

przegląd[®] komunikacyjny

12
2025
rocznik LXXX
cena 36,00 zł
w tym 8% VAT



UKAZUJE SIĘ OD 1945 ROKU



Metoda rubblizingu w przebudowie drogi o nawierzchni betonowej

80 lat
przeglądu
komunikacyjnego

eISSN
2544-6037

ISSN
0033-22-32

Metoda rubblizingu w przebudowie drogi o nawierzchni betonowej – studium przypadku. Metody teksturowania powierzchni dróg o nawierzchni z betonu cementowego. Efekty technologiczne wzmacniania mostów murowanych z zastosowaniem blach falistych. Transport drogowy ładunków nienormatywnych w aspekcie zmian przepisów o usługach pilotażowych. European Union regulatory framework for railway vehicle (type) configuration management. Przyszłość szkolenia lotniczego w świetle realizowanych obecnie programów modernizacyjnych i pozyskiwanych w ich ramach statków powietrznych. Spalanie wodoru w kontekście transformacji energetycznej w budownictwie infrastrukturalnym

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 przesłać 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: "Metoda rubblizingu" (Stanisław Majer, Alicja Sołowczuk)

Szanowni P.T. Czytelnicy

Przekazujemy kolejny numer Przeglądu Komunikacyjnego jest on poświęcony m.in. problemom infrastruktury transportowej. W pierwszym artykule Autorzy przedstawiają studium przypadku przebudowy drogi wojewódzkiej DW142, w której zastosowano technologię rubblizingu, (tj. kruszenia płyt betonowych na miejscu i ich wykorzystania, jako podbudowy pod nowe warstwy z mieszanek mineralno-asfaltowych). Kluczowym elementem procesu decyzyjnego przy wyborze tej technologii była ocena współczynnika współpracy między płytami betonowymi, którego niskie wartości wskazywały na brak współpracy konstrukcyjnej i konieczność zastosowania rubblizingu.

W kolejnym artykule Autorzy prezentują różne metody wykończenia górnej powierzchni nawierzchni betonowych. Sposób wykończenia ma istotny wpływ na cechy eksploatacyjne, a przede wszystkim na emisję hałasu. Aktualnie wskazuje się na stosowanie sprawdzonych i optymalnych metod: grinding, grooving oraz „odkryte kruszywo”.

W następnym artykule Autorzy prezentują efektywne sposoby rewitalizacji starych obiektów mostowych wybudowanych z cegły lub kamienia profilami blach falistych. Prezentowana technologia wzmacniania polega na wprowadzaniu powłok profilowanych pod eksploatowaną konstrukcję łukową i wypełnianie iniektem wolnego obszaru pomiędzy nimi. Zaletą takiego wzmacniania sklepienia jest znaczny przyrost nośności konstrukcji. Przewozy ładunków nienormatywnych w Polsce to elitarny segment na rynku usług transportowych piszą Autorzy kolejnego artykułu. Ładunki tego typu stanowią obiekty, które posiadają duże wymiary zewnętrzne (długość, szerokość, wysokość) i/lub ciężar. Przewozy ładunków nienormatywnych są kluczowe dla realizacji projektów przemysłowych i infrastrukturalnych na poziomie krajowym.

Autor kolejnego artykułu analizuje funkcjonowanie unijnych ram regulacyjnych dotyczących zarządzania konfiguracją pojazdów kolejowych. Przeanalizował różnice między konfiguracją typu pojazdu a konfiguracją istniejącego pojazdu wprowadzonego do obrotu. Typ należy rozumieć jako konstrukcję pojazdu. Pojazd to istniejący składnik aktywów wprowadzony do obrotu.

Autor kolejnego artykułu omawia przyszłość szkolenia lotniczego w świetle realizowanych obecnie programów modernizacyjnych i pozyskiwanych w ich ramach statków powietrznych.

W ostatnim artykule Autor porównuje scenariusze spalania wodoru i ogniw paliwowych w czterech sektorach: budownictwo, lotnictwo, transport i energetyka.

Prezentowany numer jest ostatnim w bieżącym roku. Korzystając z okazji chciałbym serdecznie podziękować za współpracę w mijającym roku: Redakcji, Radzie Naukowej i Programowej, Sekretarzowi, Autorom publikacji, Recenzentom, osobom pomagającym w tym firmie Bisek. Serdeczne podziękowania składam naszym Drogim Czytelnikom. Korzystając z okazji życzę radosnego przeżycia Świąt Bożego Narodzenia oraz wszelkiej pomyślności w Nowym 2026 roku.

Życzę naszym czytelnikom dobrej lektury.

Redaktor Naczelny
Prof. Antoni Szydło

W numerze

Metoda rubblizingu w przebudowie drogi o nawierzchni betonowej – studium przypadku

Stanisław Majer, Alicja Sołowczuk

2

Metody teksturowania powierzchni dróg o nawierzchni z betonu cementowego

Antoni Szydło, Piotr Mackiewicz

9

Efekty technologiczne wzmacniania mostów murowanych z zastosowaniem blach falistych

Czesław Machelski, Julia Nowak

14

Transport drogowy ładunków nienormatywnych w aspekcie zmian przepisów o usługach pilotażowych

Sławomir Juściński, Anna Stankiewicz

19

European Union regulatory framework for railway vehicle (type) configuration management

Jan Siudecki

26

Przyszłość szkolenia lotniczego w świetle realizowanych obecnie programów modernizacyjnych i pozyskiwanych w ich ramach statków powietrznych

Grzegorz Brychczyński

35

Spalanie wodoru w kontekście transformacji energetycznej w budownictwie infrastrukturalnym

Grzegorz Brychczyński

40

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

Metoda rubblizingu w przebudowie drogi o nawierzchni betonowej – studium przypadku

Rubblizing Technique for Concrete Pavement Reconstruction – Case Study



Stanisław Majer

Dr inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

stanislaw.majer@zut.edu.pl
ORCID 0000-0003-2476-1982



Alicja Sołowczuk

Prof. dr hab. inż.

Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie

alicja.solowczuk@zut.edu.pl
ORCID 0000-0002-7922-7421

Streszczenie: W artykule przedstawiono studium przypadku przebudowy drogi wojewódzkiej DW142, w której zastosowano technologię rubblizingu, (tj. kruszenia płyt betonowych na miejscu i ich wykorzystania, jako podbudowy pod nowe warstwy asfaltowe). Kluczowym elementem procesu decyzyjnego przy wyborze tej technologii była ocena współczynnika współpracy między płytami betonowymi (k), którego niskie wartości wskazywały na brak współpracy konstrukcyjnej i konieczność zastosowania rubblizingu. Szczegółowo opisano procedurę doboru parametrów pracy łamacza wielogłowicowego (MHB) na odcinku próbnym, proces wykonawstwa oraz kontrolę jakości robót. Po ponad dziesięciu latach eksploatacji nawierzchnia wykazuje bardzo dobrą trwałość użytkową bez spękań odbitych, kolein czy uszkodzeń strukturalnych. Uzyskane efekty potwierdzają zasadność zastosowania technologii rubblizingu w warunkach polskich, jako efektywnego i ekonomicznego rozwiązania przy przebudowie nawierzchni betonowych.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia betonowa; Rubblizing; Przebudowa dróg

Abstract: This article presents a case study of the reconstruction of provincial road DW142, in which the rubblizing technique – crushing concrete slabs in situ and reusing the material as a base for new asphalt layers – was applied. A key factor in the decision-making process for adopting this method was the evaluation of the coefficient of interaction between concrete slabs (k), whose low values indicated a lack of structural cooperation and the necessity of rubblizing. The procedure for selecting the operating parameters of the multi-head breaker (MHB) on a trial section, the execution process, and the quality control measures are described in detail. After more than ten years of service, the road exhibits excellent performance with no reflective cracking, rutting, or structural damage. The results confirm the suitability of rubblizing technology under Polish conditions as an effective and cost-efficient solution for the reconstruction of concrete pavements.

Keywords: Concrete pavement; Rubblizing; Road reconstruction

Wprowadzenie

W dobie globalnego ocieplenia i rosnącego wpływu działalności człowieka na klimat, coraz większą wagę przykładają się do aspektów środowiskowych w projektach inżynierskich, zwłaszcza w kontekście zrównoważonego rozwoju. W budownictwie drogowym istotne są także kwestie ekonomiczne, szczególnie przy remontach nawierzchni, gdy możliwe jest wykorzystanie materiałów pochodzących z rozbiórki. Ma to szczególne znaczenie w przypadku przebudowy dróg o nawierzchni betonowej.

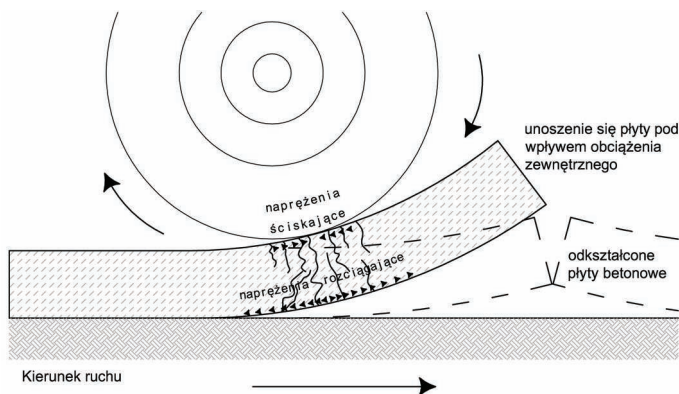
Rubblizing uznaje się za odpowiednią metodę przebudowy nawierzchni betonowej w sytuacji, gdy ta wyczerpała już swoją żywotność [2, 15]. Charakterystycznym objawem degradacji są odkształcone płyty betonowe, tworzące w szczelinach i pęknięciach wystające kra-

wędzie, które pod wpływem obciążeń prowadzą do dalszych pęknięć i obłamań (rys. 1 i 2). Należy jednak podkreślić, że nie każdą nawierzchnię betonową można poddać rubblizingowi. Zgodnie ze specyfikacjami [3, 11], przed wyborem tej technologii należy obowiązkowo przeprowadzić ocenę strukturalną istniejącej konstrukcji nawierzchni, zbadać aktualne i prognozowane natężenie ruchu oraz wykonać badania podłoża gruntowego i warunków środowiskowych.

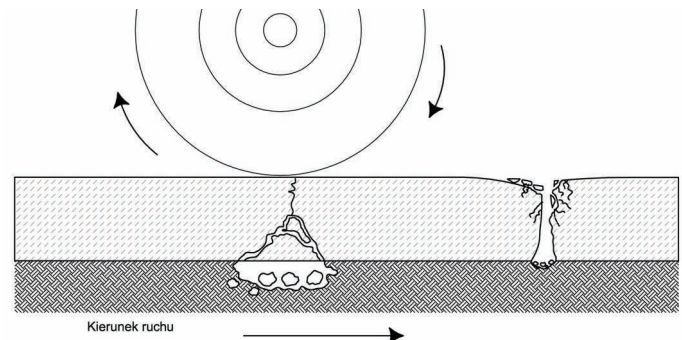
Kluczowym elementem przy podejmowaniu decyzji o metodzie remontu nawierzchni betonowej jest dokładna ocena stanu technicznego zarówno samej nawierzchni, jak i podłoża. Może się bowiem okazać, że istniejące warunki gruntowo-wodne oraz niska nośność podłoża wymagają jego wzmocnienia i zastosowania dodatkowych warstw po-

niżej istniejącej konstrukcji. Jednocześnie możliwości zwiększenia grubości konstrukcji w górę mogą być ograniczone. Biorąc powyższe pod uwagę trzeba przyjąć, że ocena stanu technicznego istniejącej nawierzchni jest ważna i w procesie przygotowawczym należy koniecznie dokonać trzech ocen, wskazanych na tab. 1.

Wyżej wymienione badania są niezbędne do oceny, czy dana nawierzchnia kwalifikuje się do zastosowania technologii rubblizingu. Szczególną uwagę należy zwrócić na stan istniejących płyt betonowych, aby właściwie ocenić ich przydatność, jako kruszywowej podbudowy w nowej konstrukcji. Kluczowe jest określenie warunków gruntowo-wodnych, pozwalających ocenić grupę nośności podłoża. W szczególnych przypadkach może być wykonana ocena podłoża na podstawie sondy



1. Poglądowa ilustracja oddziaływania płyt betonowych, gdy nawierzchnia wyczerpała już swoją żywotność



2. Zerodowana nawierzchnia betonowa przyczynia się do powstawania dużych naprężeń rozciągających, które przyczyniają się do dalszych spękań i erozji niższych warstw oraz podłoża gruntowego

DCP lub nawet okrywkę i badania płytą statyczną (VSS). Jednak większość nawierzchni betonowych można poddać technologii rubblizingu w odpowiedni sposób i zastosować na nich warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA). Podstawą wyboru metody remontu starych nawierzchni betonowych są przede wszystkim wyniki dotyczące współczynnika współpracy między płytami betonowymi k (tab. 1). Ale również niezwykle ważne są oceny pionowych przemieszczeń między płytami, czyli wyniki współczynnika wpływu punktu przyłożenia obciążenia s (tab. 2).

Według zaleceń zawartych w [2, 10, 11, 13, 14, 15] rubblizing jest zalecany, gdy na istniejącej nawierzchni betonowej odnotowano jeden lub kilka typów uszkodzeń o następującej intensywności:

- więcej niż 20% szczelin na nawierzchni betonowej wymaga napraw,
- więcej niż 20% powierzchni betonowej poddano naprawom, (czyli wykonano na niej łaty),
- więcej niż 20% płyt betonowych wykazuje uszkodzenia typu „połamanie płyt”,
- więcej niż 20% długości odcinka wykazuje uszkodzenia szczelin podłużnych o szerokości większej niż 10 cm (ok. 4 cali).

Obie technologie remontu nawierzchni przedstawione w tab. 2 mają swoje zalety i ograniczenia. Rubblizing znajduje zastosowanie również w sytuacjach, gdy wartości obu współczynników (k i s) są wprawdzie korzystne, ale istnieją ograniczenia techniczne lub formalne związane z możliwością podniesienia niwelety drogi po przebudowie.

Tab. 1. Konieczne prace przygotowawcze związane z oceną stanu technicznego nawierzchni z płyt betonowych (opracowanie autorów na podstawie [3])

L.p.	Ocena stanu	Szczegółowe czynności
1	istniejącej nawierzchni	identyfikacja: stanu pęknięć, wad połączenia płyt betonowych, deformacji i uszkodzeń powierzchni płyt betonowych
2	struktury istniejącej konstrukcji nawierzchni i poboczy	wykonanie standardowych odwiertów co 250 m, celem określenia rodzaju i grubości istniejących warstw w starej nawierzchni,
3	podłoża gruntowego	wykonanie standardowych odwiertów geotechnicznych co 250 m (najlepiej w odwiercie w nawierzchni na głębokość min. 3,0 od góry nawierzchni), celem określenia rodzaju i stanu gruntu, a w szczególnych przypadkach wykonanie sondy DCP do 2 m

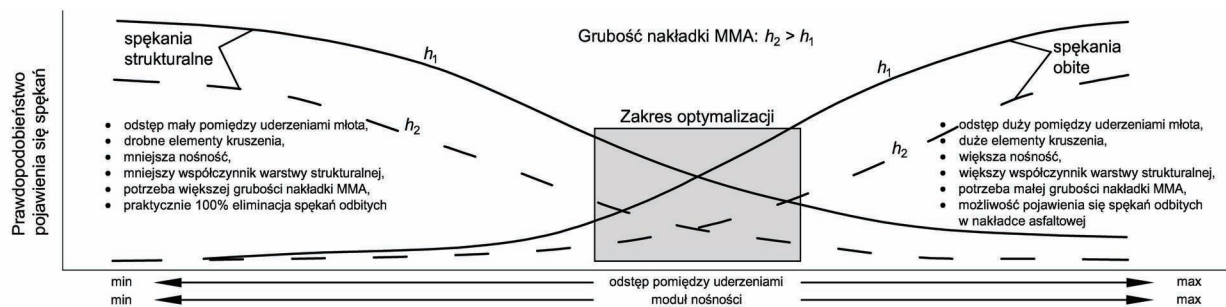
Tab. 2. Wartości współczynników stanowiące podstawę do wyboru technologii remontu drogi o nawierzchni z płyt betonowych (opracowanie autorów na podstawie [1, 5, 6, 9])

Współczynnik współpracy między płytami betonowymi	Współczynnik wpływu punktu przyłożenia obciążenia	Zalecane metody remontu starych nawierzchni z płyt betonowych
$k \leq 0,65$	$s \geq 1,4$	rubblizing i zastosowanie nakładki MMA
$k > 0,65$	$s < 1,4$	zastosowanie warstwy SAMI i nakładki MMA

Celem zastosowania rubblizingu jest przede wszystkim eliminacja powstawania spękań odbitych w nakładkach z MMA, ale również ważne są aspekty ekonomiczne, czyli redukcja czasu i kosztów przebudowy, (tj. kosztów związanych z ograniczeniem ruchu na remontowanej drodze, koniecznością organizacji objazdów, wykorzystaniem materiałów z rozbiórki itd.). Samo wykorzystanie na miejscu pokruszonych płyt betonowych przyczynia się do uzyskania ponad 50-60% oszczędności kosztów materiałowych i 100% oszczędności kosztów transportu materiałów [14, 15]. Pokruszone płyty betonowe stanowią podbudowę pod nowe warstwy asfaltowe. Istotą odróżniającą rubblizing od pozostałych wgłębnych metod remontu nawierzchni, jest uzyskanie podbudowy ziarnistej (kruszywowej), która nie przenosi naprężeń rozciągających i nie jest wrażliwa na zmiany temperatury. Rubblizing powoduje, że jeśli w płytach betonowych było zastosowane zbrojenie, to po kruszeniu nawierzchni jest ono od-

spojone od betonu [3]. Im większy jest stopień kruszenia płyty betonowej, tym mniejszy jest efektywny moduł płyty [3]. Najważniejszą zaletą metody rubblizingu jest również możliwość wykorzystania *in situ* istniejącej starej nawierzchni, jako warstwy podbudowy, co istotnie ogranicza koszty transportu związane z wywozem nawierzchni rozbiórkowej, jak i koszty zakupu oraz dowozu nowych materiałów nawierzchniowych.

Technologia rubblizingu, (czyli kruszenia udarowego nawierzchni betonowych) została opracowana w USA w stanie Wisconsin na początku lat 80. poprzedniego wieku [1, 14, 15]. Jej głównym celem było uzyskanie strukturalnie mocnej warstwy podbudowy przed wykonaniem kolejnej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni z zastosowaniem nakładki MMA. Pokruszone, zagęszczone i wyrównane do jednego poziomu stanowią ścisłą i wzajemnie klinującą się warstwę, nieprzenoszącą naprężeń zginających i rozciągających, ale posiadającą wysoką wytrzymałość na ścina-



3. Optymalizacja doboru parametrów pracy łamacza MHB i grubości planowanej nakładki MMA (w zakresie od h_1 , ..., do h_2) przy uwzględnieniu miejscowych warunków geotechnicznych i grubości kruszonych płyt betonowych (opracowanie autorów na podstawie [8, 11, 14])

Oznaczenia: h_1 – mniejsza grubość nakładki MMA, h_2 – większa grubość nakładki MMA.

nie i odporność na koleinowanie oraz równocześnie niewrażliwą na zmiany temperatury [10, 14]. Przed projektem przebudowy trzeba jednak wykonać ocenę istniejącego stanu nawierzchni, badania ww. współczynników i parametrów geotechnicznych oraz konieczne odwierty w starej nawierzchni, w celu określenia grubości płyt betonowych. Rubblizing można stosować do płyt betonowych grubości od 150 mm do 356 mm (od 6 cali do 14 cali), uzyskując skuteczne kruszenie [15]. Do rubblizingu stosuje się łamacz wielogłowicowy Multi-Head Breaker MHB (ang. *multi-head breaker*). Do grubszych nawierzchni powinno się używać specjalistycznego sprzętu o zwiększonej wadze obu par młotów. Przy opracowaniu projektu rozbiórki starej nawierzchni i projekcie nowej konstrukcji nawierzchni powinno się wybrać odpowiednią grubość nakładki z MMA (w zakresie od h_1 , ..., do h_2) i zoptymalizować parametry pracy łamacza MHB na podstawie analizy poszczególnych wyników uzyskanych z odcinka próbnego. Proces optymalizacji, na podstawie wyników z odcinka próbnego przedstawiono na rys. 3.

W niniejszym artykule do opisu metody rubblizingu wykorzystano przypadki remontu nawierzchni betonowej na drodze wojewódzkiej DW142, której żywotność już się wyczerpała.

Stan drogi wojewódzkiej DW142 przed przebudową

Droga wojewódzka DW142 była wybudowana przed II wojną światową i stanowi fragment nieukończonyj autostrady prowadzącej z Berlina do Królewca. Przedmiotowy odcinek, opisywany w niniejszym artykule, o długości 21,8 km znajduje się pomiędzy Szczecinem i Łęczycą od km 0+480 do km 22+530. Do roku 1943 wykonano roboty ziemne pod obie jezdnie, ale do ruchu oddano tylko jezdnię południową. DW142 ma szerokość jezdni południowej równą 7,5 m, opaskę wewnętrzną szerokości 0,5 m i pas awaryjny szerokości 2,25 m. Konstrukcja nawierzchni betonowej składała się z dwóch warstw. Górna warstwa grubości ok. 7 cm wykonana była z grysłu bazaltowego, a dolna warstwa grubości 22-23 cm stanowiła standardową nawierzchnię betonową wykonywaną metodą „mokre na mokre”. Pod konstrukcją nawierzchni z płyt betonowych znajdowała się warstwa mrozoochronna o grubości 50 cm. Po prawie osiemnastoletnim użytkowaniu nawierzchnia była w złym stanie technicznym, wynikającym z wyczerpania trwałości zmęczeniowej oraz odkształceń pionowych podłoża. Typowymi uszkodzeniami były pęknięcia poprzeczne i podłużne płyt, przemieszczenia płyt w pionie, oblama-

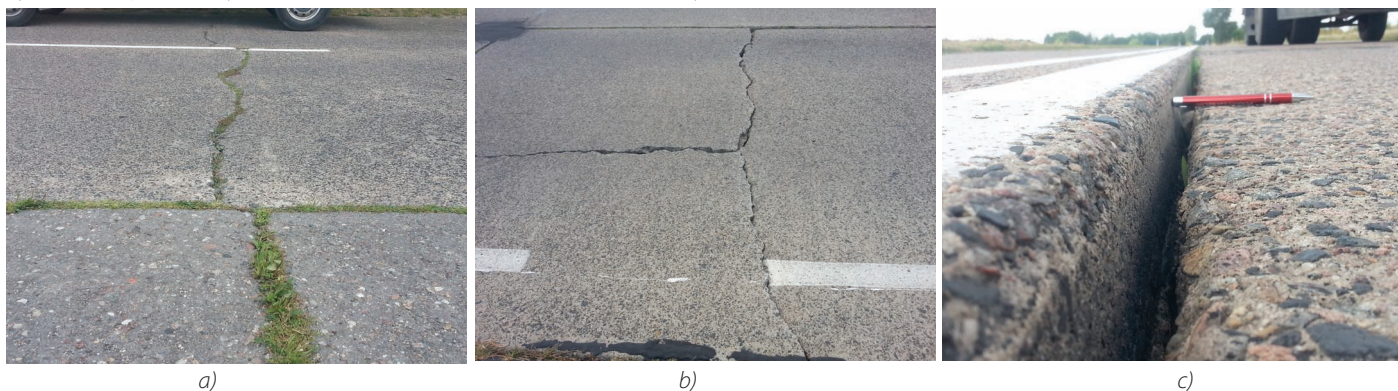
nia krawędzi płyt i wykruszenia w szczelinach (rys. 4).

Uwzględniając uszkodzenia i wielkości przemieszczenia płyt betonowych na całej długości remontowanego odcinka DW142 wykonano na obu pasach ruchu pomiary współczynnika k . Zgodnie z zaleceniami zawartymi w [5] wykonano badania współczynnika k naprzemienne, co 50 metrów (na jednym i drugim pasie ruchu na długości całego ponad dwudziestokilometrowego odcinka drogi) i dodatkowo wykonano 100 badań w pęknięciach. Rezultaty wykonanych badań wykazały, że w szczelinach współpraca była częściowa, a w przypadku pęknięć płyt betonowych brak było współpracy.

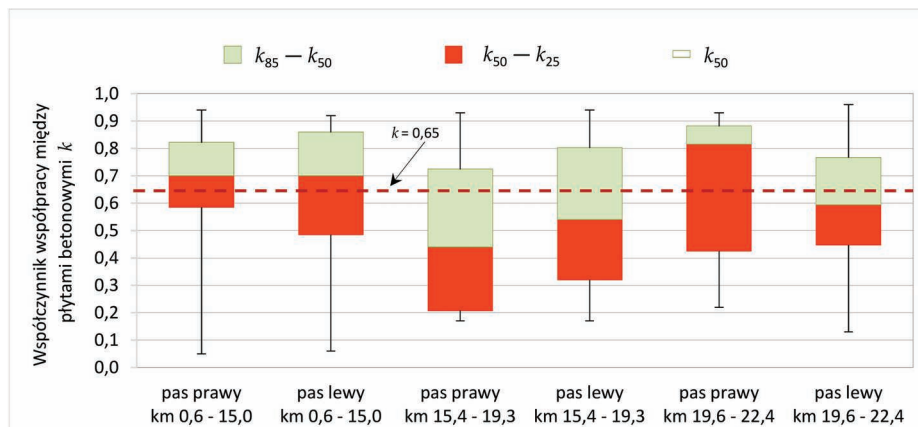
Analiza wyników współczynnika k przedstawionych na rys. 5 wykazała, że wartości współczynnika współpracy pomiędzy płytami są niezadowalające i zalecany powinien być rubblizing starej nawierzchni. Na rys. 5 dodatkowo linią przerywaną oznaczono wartość współczynnika k równą 0,65, rozgraniczającą stan nawierzchni i zalecane metody remontu, zgodnie z danymi zestawionymi w tab. 1.

Projekt konstrukcji nawierzchni

Z uwagi na posuniętą degradację starej nawierzchni betonowej, liczne pęknię-



4. Stan techniczny nawierzchni: a) spękania poprzeczne; b) spękania poprzeczne i podłużne; c) przemieszczenia płyt w pionie i w poziomie



5. Wykres ramka-wąsy wyników współczynnika k (opracowanie autorów na podstawie [8])

Oznaczenia: k_{50} – mediana współczynnika k ; $k_{85} - k_{50}$ – trzeci kwantyl współczynnika k (k_{85} – 85% kwantyl współczynnika k , oznaczający, że 85% odnotowanych wyników nie przekracza tej wartości); $k_{50} - k_{25}$ – drugi kwantyl współczynnika k (k_{25} – 25% kwantyl współczynnika k , oznaczający, że 25% odnotowanych wyników nie przekracza tej wartości); wąsy prezentują odpowiednio wartości minimalne k_{min} i maksymalne k_{max} .

cia poprzeczne i podłużne oraz przemieszczenia pionowe zastosowano metodę rubblizingu, która dzięki skruszeniu płyt betonowych na miejscu pozwoliła na ujednolicenie podłoża i powstanie podatnej podbudowy pod warstwy asfaltowe planowanej nowej nawierzchni. Projekt nowej nawierzchni w 2014 r. wykonano na zgodnie z zaleceniami obowiązujących wówczas katalogów [5, 7]. Kategorię ruchu KR3 określono na podstawie danych uzyskanych z GPR z 2010 r. [4], zgodnie z zaleceniami zawartymi w [16].

