewnienie odpowiednich przyłączy energetycznych [17, s. 11]. Wydatki te nie są wprost uwzględnione w konstrukcji finansowania publicznego transportu zbiorowego przewidzianej w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym.

W praktyce organizatorzy ponoszą koszty finansowania transformacji energetycznej z różnych źródeł pozasystemowych, takich jak środki unijne, programy rządowe czy fundusze celowe. Brak stabilnych, ustawowych mechanizmów finansowania powoduje jednak niepewność co do możliwości kontynuacji inwestycji oraz utrudnia długoterminowe planowanie rozwoju transportu publicznego. Transformacja energetyczna publicznego transportu

zbiorowego generuje również istotne ryzyko prawne po stronie organizatorów. Jednostki samorządu terytorialnego, realizując obowiązki wynikające przede wszystkim z przepisów ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, podejmują decyzje inwestycyjne o znacznej wartości, które nie znajdują jednoznacznego umocowania w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym. W praktyce może to prowadzić do sporów interpretacyjnych dotyczących zakresu kompetencji organizatora oraz legalności podejmowanych działań.

Analiza obowiązujących regulacji prowadzi do wniosku, iż jednym z kluczowych problemów systemowych jest fragmentaryzacja przepisów regulujących publiczny transport zbiorowy. Obowiązki organizatora wynikają obecnie z kilku różnych aktów prawnych. Ustawa o publicznym transporcie zbiorowym reguluje podstawowe mechanizmy organizowania i finansowania przewozów, natomiast ustawa o elektromobilności i paliwach alternatywnych wprowadza obowiązki o charakterze transformacyjnym, bez dokładnego uwzględnienia specyfiki systemu transportu publicznego. Taka fragmentaryzacja regulacji może sprawiać wrażenie osłabienia przewidywalności prawa, co ma szczególne znaczenie w przypadku inwestycji infrastrukturalnych i taborowych, z natury rzeczy realizowanych w perspektywie wieloletniej, tym bardziej, iż ustawa o publicznym transporcie zbiorowym odwołuje się do ustawy i elektromobilności i paliwach alternatywnych jedynie dwukrotnie. Po pierwsze w art. 4 ust. 1 pkt 9 a) u.p.t.z., zawierającym definicję autobusu zeroemisyjnego. Po drugie zaś w art. 12 ust. 1a pkt 2) u.p.t.z., definiującym geograficzne położenie infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego.

Ocena obowiązującego stanu prawnego – wnioski *de lege lata*

Mając na uwadze powyższe rozważania należy stwierdzić, iż ustawa o publicznym transporcie zbiorowym – w aktualnym stanie prawnym – nie zawiera wystarczających podstaw prawnych do realizacji celów transformacji ener-

getycznej w publicznym transporcie zbiorowym. Poszczególni organizatorzy zostali objęci obowiązkami w realizacji zadań zmierzających do zakupu taboru zeroemisyjnego. Tym samym należałoby rozważyć wprowadzenie bardziej systemowych rozwiązań w tym zakresie do aktu prawnego, regulującego ich podstawową działalność, a więc do ustawy o publicznym transporcie zbiorowym.

Brak jednoznacznego powiązania pomiędzy obowiązkami organizatora a celami energetycznymi prowadzi do sytuacji, w której realizacja transformacji energetycznej odbywa się w sposób oparty na doraźnych decyzjach i zewnętrznych źródłach finansowania. Taki model nie sprzyja stabilności systemu publicznego transportu zbiorowego ani pewności prawnej jednostek samorządu terytorialnego.

Postulaty *de lege ferenda* – kierunki zmian legislacyjnych

W perspektywie *de lege ferenda* zasadne wydaje się podjęcie działań legislacyjnych zmierzających do dostosowania ustawy o publicznym transporcie zbiorowym do realiów transformacji energetycznej. W szczególności należy rozważyć wprowadzenie obowiązku uwzględniania celów energetycznych i emisyjnych w planach zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego. Ponadto celowe byłoby bardziej szczegółowe normatywne powiązanie ustawy o publicznym transporcie zbiorowym z przepisami ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych, tak aby obowiązki zeroemisyjne organizatorów transportu znalazły jednoznaczne odzwierciedlenie w regulacjach dotyczących organizowania i finansowania transportu publicznego.

Istotnym postulatem jest również stworzenie stabilnych mechanizmów finansowania transformacji energetycznej transportu publicznego, które byłyby osadzone w ustawie o publicznym transporcie zbiorowym. Pozwoliłoby to na ograniczenie ryzyka prawnego i finansowego po stronie jednostek samorządu terytorialnego oraz zwiększyłoby przewidywalność działań organizatorów.

