

A. NAUKA TRANSPORTOWA

A.6 ZINTEGROWANY SYSTEM TRANSPORTOWY POLSKI

**A.6.5.ODPORNOŚĆ INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ NA
EKSTREMALNE ZDARZENIA KLIMATYCZNE, SEJSMICZNE
I EKSPLOATACYJNE**

prof. dr hab. inż. Adam Wysokowski

Kierownik Zakładu Dróg, Mostów i Kolei

Uniwersytet Zielonogórski

tel. 603974417, e-mail: awysokowski@infra-kom.eu

**ODPORNOŚĆ I TRWAŁOŚĆ OBIEKTÓW
INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ W ASPEKCIE
EKSTREMALNYCH ZDARZEŃ KLIMATYCZNYCH,
SEJSMICZNYCH I EKSPLOATACYJNYCH**

Ogólnie wiadomo, że nowoczesna infrastruktura transportowa, jako całość stanowi kręgosłup funkcjonowania poszczególnych regionów i Państw europejskich, umożliwiając swobodny przepływ ludzi i towarów. Ponadto wiadomo, że obiekty tej infrastruktury stanowią ogromny majątek narodowy. Dlatego też, w obliczu coraz częstszych i bardziej intensywnych ekstremalnych zdarzeń klimatycznych, sejsmicznych oraz zwiększonych wymagań w stosunku do parametrów eksploatacyjnych m.in. obciążeń ponadnormatywnych, konieczne jest zapewnienie odporności poszczególnych jej krytycznych elementów na te wyzwania. Szczególną uwagę należy poświęcić trwałości obiektów inżynierskich w tym mostów drogowych jak i kolejowych, które są kluczowymi elementami sprawnego systemu transportowego.

Trwałość obiektów mostowych infrastruktury komunikacyjnej:

Trwałość obiektów mostowych staje się kluczowym elementem na etapie ich projektowania i utrzymania. Obejmuje ona zdolność mostu do utrzymania swojej założonej funkcji eksploatacyjnej, wytrzymałość strukturalną oraz minimalizację potrzebnych napraw i modernizacji przez możliwie jak najdłuższy okres eksploatacji. Szczególnie w kontekście zmieniających się warunków klimatycznych, trwałość staje się wyzwaniem dla inżynierów, tak aby w jak największym stopniu zachować niezawodność infrastruktury komunikacyjnej. Postęp techniczny w budownictwie, jaki dokonuje się na przestrzeni ostatnich lat, dotyczy nie tylko powstawania nowych materiałów i technologii, ale też przede wszystkim rozwoju narzędzi cyfrowych w projektowaniu, wykonawstwie, utrzymaniu i zarządzaniu obiektami budowlanymi, w tym obiektami mostowymi. Jednocześnie obserwuje się systematyczne nasilanie takich negatywnych oddziaływań na mosty jak: wzrost obciążeń, zwiększenie

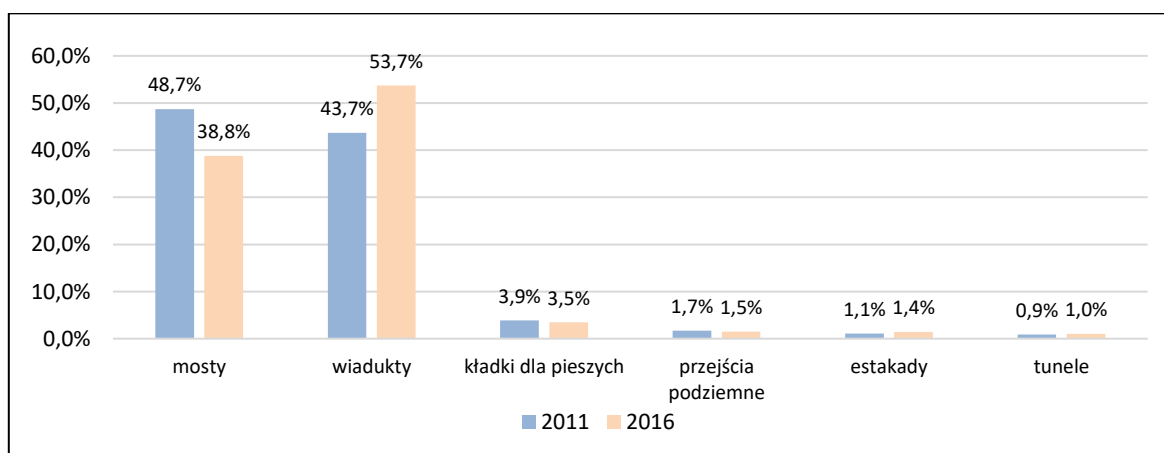
intensywności przejazdów ponadnormatywnych oraz zwiększenie zanieczyszczenia środowiska przejawiające się wzrostem jego agresywności w stosunku do konstrukcji mostowych. Na to nakłada się także naturalny proces starzenia się obiektów mostowych.