W trakcie prac polowych stwierdzono, że na odcinku od początku przebudowy od km 0+480 do km 11+500 podłoże stanowiły średnio zagęszczone piaski średnie i drobne rzeczne równiny akumulacyjno-erozyjne wód roztopowych, natomiast na pozostałym odcinku gliny wysoczyzny moreny płaskiej i falistej [12]. Nie stwierdzono wody gruntowej do głębokości 2 m poniżej poziomu nawierzchni [12]. Z uwagi na zastosowaną w starej nawierzchni warstwę mrozochronną o grubości 50 cm w projekcie nowej nawierzchni pod względem wysadzinowości przyjęto grupę nośności G1. Na podbudowie powstałej z pokru-

szonych płyt betonowych zaprojektowano warstwy z mieszanek mineralno-asfaltowych o łącznej grubości 16 cm. Zaprojektowana konstrukcja charakteryzowała się trwałością zmęczeniową na poziomie 16 mln osi równoważnych osi standardowych 100 kN [8]. Układ warstw nawierzchni przedstawiono na rys. 6.

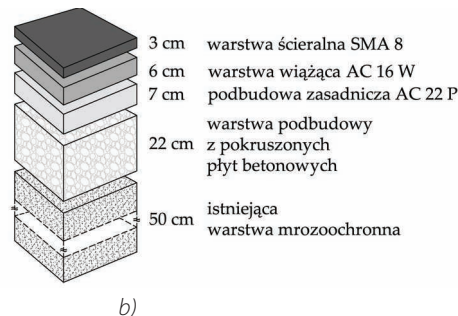
Odcinek próbny

Biorąc pod uwagę długość dwudziestokilometrowego odcinka remontowanej drogi i grubość starych płyt betonowych ok. 22 cm [8], to przed przystąpieniem do zasadniczego kruszenia wykonano odcinek próbny, celem wyboru odpowiedniej energii łamania, która decydowała o stopniu pokruszenia płyt betonowych (rys. 7 i 8).

Na odcinku próbnym zastosowano etapowanie kruszenia łamaczem wielogłowicowym MHB T8600, w celu doboru odpowiednich parametrów łamacza (tab. 3 i rys. 7). Elementem łamiącym/kruszącym beton były stalowe młoty MHB podnoszone do góry i swobodnie opadające z odpowiedniej wysokości – wysokość jest regulowana (maksymalnie 1,7 m). Młoty miały szerokość 20

cm i były ustawione w dwóch rzędach, przesuniętych po przekątnej. Młot z pierwszego i drugiego rzędu stanowił parę. Każda para podlegała regulacji wysokości podnoszenia. Łamacz MHB efektywnie łamie płytę betonową w zakresie grubości od 15 do 36 cm. Dlatego tak istotne jest w pierwszej kolejności dobranie odpowiedniej wysokości podniesienia młota, by w końcowym rezultacie uzyskać kruszenie na całej grubości płyty betonowej. Następnie przy określonej już wysokości podniesienia młota powinno się dobierać odpowiednio energię kruszenia i prędkość przejazdu łamacza, w celu uniknięcia wbijania się kruszywa w podłoże i uzyskania odpowiednich wymiarów elementów kruszenia (rys. 7 i 8). W przypadku, gdy na odcinku remontu są różne warunki lokalne podłoża, to powinno się równolegle wykonywać badania nośności przy każdej zmianie parametrów pracy łamacza, w celu uzyskania pożądanych rezultatów.

Po analizach kilku wysokości podnoszenia stalowych młotów w zakresie od 1,3 do 1,7 m wybrano ostatecznie wysokość 1,50 m i odstęp między uderzeniami równy 50 mm. Wybrana ostatecznie wysokość opadania młota MHB zapewniała maksymalne wymiary kruszonych elementów do 50 mm na powierzchni płyty betonowej i 300 mm na dole płyty oraz brak wbijania pokruszonych brył w podłoże podczas kruszenia (rys. 7). Podczas kruszenia płyt na odcinku próbnym zwracano szczególną uwagę na utrzymanie odpryskiwania małych elementów na minimalnym możliwym poziomie, przy jednoczesnym osiągnięciu pełnej głębokości kruszenia. Głównie jednak zwracano uwagę, by kruszenie betonu następowało na pełnej grubości płyty betonowej. Zgodnie z zaleceniami sformułowanymi w [1], w trakcie kruszenia nawierzchni na odcinku próbnym była prowadzona ciągła ocena wizualna pęknięć wraz z kontrolą uziarnienia i od-



6. Porównanie konstrukcji nawierzchni na DW142: a) stara konstrukcja nawierzchni betonowej; b) nowa konstrukcja nawierzchni (opracowanie autorów na podstawie [8])

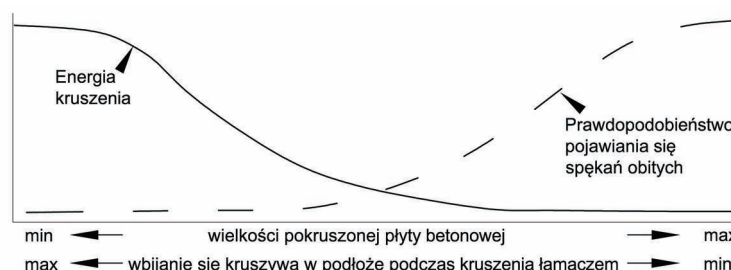
słonięcia stali zbrojeniowej w odkryw-
kach.

Z doświadczeń z odcinka próbnego wynika, że przy stosowaniu rubblizingu zawsze powinno się stosować odcinki próbne w celu weryfikacji stopnia prze-
kruszenia starej nawierzchni. Dowol-
ność doboru wysokości opadania młota
(energii) i odstępu pomiędzy uderze-
niami umożliwia dopasowanie wymiaru
kruszonych elementów do konkretnych
wymagań każdego projektu remontu
starej nawierzchni. Ta elastyczność do-
boru parametrów pracy łamacza MHB
jest szczególnie cenna, gdy na remonto-
wanej drodze występują różne warunki
(tj. różne specyfikacje kruszenia, zmie-
na grubość płyt betonowych, różna ja-
kość betonu, zmienne warunki grunto-
wo-wodne, ponieważ umożliwia ona
natychmiastową reakcję na te warunki
[15].

Mając komplet dobranych parame-
trów pracy łamacza i wyników wyko-
nanych badań nośności w końcowym
efekcie określa się właściwe parametry
kruszenia w zależności od warunków
lokalnych podłoża. W danym przypadku
po analizach wszystkich wyników mie-
rzonych parametrów pracy łamacza wy-
brano optymalne wielkości kruszonych
elementów, które zapewniały, że 75% z
nich posiadało wymiary nie większe niż
[8]:

Tab. 3. Kolejność czynności pracy łamacza MHB na odcinku próbnym (opracowanie autorów na podstawie [8])

L.p.	Czynność	Oczekiwany efekt
Krok 1	Dobór wysokości podnoszenia młota MHB	Uzyskanie kruszenia płyty w głąb całej grubości starej nawierzchni betonowej
Krok 2	Dobór energii kruszenia i prędkości jazdy łamacza	Uniknięcie wbijania się kruszywa w podłoże i uzyskanie pożądanej wielkości pokruszonej płyty betonowej (ok. 5 cm na górze płyty i do 30 cm na spodzie płyty)
Krok 3	Badania nośności skruszonej płyty betonowej podczas doboru wielkości łamanych elementów	Uzyskanie wymaganej nośności



7. Poglądowe przedstawienie doboru optymalnych parametrów kruszenia na odcinku doświadczalnym, przy wybranej wysokości opadania młota łamacza (opracowanie autorów na podstawie [8])

- w dolnej połowie płyty betonowej 230 mm,
- w górnej połowie płyty betonowej 75 mm,
- na powierzchni płyty betonowej 50 mm.

Opis technologii wykonawstwa wzmocnienia konstrukcji nawierzchni z wykorzystaniem destruktu ze starych warstw betonowych

Biorąc pod uwagę stan techniczny

starej nawierzchni zastosowano dwie metody wykorzystania starych warstw nawierzchni betonowej. Nawierzchnię z pasa awaryjnego i opaski wstępnie pokruszono na miejscu (rys. 9), a następnie rozdrobniono w kruszarce stacjo-
narnej do frakcji 0/31,5. Z pozyskanego w ten sposób kruszywa na części drogi wykonano dodatkową 10 cm warstwę podbudowy na skruszonej nawierzchni metodą rubblizingu. Warstwa ta była rozkładana przy użyciu rozścielacza do MMA. Uwzględniając różnicę grubości



a)



b)



c)

8. Różne wymiary pokruszonych brył na odcinku próbnym: a) największe; b) średnie; c) najmniejsze



a)



b)

9. Etapy składowania rozebranej nawierzchni z opaski i pasa awaryjnego: a) składowanie pokruszonej nawierzchni z pasa awaryjnego; b) składowanie na pasie dzielącym kruszywa o uziarnieniu 0/31,5 po kruszeniu w kruszarkach stacjonarnych

starej i nowej konstrukcji nawierzchni warstwę dodatkową układano z odniesieniem wysokościowym do linki niwelacyjnej. Ewentualne różnice w podłożu powstałe po skruszeniu nawierzchni z opasek i starego pasa awaryjnego wyrównywano pod tą dodatkową warstwą gruntem nasypowym.

Natomiast starą nawierzchnię jezdni kruszono na miejscu łamaczem MHB. W trakcie procesu kruszenia wykonywano ciągłą wizualną kontrolę uziarnienia poprzez wykonywanie odkrywek w skruszonej nawierzchni na każdym kilometrze drogi. Maksymalne wymiary pokruszonych brył na dole pokruszonej warstwy nie przekraczały 30 cm. W trakcie kruszenia płyt kontrolowano nie tylko jakość kruszenia, (tj. wizualną ocenę pęknięć płyt betonowych i wykonywanie odkrywek), ale również wykonywano obserwacje ciągłe odsłonięcia stali zbrojeniowej i uziarnienia, w odkrywkach skruszonej nawierzchni na każdym kilometrze drogi. W przypadku stwierdzenia miejscowego odsłonięcia stali zbrojeniowej na powierzchni nawierzchni lub od strony rozebranych opasek i pasa awaryjnego, oznaczano te miejsca markerami i usuwano odsłoniętą stal zbrojeniową.

Powierzchnia płyt betonowych po kruszeniu zazwyczaj jest „łuszcząca”. Dlatego w celu zmniejszenia wielkości „łuszczących się cząstek” stosuje się zagęszczanie walcem wibracyjnym o masie 9 t ze wzorem na wale w kształcie litery „Z” [15]. Zastosowanie walca wibracyjnego z charakterystycznym wzorem w kształcie litery „Z” ma na celu dalsze rozdrobnienie górnej powierzchni pokruszonych elementów płyt betonowych (rys. 10), w celu osiągnięcia dobrego jakościowo zagęszczenia w podbudowie kruszywowej [15]. Zagęszczanie walcem

wibracyjnym zapewniało dodatkowo lepsze klinowanie rozkruszonych brył, zwłaszcza w górnej części kruszonej płyty betonowej (rys. 11). Biorąc pod uwagę uzyskany stan kruszenia płyty betonowej po przejeździe łamacza MHB na drodze DW142 wykonano dwa przejazdy walcem wibracyjnym z wzorem w kształcie litery „Z”.

Następnie zgodnie ze specyfikacją sekwencji budowy nowej nawierzchni [11, 15] powinno się zagęszczać walcami wibracyjnymi o stalowych kołach (dwa przejazdy) lub walcami pneumatycznymi (cztery przejazdy). Wybór walców i liczby ich przejazdów zależy przede wszystkim od uzyskanego stanu kruszenia i wielkości pokruszonych elementów na powierzchni płyt betonowych [15]. Z uwagi na stan kruszenia i wymiary kruszonych brył wykonano na całym odcinku remontowanej drogi DW142 dwukrotny przejazd walcem wibracyjnym gładkim.

W wyniku przyjętej technologii kruszenia i wałowania dwoma rodzajami walców otrzymano ujednolicone podłoże i podbudowę podatną (rys. 12), na której możliwe było ułożenie warstw asfaltowych o łącznej grubości 16 cm [8]. Ważne było również to, że w efekcie kruszenia płyt betonowych zmieniono rodzaj nawierzchni ze sztywnej na podatną. Uwzględniając powyższe w projekcie nowej konstrukcji nawierzchni grubość zwrócono szczególną uwagę na pierwszą warstwę MMA, układaną na kruszonych płytach [3, 8]. Powinna ona mieć wystarczającą grubość, by odpowiednio pokryć kruszywową podbudowę i w zależności od przyjętej dalszej technologii i organizacji ruchu przenieść tymczasowy ruch do czasu ułożenia kolejnych warstw [3].

Ocena stanu nowej nawierzchni po 10 latach eksploatacji

Po upływie ponad dekady od zakończenia przebudowy, nawierzchni zastosowana na drodze wojewódzkiej DW142 wykazuje bardzo dobrą trwałość eksploatacyjną. Na całej długości remontowanego odcinka brak jest spękań odbitych, deformacji trwałych oraz kolein (rys. 13). Nawierzchnia zachowała wysoką równość podłużną i poprzeczną, a odwodnienie funkcjonuje prawidłowo. Weryfikacja stanu technicznego wykonana w 2025 roku nie wykazała konieczności przeprowadzania żadnych zabiegów utrzymaniowych ani wzmacniających. Stan drogi oceniono, jako bardzo dobry, co potwierdza skuteczność zastosowanej technologii rubblizingu oraz poprawność przyjętych rozwiązań projektowych i wykonawczych.

Wnioski

Niewielką część dróg w Polsce stanowią drogi z nawierzchnią betonową. Powoduje to, że technologie przebudowy starych nawierzchni betonowych w naszym kraju nie miały do tej pory szansy się rozwinąć. W projektach nowych konstrukcji nawierzchni przy okazji remontu dróg wykorzystuje się, więc doświadczenia innych krajów, głównie Stanów Zjednoczonych, Niemiec i Francji. W artykule przedstawiono podejście do tego zagadnienia na podstawie przebudowy drogi wojewódzkiej DW142 o nawierzchni betonowej wykonanej ponad 80 lat temu. W danym przypadku zastosowano technologię rubblizingu wykorzystując destrukcję ze starej nawierzchni betonowej do budowy pełnowartościowej podbudowy podatnej pod nowe warstwy asfaltowe.

Na podstawie doświadczenia z wykonawstwa opisaną przebudowę można stwierdzić, że:

- istotne było zastosowanie odcinka próbnego do dobru odpowiednich parametrów pracy łamacza MHB, w celu uzyskania właściwej wielkości kruszonych elementów zapewniających otrzymanie ujednoliconej równiej podbudowy.
- duże znaczenie miało zastosowanie zagęszczania walcem wibracyjnym, które zapewniło lepsze klinowanie rozkruszonych brył, zwłaszcza w



10. Walec wibracyjny z wzorem na wale w kształcie litery „Z”



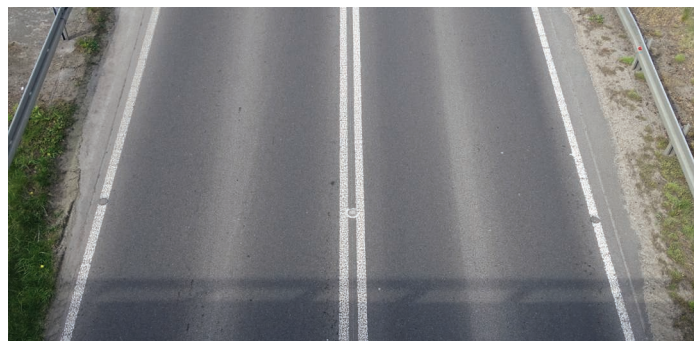
11. Powierzchnia pokruszonych płyt betonowych po przejeździe łamacza MBH



12. Ostatecznie rozdrobiona i zagęszczona powierzchnia po dwukrotnym przejściu walca wibracyjnego



a)



b)

13. Stan obecny nawierzchni po ponad 10 letniej eksploatacji: a) widok ogólny DW102; b) stan nawierzchni

- górnej części podbudowy, zastosowanie zaproponowanego układu warstw asfaltowych na podbudowie wykonanej z destruktu starej nawierzchni w opisanej technologii, przyczyniło się do uzyskania jednolitej i równej nawierzchni asfaltowej bez spękań odbitych po ponad dziesięciu latach intensywnej eksploatacji.

Konstrukcja zastosowana na omawianym odcinku DW142 charakteryzowała się dużą trwałością zmęczeniową (>KR4), co było szczególnie istotne, gdy porówna się wyniki GPR z roku 2020-21, tj. 513 samochodów ciężarowych z przyczepami do 270 z prognozy z etapu projektu. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Clombier G. Cracking in pavements: nature and origin of cracks, Chapter 1, pp. 1-16, [w:] Prevention of Reflective Cracking in Pavements, Rilem Report 18, Edited by A. Venelstraete and L. Francken, E&FN SPON, London, 1997.
- [2] Concrete Pavement Rehabilitation Guidelines: Facilities Development Manual, Chapter 14 Pavements, Section 25 Pavement Rehabilitation, FDM 14-25-10, Wisconsin Department of Transportation 2013.
- [3] Decker, D.S., Hansen K.R., Design and Construction of HMA Overlays on

- Rubblized PCC Pavements. State of the Practice, Chapter 1, pp. 7-19, [w:] Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements, Transportation Research Circular No. E-C087, Transportation Research Board, Washington, January 2006.
- [4] Generalny Pomiaru Ruchu – punkt pomiarowy nr 32074, GDDKiA, Warszawa 2010.
- [5] Katalog Wzmocnień i Remontów Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, IBDiM, Warszawa 2001
- [6] Katalog Przebudów i Remontów Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, GDDKiA, IBDiM, Warszawa 2013.
- [7] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych, GDDKiA, 2014.
- [8] Majer S., Projekt konstrukcji nawierzchni, opracowany w ramach projektu wykonawczego pt. „Rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 142 na odcinku Szczecin – Krzywnica od km 0+480 do km 22+530”, Szczecin 2014.
- [9] Mechowski T., Sprawozdanie z realizacji pracy TD-69 pt.: „Weryfikacja zasad oceny stopnia współpracy w pęknięciu odbitym w nawierzchni półsztywnej”, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2005.
- [10] Mieczkowski P., Majer S., Budziński B., Heavy maintenance of concrete paved roads using the regional roads no. 102 and no. 142 as an example,

Roads and Bridges - Drogi i Mosty 2019, 18, 25 – 38, DOI: 10.7409/rab-dim.019.002.

- [11] Modified-Rubblization-MA-PA-3-2-16, <https://www.antigo-construction.com/wp-content/uploads/Modified-Rubblization-MAPA-3-2-16.pdf>, dostęp 1.07.2014.
- [12] Opinia Geotechniczna – Obiekt: Przebudowa drogi wojewódzkiej nr 142 od km 0+480 do km 22+530, Fundacja na Rzecz Rozwoju Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2014.
- [13] Rubblizing Concrete Pavement. Construction and Materials Manual, Chapter 5, Section 5.5. Wisconsin Department of Transportation, 2003.
- [14] The Art of Rubblizing, https://resonantmachines.com/es_ES/rubblizing/, dostęp 1.07.2024.
- [15] Thompson M.R., Rubblization Using Multi-Head Breaker Equipment, Chapter 3, pp. 31-41, [w:] Rubblization of Portland Cement Concrete Pavements, Transportation Research Circular No. E-C087, Transportation Research Board, Washington, January 2006.
- [16] Zasady prognozowania wskaźników wzrostu ruchu – Załącznik 2 – Sposób obliczania wskaźników wzrostu ruchu wewnętrznego na okres 2008-2040, GDDKiA, Warszawa 2007.

Metody teksturowania powierzchni dróg o nawierzchni z betonu cementowego

Methods of texturing the surface of cement concrete pavement



Antoni Szydło

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska, Katedra
Dróg, Mostów, Kolei i Lotnisk

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



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

Streszczenie: Artykuł zawiera przegląd metod wykańczania powierzchni nawierzchni betonowych. Zaprezentowano różne metody stosowane od pierwszych wprowadzanych technologii realizacji nawierzchni sztywnych z betonu cementowego. Stwierdzono, że różna metoda wykończenia powierzchni istotnie wpływa na cechy eksploatacyjne, a przede wszystkim na emisję hałasu. Aktualnie wskazuje się na stosowanie sprawdzonych i optymalnych metod: grinding, grooving oraz „odkryte kruszywo”.

Słowa kluczowe: Nawierzchnia betonowa; Tekstura; Grinding; Grooving; „Odkryte kruszywo”

Abstract: This article provides an overview of concrete pavement surface finishing methods. Various methods used since the first introduction of rigid cement concrete pavement technologies are presented. It is concluded that different surface finishing methods significantly impact operational characteristics, particularly noise emissions. Currently, proven and optimal methods are recommended: grinding, grooving, and "exposed aggregates".

Keywords: Concrete PAVEMENT; Texture; Grinding; Grooving; "Exposed Aggregate"

Wprowadzenie

Konstrukcja nawierzchni z betonu cementowego (ale nie tylko) składa się z układu warstw zadaniem którego jest bezpieczne przeniesienie obciążeń w założonym okresie czasu. Ponadto taka konstrukcja powinna zapewnić bezpieczeństwo użytkownikom dróg. Za to bezpieczeństwo odpowiada górna warstwa a w szczególności powierzchnia górnej warstwy nawierzchni. Zadaniem tej części nawierzchni jest zapewnienie odpowiedniej makrotekstury oraz sprawnego odprowadzania wód opadowych. Makrotekstura powinna zapewnić wymagany współczynnik tarcia pomiędzy oponą a nawierzchnią. Współczynnik tarcia jest ważnym parametrem decydującym o długości drogi hamowania, odległości widoczności na zatrzymanie, która z kolei decyduje o wartości minimalnych promieni łuków pionowych

wypukłych i wklęsłych oraz poziomych przy sprawdzaniu widoczności bocznej itp. Od ukształtowania górnej powierzchni nawierzchni zależy również poziom hałasu generowany na styku opony z nawierzchnią.

Metody kształtowania górnej powierzchni nawierzchni betonowych można podzielić na trzy grupy:

- kształtowanie powierzchni na mokro zaraz po ułożeniu nawierzchni,
- kształtowanie powierzchni w stwardniałym betonie,
- nakładanie nowych warstw na bazie żywicy i utwardzanych kruszywem.

W artykule omówiono różne metody kształtowania powierzchni z podaniem przykładów.

Kształtowanie powierzchni na mokro po ułożeniu nawierzchni

W tym punkcie będą omówiono me-

tody kształtowania powierzchni nawierzchni na mokro zaraz po ułożeniu mieszanki betonowej.

Po ułożeniu górnej warstwy nawierzchni należy wygładzić powierzchnię i nadać odpowiednią teksturę. Wskutek zagęszczania mieszanki betonowej za pomocą wibratorów na górną powierzchnię jest wyciskana zaprawa piaskowa (rys. 1), która w pierwszym etapie eksploatacji nawierzchni decyduje o szorstkości nawierzchni. Wykończenie górnej powierzchni przez nadanie nawierzchni odpowiedniej tekstury jest ważnym zagadnieniem dla bezpieczeństwa ruchu o czym wspomniano we wprowadzeniu.

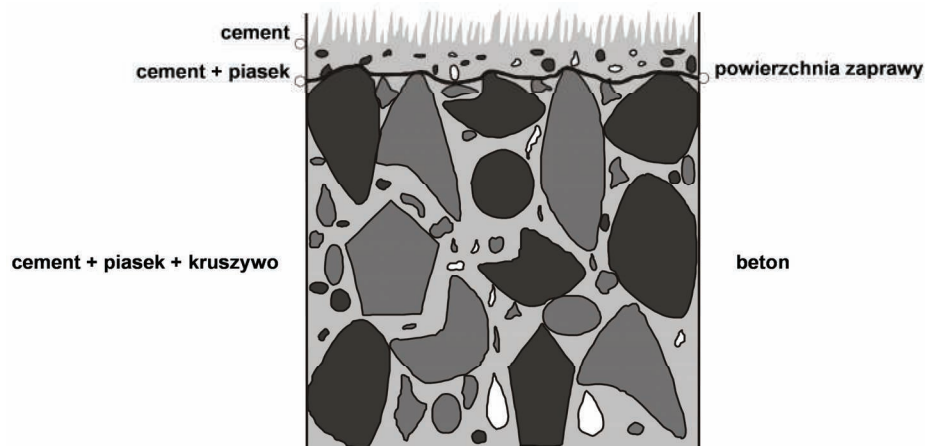
Teksturowanie w celu uzyskania odpowiednio szorstkiej nawierzchni można przeprowadzić metodami: przeciągania tkaniny jutowej w kierunku równoległym do kierunku jazdy, sztuczną trawą, przecieranie w

kierunku prostopadłym do kierunku jazdy świeżo ułożonej mieszanki betonowej stalową szczotką, rowkowanie poprzeczne za pomocą widełek metalowych (rzadziej stosowane). Na fot. 2 pokazano przykłady teksturowania z wykorzystaniem w/w metod.

Każdy z wymienionych sposobów posiada szczególne zalety i wady. Przeciąganie juty jest najtańszym sposobem jednakże uzyskuje się najmniejszą teksturę powierzchni rzędu 0.2 do 0.6 mm. Trwałość tego typu zabiegu wynosi 1-3 lat. Sposób ten ma również zalety. Występuje mniejszy hałas. Szczotkowanie nawierzchni za pomocą szczotek w kierunku poprzecznym daje większą teksturę w granicach 1-1.5 mm. Zaletą tego sposobu jest stosunkowo szybkie odprowadzenie wody w kierunku poprzecznym oraz duży współczynnik szczepności koła z nawierzchnią. Ale za to występuje zwiększony hałas. Trwałość zabiegu wynosi 3 do 5 lat.

Przedstawione powyżej sposoby kształtowania są coraz rzadziej stosowane na drogach typu autostrady lub drogi ekspresowe. Wynika to z faktu krótkiej trwałości wykonywanych zabiegów. Zabiegi takie wykonywane są jeszcze na drogach samorządowych gdzie ruch jest znacznie mniej intensywny i mniej agresywny.

Metodą, która aktualnie jest stosowana w Polsce oraz w innych krajach europejskich (Niemcy, Austria, Belgia) jest to metoda „odkrywania kruszywa”. Metoda polega na opóźnieniu hydratacji cementu w górnej warstwie świeżo ułożonej nawierzchni (np. przy użyciu glukozy) a następnie wypłukanie niezwiązanej warstwy zaprawy cementowej strumieniem wody lub wyszczotkowanie. Aby wykonać nawierzchnię w technologii „odkrytego kruszywa” beton układa się dwuwarstwowo „mokre na mokre” górna warstwa o grubości 5 cm i kruszywem o uziarnieniu do 8 mm, dolna o uziarnieniu 22 mm. Po ułożeniu warstwę górną zrasza się środkiem (np. glukozą) niszczącą zaprawę cementową (w Belgii w ramach zabiegów pielęgnacyjnych rozkłada się na nią folię). W dalszym etapie po około dwóch



1. Przekrój nawierzchni w strefie przypowierzchniowej, [1]



2. Przykłady teksturowania nawierzchni z wykorzystaniem szczotkowania oraz juty [1]



3. Widok nawierzchni wykonanej metodą „odkrywania kruszywa”, fot autorskie

a)



b)



4. Widok maszyny do szlifowania, fot. autorskie, a) Widok ogólny, b) widok na wały

dniach (w zależności od warunków klimatycznych i recepty) niezwiązaną zaprawę cementową wymywa lub szczotkuje, pozostawiając frakcję kruszywa na powierzchni warstwy ścieralnej. Uzyskana w ten sposób tekstura zapewnia wymagane cechy przeciwpoślizgowe.

Na fot. 3 pokazano widok nawierzchni wykonanej wg opisanej metody.

Metoda odkrytego kruszywa jest standardową metodą stosowaną w Polsce. Zapewnia wymagany współczynnik tarcia. Ponadto makrotekstura zapewnia mniejszy hałas w porównaniu z metodami kształtowania powierzchni za pomocą szczotkowania poprzecznego.