Postulaty *de lege ferenda* nie po-

winny ograniczać się do ogólnego „uwzględniania transformacji energetycznej”, lecz wskazywać minimalny katalog narzędzi. Po pierwsze, zasadne jest wprowadzenie do ustawy o publicznym transporcie zbiorowym wymogu, aby plan transportowy zawierał część dotyczącą taboru zeroemisyjnego i energii (w rozumieniu: założeń emisyjnych, harmonogramów wymiany taboru, infrastruktury). Przykładowo takie zapisy znalazły się w Planie zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Miasta Radomia na lata 2022 – 2030 [11, s. 5, 30, 36, 37]. Po drugie, należałoby doprecyzować, iż standardy emisyjne mogą być wprowadzane w umowach jako element jakości usługi publicznej, a nie wyłącznie jako „wymaganie techniczne”, co ułatwiłoby argumentację prawną przy kontrolach i sporach. Po trzecie, wskazane jest uzupełnienie ustawy o publicznym transporcie zbiorowym o ramy finansowe, nie poprzez tworzenie nowego funduszu w samej ustawie, ale poprzez wprowadzenie normy łączącej finansowanie transportu publicznego z finansowaniem transformacji (np. dopuszczenie określonych kategorii kosztów transformacji do rozliczenia w mechanizmach rekompensaty w sposób jednoznaczny).

Celowe wydaje się ponadto ściślej powiązanie publicznego transportu zbiorowego z polityką energetyczną poszczególnych jednostek samorządu terytorialnego. W tym kontekście zasadne jest rozważenie wprowadzenia obowiązku szerszych konsultacji planu transportowego z dokumentami energetycznymi danej jednostki samorządu terytorialnego, albo co najmniej obowiązku wykazania, że plan transportowy jest wykonalny energetycznie (np. w zakresie mocy ładowania).

Takie podejście wzmacniałoby pewność, racjonalność inwestycji i przewidywalność dla rynku, a przede wszystkim ograniczałoby ryzyko, że obowiązki zeroemisyjne będą realizowane w sposób doraźny, zależny od dostępności chwilowych programów finansowania.

Zakończenie

Transformacja energetyczna stawia przed publicznym transportem zbioro-

wym wyzwania o charakterze systemowym. Analiza obowiązków organizatora prowadzi do wniosku, że obowiązujące regulacje prawne nie nadążają za dynamicznymi zmianami w obszarze polityki energetycznej i klimatycznej. Organizatorzy zostali obciążeni, zwłaszcza w kontekście wejścia w życie 1 stycznia 2026 r. regulacji dotyczących zakupu taboru zeroemisyjnego, konkretnymi obowiązkami, bez jednoczesnego zapewnienia im spójnych i stabilnych podstaw normatywnych.

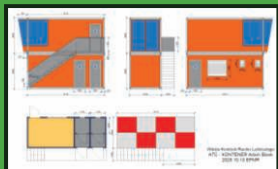
Dostosowanie ustawy o publicznym transporcie zbiorowym do realiów transformacji energetycznej wydaje się niezbędne dla zapewnienia spójności systemu prawa oraz bezpieczeństwa prawnego poszczególnych jednostek samorządu terytorialnego. Bez takich zmian realizacja celów energetycznych w transporcie publicznym będzie odbywała się kosztem stabilności systemu i przewidywalności działań organizatorów. ◀

Materiały źródłowe

- [1] M. Błażejowski, Umowa o świadczenie usług w zakresie publicznego transportu zbiorowego jako przejaw prywatyzacji wykonywania usług publicznych, [w:] Efektywność ekonomiczna jako cel prywatyzacji zadań z zakresu administracji świadczącej Studium prawn-administracyjne, red. J. Blicharz, R. Raszewska-Skałicka, Wrocław 2020
- [2] G. Dydkowski, Publiczne finansowanie miejskiego transportu zbiorowego w największych miastach w Polsce-analiza porównawcza, Studia ekonomiczne, Nr 187/2014
- [3] Dyrektywa (UE) 2019/1161 w sprawie promowania ekologicznych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego, Dz. Urz. UE L 188/116
- [4] M. Formalczyk, Działalność powierzona i komercyjna spółek transportu komunalnego w Polsce, IKAR, Nr 1(2)/2013
- [5] K. Grzelec, O. Wyszomirski, Plan zrównoważonego rozwoju transportu publicznego, Studia Ekonomiczne, Nr 143/ 2013
- [6] M. Krzymuski, Charakter prawny

