

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

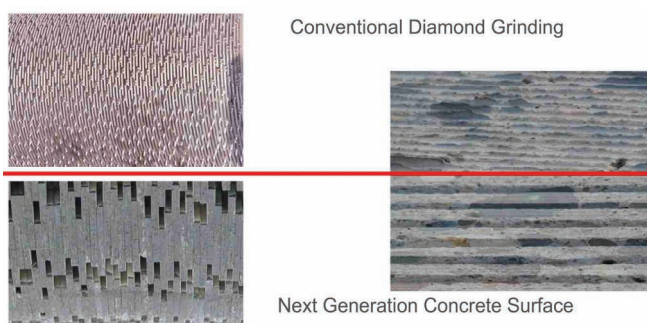
grinding, skrótnie CDG),

- 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 (powtórne 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. 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.

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

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 głośne 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.

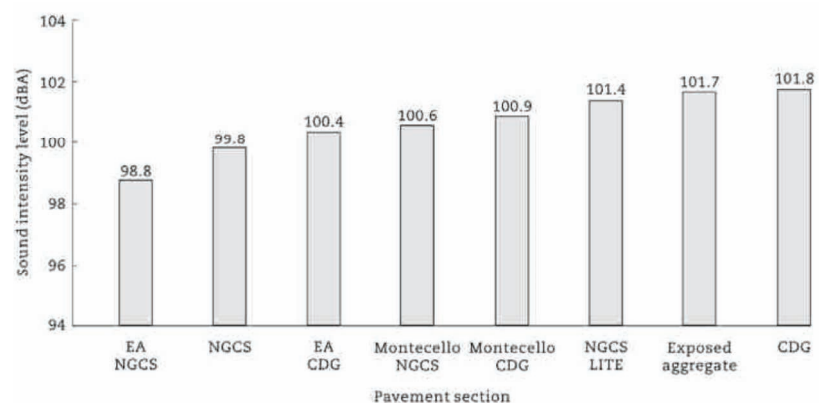
Następnie (2022) Smith i inni [30] opublikowali raport przygotowany dla National Concrete Pavement Technology Center, w którym szczególną uwagę zwrócono na wpływ zastosowania takich technik teksturowania jak: conventional diamond grinding (CDG) i grinding and grooving (GaG NGCS) na poziom hałasu opona-nawierzchnia. 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 użytkować 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 obniżyć 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 teksturuwaniu CDG. Wymagana jest w tym kierunku wnikliwsza analiza problemowa.
- personalizowanie układu tarcz i dysków 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/640e29b0315dfb4cce-7255ef/A-REVIEW-OF-CURRENT-RESEARCH-ON-ROAD-SURFACE-NOISE-REDUCTION-TECHNIQUES.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7lmZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxyY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxyY2F0aW9uIn19 (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-srutowania/> (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.