Kształtowanie powierzchni w stwardniałym betonie

Jednym z zabiegów na stwardniałej powierzchni nawierzchni betonowej jest zabieg mikroszlifowania mający na celu wyrównanie nierówności.

Zabieg taki przeprowadza się na nawierzchni z „odkrytym kruszywem” ale nie tylko. Do tego celu służy maszyna szlifierka bębnowa np. typu Lissmac fot. 4. Szerokość robocza pasma technologicznego wynosi 1,27 m. Ilość pasm technologicznych uzależniona jest od tego, czy szlifowany jest jeden czy więcej pasów ruchu. Urządzenie pracuje „na mokro”, z użyciem wody, ze średnią prędkością wynoszącą 5-10 m/min. Zabieg ten ma na celu uzyskanie pożądanego poziomu równości podłużnej i poprzecznej poprzez wyszlifowanie nawierzchni na głębokość wymaganą do zniwelowania nierówności. Podstawowym narzędziem tej maszyny jest szlifierka bębnowa z tarczami diamentowymi o średnicy 230 mm i grubości 2,2 mm osadzonymi na bębnie. Tarcze przylegają do siebie lub jest minimalna między nimi odległość ok. 0,6 mm. W ten sposób uzyskuje się efekt szlifowania.

Po pierwszym przejeździe urządzenia należy przeprowadzić pomiar równości profilografem laserowym celem

sprawdzenia, czy występujące nierówności zostały zniwelowane. W razie konieczności zabieg mikroszlifowania zostanie powtórzony. Na fot. 4 pokazano widok maszyny do szlifowania.

Na fot. 5 pokazano widok maszyny do szlifowania w trakcie pracy. Za maszyną szlifującą zestaw do odsysania odpadów po szlifowaniu.

Po osiągnięciu pożądanego efektu, tj. usunięciu nierówności, wyszlifowana powierzchnia powinna być poddana śrutowaniu w celu uzyskania odpowiedniej makrotekstury. W tym celu można wykorzystać maszynę typu Blastrac 2-45 DTM w związku z koniecznością uzyskania odpowiedniej makrotekstury i właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni. Szerokość robocza pasma technologicznego wynosi 1,10 m. Ilość pasm technologicznych, podobnie jak w przypadku szlifierki, uzależniona będzie od tego, czy śrutowany jest jeden czy więcej pasów ruchu. Śrutownica porusza się ze średnią prędkością wynoszącą 15 m/min. Prędkość przejazdu dosto-



5. Zestaw do szlifowania i odsysania odpadów, fot. autorskie



6. Widok maszyny do śrutowania, fot. autorskie



7. Widok nawierzchni śrutowanej, fot. autorskie



8. Widok wału, fot. autorskie

sowana powinna być do głębokości makrotekstury otrzymanej po szlifowaniu (im płytsza makrotekstura tym wolniejszy przejazd i odwrotnie – im

głębsza makrotekstura tym szybszy przejazd). Na fot. 6 pokazano widok maszyny do śrutowania.

Na fot. 7 pokazano widok nawierzchni wykonany zabiegiem mikroszlifowania oraz śrutowania.

Oprócz wymienionych zabiegów szlifowania i śrutowania na powierzchni nawierzchni wykonuje się dodatkowe nacinanie wzdłużne nawierzchni pozwalające na uzyskanie lepszej szczepności koła z nawierzchnią oraz obniżenie poziomu hałasu. W tym celu może być wykorzystana maszyna jak do szlifowania z tym, że na wale tarcze tnące muszą być osadzone w pewnej odległości od siebie. Na fot. 8 pokazano widok wału.

Tarcze tnące są zamontowane w określonej odległości od siebie na obracającym się wale. Proces cięcia tworzy na powierzchni betonu rowki, którym, towarzyszą mostki (występy) o określonej geometrii (głębokość rowków, szerokość rowków i szerokość mostków). Nacinanie (grinding) to metoda kontrolowanego tworzenia tekstury powierzchniowej w stwardniałym betonie, wzdłuż osi podłużnej nawierzchni o jednolitych i trwałych właściwościach użytkowych. Rowki zwiększają zdolność do odprowadzania wody z powierzchni, przyczyniają się do obniżenia intensywności tworzenia się mgły wodnej przy dużych prędkościach pojazdów oraz zapewnienia lepszej przyczepności na mokrej nawierzchni, fot. 9.

W przypadku rowkowania w technologii grooving, rowki o większej głębokości i większym odstępie są wycinane w stwardniałym betonie w



9. Widok nacięć podłużnych w technologii grindingu, fot. autorskie

osobnym procesie technologicznym. Może być wykonywane z dodatkowymi rowkami o większej głębokości lub bez nich. Widok takiego sposobu wykończenia nawierzchni pokazano na fot. 10.

Nakładanie nowych warstw na bazie żywic i utwardzanych kruszywem

W niniejszym punkcie przedstawiona będzie metoda kształtowania powierzchni nawierzchni betonowej z wykorzystaniem żywic i grysów [3]. Żywica reaktywna, np. żywica epoksydowa, jest наносzona maszynowo



10. Widok nawierzchni wykonany w technologii groovingu [2]

i bezciśnieniowo na przygotowaną powierzchnię betonu, a następnie posypywana grysem o określonym uziarnieniu. Grubość nakładanej warstwy powierzchniowej wynosi tylko kilka milimetrów i zależy od wybranej granulacji posypki. Jakość obróbki powierzchniowej żywicą reaktywną zależy od połączenia między żywicą reaktywną a podłożem oraz od osadzenia/zatopienia grys w żywicy reaktywnej. Najważniejszym warunkiem trwałości obróbki powierzchniowej żywicą reaktywną jest odpowiednie i starannie przygotowane podłoże betonowe. Przed nałożeniem warstwy żywicy reaktywnej podłoże musi być oczyszczone z wszelkich substancji rozdziających, takich jak oleje, tłuszcze, ścier gumowy, kurz, środki do pielęgnacji, bitum lub farby oznakowania poziomego. Powierzchnia powinna być oczyszczona za pomocą strumienia wody pod wysokim ciśnieniem (np. hydromonitor) i natychmiastowego odsysania szlamu. Alternatywnie stosuje się metodę śrutowania. Podczas czyszczenia wodą pod wysokim ciśnieniem należy uwzględnić dodatkowy czas konieczny do wysuszenia powierzchni przed nałożeniem właściwej warstwy żywicy. Oprócz wymaganego oczyszczenia podłoża, w przypadku głębokości makrostruktury większej niż 1,5 mm, konieczne są dodatkowe środki przygotowawcze w celu zmniejszenia głębokości tekstury. W celu zapewnienia trwałości nałożonej warstwy żywicy, przed nałożeniem należy usunąć lub zakryć oznakowanie poziome. Wytrzymałość na rozciąganie powierzchni betonu określona testem pull-off daje wskazówki, czy obróbka powierzchniowa żywicą reaktywną może być bezpośrednio nałożona na powierzchnię betonu, czy też konieczne jest wcześniejsze usunięcie niestabilnych warstw zaprawy. Bez wymaganej wytrzymałości powierzchni betonu na rozciąganie trwałe połączenie nie jest możliwe. Słabe warstwy powierzchni należy usunąć (np. czyszczenie wodą pod wysokim ciśnieniem lub śrutowania). Przed nałożeniem powłoki należy sprawdzić i ewentualnie naprawić wypełnienie szczelin dyla-

tacyjnych. Szczeliny powinny być wypełnione i szczelne. W przypadku mas uszczelniających na gorąco, obróbka powierzchniowa żywicą reaktywną może być nałożona bez dodatkowego przygotowania. Szczeliny uszczelnione masami zalewowymi na zimno powinny być w każdym przypadku zakryte lub zaklejone przed nałożeniem warstwy żywicy. Profile gumowe nie muszą być zakrywane, o ile ich wysokość w komorze wypełnienia spełnia wymagania Specyfikacji. Na krawędziach płyt i dylatacjach obiektowych nie powinno być różnic wysokościowych powyżej 3 mm. Temperatura powierzchni betonu podczas nakładania żywicy powinna wynosić co najmniej $+8^{\circ}\text{C}$ i nie przekraczać $+40^{\circ}\text{C}$ i wynosić co najmniej 3 K powyżej temperatury punktu rosy. Wilgotność względna nie powinna przekraczać 85%. W przypadku przewidywanego gwałtownego wzrostu temperatury powierzchni lub opadów, kondensacji pary wodnej i mgły, prace nie powinny być wykonywane. Nakładanie żywicy powinno odbywać się równomiernie. Bezpośrednio po nałożeniu żywicy należy równomiernie posypać i docisnąć grys za pomocą małego walca (maks. 2 t z gumową opaską). Kruszywo do posypywania powinno być odpylone zgodnie z odpowiednimi wytycznymi. W ten sposób zapewnia się wymaganą przyczepność i trwałe osadzenie kruszywa w warstwie żywicy. Największe ziarno powinno być osadzone w żywicy na około połowę swojej średnicy. Powierzchnia powinna być chroniona przed uszkodzeniami, wilgocią i zanieczyszczeniami do momentu utwardzenia. Po całkowitym utwardzeniu żywicy nadmiar grys posypki jest usuwany przez zamiatanie. Możliwe jest ponowne użycie usuniętej posypki. Po zamiataniu powierzchnia jest natychmiast gotowa do użytku. Zaproponowana metoda odpowiada technologii powierzchniowego utwardzenia w nawierzchniach z mieszanek mineralno-asfaltowych. Technologia ta zalecana do stosowania punktowego np. polepszenie właściwości powierzchniowych pojedynczych płyt.

Podsumowanie

Przedstawione w artykule metody kształtowania powierzchni nawierzchni betonowych pokazują jak ewaluują metody kształtowania powierzchni. Właściwości powierzchni nawierzchni betonowych mają duże znaczenie dla użytkowników dróg. Wpływają one na komfort jazdy, bezpieczeństwo ruchu, zużycie paliwa, emisję hałasu i trwałość dróg. Do najważniejszych właściwości powierzchni należą równość, przyczepność (właściwości przeciwoślizgowe), zdolność do odprowadzania wody, hałas generowany przez opony, opór toczenia oraz właściwości odbijania i pochłaniania światła.

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. Zadanie 6 – „Trwałość akustyczna i eksploatacyjna nawierzchni betonowych o różnych technologiach budowy i technikach teksturowania”. 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] Szydło A., Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, Realizacja. Polski cement, Kraków, 2004
- [2] Scofield L. (2009). „Transportation Noise and Concrete Pavements, Using Quiet Concrete Pavements as the Noise Solution”, ACPA
- [3] Alte-Teigeler Otto, Piotr Heinrich, Teksturowanie nawierzchni betonowych wg. nowych niemieckich wytycznych M OB. Konferencja Dni Betonu, Wisła, 2025

Efekty technologiczne wzmocnienia mostów murowanych z zastosowaniem blach falistych

Technology of reinforcing masonry bridges with the use of corrugated steel sheets



Czesław Machelski

Prof. dr hab. inż.

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Katedra Budownictwa

czeslaw.machelski@upwr.edu.pl



Julia Nowak

Mgr inż.

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji, Katedra Budownictwa

julia.nowak@upwr.edu.pl

Streszczenie: Wzmocnianie profilami blach falistych jest efektywnym sposobem rewitalizacji starych obiektów mostowych wybudowanych z cegły lub kamienia. Prezentowana technologia wzmocnienia polega na wprowadzaniu powłok profilowanych pod eksploatowaną konstrukcję łukową i wypełnianie iniektem wolnego obszaru pomiędzy nimi. Zaletą takiego wzmocnienia sklepienia jest znaczny przyrost nośności konstrukcji. W fazie budowy obiektu, występuje część istniejąca w postaci sklepienia z nadłęczem obciążona nawierzchnią oraz niezależna od niej powłoka. Na obydwie części układu oddziałuje ciśnienie hydrostatyczne mieszanki betonowej. Na przykładzie wzmocnianego obiektu przedstawiono model powłoki i wyniki obliczeń MES. W pracy analizowano siły wewnętrzne w powłoce z blachy falistej określone na podstawie przemieszczeń uzyskanych z geodezyjnych pomiarów jej deformacji. Do przetwarzania danych przygotowano algorytm z wykorzystaniem ujęcia różnicowego. W przykładzie wskazano na możliwość oceny bezpieczeństwa powłoki w trakcie budowy. Z uwagi na duże wartości przemieszczeń i sił wewnętrznych powłoki stosuje się dwie fazy wypełnienia iniektem przestrzeni między istniejącym łukiem a profilem. W analizowanym przykładzie wskazano na rozbieżności pomiędzy modelem numerycznym obiektu a rzeczywistymi warunkami statycznymi wzmocnianej konstrukcji.

Słowa kluczowe: Wzmocnianie mostów murowanych; Blachy faliste; Analizy numeryczne

Abstract: Strengthening, using corrugated metal sheets, is an effective way of revitalizing old arch structures like bridges, tunnels and culverts built of brick or stone. The presented reinforcement technology consists in introducing the coating under the exploited structure and filling the free space between them with concrete blend. The advantage of such a strengthening of the vault is a significant increase in the load-bearing capacity of the structure. During the construction phase, the primary part occurs in the form of a vault with a surface load as well as an independent metal coating. Both parts of the system are affected by the hydrostatic pressure of the concrete blend filling. The example of the reinforced object presents the shell model and numerical FEM calculation results. The work analyses internal forces in a corrugated plate determined on the basis of displacements obtained from geodetic measurements of coating deformations. An algorithm using a differential approach was prepared for data processing. The example indicates the possibility of assessing the safety of the metal coating during construction. Due to the high values of displacements and internal forces, two concrete blend filling phases are used. In the analysed example of the reinforced structure, large discrepancies between the FEM model results and real static conditions of the coating were indicated.

Keywords: Reinforcement of masonry bridges; Corrugated steel sheets; Numerical calculations

Wstęp

W pracy omówiono przykład jednego ze sposobów przywracania do pełnej eksploatacji komunikacyjnych obiektów o konstrukcji sklepionej [3, 7]. Zwrócono uwagę na technologię wzmocnienia mostów, tuneli i przepustów z użyciem blach falistych jako efektywny zabieg techniczny rewitalizacji starych obiektów wybudowanych z cegły lub kamienia [5,11].

Technologia wzmocnienia polega na wprowadzaniu powłoki pod istniejącą konstrukcję i mocowanie jej w podporach obiektu, a następnie wypełnienie wolnego obszaru pomiędzy wzmocnianą sklepieniem a powłoką - mieszanką betonową (iniektem). W początkowej fazie wzmocnienia obiektu, występują jako niezależne części: sklepienie oraz powłoka z blachy falistej, jak na rys. 1.

Zaletą takiej technologii jest nie-

wielka redukcja przestrzeni pod sklepieniem. W procesie budowlanym nie ma konieczności wprowadzania ograniczeń komunikacyjnych na moście. Podstawowym celem jest zwiększenie nośności konstrukcji w odniesieniu do stanu pierwotnego. Głównym problemem technologicznym wzmocnianego obiektu, stanowią naprężenia wynikające z deformacji blachy falistej powstałe podczas realizacji wypełniania. W pracy rozpatruje się



1. Widok obiektu i schemat wzmocnienia konstrukcji sklepienia [5]

konieczność stosowania przerw technologicznych podczas wprowadzania iniektu. Z uwagi na zasadę pracy sklepienia i powłoki z blachy falistej nie są konieczne łączniki wymuszające współpracę [5, 6, 10].

Model powłoki w fazie realizacji wzmocnienia

W fazie budowy obiektu, przedstawionej na rys. 1, wyróżnia się część pierwotną w postaci sklepienia z pozostałymi elementami wyposażenia oraz powłokę z blachy falistej. W trakcie wypełniania przestrzeni pomiędzy sklepieniem a powłoką, na obie części układu oddziałuje ciśnienie hydrostatyczne zaczynu cementowego $p(z)$, jak na rys. 2. Jego intensywność oraz zasięg wzdłuż długości łuku określony jest przez rzędną z . Z analiz projektowych wynika, że ze względu na bezpieczeństwo powłoki zaleca się zastosowanie przerwy technologicznej podczas wypełniania przestrzeni iniektu. Przerwa ta pozwala na zmniejszenie sił wewnętrznych i przemieszczeń powłoki w porównaniu z pełnym cyklem wypełnienia. W pracy przyjmuje się realizację procesu wypełnienia w dwóch etapach. Założono, że przerwa technologiczna wystąpi na poziomie z_0 , a po częściowym związaniu zaczynu cementowego odbędzie się wypełnianie pozostałej części pomiędzy

tymi elementami – aż do osiągnięcia klucza sklepienia. Stąd w drugim etapie, proporcjonalnie do wzrostu rzędnej $z - z_0$ przyrasta siła rozłożona $p(z)$ w stałej proporcji do ciężaru objętościowego mieszanki betonowej.

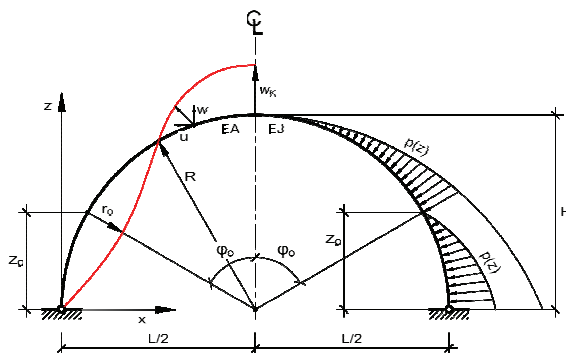
W modelu geometrii konstrukcji wyróżnia się dwa podukłady: murywane sklepienie i wiotką powłokę z blachy falistej. W części dolnej łączy je wzajemne oddziaływanie hydrostatyczne wypełnienia $p(z)$. W schemacie statycznym analizie poddaje się wycinek obwodowy powłoki, modelowany jako łuk o kształcie kołowym i promieniu R . W obliczeniach przyjmuje się jako wartości stałe sztywności na zginanie EI oraz ściskanie EA . Oddziaływanie siły $p(z)$ powoduje deformację powłoki, przedstawioną po lewej stronie schematu. Deformacja ta określona jest przez maksymalne przemieszczenia: pionowe w_k – wypiętrzenie klucza oraz przemieszczenie o kierunku radialnym r_0 – jako zwężenie w części bocznej - ociosie. W pracy przyjęto

symetrię układu, czyli jednakowy poziom wypełnienia przestrzeni pomiędzy powłoką a sklepieniem.

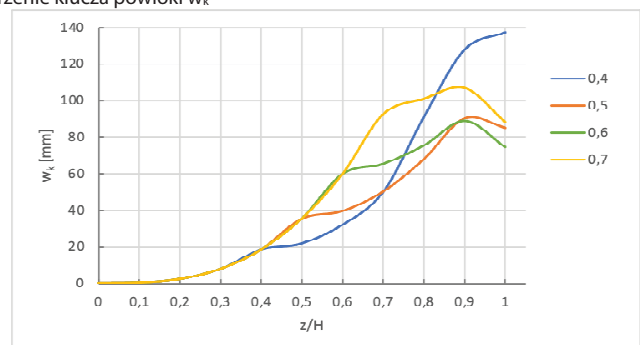
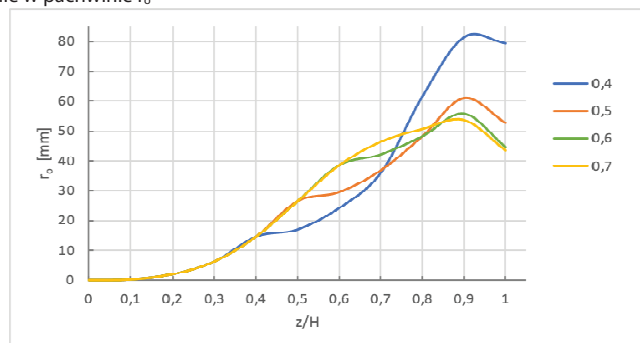
Deformacja powłoki podczas wypełniania mieszanką betonową

Skuteczność podziału technologicznego na dwie fazy analizowano na przykładzie wzmocnionego obiektu tunelowego o długości 93 m, zlokalizowanego w Jedlinie [6]. W obliczeniach przyjęto dane geometrii powłoki obiektu jako połowy koła, gdy $R = H = L/2 = 3,5$ m. Zastosowano profil z blachy falistej typu MP 200x55x5,5 [mm] z oznaczeniem MP $a \times f \times g$ (długość fali, strzałka, grubość blachy). Parametry geometryczne wycinka obwodowego profilu o szerokości $a = 200$ mm wynoszą: pole powierzchni przekroju poprzecznego $A = 13,024$ cm² i moment bezwładności $I = 50,186$ cm⁴ oraz sztywność na zginanie $EI = 103$ kNm².

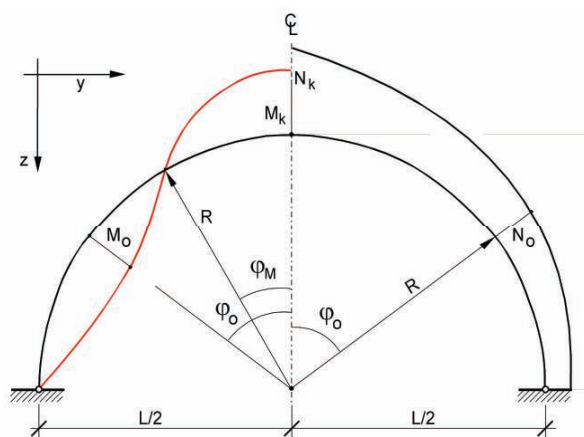
Na rys. 3 przedstawiono wyniki analizy przemieszczeń charakterystycznych punktów powłoki, wyróżnionych w schemacie jak na rys. 2. Do utworzenia wykresów wykorzystano rezultaty obliczeń przeprowadzonych w programie MES. Parametrem zmiennym w analizie jest poziom wypełnienia z .



2. Schemat oddziaływania wypełnienia i deformacja pasm obwodowego powłoki

a) wypiętrzenie klucza powłoki w_k b) zwężenie w pachwinie r_0 

3. Zmiana deformacji powłoki podczas wypełnienia



4. Rozkład sił wewnętrznych w łuku

W obliczeniach przyjęto cztery różne poziomy zakończenia pierwszej fazy wypełniania zaczynem. Zostały one podane w legendzie rysunków w odniesieniu do wysokości sklepienia, w postaci parametru z_o/H . Wyniki tych obliczeń są podstawą do opracowania geometrii wykonawczej (projektowanej) pasma obwodowego łuku, a więc takich, aby po zakończeniu robót pasmo obwodowe stanowiło wycinek koła o promieniu R .

Jako podstawową wielkość charakteryzującą deformację przyjmuje się największe przemieszczenie powłoki w jej kluczu, oznaczane jako wypiętrzenie w_k . Na rys. 3a przedstawiono funkcje $w_k(z)$, gdzie zmiennym parametrem jest poziom wypełnienia z . Przestrzeń pomiędzy powłoką a kluczem sklepienia podlega ciągłej redukcji. Jeżeli założy się przerwę technologiczną na poziomie $0,5 < z_o/H < 0,6$ wypiętrzenie powłoki wynosi około 90 mm, a więc znacznie więcej niż wysokość fali blachy ($f = 55$ mm). Natomiast w przypadku ciągłego wypełnienia, gdy $w_k(z)$ traktowane jest jako funkcja nieprzerwanej realizacji iniekcji, wypiętrzenie osiąga maksymalną wartość $w_k = 184$ mm.

Drugim istotnym parametrem jest przyrost przemieszczenia w kierunku radialnym w pachwinie powłoki, oznaczony jako r_o . Wyznaczano go na poziomie zakończenia pierwszej fazy układania wypełnienia. Na rys. 3b przedstawiono funkcje $r_o(z)$. Ciągły przyrost tej wartości stanowi podstawę do uzasadnienia niezmienności schematu obliczeniowego, jak na rys.

2. Ma to istotne znaczenie, szczególnie w drugim etapie wypełniania, czyli gdy $z > z_o$. Korzystne jest uzyskanie minimalnej wartości przyrostu przemieszczenia

$$\Delta r_o = r_o(z) - r_o(z - z_o) \quad (1)$$

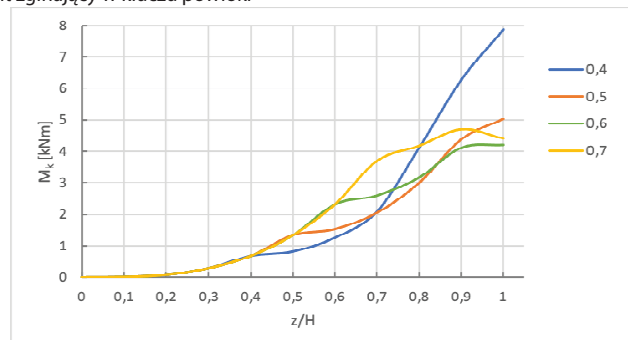
na początku drugiej fazy betonowania. Jest ono szczególnie ważne z uwagi na wypełnianie przestrzeni pomiędzy blachą a sklepieniem. Wówczas występuje tendencja do separacji powłoki od wcześniej ułożonego betonu, a mieszanka betonowa nie wypełnia przestrzeni między powłoką a betonem ułożonym w pierwszej fazie.

Siły wewnętrzne w kluczu powłoki

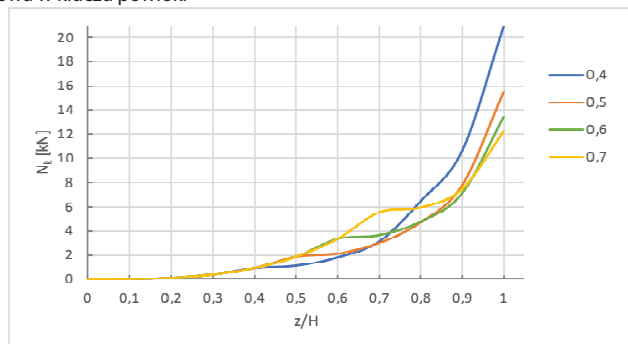
Na rys. 4 przedstawiono rozkłady sił wewnętrznych na długości pasma obwodowego powłoki, przy założeniu symetrycznego oddziaływania $p(z)$. Przy takim założeniu deformacja powłoki powstała podczas wypełniania jest jednakowa po obu stronach osi symetrii. Na rys. 2 i 4 wyróżniono miejsce, gdzie zastosowano przerwę technologiczną podczas układania iniektu. Położenie tego punktu określono przez współrzędną z_o oraz kąt ϕ_o .

Na rys. 5 zamieszczono wyniki

a) Moment zginający w kluczu powłoki



b) Siła osiowa w kluczu powłoki



5. Zmiany sił wewnętrznych w kluczu powłoki podczas wypełnienia

uzyskane z programu MES dla łuku o schemacie przedstawionym na rys. 2. W legendzie podano wartości z_o/H jako parametr zmienny, określający poziom zakończenia pierwszego etapu wypełnienia. Z porównania obu wykresów $M_k(z)$ i $N_k(z)$ wynika, że dominujące znaczenie ma zginanie, co można uzasadnić dużymi wartościami mimośrodu, obliczonego ze wzoru:

$$e_k = \frac{M_k}{N_k} \quad (2)$$

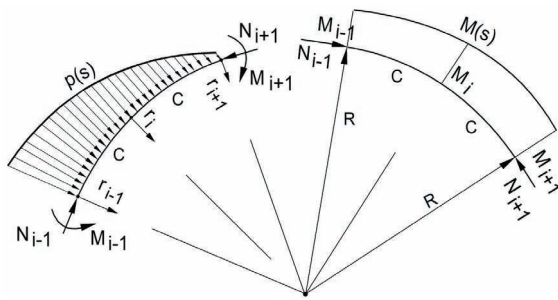
Jego wartość znacznie przekracza wysokość fali blachy $f = 55$ mm.