planu transportowego, Transport Miejski i Regionalny, Nr 1/2016

- [7] B. Kwiatek, A. Wach, K. Wach, Publiczny transport zbiorowy, Komentarz, LEX/el. 2025
- [8] S. Marszałek, Zarządzanie transportem zbiorowym, jako składową dóbr publicznych, Zeszyty Naukowe Akademii Górnośląskiej, Nr 12/2023
- [9] S. Michalik, D. Zieliński, Transformacja energetyczna w Polsce w świetle strategicznych dokumentów rządowych i analiz badawczych, Warszawa 2024, Sieć Badawcza Łukasiewicz – ITECH Instytut Innowacji i Technologii
- [10] U. Motowidlak, Analiza kosztów i korzyści jako jeden z obowiązków implementacji ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych w komunikacji miejskiej w Polsce, [w:] Logistyka w naukach o zarządzaniu część 1, tom XIX, zeszyt 11, część III
- [11] Plan zrównoważonego rozwoju publicznego transportu zbiorowego dla Gminy Miasta Radomia na lata 2022 – 2030, <https://bip.radom.pl/download/69/96574/2950z2.pdf>
- [12] J. Rzeźny-Cieplińska, Organizatorzy publicznego transportu zbiorowego jako podmioty non profit. Studium strategii organizacji pozarządowej na rynku komunikacji miejskiej, Studia Ekonomiczne, Nr 165/2014
- [13] M. Sipa, Publiczny transport zbiorowy na rynku usług transportowych-wybrane aspekty, ZS WSH Zarządzanie, Nr 1/ 2014
- [14] P. Szudejko, Prawo do publicznego transportu zbiorowego, Metropolitan, Nr 1/2019
- [15] Ustawa z dnia 16 grudnia 2010 roku o publicznym transporcie zbiorowym, Dz.U. z 2025 r. poz. 285, 1173.
- [16] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, Dz.U. 2024, poz. 1289
- [17] R. Wróbel, Strategia wymiany taboru autobusowego w MPK SA w Krakowie w aspekcie optymalizacji czasu jego eksploatacji, Transport Miejski i Regionalny, Nr 1/2023



Inwestycja w rozwój lotniska w Mirosławicach EPMR pod Wrocławiem staje się jednym z kluczowych projektów infrastrukturalnych wzmacniających potencjał gospodarczy i edukacyjny całego regionu. Dzięki zaangażowaniu firm Bisek AeroSpace, Bisek Aviator powstaje nowoczesny ośrodek lotniczy, który w najbliższych latach znacząco podniesie rangę Dolnego Śląska na mapie polskiego i europejskiego lotnictwa cywilnego. Już teraz prowadzone są intensywne prace przygotowawcze pozwalające na uruchomienie pełnego zakresu szkoleń w warunkach lotniska. Przy udziale Bisek AeroSpace opracowano instrukcje AFIS, których wdrożenie zaplanowano na pierwszą połowę 2026 roku. To dokumenty kluczowe dla bezpiecznej, skoordynowanej obsługi ruchu lotniczego, a jednocześnie fundament działalności szkoleniowej w Mirosławicach. Kolejnym przełomowym elementem inwestycji jest przygotowanie dostawy kontenerowej wieży ATC, która zapewni pełną funkcjonalność operacyjną i elastyczność lokalizacyjną. Wieża zostanie wyposażona w stanowiska robocze z systemami łączności oraz narzędziami meteorologicznymi, a także w dedykowane stanowisko instruktora oraz miejsca dla osób szkolących się. Pozwoli to na prowadzenie zarówno symulacji, jak i nadzorowanych operacji w ruchu rzeczywistym. Personel AFIS odpowiadać będzie za dostarczanie informacji lotniczych i meteorologicznych, ostrzeganie o zagrożeniach oraz wsparcie operacji statków powietrznych. Informacje będą udzielane w języku polskim i angielskim. Jednocześnie obecność instruktorów z uprawnieniami szkoleniowymi przekształci Mirosławice w profesjonalne centrum dydaktyczne dla przyszłych informatorów AFIS, umożliwiające zdobywanie praktycznych kompetencji w warunkach autentycznej pracy operacyjnej. Całość przedsięwzięcia dopełnia planowana przez firmę Bisek Aviator budowa nowoczesnej drogi startowej, wykonanej w innowacyjnej technologii gumo-asfaltowej. Zastosowanie mieszanek z granulatem gumowym z recyklingu opon zapewni większą odporność nawierzchni na spękania, doskonałą przyczepność oraz redukcję hałasu, przyczyniając się jednocześnie do ochrony środowiska. Wytrzymała, elastyczna konstrukcja drogi startowej przystosowana będzie do operacji lekkich i średnich statków powietrznych, co znacząco zwiększy funkcjonalność lotniska i umożliwi dynamiczny rozwój ruchu szkoleniowego, turystycznego i biznesowego. Kompleksowa modernizacja Mirosławic EPMR to inwestycja o strategicznym znaczeniu, która dzięki połączeniu wiedzy, doświadczenia i nowoczesnych technologii firm z Grupy Bisek stworzy nowy standard infrastruktury lotniczej w regionie. Projekt nie tylko podniesie poziom bezpieczeństwa operacji, ale przede wszystkim otworzy nowe możliwości rozwoju gospodarczego, edukacyjnego i transportowego, czyniąc Dolny Śląsk jednym z najważniejszych ośrodków lotnictwa ogólnego w Polsce.