Dla bezpieczeństwa powłoki istotne znaczenie ma wartość naprężeń normalnych powstałych w końcowej fazie budowy. Na podstawie wyznaczonych sił wewnętrznych w kluczu powłoki, przy założonym poziomie wypełnienia iniektu $z_o/H = 0,6$ można oszacować je na podstawie równania:

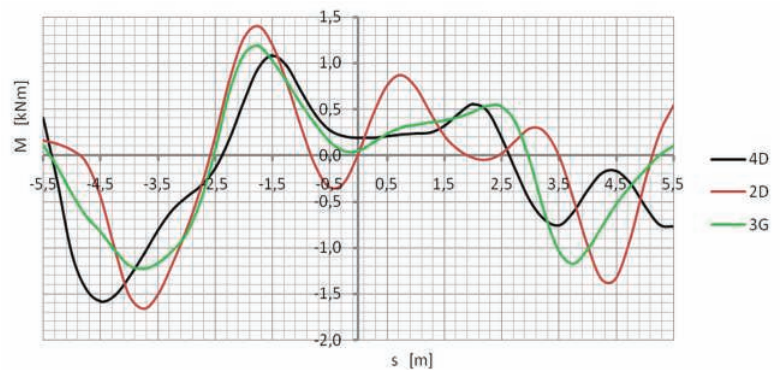
$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{2I}(f + g) = \left(\frac{13,45}{13,024} 10^4 + \frac{4,21}{50,2} 3,025 \cdot 10^6 \right) 10^{-3} = 10,3 + 253,7 = 264 \text{ MPa} \quad (3)$$

Z częściowego wyniku obliczenia wynika drugorzędny wpływ sił osiowych, przedstawionych na rys. 5b.

Z analizy kształtu deformacji powłoki



6. Rozkład przemieszczeń i sił wewnętrznych w wycinku pasma obwodowego powłoki



7. Momenty zginające w pasmach obwodowych powłoki

ki, widocznej na rys. 2 oraz wykresów momentów zginających podanych na rys. 4, widoczne jest ich duże podobieństwo. Korzystając z funkcji $w_k(z)$, jak na rys. 3a, można oszacować moment zginający w kluczu $M_k(z)$ z równania:

$$M_k = \pi \frac{3EI}{2R^2} w_k \quad (4)$$

W ogólności [4], oddziaływanie $p(s)$ wzdłuż pasma obwodowego powłoki związane jest z rozkładem siły osiowej $N(s)$ i momentu zginającego $M(s)$ zgodnie z równaniem:

$$p(s) = \frac{N}{R} + \frac{d^2 M}{ds^2} \quad (5)$$

Do obliczeń siły osiowej w kluczu wykorzystuje się warunek $p(s) = 0$ z ogólnego równania (5) i funkcję M_k z (4). Stąd otrzymano bezpośrednią zależność siły osiowej od wypiętrzenia jako

$$N_k = \frac{3\pi}{2R} M_k = \pi^2 \frac{9EI}{4R^3} w_k \quad (6)$$

Badania przemieszczeń pasma obwodowego powłoki

Deformacja powłoki podczas realizacji wypełnienia przestrzeni pomiędzy sklepieniem a powłoką, jak pokazano na rys. 1, jest z natury zjawiskiem losowym. Parcie hydrostatyczne $p(s)$, wynikające ze zróżnicowanych poziomów wypełnienia po obydwu stronach powłoki, nie jest symetryczne. Dodatkowo, wskutek przerw roboczych, występuje różny stopień wiązania (zagęszczenia) mieszanki wypełnienia. Zatem funkcja oddziaływania $p(s)$ na długości pasma obwodowego może być zróżnicowana, co zgodnie z zależnością (5) prowadzi do złożonych funkcji sił wewnętrznych w powłoce.

Wcześniej, na rysunkach 2 i 4 oraz na podstawie wyników obliczeń podanych na rysunkach 3 i 5, przyjęto symetrię układu, czyli jednakowy poziom wypełnienia przestrzeni pomiędzy powłoką a sklepieniem.

W tym punkcie podaje się metodykę obliczania sił wewnętrznych na podstawie geodezyjnych pomiarów laserowych. Pozwalają ona na określenie linii przemieszczeń wybranych pasm obwodowych powłoki. Do obliczeń momentów zginających, jak na rys. 6, przyjęto przemieszczenia o kierunku radialnym $r(s)$ w ujęciu różnicowym, jak we wzorze

$$M_i = \frac{EI}{c^2} (r_{i-1} - 2r_i + r_{i+1}) \quad (7)$$

oraz stałą sztywność na zginanie $EI = 103 \text{ kNm}^2$ pasma obwodowego o szerokości fali blachy $a = 200 \text{ mm}$. Zmianę krzywizny uzyskano z funkcji przemieszczeń $r(s)$. Istotne znaczenie ma w tym przypadku odległość c pomiędzy analizowanymi punktami jako wycinek koła o promieniu R , co pokazano na rys. 6.

W pracy [6] przedstawiono trzy charakterystyczne profile ugięcia pasma obwodowego badanego obiektu w Jedlinie. Na rys. 7 zamieszczono wykresy momentów zginających obliczonych ze wzoru (6) oraz na podstawie zmierzonych przemieszczeń o kierunku radialnym, podanych na rys. 6. Trzy linie wynikają z pomiaru wzdłuż górnego (G) i dolnego (D) grzbietu blachy falistej, w wybranych pasmach obwodowych o numerach 2, 3, 4. Jak widać, różnią się one co do przebiegu. Wspólną cechą są podobne wartości maksymalne, co oznacza, że betonowana sekcja profilu odkształca się

walcowo. Na wynik obliczenia według (7) ma wpływ dokładność pomiarów przemieszczeń oraz czynniki o cechach losowych, omawiane wcześniej. Jednak podstawowe znaczenie ma odstępstwo od schematu statycznego, w postaci warunków podporowych i wprowadzania iniektu w kluczu powłoki.

Wykresy te znacznie odbiegają od uzyskanych z modelu MES, podanych wcześniej. Wyniki uzyskane z pomiarów różnią się znacznie od wartości zaprezentowanych na rys. 5a. Podstawą różnic są mniejsze wartości przemieszczeń radialnych wynikające z zastosowania dwóch przerw technologicznych w betonowaniu wypełnienia. W praktyce zatem istotne znaczenie ma ciągłość procesu iniektowania, możliwa do stosowania w obiektach o znacznej szerokości (długości).

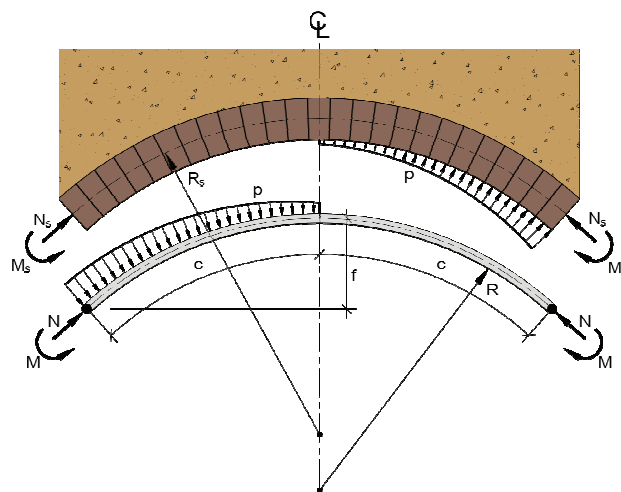
Wypełnianie realizowano na obiekcie w Jedlinie z krótkimi przerwami, które umożliwiały wykonanie pomiarów kształtu powłoki za pomocą naziemnego skaningu laserowego i instrumentu Riegl VZ-400i. Współcześnie technika skaningu laserowego jest coraz częściej stosowana w pomiarach przemieszczeń i odkształceń obiektów budowlanych, czego przykłady można znaleźć m.in. w pracy [9]. Wynikiem pomiarów geodezyjnych były pola przemieszczeń o kierunku radialnym w analizowanym sektorze powłoki o szerokości ok. 7 m. W analizie pola przemieszczeń przetworzono na profile wzdłuż pasm obwodowych.

Podsumowanie i wnioski

Po wzmocnieniu sklepienia, utworzony jest hybrydowy układ trzywarstwowy. Wielokrotnie większy moduł Younga stali powłoki w odniesieniu do pozostałych elementów sprawia, że powłoka stanowi równorzędny element konstrukcyjny w powstałym układzie. Zwiększona grubość konstrukcji (ze wzmocnieniem) oraz rozkład obciążeń eksploatacyjnych z nawierzchni prowadzą do znacznej redukcji zginania (momentów) w sklepieniu [1]. Dodatkowo, w fazie budowy, powstaje hydrostatyczne ciśnienie wypełnienia, jak na rys. 8. Powoduje ono odciążenie wzmacnianego sklepienia. Zatem część dotychczasowego obciążenia stałego sklepienia i jego wyposażenia zostaje przekazana na powłokę z blachy falistej. Dzięki temu zdegradowane sklepienie może przenosić zwiększone obciążenie użytkowe [5]. Po stwardnieniu wypełnienia pozostają siły wewnętrzne w powłoce powstałe z procesu technologicznego.

Na przykładzie wzmacnianego obiektu w Jedlinie przedstawiono wyniki obliczeń z zastosowaniem MES [2]. W modelu obliczeniowym założono równomierny układ wypełnienia, stąd symetryczna deformacja powłoki i rozkłady sił wewnętrznych. W pracy omówiono wpływ parcia hydrostatycznego mieszanki betonowej z zastosowaniem etapowania procesu wypełnienia. Na przykładzie wyników pomiarów analizowanego obiektu wskazano na znaczną rozbieżność warunków rzeczywistych występujących na obiekcie [8]. W praktyce występują zróżnicowane poziomy wypełnienia, po obydwu stronach powłoki. Analiza deformacji powłoki podczas realizacji wypełnienia przestrzeni pomiędzy sklepieniem a powłoką jest z natury zagadnieniem losowym.

Do odwzorowania sił wewnętrznych w blasze falistej powłoki wykorzystuje się zwykle pomiarowe techniki tensometryczne [6]. W pracy, ze względu na znaczne przemieszczenia wiotkiej powłoki wykorzystano pomiary geodezyjne. W przedstawio-



8. Oddziaływanie wzajemne na sklepienie i powłokę w trakcie wypełniania iniektem

nym algorytmie analizowano siły wewnętrzne w blasze falistej obliczane na podstawie przemieszczeń radialnych uzyskanych z pomiarów deformacji na długości pasma obwodowego powłoki. W przypadku gęstej siatki i przy regularnym rozmieszczeniu punktów pomiarowych wyniki opracowano z zastosowaniem ujęcia różnicowego.

Materiały źródłowe

- [1] Brencich A., Cassini G., Pera D., Load bearing structure of masonry bridges. Proc. 8th International Conference on Arch Bridges. 2016 418-425.
- [2] Bednarz Ł., Górski, A., Jasieńko, J., Rusiński, E., Simulations and analyses of arched brick structures. Automation in Construction, 2011, volume 20, 741-754.
- [3] Jasieńko J., Bednarz Ł., Innovative technologies, strengthening historical arches and brick vaults. Building Materials 2/2009.
- [4] Machelski C., Effects of surrounding earth on shell during construction of flexible bridge structure. Studia Geotechnica et Mechanica, No 2 2019)
- [5] Machelski C., Michalski J.B., Czynne wzmocnienie mostu sklepionego z zastosowaniem blachy falistej. Mosty 6/2014 26-28.
- [6] Machelski C., Michalski J.B., Szczeciński K.: The efficiency of reinforcing Masonry Bridges with the use

of corrugated steel sheets. Advanced Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures AMCM 21-23 October 2020 Lublin s. 83-84.

- [7] Madryas C., Wysocki L., Renovation of brick interceptor sewers. Tunneling and Underground Space Technology. 2008 vol. 23 718-726.
- [8] Molins, C., Roca, P., Arnau, O., Farina, R., Numerical Simulation of Experiments on Masonry Arch Bridges. 8th International Conference on Arch Bridges (ARCH2016), 2016, 731-740.
- [9] Muszyński, Z., Milczarek, W.: Application of terrestrial laser scanning to study the geometry of slender objects. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 95(4), 2017, doi:10.1088/1755-1315/95/4/042069
- [10] Nienartowicz B., Analysis of selected aspects of the operation of pipelines renewed with the relining method on the basis of laboratory testing results. Proc. Conference Underground Infrastructure of Urban Areas 3, Wrocław, 2015.
- [11] Pytlos M., Gilbert M., Smith C.C., Use of a physics engine to model soil filled masonry arch bridges. Proc. 8th International Conference on Arch Bridges. 2016 454-457.

Transport drogowy ładunków nienormatywnych w aspekcie zmian przepisów o usługach pilotażowych

Legal provisions changes in the piloting services of the road oversized load transport



Sławomir Juściński

Dr hab. inż.

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
Wydział Inżynierii Produkcji

slawomir.juscinski@up.lublin.pl
ORCID: 0000-0002-2692-9083



Anna Stankiewicz

Dr hab. inż., prof. UP

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
Wydział Inżynierii Produkcji

anna.stankiewicz@up.lublin.pl
ORCID: 0000-0002-0715-7225

Streszczenie: Przewozy ładunków nienormatywnych w Polsce to elitarny segment na rynku usług transportowych. Ładunki tego typu stanowią obiekty, które posiadają duże wymiary zewnętrzne (długość, szerokość, wysokość) i/lub ciężar. Przewozy ładunków nienormatywnych są kluczowe dla realizacji projektów przemysłowych i infrastrukturalnych na poziomie krajowym. Przygotowanie ich transportu drogowego wymaga wykonania prac koncepcyjnych, technicznych, organizacyjnych i formalno-prawnych. Wielkość rynku transportu drogowego ilustruje ilość wydanych zezwoleń przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) w latach 2001-2024. Zarządzanie zgodnym z przepisami i bezpiecznym przewozem realizują zespoły pilotujące. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury szczegółowo omawia warunki, wymagania, oznakowanie i wyposażenie pojazdów pilotujących oraz sposoby pilotowania przewozów z ładunkami nienormatywnymi.

Słowa kluczowe: Transport nienormatywny; Zezwolenia na transport nienormatywny; Przepisy prawne; Pilotowanie pojazdów z ładunkami nienormatywnymi

Abstract: Oversized load transport is an elite segment of the transport services market in Poland. Transported loads have large external dimensions (length, width, and height) and/or weight. Oversized load transport is crucial for implementing industrial and infrastructural projects at the national level. Preparations for the road oversized transport entail concept, technical, organizational, formal, and legal preparations. The size of the oversized transport market is represented by the number of permits issued by the General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA) over the period 2001-2024. Piloting teams are responsible for safe transport in accordance with regulations. The Minister of Infrastructure's decree contains detailed terms, requirements, signage, inventory of the piloting vehicles, and the methods of piloting oversized transport.

Keywords: Oversized transport; Permits for oversized transport; Legal provisions; Piloting vehicles with oversized loads

Wstęp

Krajowa branża transportowa od początku XXI wieku podlegała istotnym zmianom, które zostały wymuszone czynnikami zewnętrznymi w sferze gospodarczej, prawnej i politycznej. Transformacja branży obejmowała modyfikację jej struktury, wielkości firm i ich wyposażenia oraz sposobu zarządzania. Transport drogowy towarów jest przykładem usług, które zostały rozbudowane i unowocześnione w bardzo szerokim zakresie. W drugiej dekadzie XXI wieku transport drogowy należał już do najszybciej rozwijających się branż polskiej gospodarki. Po akcesji Polski do UE, krajowe firmy transportowe realizowały 5% europejskiej pracy przewozowej, a w 2023

r. już 20,3%, wyprzedzając Niemcy i Hiszpanie, czyli dotychczasowych liderów na terenie UE [26]. Krajowym transportem drogowym w 2024 r. zostało przewiezione aż 87,1% z wolumenu 2 138 473 tysięcy ton ładunków przemieszczonych we wszystkich rodzajach transportu. Wykonana praca przewozowa transportem drogowym w 2024 r. osiągnęła w Polsce poziom 81,3% z wolumenu 483 001 mln tonokilometrów [27].

Generalnie ładunki nienormatywne stanowią obiekty, które posiadają tak duże wymiary zewnętrzne (długość, szerokość, wysokość) i/lub ciężar, że nie jest możliwy ich przewóz standardowymi środkami w poszczególnych gałęziach transportu w aspekcie obowiązujących przepisów. W dokumen-

tach prawnych ten typ ładunków klasyfikowany jest, jako nienormatywne, ale w literaturze funkcjonują również określenia: ponadgabarytowe, ponadnormatywne, specjalne lub przesyłki nadzwyczajne z przekroczoną skrajnią.

Opracowanie jednolitej klasyfikacji ładunków nienormatywnych nie jest możliwe z uwagi na fakt, że mogą one być przemieszczane we wszystkich gałęziach transportu: drogowym, kolejowym, morskim, wodnym śródlądowym i lotniczym. W każdym rodzaju transportu są inne wartości graniczne wielkości i ciężaru, przy których wykonywane są usługi przewozowe. Ograniczenia wynikają zarówno z wielkości dostępnej przestrzeni ładunkowej: na naczepach lub przyczepach w prze-

wozach drogowych, na wagonach kolejowych, w ładowniach na statkach i barkach oraz ładowniach w samolotach. Różne są także dopuszczalne naciski na powierzchnię ładunkową poszczególnych środków transportu. Kolejne ograniczenia prawne wynikają z konstrukcji i wytrzymałości szlaków w transporcie drogowym (8 t lub 11,5 t) i kolejowym (22,5 t). Stąd częste kontrole prowadzone na drogach, podczas których sprawdzana jest wielkość obciążenia na osie pojazdu [11]. Ponadto każda gałąź transportu posiada odmienną infrastrukturę punktową, liniową oraz specjalistyczne środki do przewozu ładunków nienormatywnych, a to ma decydujący wpływ na kompleksowy przebieg realizacji zlecenia transportowego, które bardzo często wymaga usługi w układzie intermodalnym. Dominująca ilość zleceń przewozu ładunków nienormatywnych realizowana jest w warunkach krajowym transportem drogowym z uwagi na możliwość realizacji zlecenia zgodnie z zasadą „Door-to-door”. Nie jest to możliwe w tak szerokim zakresie w transporcie kolejowym z uwagi na ograniczenia w dostępie do bocznic kolejowych, służących do obsługi poszczególnych podmiotów gospodarczych na terenie Polski.

Ładunki nienormatywne można natomiast poddać klasyfikacji w aspekcie dominującego parametru, czyli: wymiarów zewnętrznych (kształtu) lub ciężaru. Wyróżnia się wówczas ładunki [5, 6]:

- zwykłe, których masa nie przekracza 25 t, a długość 15 m, szerokość 3,2 m, wysokość 4,3 m; typowym przykładem takich ładunków w transporcie drogowym są: maszyny rolnicze, maszyny robocze budowlane i drogowe, konstrukcje stalowe, małe zbiorniki, urządzenia i maszyny przemysłowe niewielkich rozmiarów;
- specjalne, dla których istotne są duże wymiary zewnętrzne: długość ponad 20 m, średnica do 8 m, natomiast masa odgrywa drugorzędną rolę; typowym przykładem takich ładunków są: konstrukcje stalowe dla rafinerii i zbiorniki dla zakładów przemysłu spożywczego-

go, browarniczego oraz cementowni, maszyny i urządzenia dla górnictwa odkrywkowego i elementy komór spalania dla energetyki;

- ciężkie, dla których pierwszoplanowy jest duży ciężar od 60 t do 100 t, natomiast wymiary odgrywają drugorzędną rolę; typowym przykładem takich ładunków w transporcie drogowym są: maszyny i urządzenia dla budownictwa i górnictwa, urządzenia energetyczne, duże kotły i zbiorniki, silosy, tramwaje, pojazdy i sprzęt wojskowy, elementy statków – sekcje kadłubów, nadbudówki, pokrywy lukowe, lokomotywy oraz elementy wagonów i urządzeń kolejowych, linie technologiczne dla przemysłu samochodowego, chemicznego lub metalurgicznego;
- ciężkie o skupionej masie rzędu 200-300 t, natomiast wymiary zewnętrzne są mniej istotne; typowym przykładem takich ładunków są: transformatory, generatory, turbiny, prasy przemysłowe, silniki okrętowe, konstrukcje stalowe i wiertnice do drążenia tuneli; ładunki tego typu stanowią jedno z najtrudniejszych wyzwań w transporcie drogowym oraz kolejowym;
- ciężkie przestrzenne, które przy masie ponad 100 t mają wysokość i/lub długość rzędu co najmniej kilkudziesięciu metrów, typowym przykładem takich ładunków są: suwnice przemysłowe, elementy mostów i wiaduktów, segmenty wież wiertniczych, dźwigi samobieżne i stacjonarne, rury do budowy rurociągów (w tej grupie klasyfikowane są również takie ładunki, jak morskie wieże wiertnicze o ciężarze nawet kilkudziesięciu tysięcy ton, które można transportować specjalistycznymi statkami pół zanurzalnymi);
- długie, które mają duże wymiary zewnętrzne (długość rzędu 40-60 m), ale ich masa odgrywa drugorzędną rolę; typowym przykładem takich ładunków są: elementy elektrowni wiatrowych,

instalacje i urządzenia dla przemysłu chemicznego i rafinerii, szyny kolejowe, elementy mostów i wiaduktów oraz elementy suwnic portowych.

Transport drogowy ładunków nienormatywnych

Zlecenia transportu ładunków nienormatywnych to stosunkowo niewielki, ale elitarny segment na rynku usług przewozowych, które są wykonywane każdego roku w Polsce. Należy podkreślić, że w praktyce każde takie zlecenie wymaga indywidualnego przygotowania spedycyjnego i logistycznego. W większości przypadków są to czasochłonne i kosztowne działania, podczas których należy precyzyjnie zaplanować trasę przewozu, dostosowaną do parametrów ładunku. Kadra firmy przyjmującej zlecenie musi wykonać kolejno prace koncepcyjne, techniczne, organizacyjne i formalno-prawne. Niezbędne jest opracowanie harmonogramu prac technicznych (sposobu załadunku i mocowania), kalkulacji finansowej zlecenia oraz uwzględnienie parametrów czasowych przewozu, aby uzyskać akceptację zleciodawcy. Kluczowe jest posiadanie specjalistycznego taboru, który umożliwi bezpieczny załadunek, przewóz i rozładunek obiektu, dlatego firmy realizujące transport drogowy ładunków nienormatywnych muszą spełnić szereg wymagań.

Do realizacji tego typu zleceń niezbędne jest:

- posiadania specjalistycznego taboru (ciągniki siodłowe i/lub balastowe z silnikami o wysokiej mocy) oraz niskopodwoziowych naczep i/lub wieloosiowych przyczep, które są bardzo drogim sprzętem;
- kierowców o wysokich kwalifikacjach zawodowych,
- kadry spedycyjnej i logistycznej do przygotowania harmonogramu przejazdu konwoju pojazdów z ładunkiem nienormatywnym,
- uzyskania szeregu pozwoleń z GDDKiA na realizację usługi transportowej po zatwierdzonej trasie,
- pilotów do prowadzenia konwoju

i nadzoru nad jego bezpieczeństwem oraz bezpieczeństwem innych użytkowników infrastruktury drogowej.

Ze względu na wysokie wymagania przewozy ładunków nienormatywnych świadczy około dwustu podmiotów w Polsce, a w tej grupie jest ponad dwadzieścia dużych firm transportowych, które można sklasyfikować, jako liczące się na arenie międzynarodowej. Dowodem potwierdzającym taką pozycję są laury zdobywane przez polskie firmy w konkursie ESTA Awards of Excellence na najbardziej spektakularne przewozy nienormatywne realizowane na obszarze Europy. Duże i średnie podmioty zapewniają kompleksową obsługę natomiast na rynku alternatywnie funkcjonuje formuła współpracy kilku firm, które razem realizują usługę, oferując czynności przewozowe, dźwigowe i pilotażowe. Większość tych podmiotów jest członkami Ogólnopolskiego Stowarzyszenia Pracodawców Transportu Nienormatywnego (Polish Heavy Transport Association), które zostało utworzone w 2008 r. w Krakowie. Stowarzyszenie będące organizacją pozarządową działa, jako przedstawiciel i reprezentant firm w celu zmiany i/lub redukcji barier legislacyjnych oraz administracyjnych [5]. Transporty nienormatywne w wielu przypadkach dotyczą zleceń na arenie międzynarodowej, a przepisy na terenie poszczególnych krajów są odmienne, stąd dążenie do wypracowanie jednolitych wymagań w zakresie uzyskania zezwoleń [1]. Przy opracowywaniu takich przewozów konieczne jest uwzględnianie szeregu zmiennych (rodzaj, wielkość, masa i podatność transportowa), które firmy oceniają i opracowują na bazie własnych doświadczeń. W literaturze przedmiotu do szacowania wpływu tych czynników proponowane jest wykorzystanie teorii zbiorów rozmytych [12]. Do zapewnienia bezpieczeństwa i efektywności przewozów nienormatywnych będzie można wykorzystać Kooperacyjne Inteligentne Systemy Transportowe (C-ITS). Dane pozyskiwane z tych systemów pozwo-

lą na opracowanie tzw. lokalnych map dynamicznych, które będą źródłem bieżącej informacji o utrudnieniach oraz incydentach na trasie przejazdu konwoju [8]. Przewóz ładunków nienormatywnych przez obszary zurbanizowane jest trudnym wyzwaniem, ale wybór najkorzystniejszej trasy można opracować metodą Analitycznego Procesu Hierarchicznego (AHP) [24]. Prowadzone są badania zwrotności zestawu ciągnik-naczepa na zakrętach oraz symulacje manewrowania naczepą wieloosiową w celu oceny zmiany kątów skrętu kół oraz wielkości zejścia ich z toru jazdy [9]. Techniczne zabezpieczenie ładunku na czas transportu to zarówno dobór odpowiedniego typu naczepy, jak też systemu zabezpieczeń, co może być wspomagane poprzez stosowanie metody wielokryterialnej [2]. Rozwój rynku wymaga dostępu do coraz nowszych rozwiązań konstrukcyjnych środków transportu, dlatego do oceny naczep niskopodwoziowych wykorzystuje się metodę Electre I, a do porównania ciągników siodłowych metodą AHP [10].

Wielkość rynku przewozów nienormatywnych transportem drogowym

Przewozy ładunków nienormatywnych na terenie Polski reguluje szereg przepisów, do których zalicza się cztery ustawy: Prawo o ruchu drogowym [20], O drogach publicznych [21], O transporcie drogowym [23], Kodeks postępowania administracyjnego [22]. Przepisy wykonawcze do ustaw, to Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie kontroli ruchu drogowego [18] oraz cztery Rozporządzenia Ministra Infrastruktury, które stanowią kolejno dokumenty:

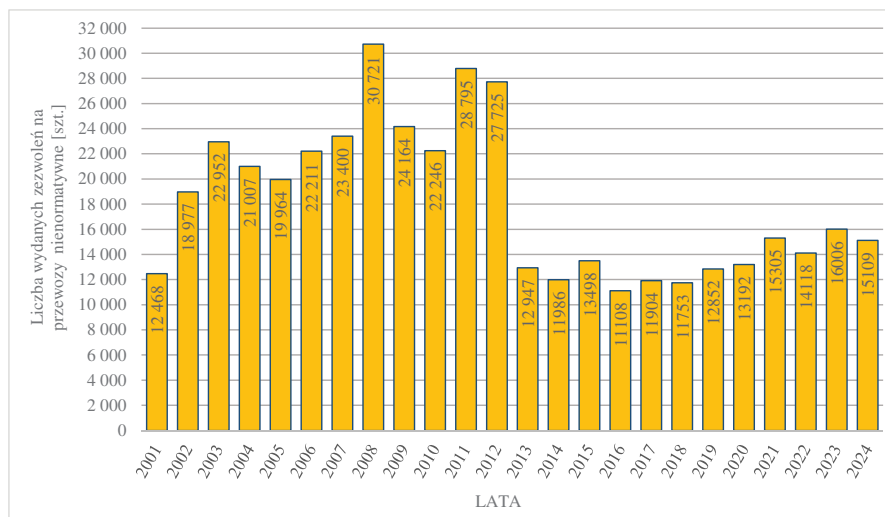
- w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia [13],
- w sprawie zezwoleń na przejazd pojazdów nienormatywnych [15],
- w sprawie wysokości opłat za wydanie zezwolenia na przejazd pojazdu nienormatywnego [14],
- w sprawie pilotowania pojazdów

nienormatywnych [16]

Fundamentalna zmiana dla rynku przewozów nienormatywnych nastąpiła 13 marca 2021 r., gdyż wprowadzono [20]:

- nowy podział kategorii zezwoleń od I do V,
- wzory formularzy oraz warunki ich składania i odbioru przez wnioskodawcę lub pełnomocnika z firmy transportowej,
- nowe zasady wnoszenia opłat i procedurę ich zwrotu,
- dla kategorii V szczegółowe wymagania, które musi zapewniać droga, aby możliwe było wydanie zezwolenia na wykorzystanie jej, jako trasy przejazdu pojazdu z ładunkiem nienormatywnym;
- skorygowano definicję pojazdu nienormatywnego.

Zapotrzebowanie na usługi przewozu ładunków nienormatywnych na przestrzeni kolejnych lat miało niejednorodną strukturę ilościową. Zmianie podlegały zarówno rodzaje zgłaszanych zleceń, jak również ich rozkład na przestrzeni roku [4]. Transport ładunków nienormatywnych w większości przypadków związany jest z rozwojem gospodarczym poszczególnych regionów w Polsce, a same ładunki są często integralnym elementem dużych projektów infrastrukturalnych. Bez dostawy takich ładunków nie byłaby możliwa realizacja inwestycji kluczowych dla rozbudowy i/lub unowocześnienia poszczególnych branż i sektorów gospodarki. Inwestycje przemysłowe potrzebują takich usług podczas budowy obiektów, montażu linii produkcyjnych oraz wykonywanych w kolejnych latach ich remontów lub modernizacji. Należy podkreślić, że bardzo istotny wpływ na poziom popytu w tym sektorze na przestrzeni ostatnich dwóch dekad był związany z akcesją Polski do UE. Kolejne dotacje w ramach programów UE na modernizację i rozwój polskiego rolnictwa oraz szereg funduszy na inwestycje związane z budową nowej infrastruktury, szczególnie na potrzeby transportu drogowego, tworzyło bardzo



1. Liczba wydanych zezwoleń na przewozy nienormatywne przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad oraz przez podległe jej oddziały w latach 2001-2024
Źródło: opracowanie własne na podstawie danych GDDKiA

duże zapotrzebowanie na przewozy tego typu ładunków [6]. Wsparcie na przykład sektora Odnawialnych Źródeł Energii generowało wysoki krajowy popyt na rozbudowę instalacji wiatrowych aż do 2016 r., gdy nowe inwestycje zostały zablokowane przez zmianę przepisów prawnych dotyczących warunków ich lokalizacji. Wydarzenia, które również wywarły wpływ na ten sektor transportu to m.in. organizacja Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej EURO 2012 w zakresie budowy obiektów sportowych i infrastrukturalnych, a także wojna w Ukrainie od 2022 r., która generuje długofalowy popyt na przewozy różnego rodzaju ciężkich pojazdów militarnych. Liczbę zezwoleń na przewozy ponadnormatywne wydanych przez Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) oraz przez podległe jej oddziały w latach 2001-2024 przedstawia rysunek 1. W latach 2001-2007 następował dynamiczny wzrost zapotrzebowania, a porównanie skrajnych lat stanowi dowód na to, że nastąpił wzrost aż o 47%. W 2008 r. odnotowano rekordowy popyt na poziomie 30 721 sztuk pozwoleń wydanych na przewozy przez GDDKiA. W kolejnych dwóch latach globalny kryzys ekonomiczny zredukował popyt, ale inwestycje związane z EURO 2012 ponownie odbudowały rynek. Zakończenie dużych projektów finansowanych z funduszy europejskich obniżyło zapotrzebowanie na przewozy ładunków

nienormatywnych do poziomu rzędu kilkunastu tysięcy rocznie, a rozwój rynku wszedł w fazę ustabilizowanego rozwoju [5, 7].

Charakterystyka usług pilotażowych

Warunkiem bezpieczeństwa podczas przewozu transportem drogowym ładunków nienormatywnych jest wcześniejsze szczegółowe sprawdzenie stanu technicznego poszczególnych odcinków na planowanej trasie przejazdu. Weryfikacji i ocenie przed pilotażem podlega droga oraz każdy drogowy obiekt inżynierski:

- wysokość wiaduktów,
- stan techniczny i nośność mostów,
- wymiary i konfiguracja przestrzeni na rond i skrzyżowań,
- elementów ograniczających manewry (gałęzie drzew i kable napowietrzne) oraz wysokie krawężniki;
- ilość, rodzaj i rozmieszczenie infrastruktury technicznej w bezpośrednim otoczeniu pasa drogowego w celu oceny potencjalnych trudności i ograniczeń, które będą wymagały dodatkowych prac prowadzonych przez obsługę techniczną z firmy transportowej bezpośrednio przed przejazdem w zakresie usuwania, a następnie przywracania stanu początkowego m.in. znaków drogowych, ba-

rier ochronnych, latarni, bramownic itp.);

- ocena i weryfikacja aktualnych warunków oraz planowanych prac na przykład remontów, robót drogowych lub innych utrudnień, które będą ograniczały przepustowość pasa drogowego.

Zgodnie z Art. 6 ustęp 1 pkt 12 ustawy o ruchu drogowym uprawnienia pilota pojazdu nienormatywnego w zakresie kierowania ruchem drogowym są tożsame z uprawnieniami służb mundurowych, czyli funkcjonariuszami Policji i Straży Granicznej, żołnierzami Żandarmerii Wojskowej oraz inspektorami Inspekcji Transportu Drogowego. Pilot podczas wykonywania czynności związanych z pilotowaniem przejazdu pojazdu nienormatywnego ma prawo kierować ruchem drogowym tj. zatrzymywać i/lub przekierowywać ruch drogowy oraz wydawać wiążące dyspozycje i polecenia innym uczestnikom ruchu: kierowcom i pieszym w obrębie drogi. Polecenia i sygnały dawane przez pilota mają pierwszeństwo przed sygnałami świetlnymi i znakami drogowymi. Nadzór wykonywany jest na całej trasie, gdy pojazd pilotujący jedzie z przodu i/lub z tyłu konwoju, jak też polega na kierowaniu ruchem przez pilota np. na skrzyżowaniach. Pilot wykonując tego typu czynności powinien dążyć przy zapewnieniu bezpieczeństwa do zminimalizowania utrudnień w ruchu drogowym, wynikających z przejazdu pojazdu lub kolumny pojazdów z ładunkiem nienormatywnym [11, 19]. Zadania wykonywane przez pilota to:

- zapewnienie przejazdu zgodnie z warunkami opisanymi w zezwoleniu, które zostały zatwierdzone przez organ administracji zarządzający danym odcinkiem drogi, a w tym przez mosty i wiadukty;
- sprawowanie bezpośredniego nadzoru nad transportem zarówno na trasie, jak też podczas postoju;
- podjęcie decyzji o zatrzymaniu transportu w przypadku powstania istotnego utrudnienia w ruchu drogowym lub zagrożenia



2. Oznakowanie boku pojazdu pilotującego transport ładunków nienormatywnych
Źródło: Opracowanie własne

dla jego bezpieczeństwa oraz niezwłocznego zawiadomienia o tym fakcie zarządcy drogi oraz Policji.

Ogólnopolskie Stowarzyszenie Pracodawców Transportu Nienormatywnego (OSPTN) już w 2016 r. sygnalizowało potrzebę aktualizacji przepisów regulujących zasady pilotażu oraz wyposażenia pojazdów użytkowanych podczas tych zadań. Proponowane zmiany miały na celu unifikację wymagań dla jednostek pilotujących, a celem nadrzędnym było podwyższenie standardów bezpieczeństwa. Samochód pilotujący poprzez szatę graficzną i sygnały świetlne powinien stanowić jednoznaczny i czytelny sygnał dla wszystkich uczestników ruchu na drodze, że jest to sytuacja wymagająca szczególnej uwagi. Pilotaż ładunków nienormatywnych wykonywanych zgodnie z przepisami w godzinach nocnych (22.00-6.00), czyli przy istotnie ograniczonej widoczności, generuje potencjalne ryzyko zdarzeń nadzwyczajnych na drogach, które dodatkowo wzrastają przy złych warunkach pogodowych (np. opady deszczu lub śniegu). Postulaty OSPTN, które uwzględniło Ministerstwo Infrastruktury zmieniając obowiązujące od 2012 r. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej [17], obejmowały m.in.:

- usunięcie tablicy informacyjnej, montowanej na dachu pojazdu pilotującego, która nie spełniała zakładanej przez ustawodawcę roli;
- wskazanie typu nadwozia i wysokości pojazdu, aby wyeliminować

m.in. małe samochody osobowe;

- jednolity sposób oklejania pojazdu i zakres wyposażenia dodatkowego.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury [16] obowiązujące od dnia 17 lutego 2024 r., szczegółowo omawia warunki oraz sposób pilotowania. Transport z ładunkiem nienormatywnym musi być pilotowany przez jeden pojazd, gdy przekracza co najmniej jeden z parametrów:

- 23,0 m długości,
- 3,2 m szerokości,
- 4,50 m wysokości,
- 60 ton rzeczywistej masy całkowitej.

Transport z ładunkiem nienormatywnym musi być pilotowany przez dwa pojazdy, z których jeden porusza się z przodu, a drugi z tyłu, gdy przekracza co najmniej jeden z parametrów:

- 30,0 m długości,
- 3,6 m szerokości,
- 4,70 m wysokości,
- 80 ton rzeczywistej masy całkowitej.

W przypadku, gdy pojazdy z ładunkiem nienormatywnym poruszają się w kolumnie muszą być pilotowane przez dwa pojazdy, z których jeden jedzie na początku kolumny, a drugi na końcu kolumny. Rozporządzenie precyzuje, że pojazd pilotujący to samochód o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5 tony oraz minimalnej wysokości 1,7 metra bez uwzględniania urządzeń mocowanych dodatkowo na dachu. Dopuszczalnymi rodzajami nadwozia są:

- BB (typ Van),

- AF (typ pojazd wielozadaniowy),
- AG (typ Pick-up).

Pojazd powinien posiadać oznakowanie w formie napisu „PILOT” na przedniej masce, na przednich drzwiach bocznych oraz drzwiach lub klapie tylnej wykonany w V albo VI grupie wielkości liter zgodnie z warunkami technicznymi dla znaków i sygnałów drogowych. Ponadto muszą być umieszczone pasy barwy białej i czerwonej na przedniej masce, na bokach pojazdu oraz na drzwiach lub klapie tylnej. Samochód do pilotażu z oznakowaniem zgodnym z obowiązującymi przepisami firmy Panas Transport, prezentują rysunki 2, 3 i 4 [25].

Pasy mają parametry:

- szerokość od 150 mm do 200 mm,
- wysokość od 210 mm do 420 mm,



3. Oznakowanie przodu pojazdu pilotującego transport ładunków nienormatywnych
Źródło: opracowanie własne



4. Oznakowanie tyłu pojazdu pilotującego transport ładunków nienormatywnych
Źródło: opracowanie własne

- ułożenie pod kątem $45^\circ (\pm 5^\circ)$ i skierowane wierzchołkami ku górze.

Barwa biała i czerwona napisów i pasów musi być wykonana z materiału odbłaskowego.

Pojazd wykonujący pilotowanie należy wyposażać w:

- co najmniej dwa światła barwy żółtej emitujące światło błyskające, umieszczone symetrycznie na dachu pojazdu, które są widoczne przy dobrej przejrzystości powietrza ze wszystkich stron z odległości nie mniejszej niż 150 m, ale niepowodujące oślepiania innych uczestników ruchu;
- światło barwy białej lub żółtej z napisem „PILOT” w kolorze czarnym, umieszczone na dachu pojazdu, które będzie widoczne przy dobrej przejrzystości powietrza z odległości nie mniejszej niż 50 m (dopuszcza się umieszczenie tych światel w jednej lampie zespolonej);
- dwa światła zamontowane symetrycznie z przodu pojazdu oraz dwa światła z tyłu pojazdu na wysokości od 250 mm do 1500 mm i w rozstawie nie mniejszym niż 600 mm, które umożliwiają wysyłanie przerywanego strumienia światła barwy żółtej, widocznego przy dobrej przejrzystości powietrza z odległości nie mniejszej niż 150 m;
- środki bezpośredniej łączności radiowej z pojazdami przewożącymi ładunek nienormatywny, w tym co najmniej jedno urządzenie przenośne służące do bezpośredniej łączności radiowej, gdy pilot jest na zewnątrz pojazdu;
- przenośne urządzenia nagłaśniające,
- co najmniej 4 pachołki drogowe U-23 o wysokości nie mniejszej niż 750 mm,
- tarczę (tzw. lizak) do kierowania i zatrzymywania pojazdów,
- latarkę dającą możliwość wysyłania sygnałów światłem barwy czerwonej innym uczestnikom ruchu drogowego (przy niedostatecznej widoczności),

- wysokościomierz z możliwością pomiaru nie mniej niż 5 m,
- taśmę mierniczą o zakresie pomiaru nie mniej niż 30 m.
- dodatkowe światło barwy białej lub żółtej selektywnej na zewnątrz pojazdu z możliwością zmiany kierunku oświetlanego (tzw. szpaceracz).

Oznakowanie i wyposażenie pojazdu wykonującego pilotowanie nie może ograniczać widoczności drogi oraz zasłaniać światel i tablic rejestracyjnych, w które jest on wyposażony.

Ilustracją poziomu wyzwania, jakie należy pokonać podczas pilotowania ładunków nienormatywnych była realizacja zlecenia przewozu wiertnicy TBM w 2022 r. do budowy tunelu na trasie S19. Wyznaczenie trasy przejazdu poprzedziło wykonanie szczegółowych ekspertyz dla odcinków dróg i wszystkich 396 obiektów mostowych na trasie o długości 760 km. Przewóz wymagał użycia przez firmę MTD Skuratowicz czternastu zestawów transportowych podzielonych na trzy konwoje. Pierwszy konwój przewoził tarczę o szerokości 9 m i masie 220 ton, a drugi napęd główny o szerokości 9 m i masie 240 ton. Konwój złożony z 5 ciągników balastowych na trasie zajmował niemal 4,5 km pasa drogowego i był nadzorowany przez 16 jednostek pilotujących [3, 7].

Podsumowanie

Transport drogowy ładunków nienormatywnych jest przykładem specjalistycznych usług, które są niezbędne przy realizacji dużych projektów przemysłowych i infrastrukturalnych. Podmioty gospodarcze w tym sektorze funkcjonują w warunkach silnej konkurencji o zlecenia, jednocześnie ponosząc wrastające koszty eksploatacji, zatrudnienia i rozbudowy zaplecza transportowego. Dominująca część połączeń drogowych w Polsce nie jest dostosowana do przewozów nienormatywnych, a parametry eksploatacyjne i/lub stan techniczny obiektów inżynierskich takich, jak mosty i wiadukty stanowi istotne lub krytyczne

ograniczenie, co powoduje brak zgody na przejazd wybraną trasą. Oddane do eksploatacji na przestrzeni minionych dwóch dekad autostrady i drogi szybkiego ruchu, które spełniają nowe standardy, stanowią istotne ułatwienie przy realizacji i pilotażu zleceń nienormatywnych. Dużym problemem są nadal obiekty mostowe, gdyż nie ma krajowej bazy danych o ich dopuszczalnej nośności, dlatego wymagane są ekspertyzy dla każdego wniosku, który zawiera deklarację ich przejazdu na wybranej trasie. Pozytywnym trendem jest natomiast zmiana przy projektowaniu i budowie skrzyżowań z ruchem okrężnym, gdyż nie powstają już na nich konstrukcje betonowe, nasypy ziemne i wysokie krawężniki, a ponadto ułatwiony jest demontaż i montaż znaków drogowych. Dla przewozów nienormatywnych często tworzony jest pas przejazdowy przez środek ronda. Zmiany prawne, które wprowadziły jednolity wzór oznakowania i wyposażenia pojazdów pilotujących są ważnym krokiem w kierunku podwyższenia standardów bezpieczeństwa podczas przemieszczania się po drogach pojazdów z ładunkami nienormatywnymi. Wszystkie podmioty świadczące usługi pilotażu musiały je zastosować, a tym samym zostały wyeliminowane z rynku firmy, które w ramach nieuczciwej konkurencji obniżały standardy usług. Pomimo ograniczenia czasu przejazdu takich zestawów do pory nocnej i dążenia przez pilotów do tego, aby były jak najmniej uciążliwe dla innych uczestników na drogach, stanowią one potencjalne zagrożenie. Bezpieczeństwo, o które dbają jednostki pilotujące zależy w dużym stopniu od tego, czy inni użytkownicy dróg bezbłędnie ich rozpoznają oraz mają świadomość roli i zadań, jakie realizują. Staraniem OSPTN pytania dotyczące pilotażu ładunków nienormatywnych zostały wprowadzone do zestawów testowych na prawo jazdy, aby dotrzeć taką informacją do przyszłych kierowców. Kolejnym etapem prac nad zmianą przepisów, które są prowadzone przez OSPTN, będzie umożliwienie montażu na pojazdach pilotujących tablic,

które służą do wyświetlania znaków o zmiennej treści. Osadzona na pojedzie tablica w formie świetlnej przekazuje informację w postaci znaku drogowego, np. „zakaz wyprzedzania” lub „uwaga inne niebezpieczeństwo”, stosownie do bieżącej sytuacji. Rozwiązanie tego typu jest obowiązkowe na terenie Niemiec, gdzie użytkowane są pojazdy pilotujące z wyposażeniem typu BF3. Wniosek o taką zmianę uzyskał już pozytywną rekomendację Ministerstwa Infrastruktury, ale jego wprowadzenie jest odłożone w czasie. Tablica ze znakami o zmiennej treści nie jest dopuszczona do stosowania w Polsce, a jej wprowadzenie wymaga wcześniejszej zmiany innych aktów prawnych, a w tym m.in. rozporządzenia o znakach drogowych. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Chwalczuk Ł.: Facilitating oversize transport: Practical Aspect of Abnormal Transport. Media4Business and Polish Heavy Transport Association, 2017, 10-15.
- [2] Figlus T., Kuczyński Ł.: Selection of a semi-trailer for the haulage of long oversize loads, taking into account an analysis of operational damage. 11th International Science and Technical Conference Automotive Safety, 2018, 1-5. DOI: 10.1109/AUTOSAFE.2018.8373342.
- [3] Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad: Transport, jakiego jeszcze nie było, <https://www.gov.pl/web/gddkia/transport-jakiego-jeszcze-nie-bylo>, 2022, (dostęp 30.05.2025).
- [4] Juściński S.: Threats and opportunities for developing the market of oversize transport: Practical Aspect of Abnormal Transport. Media4Business and Polish Heavy Transport Association, 2017, 42-46.
- [5] Juściński S.: Logistyka transportu ładunków nienormatywnych, Towarzystwo Wydawnictw Naukowych Libropolis, 2016.
- [6] Juściński S.: Transport ładunków nienormatywnych w aspekcie przewozu pojazdów i maszyn rolniczych. Aktualne Problemy Transportu, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, 2017, 77-90.
- [7] Juściński S.: Comprehensive analysis of oversized cargo transportation market in Poland (2001-2022): Trends, regulations, and industry dynamics. Journal of Sustainable Development of Transport and Logistics, 2023, 8 (2), 136-152, DOI 10.14254/jsdtl.2023.8-2.10.
- [8] Kamiński, T.: Kooperacyjne Inteligentne Systemy Transportowe (G-ITS) jako rozwiązania podnoszące bezpieczeństwo i efektywność transportu drogowego. Gospodarka Materiałowa i Logistyka, 2020, nr 6, 10-18. DOI: 10.33226/1231-2037.2020.6.2.
- [9] Koszałka G., Zniszczyński A.: A simulation study on the manoeuvrability of a large size semitrailer. Transport 2016 nr 31 (4), 408 - 415. DOI: 10.3846/16484142.2015.1057224.
- [10] Lasota M., Jacyna M., Wasiak M., Zabielska A.: The Use of Multi-criteria Methods in the Problem of Selecting Vehicles for Oversize Cargo Transport. 18th Scientific and Technical Conference on Transport Systems, Theory and Practice, 2022, DOI: 10.1007/978-3-031-24159-8_2.
- [11] Mydlarz K., Wieruszewski M.: Problems of Sustainable Transport of Large-Sized Roundwood. Sustainability 2020, 12(5), DOI: 10.3390/su12052038.
- [12] Pisz I., Łapuńska I.: Transportation Services as Specific Logistics Projects for Oversized Cargo in Poland. Springer Proceedings in Business and Economics 2016, 139-160. DOI: 10.1007/978-3-319-26848-4_13.
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 31 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych pojazdów oraz zakresu ich niezbędnego wyposażenia (Dz.U. z 2016 r. poz. 2022, z późn. zm.).
- [14] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 lutego 2021 r. w sprawie wysokości opłat za wydanie zezwolenia na przejazd pojazdu nienormatywnego (Dz.U. 2021 poz. 315).
- [15] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 21 stycznia 2021 r. w sprawie zezwoleń na przejazd pojazdów nienormatywnych (Dz.U. 2021 poz. 212, z późn. zm.).
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 16 listopada 2023 r. w sprawie pilotowania pojazdów nienormatywnych (Dz. U. z 2023 r., poz. 2487).
- [17] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 23 maja 2012 r. w sprawie pilotowania pojazdów nienormatywnych (Dz.U. z 2012 r. poz. 629).
- [18] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 5 listopada 2019 r. w sprawie kontroli ruchu drogowego (Dz.U. z 2019 r. poz. 2141, z późn. zm.).
- [19] Ryczyński J., Smal T.: Proposition of a model for risk assessment in the transport of the oversized loads in the army. 6th International Conference on Military Technologies 2017, 166-170. DOI: 10.1109/MILTECHS.2017.79887497988749.
- [20] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. z 2022 r. poz. 988, z późn. zm.).
- [21] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych (Dz.U. z 2022 r. poz. 1693, z późn. zm.).
- [22] Ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (Dz.U. z 2022 r. poz. 2000, z późn. zm.).
- [23] Ustawa z dnia 6 września 2001 r. o transporcie drogowym (Dz.U. 2022 r. poz. 2201).
- [24] Wolnowska A., E., Konicki W.: Multi-criterial analysis of oversize cargo transport through the city, using the AHP method”. Transportation Research Procedia 2019, 39, 614-623. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.06.063>.
- [25] <https://www.panas.pl/pl/panas-transport>
- [26] <https://www.timocom.pl/blog/kluczowe-dane-dotyczace-transportu-drogowego-raport-eurostatu-703530>
- [27] <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/transport-i-laczynosc/transport/przewozy-ladunkow-i-pasazerow-w-2024-r-11,13.html>

European Union regulatory framework for railway vehicle (type) configuration management

Ramy regulacyjne Unii Europejskiej dotyczące zarządzania konfiguracją (typu) pojazdów kolejowych

Jan Siudecki

PhD, Head of Quality and Certification Centre of the Railway Research Institute

jansiudecki@wp.pl
ORCID 0000-0001-7991-5075

Abstract: The aim of this article is to analyse how EU regulatory framework for railway vehicle configuration management operates. Difference between configuration of a vehicle type and configuration of an existing vehicle placed on the market has been analysed. A type is to be understood as the design of a vehicle. A vehicle is an existing asset placed on the market. Configuration of both the type and the vehicle depends on its modifications. Configuration of a vehicle depends moreover on how it is maintained. Subsequently the process for configuration management has been described in detail, including responsibilities of key actors and interrelation of configuration management with other obligations related to change management, conformity assessment and use of vehicles. The article concludes with key findings.

Keywords: *Railway vehicle; Configuration management; Maintenance; Vehicle authorisation*

Streszczenie: Celem niniejszego artykułu jest analiza funkcjonowania unijnych ram regulacyjnych dotyczących zarządzania konfiguracją pojazdów kolejowych. Przeanalizowano różnice między konfiguracją typu pojazdu a konfiguracją istniejącego pojazdu wprowadzonego do obrotu. Typ należy rozumieć jako konstrukcję pojazdu. Pojazd to istniejący składnik aktywów wprowadzony do obrotu. Konfiguracja zarówno typu, jak i pojazdu zależy od jego modyfikacji. Konfiguracja pojazdu zależy również od sposobu jego utrzymania. Następnie szczegółowo opisano proces zarządzania konfiguracją, w tym obowiązki kluczowych podmiotów oraz powiązania zarządzania konfiguracją z innymi obowiązkami związanymi z zarządzaniem zmianą, oceną zgodności i eksploatacją pojazdów. Artykuł kończy się kluczowymi wnioskami.

Słowa kluczowe: *Pojazd kolejowy; Zarządzanie konfiguracją; Konserwacja; Autoryzacja pojazdu*

Introduction

A proper configuration management allows an organisation to have control over the status and version of hardware (e.g. bill of materials, spare parts, drawings) and software that are required to be supplied or installed in a system or rolling stock. This is important when changes are required due to, for example, obsolescence [3].

Configuration management is all the more pertinent in an industry like railways. This is capital-heavy industry in which assets are used for a long time [8]. Return from investment in rail and provision of high quality services requires high reliability and availability of assets. This depends on proper handling of the design development, ensuring that introduced changes meet applicable requirements and that reliability and availability remain unaffected. Long lifetime of assets means also that ma-

intenance persists as a challenge and constantly drives the need to search for new solutions for railway appliances conservation. But maintainability depends also on how maintenance is documented and managed.

Railways in the European Union is a highly regulated sector, with plenty obligations related to technical safety and availability addressed at many different actors such as manufacturers, operators, keepers, entities in charge of maintenance or maintenance workshops. Despite this high degree of regulation and pertinence of the configuration management there is not much of scientific literature on the subject, with critical and practical analysis of the regulatory framework – mainly European Parliament and Council Directive (EU) 2016/797 on the interoperability of the rail system within the European Union [2016] OJ L138/44 (henceforth 'Directive 2016/797') and Commission Im-

plementing Regulation (EU) 2018/545 of 4 April 2018 establishing practical arrangements for the railway vehicle authorisation and railway vehicle type authorisation process pursuant to Directive (EU) 2016/797 of the European Parliament and of the Council [2018] OJ L90/66 (henceforth "Regulation 2018/545"). This paper aims at exploring the detailed content of the obligations composing configuration management, discussing the responsibilities of actors involved and their interrelation. Such an analysis should have the potential of aiding concerned professionals both in establishing or revising implemented processes or resolving disputes that may arise when considering faults in design or maintenance.

When the term 'vehicle' is followed in a given statement by the term 'type' in brackets in this paper, this is to be understood that the statement concerns both a vehicle and a vehicle type. Altho-

ugh regulation 2018/545 distinguishes also a 'type variant' and 'type version' this will not be addressed in this paper for two reasons. First one is related to keeping clarity of the argumentation and a second is related to the fact that configuration management is regulated on the level of a type, and not its derivatives.

Type configuration management and vehicle configuration management

According to art. 2 point 3 of Regulation 2018/545 'configuration management' means a systematic organisational, technical and administrative process put in place throughout the lifecycle of a vehicle and/or vehicle type to ensure that the consistency of the documentation and the traceability of the changes are established and maintained so that:

- (a) requirements from relevant Union law and national rules are met;
- (b) changes are controlled and documented either in the technical files or in the file accompanying the issued authorisation;
- (c) information and data is kept current and accurate;
- (d) relevant parties are informed of changes, as required.

Analysing this provision vehicle (type) configuration management can be understood as the process of ensuring the availability and integrity (consistency, reliability) of information about the technical characteristics (its designed operating state) of a vehicle (type), in particular what and when has been changed in it or its technical documentation in order to fulfil the relevant legal obligations, in particular:

- certification and authorisation obligations,
- managing the risk of change,

so as to ensure the conformity of the (type of) vehicle with the essential requirements of the rail system, throughout its life cycle.