Odnowa biologiczna personelu lotniczego



AeroSpa to wyjątkowe miejsce stworzone z myślą o tych, którzy na co dzień mierzą się z ogromnym obciążeniem fizycznym i psychicznym – personelu lotniczego, pilotów, mechaników, kontrolerów oraz wszystkich osób pracujących w dynamicznym świecie awiacji. Firma, łącząc pasję do lotnictwa z najnowszymi osiągnięciami odnowy biologicznej, promuje holistyczne podejście do regeneracji organizmu, pomagając przywrócić równowagę, koncentrację i pełnię sił niezbędnych w odpowiedzialnej pracy na niebie i przy ziemi. Jednym z wyróżników AeroSpa jest kompleksowa oferta naturalnych terapii z wykorzystaniem dobrodziejstw obcowania z pszczołami. Apiterapia i uloterapia, będące jednym z filarów działalności, oferują unikalne właściwości zdrowotne – powietrze z uł bogate w mikroelementy oraz substancje lotne propolisu i miodu wspiera układ oddechowy, wycisza układ nerwowy i poprawia jakość snu. To wyjątkowe doświadczenie pozwala personelowi lotniczemu zregenerować przeciążony organizm w sposób naturalny, bezinwazyjny i głęboko relaksujący. AeroSpa to również innowacyjne centrum odnowy biologicznej, w którym wykorzystywane są specjalistyczne urządzenia do ćwiczeń mięśni dna miednicy – technologia rzadko spotykana w klasycznych gabinetach spa. Zabiegi te poprawiają stabilizację centralną, wspierają prawidłową postawę i zwiększają ogólną sprawność, co ma szczególne znaczenie dla pilotów i osób spędzających długie godziny w statycznych pozycjach. W trosce o pełną regenerację dostępne są także zabiegi krioterapii, które skutecznie redukują stany zapalne, przyspieszają regenerację mięśni oraz pobudzają organizm do produkcji endorfin. Terapie balneologiczne, kąpiele mineralne, inhalacje i zabiegi siarkowe – wspierają odbudowę naturalnej odporności i poprawiają krążenie, szczególnie obciążone podczas częstych zmian ciśnienia i długotrwałego wysiłku. Uzupełnieniem kompleksowej oferty są masaże lecznicze i relaksacyjne, wykonywane przez wykwalifikowanych terapeutów, a także szeroki wachlarz zabiegów upiększających, które pozwalają zadbać o wygląd zewnętrzny równie skutecznie, jak o kondycję wewnętrzną. AeroSpa dba o to, by każdy element pobytu – od atmosfery po profesjonalną obsługę – sprzyjał głębokiemu odprężeniu i odbudowie harmonii. Firma wyróżnia się indywidualnym podejściem do każdego gościa, zrozumieniem specyfiki środowiska lotniczego oraz dbałością o najwyższą jakość usług. Dzięki połączeniu tradycyjnych metod regeneracji, nowoczesnych technologii oraz naturalnych terapii AeroSpa staje się miejscem, które w wyjątkowy sposób wspiera zdrowie i dobre samopoczucie osób odpowiedzialnych za bezpieczeństwo i sprawność ruchu lotniczego. To przestrzeń, w której energia wraca, ciało się regeneruje, a umysł odzyskuje klarowność – idealne zaplecze regeneracyjne dla tych, którzy każdego dnia dźwigają odpowiedzialność za podniebne podróże.



Zabiegi dostępne od poniedziałku do soboty
Umów wizytę telefonicznie lub na booksy.com



Hotel Kosmonauty
www.aerospa.com.pl
Tel. 722 313 121
54-512 Wrocław ul. Macieja Przybyły 22