Regulation 2018/545 does not define the term vehicle configuration. This definition can be reconstructed from the definition of configuration in ISO 10007 Quality management - Guideli-

nes for configuration management [4]. This standard defines configuration as *"interrelated functional and physical characteristics of a product or service defined in configuration information"*. Configuration information means requirements for product or service design, realisation, verification, operation and support. Configuration of a railway vehicle is in principle described in the technical file accompanying EC declaration of verification. The configuration information on the other hand would be identified in the process of requirements capture established in Article 13 of regulation 2018/545.

Configuration management is an information management process that covers those technical aspects of a vehicle (type) that are relevant to meeting the essential requirements of the railway system, or in other words its 'design operating state'. According to Article 2 point (31) of Directive 2016/797 design operating state is the normal operating mode and the foreseeable degraded conditions (including wear) within the range and the conditions of use specified in the technical and maintenance files.

Analysis of provisions of Regulation 2018/545 leads to the conclusion that the 'configuration management' actually comprises two separate obligations. Although there is a single definition of 'configuration management', but it describes two obligations, each of which is addressed at a different category of actors and concerns a different subject matter. Their common element lies in the duties they impose - the activities to be undertaken by the actors, i.e. the way in which the process should be carried out.

The first of these obligations is to manage the configuration of the railway vehicle type. The object of this obligation is the vehicle type. According to Article 2(26) of Directive 2016/797, 'type' means a vehicle type defining the basic design characteristics of the vehicle as covered by a type or design examination certificate described in the relevant verification module. A type is therefore a creative work comprising the design of a vehicle defined by its basic design characteristics and described in the type

examination certificate. This term does not therefore cover the railway vehicles that are manufactured on the basis of this design, understood as a material asset or *res* in the meaning of civil law. This is an obligation which, according to Article 5(1) of regulation 2018/545, rests on the holder of the type authorisation.

The second obligation contained in Article 5(1) of Regulation 2018/545 is the configuration management of the railway vehicle. This obligation relates to vehicles manufactured on the basis of a given design, placed on the market and subsequently put into service (in other words, vehicles that are called in different guidance texts of the European Union agency for Railways called 'existing vehicles', 'vehicles in conformity to type', 'vehicles in service' or 'vehicles placed on the market'). The addressee of the obligation to manage the configuration of a railway vehicle, in accordance with Article 16(5) of Regulation 2018/545, is its keeper. Keeper is defined in Article 2(21) of directive 2016/797 as a natural or legal person that, being the owner of a vehicle or having the right to use it, exploits the vehicle as a means of transport and is registered as such in a vehicle register referred to in Article 47 of this directive.

This distinction is highlighted in recitals 5 and 6 of Regulation 2018/545:

"(5) In order to ensure that the vehicle type continues to meet the requirements over time and that any changes to the design that affects the basic design characteristics are reflected as new variants and/or versions of the vehicle type, the process of configuration management of the vehicle type, should be used. The entity responsible for the configuration management of the vehicle type is the applicant that received the vehicle type authorisation.

(6) As far as vehicles are concerned, it is necessary to have a configuration management process limited to changes that are not managed through the configuration management process of an authorised vehicle type."

The aforementioned recitals indicate that type-related and vehicle-related changes should be managed separately.

This distinction is natural in the light of the fact that the essence of the activi-

ty of the vehicle manufacturer, which as a rule is the holder of the type authorisation, is selling vehicles. The manufacturer therefore disposes of the legal title to the vehicle as soon as it is placed on the market and sold to an entity that becomes the keeper of the vehicle under the legislation governing rail transport. It is the keeper who bears the ultimate responsibility for the vehicle as he has the right to decide on its registration status in the vehicle register (and thus, for example, to withdraw the vehicle from service or even to scrap it). The keeper also has the ultimate discretion when it comes to introducing modifications to the vehicle and has therefore the status of an entity managing the change of the vehicle, in accordance with Article 16(5) of Regulation 2018/545. Consequently he bears the obligation to manage the configuration. It would be therefore unfounded to associate the type authorisation holder with obligations to manage the configuration of vehicles, even if they conform to the type that this he has authorised.

According to Article 5(1) of Regulation 2018/545, the type authorisation holder is responsible for managing the type configuration and according to Article 16(4) of Regulation 2018/545, the keeper is responsible for managing the vehicle configuration. Both categories of entities are at the same time 'entities managing the change' according to Article 2(5) of Regulation 2018/545. However, this status should not be associated with the responsibilities of the proposer in the meaning of Commission Implementing Regulation (EU) No 402/2013 of 30 April 2013 on the common safety method for risk evaluation and assessment [2013] OJ L 121/8 (henceforth: 'Regulation 402/2013'). Regulation 402/2013 contains in Article 3(11) its own definition of the 'proposer' who is responsible for managing risk of a change introduced in the railway system. The catalogue contained in this provision does not indicate a keeper nor a type authorisation holder. Article 16(4) of Regulation 2018/545 regulates only responsibilities in terms of the qualification of the modification to one of the categories listed in Article 15(1) of Regulation 2018/545 and therefore for

the purpose of determining the scope of activities necessary from a conformity assessment perspective. The entity managing the change in the meaning of Regulation 2018/545 does not have to be an applicant within the meaning of Regulation 402/2013.

Because each obligation is carried out by a different entity in relation to a different subject, these obligations are not mutually exclusive. The fact that the type authorisation holder manages changes to the type (understood as a vehicle design) does not mean that the keeper is relieved of the obligation to manage the configuration of vehicles conforming to that type. Three situations can be distinguished in which the obligation to manage the type configuration and to manage the vehicle configuration may arise should be considered:

1. The change is introduced at the initiative of the type authorisation holder (the entity managing the change within the meaning of Article 5(2) of Regulation 2018/545 is the type authorisation holder) only in the type. So in practice the design is changed. In this case, only vehicles that are yet to be manufactured and placed on the market will conform to the changed type. In this situation, only type configuration management takes place.
2. The change is introduced at the initiative of the type authorisation holder in the type and then vehicles conforming to that type (already placed on the market) are adapted to that change. This type of situation may arise when a manufacturer (who is the type authorisation holder) identifies a design or implementation fault in the vehicles he has already delivered to the contracting entities (keepers) and informs them that this fault needs to be corrected.

In this situation, the holder of the type authorisation remains responsible for managing type configuration. The modification of the type conforming vehicles on the other hand may in practice be

carried out either the type authorisation holder or by the keeper (or by operator of the vehicle or the entity in charge of its maintenance acting on behalf of the keeper). Regardless of who modifies the vehicle in practice, the keeper will remain responsible for managing the configuration of the vehicles adapted to the changed design.

While the keeper may in this situation entrust the type authorisation holder with managing the vehicle configuration, on basis of Article 16(5) of regulation 2018/545, which will be relevant to the obligations set out in this provision and may facilitate the practical implementation of the changes, this will not transfer the responsibility for the configuration management of the vehicle from the keeper, as it is the entity with ultimate responsibility for the vehicle. The opposite conclusion cannot be accepted because the type authorisation holder, which is generally the manufacturer, no longer holds any legal title to vehicles in service and cannot make any decisions on introducing changes to them. This is confirmed in paragraph 3.3.4.4 of the Guidelines to Practical Arrangements for Vehicle Authorisation Process [6].

The situation where vehicles conforming to a type described in the type-examination certificate are produced by an entity other than the entity that has obtained that certificate (and has become the type authorisation holder) raises some questions. It is a situation in which the type test module (SB module) is performed by one entity (which is the type authorisation holder) and the SD module is performed by another entity (Such a situation is described in the NB rail recommendation for use RFU-STR-700 [7]). There seems to be no doubt here that in such a situation the responsibility for type configuration management remains with the type authorisation holder. Questions arise in a situation where it would appear that the vehicle produced is not actually in conformity with the type (its configuration does not correspond to the design operating state, i.e. the type configuration has not been properly managed). It seems that in such a situation, the responsibility should be borne in the

first and foremost by the entity that performed the SD module on the basis of the issued declaration of conformity to type.

3. A change is only made to vehicles placed on the market. In practice, such a change may be made on the initiative of the keeper, but it may also be made at the request of another body, e.g. a railway undertaking or an entity in charge of maintenance (henceforth: 'ECM'). This may be the case when, based on experience gained, it appears that a different technical solution to that envisaged in the original design of the vehicle should be applied. However, from the point of view of the obligations under consideration, it is the keeper, as the entity responsible for vehicle configuration management, who will be responsible for implementing such a change as the change manager. It is then the responsibility of the keeper to manage the configuration. If these changes result in the need to obtain a new type authorisation in accordance with Article 15(1)(4) in conjunction with Article 16(2) of Regulation 2018/545, an obligation to manage the type configuration will arise for the keeper (once the type authorisation has been obtained), but this will be a new obligation (unrelated to the configuration management of the vehicle type that is subject to the change) due to the creation of the new type and the taking up of the role of type authorisation holder by the keeper.

Vehicle (type) configuration management process

The common element of type and vehicle configuration management is the essence of the process of this obligation (information management) and its purpose (ensuring conformity with requirements). However, in both cases the scope of the information to be managed will be different. This difference in the scope of information that is to be managed is due to the fact that the vehicle type is not subject to maintenance.

Only an existing, material asset can be subject to the maintenance process. The type, as an intangible manifestation of human creative activity, cannot be subject to maintenance in the sense of replacement of worn-out components, cleaning, replacement of fluids, lubrication, etc. Type configuration management will therefore only cover information concerning modifications to the type (design changes). Vehicle configuration management, on the other hand, will include information from both the maintenance process and the vehicle modification process.

The design operating state of a newly developed type or of a vehicle placed on the market for the first time can be called a baseline configuration. ISO 22163:2023 Railway applications — Railway quality management system — ISO 9001:2015 and specific requirements for application in the railway sector standard [5] (henceforth 'IRIS') indicates that the baseline configuration is to be understood as approved configuration information that establishes the characteristics of a product or service at a point in time that serves as reference for activities throughout the life cycle of the product or service. With regard to a railway vehicle, the baseline configuration (i.e. as-built configuration) will be the characteristics of the type as it was developed by the manufacturer and as it is described in the EC type examination certificate. This is because the starting point for analysing any modification of the vehicle (type) to ensure conformity with the essential requirements is how it is described in the type-examination certificate. The base configuration should also be defined as that configuration resulting from modifications to an existing vehicle which lead to a change of type, since this situation leads to a new type and a new type-examination certificate has to be obtained (as-upgraded configuration). An as-modified configuration will result from modifications that do not lead to a change of vehicle type. On the other hand, a configuration resulting from a replacement as part of maintenance may be referred to as as-maintained. These rules should be applied to both the existing vehicle and the type.

The configuration of an existing vehicle is defined by two factors: its maintenance and the introduced modifications. Vehicle maintenance aims to maintain the vehicle in its designed operating state. Change management aims to ensure that the design operating state of the modified vehicle meets all applicable requirements. Any modification to a vehicle will lead to an update of what is referred to as the designed operating state. In other words, it is these processes that determine the technical characteristics of the vehicle, understood precisely as the configuration described in the relevant documentation (design operating state) as defined in Article 2(3) of Regulation 2018/545.

Regarding what defines the configuration and, at the same time, the scope of the information that is subject to configuration management, the base configuration is described in the documentation accompanying the EC declaration of verification issued for the new vehicle type. The scope of the required content of the technical file is defined in point 2.4 of Annex IV of Directive 2016/797, and is further specified in paragraph 4.2.12 of Commission Regulation (EU) 1302/2014 of 18 November 2014 on the technical specification for interoperability relating to the rolling stock subsystem - locomotives and passenger rolling stock of the rail system in the European Union (OJ L 356 12.12.2014, p. 228, henceforth: TSI '1302/2014') and in paragraph 4.5.1. of Commission Regulation (EU) No 321/2013 of 13 March 2013 concerning the technical specification for interoperability relating to the subsystem rolling stock — freight wagons of the rail system in the European Union (OJ L 104 12.4.2013, p. 1).

The same documentation describes the configuration (as-upgraded) when a new type is created as a result of modifications made to the vehicle or type. The documentation accompanying the "EC" declaration of verification will also define the as-modified configuration, since Regulation 2018/545, in Article 15(1)(b) and (c), provides for the situation where modifications made to the vehicle which do not result in a new type have to be subject to conformity assessment and, ultimately, a new "EC" declaration

of subsystem verification preceded by new accompanying documentation. However, it should be borne in mind that this documentation will form the basis for the configuration management as part of the change management in accordance with Article 15(1) of Regulation 2018/545, which states that the starting point for the qualification of changes is the impact on the technical file accompanying the EC declaration of verification.

On the other hand, configuration management in relation to maintenance will take place on the basis of the maintenance file, which, on the basis of the documentation supporting the EC declaration, is developed by an ECM (Guide for the application of Article 14 of Directive (EU) 2016/798 and Commission Implementing Regulation (EU) No 2019/779 on a system of certification of entities in charge of maintenance for vehicles [2]). The ECM is responsible for managing the maintenance file by adapting it to the actual operating conditions, required performance and return on experience of operation and updating it throughout the vehicle life cycle. In the case of an existing vehicle, the ECM is also responsible for managing and updating the maintenance documentation (see Article 14(3)(b) of Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council of 11 May 2016 on railway safety [2016] OJ L 138/102 (henceforth: 'Directive 2016/798') throughout the vehicle's life cycle. This is because it is this documentation that describes the configuration of the existing vehicle. It is more detailed than the documentation accompanying the EC declaration of verification of the subsystem in that it also covers the performed maintenance, and substitution in the framework of maintenance in particular (defined in Article 2(17) of Directive 2016/797 as any replacement of components by parts of identical function and performance in the framework of preventive or corrective maintenance).

It should be emphasised that the obligation of configuration management relates precisely to the legal requirements for the content of the technical documentation and not its actual

content. The technical documentation may in practice contain information not required by the legislation, not related to compliance with the essential requirements, but which is included in the documentation because of the manufacturer's business practices or the specific requirements of the entity ordering the rolling stock. There is no justification for requiring traceability management of such information under Article 15 of Regulation 2018/545.

For the practical implementation of the duty of configuration management by the keeper it is essential for him to have access to adequate documentation that enables him to ensure (and bear the responsibility) that either the configuration is maintained or that configuration changes are properly managed. This documentation, according to the reference in Article 16(2) of Regulation 2018/545, should be the documentation accompanying the EC declaration of verification. In practice, the implementation of this obligation may be hampered because, according to clause 4.2.12.1 of TSI 1302/2014, it is the obligation of the type authorisation holder (authorisation applicant) to make available the documentation required for the management of the maintenance file, which is only part of the operation and maintenance file, which in turn is only part of the documentation accompanying the EC declaration of verification (according to Annex IV of Directive 2016/797 and clause 4.2.12 (3) of the TSI 1302/2014) and which in practice often contains sensitive and protected information of the entity that issued the EC declaration of verification. Keepers may therefore have limited access to all the documentation accompanying the EC declaration of verification, which is the basis for proper vehicle configuration management in accordance with Article 16(2) in conjunction with Article 15(1) of Regulation 2018/545. The lack of access to of this documentation does not constitute a legal barrier to the implementation of the configuration management obligation, in the sense that this lack of access does not prevent the implementation of a change to the vehicle and the management of the configuration after the change (mo-

reover there are still many vehicles on the market that do not have such documentation due to having been placed on the market at a time when the European Union legislation governing their conformity assessment was not yet in force). Nevertheless, it should be recognised that the lack of access to this documentation may impede proper configuration management. Therefore, in order to ensure the practical feasibility of the compliant (with requirements of Article 2(3) of Regulation 2018/545) of the configuration management, it may be necessary for the holder to ensure that it has access to all the necessary documentation through appropriate contractual arrangements with the type authorisation holder (which is, in principle, the issuer of the EC declaration of verification). Point 7.1.2.1 of the Loc&Pas TSI states that *"the holder of the vehicle type authorisation shall provide, under reasonable conditions, the information necessary for assessing the changes to the entity managing the change"*. The keeper is an entity managing the change. Clause 7.1.2.1 of the Loc&Pas TSI should therefore be understood as legally sanctioning the exchange of information between the type authorisation holder and the keeper, for the proper implementation of the latter's configuration management obligation. The keeper cannot therefore absolve himself of the responsibility for compliant configuration management by invoking a lack of access to the documentation accompanying the EC declaration of verification. A contracting entity that does not grant itself access to the necessary documentation, in particular in the light of the type authorisation holder's obligation to make it available (under reasonable conditions), and thus fails to manage the change in accordance with the requirements, is in breach of its configuration management obligations.

Vehicle configuration management and maintenance

When analysing further the essence of vehicle configuration management, it is necessary to clarify the understanding of the concept of maintenance, already presented at a certain level of generali-

ty above, and to define the concept of change. Clarifying these concepts, as defining the content of configuration management, will be key to establishing the responsibilities of those involved in configuration management.

Maintenance in relation to a railway vehicle will consist of upkeeping it in a state (or restoring it to a state) in which it performs the required functions in accordance with the technical file accompanying the EC declaration of verification and the maintenance file drawn up on the basis thereof. It is about maintaining the vehicle in the design operating state, because it is in this state that the vehicle can perform the required functions.

Maintenance includes activities such as condition monitoring, cleaning, replenishment of fluids and lubricants and replacement of used up parts. Associated with the replacement of parts is the institution of substitution in the framework of maintenance. This term is significant for delimiting what activity is to be considered and managed as maintenance and what as a change. Substitution in the framework of maintenance is well described in the guide Guidance on Practical Arrangements for the Vehicle Authorisation Process.

"Article 16(1) of the Regulation (EU) 2018/545 covers changes in vehicles (not vehicle types) related to maintenance, i.e., replacing broken, malfunctioning or worn out components. Where the replacement is 100% identical to the substituted one, such change does not require an authorisation nor any other update in technical files or ERATV. However, in some cases, it is not possible to find 100% identical spare parts in the market (e.g., due to obsolescence, bankruptcy of the manufacturer etc.), and there is a need to use other components with identical functions and performances, although not identical. In this framework, "identical functions and performances" should be understood as follows: the new component does not have new functionalities itself or add new functionalities to the system into which it is integrated, does not trigger a change in performance (be it an increase or a decrease) nor impacts adversely safety (the level of safety is at least kept, without new hazards/risks). It's meant to be a one to one replacement (same

input, same output, same working principles), linked to maintenance (preventive or corrective), and following a "plug & play" approach: remove the old component, install the new one, no other modification or adaptation is needed. The operations to fit the new component shall be identical to those that would be needed to replace it by another 100% identical components. In other words, it's the substitution of an element by an identical one, which may be slightly different due to evolution over time, obsolescence, change of provider etc.) but still equivalent".

As can be seen from the above, only one condition is relevant for an activity to qualify as substitution in the framework of maintenance: identical function and performance (or in other words: efficiency). No other condition (type of component, component manufacturer, indication in the technical documentation, etc.) is relevant. Maintenance thus involves replacing parts with parts that are the same (identical) or different, but with identical functions and performance to the part being replaced.

According to Article 16(1) and (2) of Regulation 2018/545, changes to an already authorised vehicle which are linked to substitution in the framework of maintenance and limited to replacement of components by other components fulfilling identical functions and performances in the framework of preventive or corrective maintenance of the vehicle do not require an authorisation for placing on the market. Any other changes to a vehicle shall be analysed and categorised in accordance with Article 15(1).

Article 16(1) and (2) of Regulation 2018/545 form the basis for distinguishing between maintenance and change management. The concept of a change is not defined in any provision of the European Union legal framework for railway safety and interoperability. However, on the basis of Article 16(1) and (2) of Regulation 2018/545, it can be concluded that all activities undertaken towards a vehicle that do not fall within the scope of maintenance constitute a change. With that said, a change requiring management will be any change that leads to differences in the documentation accompanying the EC decla-

ration of verification (its obsolescence) because this is the starting point for the qualification of changes in accordance with Article 16(2) in conjunction with Article 15(1) of Regulation 2018/545. Furthermore the essence of configuration management is to ensure that the change does not undermine the compliance with essential requirements (in light of the designed operating state) and the documentation accompanying the EC declaration of verification provides a complete basis and evidence of compliance with essential requirements.

The above conclusion gives rise to a precise description and delimitation of the responsibilities of the ECM, the maintenance workshop and the keeper for configuration management, set out essentially in the provisions of Directives 2016/798 and 2016/797 and their implementing acts.

The basis for the ECM's responsibility for vehicle maintenance is Article 14(2) of Directive 2016/798, according to which, without prejudice to the responsibility of railway undertakings and infrastructure managers for the safe operation of the train, as provided for in Article 4 of Directive 2016/798, the entity in charge of maintenance shall ensure that the vehicles for which it is in charge of maintenance are, through the maintenance system, in a safe state of running (or putting it differently it is in its design operating state). All other ECM responsibilities, such as those concerning the establishment of a maintenance management system, the implementation of risk control measures or the exchange of information, are derivative to this core ECM responsibility i.e. the responsibility for vehicle maintenance. The ECM does not have any responsibilities that go beyond the implementation of maintenance. In doing so, the responsibility for vehicle maintenance lies with the ECM and not with the railway undertaking, as confirmed in recital 72 of the Recommendation of 5 December 2014: *"in view of the fact that railway undertakings and infrastructure managers are the only entities obliged to hold safety certificates and safety authorisations, supported by safety management systems, these organisations*

should have a key role in managing the input of others and in making appropriate decisions on their input. When railway undertakings or infrastructure managers make such decisions or actions as part of their safety management systems, this is without prejudice to the responsibilities of others, such as keepers, entities in charge of maintenance, manufacturers." The responsibility of railway undertakings and infrastructure managers is without prejudice to the responsibility of ECMs for maintenance, or manufacturers for the conformity of their products with the essential requirements.

With regard to the responsibility of the maintenance workshop (i.e. the entity performing at least ECM function 4 and possibly functions 2 and 3), according to Article 9(3) of Commission Implementing Regulation (EU) 2019/779 of 16 May 2019 laying down detailed provisions on a system of certification of entities in charge of maintenance of vehicles pursuant to Directive (EU) 2016/798 of the European Parliament and of the Council (OJ L 139I, 27.5.2019, p. 360–389, henceforth: 'Regulation 2019/779'), the ECM remains responsible for the outcome of outsourced maintenance activities. Considering this provision, and the location of the full responsibility for vehicle maintenance on the ECM it can be concluded that the maintenance workshop does not bear any responsibility for the outcome of maintenance, i.e. for ensuring that the vehicle maintains the configuration in accordance with the maintenance file (the file accompanying the EC declaration of verification). This responsibility is borne by the ECM and considering only the ECM's responsibility in this respect is appropriate. This does not mean, of course, that the maintenance workshop is not responsible for the proper execution of the tasks it performs within its ECM functions.

At this point some comments are necessary as to the provisions of Regulation 2019/779, which require ECMs to have 'configuration management'. Annex II(II)(2)(e) of Regulation 2019/779 states that an organisation applying for an ECM *"shall have procedures to guarantee conformity with the essential requirements for interoperability, including*

updates throughout the lifecycle, by [...] managing the configuration of all technical changes affecting the system integrity of the vehicle". Annex II(II)(7)(b) of Regulation 2019/779 states moreover that when the documentation process is applied to the maintenance development function, the traceability of at least the following elements needs to be guaranteed: the configuration of vehicles, including, but not limited to, safety-critical components and on-board software modifications. These specific 'configuration management' responsibilities of the ECM are to be considered within the framework of the ECM's overall responsibility, which is limited to vehicle maintenance. Configuration management by the ECM is intended, in this light, to ensure traceability of maintenance activities and parts used in connection with the substitution in the framework of maintenance. These provisions are not intended to make the ECM responsible for configuration management in the second dimension of the process, i.e. the change management dimension.

This is due, firstly, to the fact that ECM is responsible for maintenance, which does not include the implementation of changes but, on the contrary, the preservation of the vehicle in a certain configuration, and, secondly, to the need to maintain a clear and unambiguous division of responsibility in the railway system. Indeed, safety in the railway system is based on a clear division of responsibilities (as can be seen, for example, from recitals 7 and 8 of Directive 2016/798). A situation in which two categories of actors are responsible for the same thing would be unacceptable from this point of view. The ECM is therefore responsible for configuration management in the sense of its behaviour and only in relation to the traceability of the maintenance activities and the technical characteristics of the vehicle (design operating state) that result from the maintenance activities. In connection with the ECM's obligations regarding information exchange, this responsibility is intended to ensure that the duty of the keeper to carry out 'end-to-end' configuration management throughout the vehicle's life cycle can be fulfilled (which is particularly rele-

vant in the context of the possibility of even multiple changes of the ECM during the vehicle's life cycle). The responsibility of the ECM is secondary to that of the keeper. In other words the ECM is responsible for undertaking certain configuration management activities, only to a certain extent and in order to provide a basis for holding the keeper ultimately responsible for configuration management.

In the context of the above conclusion, it remains to be considered whether the legal framework foresees that the ECM may be responsible for changes to the vehicle that may have to be made in connection with the implementation of maintenance activities (primarily the situation of non-availability of spare parts with identical functions and performance). Given the previous conclusions contrasting maintenance and change, it can be assumed that the ECM is not responsible for changes made to the vehicle and therefore has no authority to initiate and implement them (this is not its role in the railway system). Regulation 2019/779 refers to change management by the ECM in a number of provisions, but more often than not, this obligation relates to the management of a change to the maintenance file rather than to the vehicle itself (and therefore to the introduction of operational rather than technical changes in the sense of Regulation 402/2013) or is unspecified in terms of scope. ECM is also listed as one of the categories of applicant that performs the change risk management process in Regulation 402/2013, but this status can also only be referred to the implementation of operational or organisational changes within the meaning of the Regulation, in line with the ECM's overall responsibilities and tasks. The ECM's change management tasks in application of Regulation 402/2013 should be considered through the prism of its responsibility and role in the railway system, and therefore it should be concluded that these tasks are limited to changes made to the maintenance management system or maintenance documentation, but do not include technical changes to the vehicle under maintenance itself. This conclusion is confirmed by the EUAR

explanatory note on safe integration [1], which does not foresee any responsibility of the ECM in for the safe integration of vehicle changes and, in the only place it mentions the ECM, is limited to indicating that safe integration is necessary at the level of the ECM in order to develop processes and procedures for its maintenance system or for the safe life management of spare parts. Under Regulation 2018/545, the ECM is not a change management entity (Article 2(5)), which also highlights its lack of responsibility and role in the implementation of changes to railway vehicles.

The implementation of changes to vehicles must be the responsibility of the keeper, as the one who has the ultimate responsibility for configuration management and as the change management entity within the meaning of Regulation 2018/545. In doing so, the keeper should, at the very least, accept any change to be implemented on the vehicle regardless of which entity the impetus for its implementation comes from in practice (whether it is the carrier in relation to operational experience and operation, or the ECM in relation to maintenance experience and implementation) and which entity will actually implement it. Such acceptance is the expression and proof of the implementation of the vehicle configuration management obligation. In order to fulfil the obligation of configuration management, the keeper must therefore provide himself with the appropriate tools for the ECM to pass on the information, which is consistent with the with the requirements of Annex II, point I(7) of Regulation 2019/779 regarding the exchange of information. A change made by the ECM without the approval of the authorising officer is therefore in breach of the ECM's obligations regarding, inter alia, the exchange of information. At the same time, it should be emphasised that the fact that the authorising officer has not provided himself with these tools or that the ECM has not fulfilled its obligation to pass on the relevant information does not remove the responsibility of the authorising officer for configuration management.

The obligation of vehicle configuration management goes further in prac-

tice in terms of scope of documentation than the obligation of type configuration management. Type-configuration management only covers the technical documentation accompanying the EC declaration of verification - it is concerned with the type, and not the documentation produced for specific vehicles (even if in conformity with the type). In practice, vehicle configuration management requires the documentation of maintenance activities that may affect conformity with the essential requirements. According to Annex II, Section II of Regulation 2019/779, an organisation applying for an ECM certificate or for a maintenance development function certificate must have procedures in place to ensure that the essential requirements for interoperability are met, including updates throughout the life-cycle, by managing the configuration of all technical changes affecting the integrity of the vehicle system. In addition, the ERA Guidelines for ECM certification indicate that the ECM should maintain a configuration file that enables the configuration management of a specific vehicle

It should be noted here that these responsibilities of the ECM do not modify the keeper's responsibility for vehicle configuration management, but are merely intended to enable the keeper to provide the relevant information for the performance of his duties. Indeed, the obligations arising from Regulation 2019/779 relate to the maintenance of railway vehicles and not to the management of their changes which is governed by Regulation 2018/545. The primary responsibility of the ECM, in accordance with Article 14(2) of Directive 2016/798, is to ensure that vehicles are maintained in such a way that they are able to be operated in a safe manner. Maintenance, or substitution in the framework of maintenance, is the replacement of parts with other parts of identical function and performance as part of preventive or corrective maintenance of a vehicle. It therefore does not include changes. Furthermore, the change management obligations set out in Regulation 2019/779 relate to the management of a change in the technical file, not in the vehicle itself.

In other words, the ECM's responsibility for configuration management is therefore primarily to maintain the vehicle in the configuration adopted in the technical documentation. Only if changes are required due to identification of hazards associated with vehicle components or, for example, the unavailability of parts, the ECM's has duties to enable the keeper to initiate and manage the change. However, these duties are secondary to those of the keeper and do not change the keeper's responsibility for vehicle configuration management as established in Article 16(5) of Regulation 2018/545. Furthermore, neither the ECM nor the entity performing the maintenance function is an entity managing the change within the meaning of Regulation 2018/545 and as such it cannot be responsible for vehicle configuration management.

Conclusions

Configuration management of railway vehicles is a different obligation from configuration management of a type. Although both share a definition contained in Article 2 point (3) of Regulation 2018/545 the former is addressed at the keeper while the latter at the type authorisation holder. Moreover a type is a different concept than a railway vehicle. The term "vehicle type" should be understood only a design of a vehicle that does not cover vehicles that conform to the type themselves. Existing, material assets in the form of railway vehicles are named as such in the legal framework. This impacts the scope of the obligation. While configuration management of a type comes down to managing the changes made to the design, configuration management of a vehicle covers not only introduced changes but also maintenance activities.

The starting point of defining configuration of both a type and a vehicle is the technical file accompanying the 'EC' declaration of verification. This file defines all the necessary technical characteristics and establishes the first "design operating state" that is a point of reference in configuration management. It serves as a configuration reference for change management. For existing ve-

hicles configuration management should be also performed at a higher level of detail because of the need to ensure all the maintenance activities are duly identified and processed. This is done on basis of maintenance file elaborated by an ECM.

The ECM's configuration management responsibilities do not modify the keeper's final responsibility for vehicle configuration management. ECMs task is to document and perform all the maintenance activities in a way that enables the keeper to manage the configuration of a vehicle. As ECM is not entitled to introduce any changes on the vehicle (only keep it in the design operating state as described in maintenance file) it cannot bear responsibility for configuration management of a vehicle. Reading the Regulation 2019/779 as dividing responsibility for configuration

management between the ECM and a keeper would weaken the effectiveness of the legal framework.◀

Source materials

- [1] ERA1209/063. Clarification Note on Safe Integration v1.0, European Union Agency for Railways.
- [2] Guide for the application of Article 14 of Directive (EU) 2016/798 and Commission Implementing Regulation (EU) No 2019/779 on a system of certification of entities in charge of maintenance for vehicles v9.0, European Union Agency for Railways.
- [3] IRIS Guideline 3: Maintenance, 2020 rev. 1.
- [4] ISO 10007 Quality management - Guidelines for configuration management.
- [5] ISO 22163:2023 Railway applications — Railway quality management system — ISO 9001:2015 and specific requirements for application in the railway sector standard.
- [6] Practical arrangements for the vehicle authorization process – Guidelines v2.1, European Union Agency for Railways.
- [7] RFU-STR-700. Guidance for application of type examination (CB/SB) and conformity to type based on quality management system of the production process (CD/SD) by two different applicants. NB Rail, Issue 04.
- [8] 2015/2887(RSP). Resolution of 9 June 2016 on the competitiveness of the European rail supply industry, European Parliament.

REKLAMA



Przyszłość szkolenia lotniczego w świetle realizowanych obecnie programów modernizacyjnych i pozyskiwanych w ich ramach statków powietrznych



Grzegorz Brychczyński

Przewodniczący Krajowej Sekcji Lotniczej
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników
Komunikacji RP

kslitrk@sitkrp.org.pl

Poważnym problemem polskich sił zbrojnych są braki kadrowe, i to nie tylko wśród żołnierzy. Brak sprzętu ogranicza zaś szkolenie wojska, np. pilotów. Jest to konkluzja pochodząca z raportu NIK.

Niepokojąco brzmią wyniki kontroli przeprowadzonej w Lotniczej Akademii Wojskowej i 4. Skrzydle Lotnictwa Szkolnego z Dębina. Z powodu braku maszyn – wycofania ze służby samolotów TS-11 Iskra – oraz faktu, że połowa samolotów szkolnych M-346 Bielik była niesprawna, absolwenci nie byli przygotowani do służby, a szkolenie w bazach było poważnie utrudnione. Zdaniem NIK ponad 40 proc. absolwentów kończących w latach 2019–2020 studia o specjalności pilot samolotu odrzutowego nigdy nie szkoliło się na takim samolocie.

MON po wejściu w życie ustawy o obronie ojczyzny i wobec aktualnej sytuacji geopolitycznej stawia na nowe formy służby.

Temat **Komponentu Lotniczego** zlokalizowanego w strukturach WOT działającego na rzecz obronności Państwa nie jest tematem obcym. Przywołuję w tym miejscu LOPP, Ligę Obrony Kraju, czy Aeroklub Rzeczypospolitej Polskiej prowadzący szkolenia w zakresie LPW-1 oraz LPW-2.

Nie wchodząc w szczegóły warto zauważyć, że w społeczeństwach o ugruntowanej demokracji, a tym bardziej wśród państw członkowskich NATO, obronność i wiążące się z tym obciążenia zarówno finansowe, logi-

styczne i organizacyjne – cokolwiek by w tym miejscu wymienić – są domeną rządową finansowaną z budżetu Państwa.

Projekt **Komponentu Lotniczego WOT** powinien być realizowany przy wsparciu finansowym Państwa i będzie z pewnością dobrze postrzegany nie tylko w środowisku lotniczym z następujących powodów:

1. Oszczędności w budżecie MON w zakresie kosztów po przez wstępne szkolenia lotnicze w cywilnych ośrodkach szkolenia – na potrzeby Polskich Sił Powietrznych. Wykonane analizy wskazują pilną potrzebę wyszkolenia znacznej liczby pilotów w specjalnościach lotniczych, takich jak piloci samolotów i śmigłowców bojowych oraz samolotów transportowych. Piloci ci będą stanowić kadrowe zaplecze dla lotnictwa wojskowego, państwowego i innych rodza-

jów służb porządku publicznego. Będą oni wykonywali zadania dowódcy statku powietrznego i będą musieli posiadać wyszkolenie oraz uprawnienia według standardów obowiązujących w Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ang. International Civil Aviation Organization, ICAO).

2. Stworzenie możliwości szkolenia kadetów lotniczych jako licencjonowanych pilotów, co przy obecnych kosztach szkolenia i pootrzymywania nawyków lotniczych jest dla młodych ludzi praktycznie nieosiągalne.
3. Nadanie impulsu polskiej gospodarce – czytaj Polskiemu Przemysłowi Lotniczemu, który mimo, że jest w nienajlepszej kondycji ma ciekawą ofertę statków powietrznych dla proponowanej formy funkcjonowania **KOMPONENTU LOTNICZEGO WOT**.

Przyszłość systemu szkolenia lotniczego Sił Powietrznych RP

w kontekście modernizacji (F-35, FA-50, M-346, BSP) i trendów NATO

1. Stan obecny systemu szkolenia w SP RP

Element	Aktualna baza szkoleniowa	Ocena
Szkolenie podstawowe	PZL-130 Orlik TC-II (4.SLSz, Dęblin)	Wystarczające, ale z ograniczonym potencjałem modernizacyjnym
Szkolenie zaawansowane	M-346 „Bielik” (41.BLSz, Świdwin)	System AJT + pełne zaplecze symulatorowe – nowoczesna baza do LIFT (Lead-In Fighter Training)
Przejście na samoloty bojowe	F-16C/D w Krzesinach i Łasku	Wysoka intensywność operacyjna utrudnia funkcję stricte szkoleniową
Symulatory i systemy naziemne	Rozbudowane dla M-346, bardzo ograniczone dla FA-50 i F-16/F-35	Nierównowaga technologiczna pomiędzy platformami
Instruktorzy	Wysoka jakość kadry, ale deficyt liczbowy	Problem największy przy przejściu na F-35

Obecny proces szkolenia pilotów w LAW jest wysoce kosztowny i długotrwały z uwagi na procedury szkoleniowe.

Na przeciw tego problemu wychodzi **Projekt Komponentu Lotniczego WOT**, który zdaniem ekspertów byłby bardzo pomocny w aktualnej sytuacji geopolitycznej i militarnej.

Bardzo cenne doświadczenia korelujące z **Komponentem Lotniczym WOT** wynikają z funkcjonujących formacji proobronnych naszego strategicznego Partnera NATO - Civil Air Patrol (CAP) – USA.

Organizacja Civil Air Patrol jest wspierana finansowo przez Kongres Amerykański oraz Rząd Amerykański jako organizacja non profit, która jest kadrowym zapleczem dla Sił Powietrznych Stanów Zjednoczonych. Organizacja ta jest oparta na wolontariacie i gromadzi entuzjastów lotnictwa ze wszystkich środowisk i zawodów.

CAP pełni trzy kluczowe zadania wyznaczone przez Kongres do których należą;

- służby ratunkowe, które obejmuje poszukiwania – ratownictwo z powietrza i ziemi,
- współpraca przy usuwaniu skutków klęsk żywiołowych, dzięki możliwości koordynacji tych działań z pokładu statków powietrznych,
- edukacja lotnicza i wychowanie obywatelskie młodzieży i społeczeństwa.

Ponadto CAP otrzymał zadania wchodzące w zakres działań na rzecz bezpieczeństwa kraju i realizowania misji i kurierskich pomocniczych dla różnych agencji rządowych i prywatnych, takich jak lokalnych organów ścigania oraz Amerykańskiego Czerwonego Krzyża.

Nie można w skali 1 do 1 stosować strategię działania Gwardii Narodowej USA w tym CAP do warunków operacyjnych wymaganych w ramach obrony cywilno - militarnej. Nie mniej jednak zasady działania operacyjnego Gwardii Narodowej pokazują że, formacja ta posiada w swoich strukturach organizacyjnych komponent

lotniczy, jakim jest organizacja Civil Air Patrol (CAP) i przy racjonalnej adaptacji przenieść ten standard działania na terytorium Polski.

Projekt Komponentu Lotniczego zlokalizowanego w ramach WOT zasługuje na szczególną uwagę ze względu na występującą w nim synergię pomiędzy wzmacnianiem postaw obywatelsko patriotycznych społeczeństwa, wzmacnianiem potencjału obronnego kraju i stymulacją **Polskiego Przemysłu Lotniczego** zdolnego do zaoferowania polskich konstrukcji lotniczych przeznaczonych do szkolenia i działań rozpoznawczo operacyjnych przy użyciu statków powietrznych.

Koncepcja Komponentu Lotniczego - WOT była prezentowana BBN, Narodowej Radzie Rozwoju przy urzędzie Prezydenta RP jak również w MON i była i jest nadal postrzegana jako interesujący Projekt.

W pierwszej kolejności koniecznym jest budowanie świadomości społecznej w tym obszarze, przy jednoczesnym budowaniu systemu zarządzania bezpieczeństwem narodowym.

Projekt Komponentu Lotniczego WOT ma na celu wyjść naprzeciw ;

- Stworzenia możliwości szkolenia do licencji PPL a następnie stworzenie możliwości i kształcenia w LAW na bazie programu dla Polskich Sił Powietrznych,
- Wobec licznych zakupów statków powietrznych po za granicami kraju istnienia pilnej potrzeby podstawowego wyszkolenia lotniczego wielu pilotów samolotowych i śmigłowcowych, lotnictwa transportowego, lotnictwa myśliwskiego, Lotnictwa Państwowego oraz dla transportu VIP,
- Możliwości dania szansy młodym ludziom na samorealizację życiową i stabilną perspektywę zatrudnienia w służbie państwowej,
- Wzmocnienia postawy obywatelsko patriotycznej społeczeństwa, wzmocnienie potencjału obronnego kraju,
- Przedłużenia aktywności lotniczej po zakończeniu czynnego latania operacyjno bojowego instruktora

rom - Fight Senior – którzy mogą pełnić służbę jako instruktorzy, szkolenia lotniczego operacyjnego, logistycznego.

Wstępne szkolenie lotnicze pełni rolę filtra i akceleratora. Pozwala wcześniej wyselekcjonować osoby bez predyspozycji, ułatwia start kandydatom, skraca czas szkolenia w wojsku, a przez to zmniejsza kosztowną eliminację wynikającą z procesu szkolenia i pozwala na;

- a) Weryfikację predyspozycji psychofizycznych, Kandydata wcześniej sprawdza, czy ma odpowiednią odporność na stres, przeciążenia. Eliminuje się osoby, które mają problemy z chorobą lokomocyjną, przestrzenną orientacją czy szybkim podejmowaniem decyzji. Dzięki temu do szkolenia wojskowego trafia mniejsza liczba osób przypadkowych, co zmniejsza późniejszą rezygnację.
- b) Rozwinięcie dyscypliny i odpowiedzialności, Kontakt z lotnictwem uczy przestrzegania regulaminów, procedur bezpieczeństwa i odpowiedzialności za sprzęt.
- c) Selekcja motywacyjna, Osoby bez odpowiednich cech charakteru często odpadają już na etapie szkolenia w certyfikowanych cywilnych Ośrodkach Szkolenia, zanim trafią do Sił Powietrznych. Wielu kandydatów weryfikuje swoje wyobrażenia – lotnictwo wojskowe okazuje się dużo bardziej wymagające niż "romantyczne marzenia o lataniu". Do dalszego etapu trafiają ci, którzy mają silną motywację i determinację.
- d) Przyspieszenie procesu szkolenia lotniczego pilotów Polskich Sił Powietrznych, Kadet, który ma już np. 20–50 godzin w szybowcach lub samolotach GA, znacznie szybciej adaptuje się do szkolenia na samolotach szkolno-treningowych.
- e) Obniżenie kosztów systemowych, Mniej osób odpada na zaawansowanych etapach, gdzie godzina szkolenia jest droższa od szkolenia do licencji PPL.

Ile kosztuje wyszkolenie pilota F-16?

Rzetelne analizy i raporty (RAND, GAO, branżowe artykuły) wskazują, że koszt wykształcenia **pełnie kwalifikowanego pilota myśliwskiego** (od etapu „zero” do Q-engaged/operational) dla platformy takiej jak F-16 rzędu kilku milionów USD na pilota — często cytowaną wartością jest **~5,6 mln USD (w dolarach z 2018), skorygowana inflacyjnie ~6–7 mln USD**. To uwzględnia wieloetapowe szkolenie, godziny na samolotach treningowych, szkolenia podstawowe i specjalistyczne, symulatory, instruktorów i koszty operacyjne.

Dodatkowo trzeba pamiętać o bardzo wysokich kosztach operacyjnych samego F-16 (koszt godziny lotu, utrzymanie), które napędzają końcową część szkolenia konwersyjnego. Raporty GAO i dokumenty budżetowe podają konkretne stawki O&S i koszty na godzinę.

Główne czynniki decydujące o „racjonalności ekonomicznej”

1. **Skala potrzeby (ile pilotów potrzebujesz rocznie)**
 - Przykład: jeśli potrzebujesz tylko kilku pilotów rocznie, jednostkowy koszt jest wyższy niż przy większym programie (efekty skali).
2. **Wskaźnik retencji / długość służby**
 - Im dłużej pilot pozostaje w służbie po wyszkoleniu, tym niższy „koszt roczny” przypadający na jednego pilota. Jeśli koszt wyszkolenia to ~6,8 mln USD a pilot służy 10 lat → ~680 kUSD/rok (prosty podział).
3. **Alternatywy (konwersja vs ab-initio)**
 - Rekrutowanie i konwersja do F-16 doświadczonych pilotów (np. z samolotów turboprop, szkolenia cywilne) może być tańsze krótkoterminowo, ale ogranicza pulę kandydatów i może obniżyć długofalową niezawodność.
4. **Infrastruktura i symulatory**
 - Inwestycja w rozbudowane symulatory i szkolenie na lżejszych platformach obniża liczbę godzin na droższych maszynach i może znacząco zmniejszyć koszt jednostkowy szkolenia.
5. **Ryzyko i attrition (odpływ kandydatów w trakcie szkolenia)**
 - Wysoki odpływ oznacza, że trzeba szkolić więcej kandydatów żeby osiągnąć cel—koszty rosną.
6. **Korzyści dodatkowe**
 - Szkolenie „od zera” w LAW to nie tylko piloci F-16 — dostarczasz oficerów do systemu, inżynierów, instruktorów, co ma wartość strategiczną i cywilno-wojskową.

2. Nowe typy statków powietrznych – wpływ na szkolenie

Platforma	Wymogi szkoleniowe	Wpływ na system
F-35A	Wysoki poziom „information management”, walka sieciocentryczna, stealth	Konieczność szkolenia nawyków pracy z sensor fusion, współpracy z UAV
FA-50	Maszyna przejściowa – taksówka bojowa i szkolno-operacyjna	Możliwość stworzenia „Intermediate Training” między M-346 a F-16/F-35
M-346	Kręgosłup systemu LIFT	Integracja z wirtualnym polem walki (LVC) kluczem do przyszłości
BSP (Bayraktar, Gladius, przyszłe MALE/HALE)	Szkolenie operatorów + integracja załogowy-bezzałogowy (MUM-T)	Nowa ścieżka szkoleniowa równoległa do pilotów załogowych

3. Główne luki systemowe

- Brak pełnego pomostu FA-50 → F-35 (różnica technologiczna zbyt duża bez dedykowanych modułów szkoleniowych)
- Niewystarczająca liczba symulatorów dla FA-50 i F-16 – piloci spędzają zbyt wiele godzin w realnym locie zamiast w LVC
- Brak zintegrowanego centrum „Multi-Domain Training” dla lotnictwa + BSP + OPK
- Niewystarczająca liczba instruktorów szczególnie w segmencie taktyki V generacji

4. Prognozowane kierunki rozwoju (2025–2040)

Trend NATO / USAF	Konsekwencje dla Polski
<i>Live-Virtual-Constructive (LVC) Training jako standard</i>	Konieczność rozbudowy symulatorów + łączności sieciowej między bazami
<i>„Train as you fight” – szkolenie z udziałem dronów i cyber/EW w scenariuszach</i>	Integracja BSP i walki elektronicznej do każdego modułu
<i>Redukcja godzin lotu na realnych maszynach o 30–40%</i>	Oszczędność kosztów, ale wymaga rozbudowy infrastruktury wirtualnej
<i>Multirole pilot = operator + taktyk + data manager</i>	Zmiana filozofii szkolenia – mniej „pilotowania”, więcej „zarządzania walką”

5. Rekomendacje dla MON / Sił Powietrznych

1. Stworzyć *Narodowe Centrum LVC* – integrujące symulatory M-346, FA-50, F-16, F-35 i BSP
→ Nie pojedyncze urządzenia, lecz wspólna sieć szkoleniowa.
2. Rozbudować FA-50 jako „średni szczebel” (Intermediate Fighter Training)
→ Opracować polski syllabus przejściowy FA-50 → F-35 z modułami „sensor management”.
3. Wprowadzić szkolenie *mieszane* pilot + operator BSP już na etapie Orlika / M-346
→ Każdy pilot musi umieć współpracować z dronem.
4. Zwiększyć liczbę instruktorów poprzez program „*Combat Return*” dla pilotów kończących służbę operacyjną.
5. Włączyć Wojska Obrony Powietrznej do scenariuszy szkoleniowych
→ Piloci nie mogą trenować w separacji od systemów IBCS / Wisła / Narew.

Konkluzja

System szkolenia lotniczego w Polsce stoi obecnie na **przełomie epok** — od szkolenia „pilota” do szkolenia „multi-domenowego taktyka lotniczego”.

Platformy M-346, FA-50 i F-35 są dobrym fundamentem, **ale same maszyny nie wystarczą** — prawdziwą rewolucję przyniesie LVC, integracja z BSP i nowa filozofia szkolenia.

Jeśli Polska zbuduje wspólną sieć szkoleniową (LVC + symulatory + BSP), może stać się centrum NATO-wskiego szkolenia generacji 4.5/5 w Europie Środkowej.

Podsumowanie

Wobec aktualnej sytuacji geopolitycznej wyszkolenie pilota bojowego jest czasochłonne i wysoce kosztowne. Co oznacza dla szkolącego się PILOTA status R/C" albo "combat ready"?

Określenie "ready combat" (często w skrócie "R/C" albo "combat ready") w odniesieniu do pilota oznacza, że pilot:

- Ukończył pełny cykl szkoleniowy na danym typie samolotu bojowego,
- Posiada wymagane kwalifikacje do wykonywania zadań bojowych,
- Został dopuszczony do wykonywania misji operacyjnych – nie tylko lotów szkolnych czy treningowych.

Co dokładnie oznacza status *combat ready*?

W praktyce oznacza, że pilot:

- Może samodzielnie wykonywać loty bojowe (np. przechwycenia, uderzenia, patrolowanie przestrzeni),
- Ma aktualne certyfikacje w zakresie użycia uzbrojenia, procedur taktycznych, lotów w różnych warunkach (dzień/noc, IFR, tankowanie w powietrzu itd.),
- Jest przypisany do dyżurów bojowych (np. Quick Reaction Alert – QRA).

Ważnym elementem procesu szkolenia lotniczego jest również kanon ekonomiczny dotyczący pragmatyki szkoleniowej i zakupów statków powietrznych do podstawowego i operacyjno - bojowego procesu szkolenia jak i kompleksowego zabezpieczenia w miarę logicznego typoszeregu statków powietrznych z uwagi na zabezpieczenie logistyczno - hangarowe.

Zasada koszt/efekt (ang. cost-effectiveness) oznacza ocenę, czy uzyskany rezultat (efekt) jest warty poniesionych nakładów (kosztów);

- Zasada koszt/efekt polega na porównaniu kosztów danego działania z osiągniętymi dzięki niemu rezultatami, w celu stwierdzenia, czy działanie jest opłacalne lub efektywne.
- W praktyce: Jeśli efekt przewyższa koszt -> działanie uznaje się za efektywne. Jeśli koszt jest wysoki, a efekt mały -> działanie jest nieefektywne.

Rząd Rzeczypospolitej Polskiej wykazuje silne zaangażowanie w rozwój i wsparcie krajowego przemysłu, traktując go jako kluczowy element strategii obronności i suwerenności technologicznej.

Rząd RP konsekwentnie dąży do wzmocnienia krajowego przemysłu poprzez strategiczne partnerstwo, zwiększenie wydatków na obronność oraz poprawę transparentności i współpracy z przemysłem.

Rząd planuje dalszy rozwój współpracy z przemysłem obronnym, uwzględniając w tym m.in. absorpcję środków z europejskiego instrumentu SAFE, z którego Polska otrzymała ponad 43 mi-

liardy euro na zbrojenia i budowę zdolności produkcyjnych.

Mając na uwadze temat KONFERENCJI i jeden z tematów w głównym panelu

"Przyszłość szkolenia lotniczego w świetle realizowanych obecnie programów modernizacyjnych i pozyskiwanych w ich ramach statków powietrznych"

REKOMENDUJĘ

w imieniu Krajowej Sekcji Lotniczej

1. Podjąć na szczelbu MON prace analityczne dotyczące uzupełnienia istniejącej struktury WOT o KOMPO-NENT LOTNICZY
2. Na szczelbu Inspektoratu Sił Powietrznych, która jest komórką organizacyjną Dowództwa Generalnego RSZ bezpośrednio podległą Dowódcy Generalnemu RSZ. Inspektorat Sił Powietrznych przeznaczony jest do przygotowywania i prowadzenia przedsięwzięć szkoleniowych z dowództwami, sztabami i wojskami jednostek merytorycznie nadzorowanych opracowanie programu podstawowego szkolenia lotniczego dla LAW i zakupu z POLSKIEGOPRZEMYSŁU LOTNICZEGO(nie mylić z PRZEMYSŁEM LOTNICZYM W POLSCE) statków powietrznych do podstawowego szkolenia lotniczego.
3. Szerszego zastosowania w LAW w programach studiów opracowań naukowych pracowników – praktyków naukowców dotyczących szkolenia lotniczego.

4. Zauważenia DETERMINANTÓW - WYZWAŃ;

Do takich wyzwań należy zaliczyć:

- Racjonalną wysokość środków finansowych do zagwarantowania efektywnego systemu logistyki funkcjonowania Polskich Sił Powietrznych. Logistyka lotnicza działa jak „układ krwionośny” szkolenia – bez sprawnego zaopatrzenia, transportu, konserwacji i harmonogramowania każdy proces szkoleniowy staje się mniej efektywny, droższy i bardziej ryzykowny. Racjonalna logistyka przekłada się bezpośrednio na liczbę godzin szkoleniowych, jakość nabywanych umiejętności i gotowość operacyjną pilotów,
- Wysoką jakość szkolenia – odpowiednie środki finansowe pozwalają utrzymać standardy edukacyjne, dostęp do nowoczesnego sprzętu i wykwalifikowane kadry,
- Ciągłość szkolenia – stabilne finansowanie zapobiega przerwom czy ograniczeniom w programie szkoleniowym,
- Elastyczność wobec wyzwań – umożliwia szybkie dostosowanie szkolenia do zmieniających się warunków, np. nowych technologii, zmian w procedurach czy wymagań operacyjnych.

Pieniądze nie są celem samym w sobie, lecz narzędziem zapewniającym skuteczność i odporność systemu szkolenia na zmiany. ◀

Spalanie wodoru w kontekście transformacji energetycznej w budownictwie infrastrukturalnym



Grzegorz Brychczyński

Przewodniczący Krajowej Sekcji Lotniczej
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników
Komunikacji RP

kslitk@sitkrp.org.pl

Gdzie spalanie wodoru może się przyjąć?

- Energetyka – turbiny gazowe przystosowane do współspalania wodoru z gazem ziemnym (np. Siemens, GE, Mitsubishi testują już 30–50% udział wodoru). Docelowo możliwe turbiny 100% H₂ jako stabilizatory systemu,
- Przemysł ciężki i ciepłownictwo oraz materiały budowlane – piece hutnicze, cementownie, zakłady chemiczne, gdzie wysokie temperatury są trudne do osiągnięcia z elektryfikacji,
- Transport lotniczy i morski – część koncepcji zakłada spalanie wodoru w turbinach lotniczych lub w silnikach okrętowych (choć tu też coraz częściej mówi się o amoniaku lub e-metanolu),
- Nisze militarne i specjalistyczne – tam, gdzie prostsze jest spalanie niż stosowanie ogniwo paliwowych.

Prognozy

- Krótko-/średnioterminowo (2030–2040): spalanie wodoru głównie jako domieszka do gazu ziemnego w energetyce i ciepłownictwie,
- Długoterminowo (2050+): dominacja wodoru w ogniwoch paliwowych i w procesach chemicznych, a spalanie tylko w wybranych sektorach (lotnictwo, przemysł wysokotemperaturowy, rezerwa mocy w energetyce).

Spalanie wodoru nie będzie głównym kierunkiem transformacji energetycznej

nej – większe znaczenie ma użycie wodoru w ogniwoch paliwowych, magazynach energii i procesach przemysłowych. Jednak w sektorach, gdzie potrzebne są wysokie temperatury albo szybka regulacja mocy, spalanie wodoru ma przed sobą ograniczoną, ale realną przyszłość.

Porównanie scenariuszy spalania wodoru vs. ogniwo paliwowych w czterech sektorach: budownictwo, lotnictwo, transport i energetyka

1. Budownictwo (ogrzewanie, ciepłownictwo procesy wykonawstwa budowlanego)

Spalanie wodoru

- Łatwość adaptacji istniejących kotłów gazowych (tzw. "hydrogen-ready").
- Nadaje się do wysokotemperaturowego ogrzewania w ciepłowniach.
- Niska sprawność w porównaniu z pompami ciepła.
- Emisja NOx -> wymaga systemów oczyszczania.

Zastosowanie: raczej nisza, jako wspar-



cie sieci ciepłowniczych w krajach zależnych od gazu ziemnego.

Ogniwa paliwowe;

- Wysoka sprawność (50–60% + możliwość kogeneracji -> ciepło + prąd).
- Zero NOx, jedynie para wodna.
- Wysoki koszt ogniwo, wrażliwość na jakość wodoru.

Zastosowanie: rozwój mikro kogeneracji w budynkach i osiedlach, szczególnie w krajach z dużymi subsydiami. Mikro-kogeneracja (ang. micro-CHP – micro combined heat and power) to technologia jednoczesnego wytwarzania energii elektrycznej i ciepła w niewielkich, lokalnych instalacjach przeznaczonych głównie dla pojedynczych budynków, małych przedsiębiorstw lub osiedli mieszkaniowych.

Podsumowanie porównawcze

Sektor	Spalanie wodoru – scenariusz	Ogniwa paliwowe – scenariusz
Budownictwo	Ogrzewanie systemowe, kotły hybrydowe (nisza)	Mikrokogeneracja, domy zeroemisyjne
Lotnictwo	Turbiny wodorowe (średni zasięg)	Samoloty regionalne, drony
Transport	Niszowe: pojazdy specjalne, część żeglugi	Ciężarówki, autobusy, kolej
Energetyka	Elektrownie szczytowe, backup OZE	Rozproszona energetyka, mikrosieci

2. Lotnictwo

Spalanie wodoru (w turbinach)

- Zbliżona technologia do obecnych silników odrzutowych,
- Możliwość szybszego wdrożenia (Airbus projektuje samolot ZEROe z turbinami H₂),

Zastosowanie: średnioterminowo (po 2035) wdrożenia w lotach średniego zasięgu.

Ogniwa paliwowe;

- Wyższa sprawność,
- Czystsze spaliny (tylko para wodna),
- Bardzo duża masa i objętość układu (zbiorniki + ogniwa + baterie).
- Ograniczona moc – trudność w napędzaniu dużych samolotów.

Zastosowanie: małe samoloty regionalne, drony, loty krótkodystansowe.

3. Transport (drogowy, morski, kolej)

Spalanie wodoru;

- Silniki spalinowe można dostosować (np. Toyota testuje wodór w silnikach sportowych),
- W transporcie ciężkim i morskim – prostsza technologia niż ogniwa,
- Niska sprawność (25–35% w ciężarówkach),
- Emisja NOx.

Zastosowanie: niszowe rozwiązania w pojazdach specjalnych i częściowo w żegludze (konkurencją są paliwa syntetyczne: e-metanol, e-amoniak).

Ogniwa paliwowe;

- Sprawność 50–60%.
- Brak lokalnych emisji (tylko woda).
- Idealne do ciężarówek, autobusów, pociągów (gdzie baterie są za ciężkie).
- Droga technologia, konieczność infrastruktury tankowania H₂.

Zastosowanie: dominacja w transporcie ciężkim i kolejowym bez elektryfikacji.

4. Energetyka

Spalanie wodoru;

- Może zastąpić gaz ziemny w turbinach (stabilizacja systemu, rezerwa mocy),
- Dobrze nadaje się do szczytowych elektrowni gazowych,
- Niska sprawność (30–40%),
- Wymaga kosztownego magazynowania wodoru.

Zastosowanie : długoterminowo jako bufor dla OZE, ale tylko jako rezerwowe źródło energii.

Ogniwa paliwowe;

- Sprawność 50–60% (nawet do 80% w kogeneracji).
- Zero NOx.
- Trudne skalowanie do poziomu gigawatów, bardziej pasują do rozproszonej energetyki.

Generalny trend:

- Spalanie wodoru = rozwiązanie przejściowe, użyteczne w sektorach wymagających szybkiej adaptacji istniejącej infrastruktury,
- Ogniwa paliwowe = rozwiązanie docelowe, dające wyższą sprawność i czystość, ale wymagające większej dojrzałości technologii i infrastruktury.

Zalety spalania wodoru

- Brak emisji CO₂ przy samym procesie spalania (produktem jest głównie para wodna),
- Możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury (np. turbiny gazowe, kotły przemysłowe, silniki spalinowe – po modyfikacjach).

Potencjał w energetyce szczytowej i ciepłownictwie – spalanie wodoru może stabilizować system elektroenergetyczny, gdy OZE (wiatr, słońce) nie pokrywają zapotrzebowania.

Problemy i ograniczenia

- Niska sprawność: spalanie wodoru w silnikach tłokowych czy turbinach ma sprawność rzędu 30–40%, a w ogniwach paliwowych >50%. Dlatego w transporcie i energetyce bardziej opłaca się używać wodoru w ogniwach

paliwowych niż go spalać,

- Emisja NOx: choć nie powstaje CO₂, w wysokich temperaturach tworzą się tlenki azotu, które są szkodliwe i wymagają dodatkowych systemów oczyszczania spalin. Pod pojęciem NOx kryje się cała grupa gazowych związków azotu i tlenu, głównie: NO – tlenek azotu (nitric oxide), NO₂ – dwutlenek azotu (nitrogen dioxide), w mniejszych ilościach: N₂O, N₂O₃, N₂O₄. W praktyce, gdy mówimy o emisjach NOx, chodzi głównie o NO i NO₂, które powstają w procesach spalania.
- Koszt produkcji wodoru zielonego: obecnie bardzo wysoki (3–6 €/kg), a większość wodoru na rynku to tzw. szary wodór (z gazu ziemnego, z emisją CO₂),
- Transport i magazynowanie: wodór ma niską gęstość energetyczną i wymaga sprężania lub skraplania, co zwiększa koszty.

Magazynowanie wodoru jest jednym z największych wyzwań jego szerokiego zastosowania w energetyce, transporcie czy przemyśle

Problemy z magazynowaniem wodoru

- Mała gęstość energetyczna w warunkach normalnych,
- Wodór w stanie gazowym ma bardzo małą gęstość (ok. 0,09 kg/m³), dlatego aby przechować duże ilości energii, trzeba go sprężyć lub skraplać,
- Wysokie ciśnienia / niskie temperatury,
- Magazynowanie sprężonego wodoru wymaga ciśnienia rzędu 350–700 bar,
- Skroplony wodór wymaga temperatury –253 °C, co generuje straty energii (tzw. boil-off). Boil-off to odparowanie części cieczy kriogenicznej w zbiorniku wskutek dopływu ciepła z otoczenia.
- Bezpieczeństwo i szczelność,
- Cząsteczki wodoru są bardzo małe -> łatwo dyfundują przez mikropęknięcia i uszczelnienia,
- Istnieje ryzyko wybuchów i pożarów

rów – wodór tworzy z powietrzem mieszaniny wybuchowe już przy 4–75% objętości,

Kruchość wodorowa materiałów

- Wodór może wnikać w strukturę metali i powodować ich osłabienie (pękanie pod naprężeniem). To ogranicza wybór materiałów zbiorników.

Straty energii

- Procesy sprężania, skraplania i ponownej konwersji są energochłonne – nawet 30–40% energii może się stracić tylko na magazynowanie i transport.

Wielkoskalowa infrastruktura: Budowa „silosów” (czyli dużych magazynów naziemnych lub podziemnych) wymaga bardzo bezpiecznych lokalizacji i odpowiednich norm (np. podziemne kawerny solne).

Sposoby magazynowania wodoru

1. Magazynowanie fizyczne

- Sprężony gaz (CGH_2);
- Najczęściej stosowany (zbiorniki 350–700 bar).

W transporcie (np. w autach z ogniwami paliwowymi) używa się kompozytowych butli wysokociśnieniowych;

- Ciekły wodór (LH_2) skraplany w -253°C ,
- Bardzo duża gęstość energii, stosowany np. w rakietach kosmicznych,
- Problem: boil-off – parowanie nawet w izolowanych zbiornikach,
- Podziemne magazyny,
- Kawerny solne, wyeksploatowane złoża gazu, warstwy wodonośne. Nadają się do magazynowania setek tysięcy ton, ale wymagają szczelnej geologii.

2. Magazynowanie w materiałach stałych

- Hybrydy metali (np. MgH_2 , LaNi_5H_6 , TiFeH_2). Wodór wiąże się w strukturze metalu,
- Bardzo bezpieczne (brak wysokich

ciśnień), ale ciężkie i wymagają podgrzewania do uwolnienia H_2 ,

- Materiały porowate (MOF-y, zeolity, węgle aktywne),
- Adsorpcja wodoru na dużej powierzchni wewnętrznej. Technologia jeszcze w rozwoju – obecnie niska pojemność. Adsorpcja -> powierzchnia, magazynowanie wodoru w porach, proces odwracalny, zwykle wymaga dużej powierzchni właściwej materiału.

3. Magazynowanie chemiczne (w nośnikach ciekłych)

- Amoniak (NH_3) – zawiera 17,6% masowych wodoru, łatwo skraplany, transportowany jak LPG,
- LOHC (Liquid Organic Hydrogen Carriers) – np. toluen/metylocykloheksan, oleje specjalne. LOHC oznacza ciekłe organiczne nośniki wodoru
- Stabilne i łatwe w transporcie, ale wymagają procesów katalitycznych do uwolnienia H_2 .

Podsumowanie

- Do krótkoterminowego i mobilnego magazynowania (np. samochody) -> sprężony wodór,
- Do dużych ilości (energetyka, przemysł) -> kawerny solne lub ciekły wodór,
- Do bezpiecznego i gęstego prze-

chowywania -> hybrydy metali i LOHC (choć wciąż drogie i wymagające badań),

Na czym to polega?

LOHC to organiczne ciecze (np. toluen, dibenzyltoluen, nafteny), które mogą wiązać wodór w swojej strukturze chemicznej.

Proces ma dwa etapy;

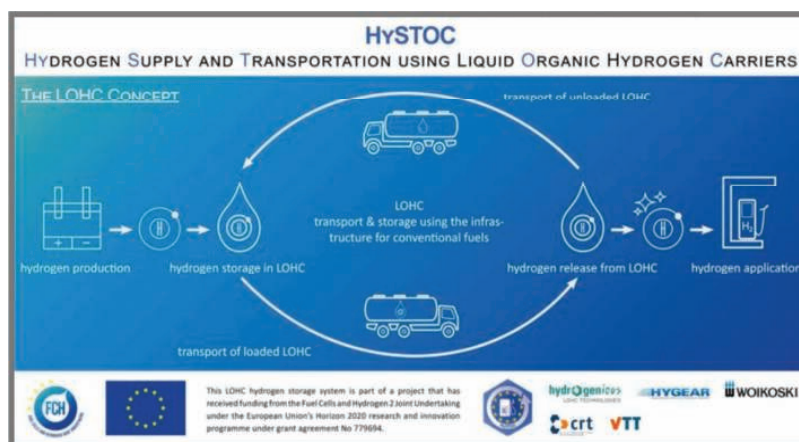
- Uwodornienie (ładowanie) – do cieczy dodaje się wodór w obecności katalizatora, tworząc jej uwodornioną formę,
- Odwodornienie (rozładowanie) – w miejscu użycia wodor jest z powrotem uwalniany (również katalitycznie).

Zalety LOHC

- Magazynowanie w warunkach bliskich normalnym (temperatura i ciśnienie jak dla paliw ciekłych),
- Bardzo wysokie bezpieczeństwo – nie ma ryzyka wybuchu jak przy H_2 sprężonym,
- Możliwość wykorzystania istniejącej infrastruktury paliwowej (cysterny, rurociągi, zbiorniki),
- Stabilne w przechowywaniu – brak strat typu boil-off.

Wady LOHC

- Proces uwodornienia i odwodornienia wymaga energii i katalizatorów (straty 30–40%),



Polak POTRAFI



- Niska gęstość masowa wodoru w porównaniu z LH_2 czy CGH_2 – dużo nośnika potrzebne na 1 kg H_2 ,
- Technologia wciąż jest na etapie demonstracji i pilotaży.

Projekt CPK to obecnie jedna z największych inwestycji infrastrukturalnych w Polsce, w której komponent kolejowy jak i lotniczy odgrywa bardzo istotną rolę – zarówno pod względem finansowym, i technicznym.

Zakres inwestycji kolejowych w ramach CPK

Priorytetem jest tzw. linia „Y” (Warszawa–Łódź–Poznań/Wrocław), o długości około 480 km, projektowana dla prędkości 300–320 km/h

W ramach CPK planowane jest także zbudowanie i modernizacja wielu nowych "szprych" kolejowych (do ok. 1 600 km nowych linii), obejmujących m.in. połączenia krajowe, Rail Baltica oraz korytarze w kierunkach północ-południe i wschód–zachód

Program ma objąć też modernizację istniejącej sieci kolejowej, zakup nowego taboru oraz integrację transportu kolejowego z regionalnym i autobusowym.

Zakres inwestycji lotniskowych w ramach CPK

- Dwie równoległe drogi startowe o długości 3 800 m każda, w odległości ok. 2,5 km od siebie,
- Terminal pasażerski + Cargo – z możliwością rozbudowy.
- Węzeł kolejowy. Główną stacją będzie peronowy dworzec zintegrowany bezpośrednio z terminalem (w podziemiu),
- CPK Wschód – obsługa strefy Airport City (biura, hotele)
- CPK Zachód – obsługa strefy cargo i zaplecza technicznego,
- Infrastruktura drogowa i techniczna. Ok. 90 km dróg będzie wybudowanych lub przebudowanych na obszarze lotniska,
- Master Plan zakłada integrację transportu, ekologiczne rozwiązania (0 CO_2), dworzec kolejowy pod terminalem z sześcioma peronami, transport zeroemisyjny i

magazyny cargo,

Przy tak ogromnej inwestycji, jaką jest komponent kolejowy i lotniczy CPK, kwestie środowiskowe odgrywają bardzo ważną rolę. Polska kolej już dziś jest jednym z najbardziej ekologicznych środków transportu (80% linii zelektryfikowanych, emisja CO_2 na pasażerokilometr kilka razy niższa niż w lotnictwie czy transporcie drogowym), a nowe linie w ramach CPK mają dodatkowo podnosić ten standard.

Dlatego też stosowanie technologii cyrkularnych: recykling kruszyw, tłuczni, stali i betonu, jak i użycie mas bitumicznych z dodatkiem materiałów odzyskanych (np. destrukta asfaltowy) w sposób zdecydowany będą miały wpływ nie tylko na szeroko rozumianą ochronę środowiska ale również na cykle inwestycyjne jak i koszty z tego wynikające.

Dlaczego bitum w procesach wykonawstwa budowlanego w inwestycjach lotniskowych?

1. Elastyczność konstrukcji

Nawierzchnie asfaltowe są bardziej sprężyste niż betonowe -> lepiej znoszą dynamiczne obciążenia od startów i lądowań. Dzięki elastyczności lepiej rozpraszają naprężenia i ograniczają ryzyko pęknięcia płyty.

2. Łatwość napraw i modernizacji

Mieszanki bitumiczne można szybko naprawiać i uzupełniać (np. nocą, między operacjami lotniczymi).

Beton wymaga długiego czasu wiązania -> wyłącza pas na wiele dni.

3. Gładkość i komfort użytkowania

Asfalt daje równą i gładką nawierzchnię, co poprawia komfort startów i lądowań oraz ogranicza drgania. Można łatwo uzyskać wymaganą makroteksturę (odporność na aquaplaning, odprowadzenie wody).

4. Krótszy czas budowy

Układanie i zagęszczanie asfaltu jest szybsze niż betonowanie.

5. Odporność na warunki klimatyczne

Asfalt dobrze znosi mrozy i odwilże, a dzięki elastyczności lepiej pracuje przy zmianach temperatury. Beton w takich warunkach częściej pęka i wymaga dylatacji.

6. Ekonomia i dostępność

Surowce do mieszanek bitumicznych (kruszywo, asfalt) są powszechnie dostępne i tańsze w utrzymaniu. Możliwość stosowania recyklowanych materiałów (RAP – reclaimed asphalt pavement).

Gdzie stosuje się asfalt na lotniskach?

Drogi startowe i lądowania – szczególnie na lotniskach cywilnych, gdzie istotny jest komfort, hałas i szybkość napraw. Drogi kołowania i płyty postojowe. Drogi serwisowe i dojazdowe w obrębie lotnisk.

Główne wyzwania

Odporność na duże obciążenia od ciężkich samolotów (np. B777, A380). Odporność na paliwa lotnicze, oleje i środki odladzające. Konieczność stosowania specjalnych mieszanek lotniskowych (np. SMA, beton asfaltowy o wysokiej stabilności). SMA (Stone Mastic Asphalt, po polsku: asfalt mastyk-sowo-grysowy) – to rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej, szeroko stosowany w budownictwie drogowym i lotniskowym, szczególnie tam, gdzie wymagana jest bardzo duża odporność nawierzchni na obciążenia i deformacje.

Podsumowanie

Masy bitumiczne w lotniskach stosuje się, bo są elastyczne, szybkie w budowie i naprawach, tańsze w utrzymaniu, odporne na warunki atmosferyczne i zapewniają bezpieczną, gładką nawierzchnię dla samolotów.

Dlaczego bitum w procesach wykonawstwa budowlanego w inwestycjach kolejowych?

Elastyczność – lepsze tłumienie drgań niż beton.

Szybsze wykonawstwo – mieszanki bitumiczne można układać sprawniej niż konstrukcje betonowe.

Koszty utrzymania – łatwiejsze i tańsze naprawy.

Kompatybilność – mogą współpracować zarówno z klasyczną podsypką, jak i z nawierzchnią bezpodsypkową.

Podsumowanie

Masy bitumiczne w kolejnictwie stosuje się głównie w:

- podtorzu (warstwa nośna, izolacyjna),
- peronach i dojeżdżalniach,
- drogach technologicznych,
- obiektach inżynierskich (mosty, tunele)

Spalanie wodoru w palnikach wytworkni mieszanek bitumicznych polega na zastąpieniu oleju/gazu wodorem jako paliwem. Wymaga to jednak specjalnie dostosowanych palników z kontrolą mieszania i systemami Low-NOx, bo głównym problemem pozostaje emisja NOx i bezpieczeństwo instalacji.

Obecnie w instalacjach do produkcji asfaltu stosuje się palniki na olej opałowy, olej przepracowany albo gaz ziemny.

Palnik podgrzewa bęben suszarko-mieszający, gdzie kruszywo jest osuszane i ogrzewane do ~160–180 °C, a następnie łączone z lepiszczem bitumicznym.

Ciepło jest tu generowane ze spalania w płomieniu dyfuzyjnym lub częściowo premiksowym.

Jak wygląda spalanie wodoru w takich palnikach?

1. Doprowadzanie paliwa i mieszanie z powietrzem

Wodór jest doprowadzany do palnika (z butli, rurociągu lub zbiornika pod ciśnieniem). Może być spalany w palnikach premiksowych (H_2 wstępnie mieszany z powietrzem -> czyste spalanie, stabilny płomień), lub dyfuzyjnych (wodór dopływa osobno i miesza się z powietrzem w strefie spalania).

Produktem jest para wodna (brak

CO_2 , CO i pyłów).

Płomień wodoru jest bardzo gorący (temp. adiabatyczna do ~2000 °C) i ma wysoką szybkość spalania -> wymaga stabilizacji, aby nie powodował cofnięcia płomienia (flashback).

2. Dostosowanie palników

Klasyczne palniki trzeba przebudować w następującym układzie;

- inny układ dysz (H_2 ma niską gęstość, duży przepływ objętościowy),
- wymaga zastosowania specjalnych systemów mieszania powietrza i wodoru,
- wymaga zastosowania dodatkowych systemów bezpieczeństwa (detekcja wycieków, zawory odcinające, płomień stabilizujący).

3. Wyzwania technologiczne

- Emisja NOx,
- Choć nie ma CO_2 , w wysokiej temperaturze powstają tlenki azotu (NOx) z powietrza,
- Spalanie etapowe, chłodzenie płomienia recyrkulacją spalin (EGR), palniki Low-NOx.

4. Kontrola temperatury

Wodór daje bardzo wysoką temperaturę spalania – trzeba ją dostosować, by nie przegrzewać bębna i nie degradować asfaltu.

5. Bezpieczeństwo

Wodór jest łatwopalny i dyfunduje przez mikroszczeliny -> konieczne czujniki, wentylacja, systemy detekcji wycieków.

6. Infrastruktura paliwowa

Trzeba zapewnić stabilne i bezpieczne dostawy wodoru (sprężonego, ciekłego albo w formie nośników jak amoniak/LOHC).

Zalety spalania wodoru w wytworkniach asfaltu i mas bitumicznych

- Brak emisji CO_2 z paliwa,
- Brak emisji sadzy i pyłów,
- Możliwość adaptacji istniejących palników (choć wymaga to modernizacji).

Polskie doświadczenie w zakresie stosowania spalania wodoru budownictwie infrastrukturalnym związane z pozyskiwaniem wodoru na skalę przemysłową, zdobył Pan Michał Bisek, i uzyskał je w XX wieku, kiedy to w 1995 roku, firma PW BISEK ojca, Adama Biska nabyła od Głównego Instytutu Górnictwa instalację do badania nad upłynnieniem węgla.

Upłynnienie węgla jest procesem, który może służyć jako jeden z etapów uzyskiwania wodoru, poprzez rozkład węgla w reakcji z wodą, reakcja pary wodnej z węglem.

Instalacja, która została zakupiona przez firmę, stanowiła ośrodek badawczo-rozwojowy na terenie szybów „Powstańców” kopalni „Bolesław Śmiały” w Wyrach, co miało istotne znaczenie zarówno dla rozwoju samej technologii, jak i dla lokalnej gospodarki. Znajdowała się tam odpowiednia infrastruktura laboratoryjna i przemysłowa, która pozwalała na prowadzenie skomplikowanych badań nad produkcją gazów syntezowych i, pośrednio, wodoru.

Dzięki tej instalacji firma PW BISEK mogła rozwijać własne technologie





związane z pozyskiwaniem wodoru. Był to także moment, w którym firma zaczęła angażować się w innowacyjne projekty badawcze, mające na celu wdrożenie technologii pozyskiwania wodoru na skalę przemysłową. Warto zauważyć, że w latach 90-tych wodór nie był jeszcze tak powszechnie wykorzystywany w przemyśle, jak ma to miejsce dzisiaj. Pozyskiwanie wodoru w tamtym czasie stanowiło jednak istotny element w rozwoju przemysłu energetycznego i chemicznego. Instalacja umożliwiła firmie PW BISEK zdobycie cennego doświadczenia w zakresie technologii elektrolizy oraz innych metod pozyskiwania wodoru. Doświadczenia zdobyte przez Michała Biska w zakresie pozyskiwania wodoru miały fundamentalne znaczenie w dalszym rozwoju jego firmy. Umożliwiły one opracowanie nowoczesnych technologii, które mogłyby zostać zastosowane na szeroką skalę w przemyśle.

Z czasem, kiedy zainteresowanie wodorem jako źródłem energii zaczęło rosnąć na całym świecie, doświadczenia takie jak te, zdobyte w Wyrach, okazały się cenne w kontekście dalszego rozwoju rynku technologii wodorowych. Dzięki tej instalacji, firma była w stanie nie tylko zdobyć wiedzę teoretyczną i praktyczną, ale również pozycjonować się jako innowacyjny gracz na rynku technologii energetycznych.

W 1995 roku firma PW BISEK miała także dostęp do wielu nowych rozwiązań, które pozwalały jej na dalszy rozwój i adaptację do zmieniających się potrzeb przemysłu energetycznego, który zmierzał w stronę bardziej zrównoważonych źródeł energii.

Pierwsze doświadczenia związane z pozyskiwaniem wodoru na skalę przemysłową, zdobyte przez Michała Biska w 1995 roku, były nie tylko krokiem milowym w rozwoju firmy PW BISEK, ale także w polskim przemyśle wodorowym. Dzięki tej instalacji firma zyskała kluczową wiedzę i technologię, które pozwoliły na dalszy rozwój i implementację innowacyjnych rozwiązań w sektorze energetycznym. Proces upłynniwania węgla, który był jednym z etapów pozyskiwania wodoru, stanowił jedną z wielu prób znalezienia efektywnych metod produkcji tego cennego gazu na skalę przemysłową.

Firma Michał Bisek „BISEK- ASFALT” funkcjonuje na rynku od 2007 roku. Podstawowym profilem działalności firmy jest wykonywanie robót między innymi z zakresu:

- budowy i modernizacji dróg, placów, ulic o różnych nawierzchniach,
- budowy pozostałych obiektów inżynierii wodnej, wykonywania instalacji gazowych oraz instalacji wodno-kanalizacyjnych,
- remontów nawierzchni drogo-

wych,

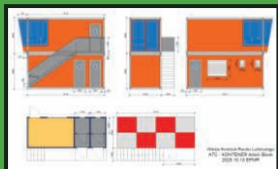
- produkcji i sprzedaży mieszanek mineralno-asfaltowych,
- przekruszania destruktu bitumicznego

Firma Bisek LNG Sp. z o.o. to kolejny, dynamicznie rozwijający się podmiot należący do grupy kapitałowej BISEK, która od lat funkcjonuje na polskim rynku, budując swoją pozycję w różnych sektorach gospodarki. Spółka ta wyróżnia się nowoczesnym podejściem do transportu i logistyki, koncentrując swoją działalność na wdrażaniu ekologicznych i innowacyjnych również w branży budowlanej inwestycji infrastrukturalnych w zakresie stosowania spalania wodoru w wytwórniach asfaltu i mas bitumicznych.

Uczestnictwo Adama Biska [<https://przeglad-techniczny.pl/od-ruin-cegielni-do-kosmosu>] i syna Michała w konferencji Hydrogen Future Partnership Opportunities (Pekin – Chiny) w sierpniu bieżącego roku, wywarło ogromne wrażenie na uczestnikach konferencji zarówno w zakresie prezentacji osiągnięć polskich rozważań technologicznych jak i poziomu merytorycznej prezentacji nowoczesnej pilotażowej linii technologicznej spalania przy zastosowaniu wodoru w produkcji asfaltu i mas bitumicznych. International Hydrogen Energy Centre (IHEC) – Pekin/BEIJING. UNIDO we współpracy z Chińskim rządem (CI-CETE, BEIT, TIDRI i innymi instytucjami) uruchomiło w Pekinie międzynarodowe centrum IHEC, które promuje rozwój technologii wodorowych, mapowanie strategii gospodarki wodorowej oraz międzynarodową współpracę.

Uczestnicy tej międzynarodowej konferencji z uznaniem zauważyli wysoki profesjonalizm prezentujących polskie rozwiązania technologiczne w zakresie spalania wodoru.

Zebrane na konferencji informacje oraz inspirujące dyskusje pozwoliły firmie Michał Bisek „Bisek-ASFALT” na dokładniejsze zapoznanie się z nowoczesnymi światowymi technologiami, a także znaczenie potencjalnych korzyści wynikających z zastosowania wodoru w przemysłowych procesach spalania. ◀



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 zrehabilitować 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