Według danych statystycznych udostępnionych przez GDDKiA [1], na sieci dróg publicznych o długości całkowitej równej około 420 tys. km znajduje się prawie 36 tys. obiektów mostowych (stan na 2017 r.) – tabela 1. Natomiast na sieci dróg krajowych o całkowitej długości równej 19,3 tys. km usytuowanych jest ponad 7 tys. obiektów mostowych o łącznej długości ponad 400 tys. metrów.

Tabela 1. Stan ewidencyjny obiektów mostowych w Polsce w 2014 r. [2]

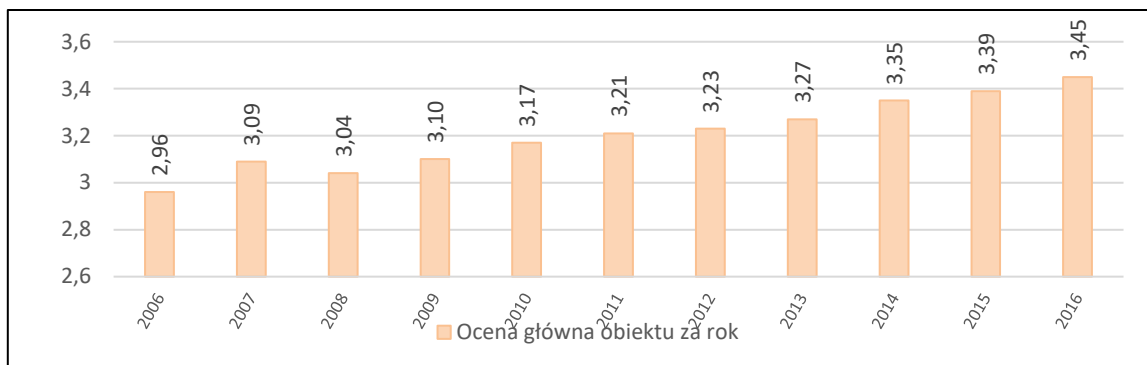
RODZAJ DRÓG	LICZBA [szt.]
krajowe	7609
wojewódzkie	3862
powiatowe	11739
gminne	11833
RAZEM:	35043

Na rysunku 1 zestawiono procentowy udział mostów, wiaduktów, kładek dla pieszych, estakad, przejść podziemnych i tuneli w ogólnej liczbie obiektów inżynierskich w zasobie GDDKiA w latach 2011 i 2016. Mosty oraz wiadukty stanowiły większość obiektów. Wraz z upływem czasu, odnotowano jednak proporcjonalny spadek udziału mostów oraz wzrost udziału wiaduktów w ogólnej liczbie obiektów.

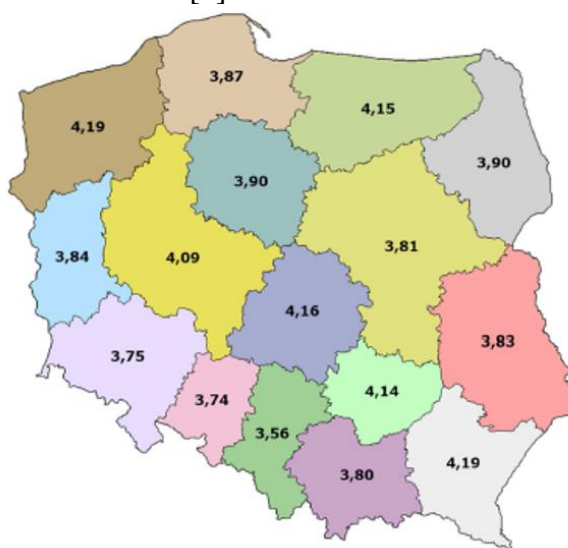


Rys. 1. Udział poszczególnych rodzajów obiektów inżynierskich w ogólnej liczbie obiektów zarządzanych przez GDDKiA w latach 2011 i 2016 [1]

Analizując stan techniczny drogowych obiektów inżynierskich, należy stwierdzić, że ulega on poprawie w funkcji czasu. Niemniej jednak wiele z tych obiektów w dalszym ciągu wymaga pilnych zabiegów konserwacyjnych i konieczności przebudowy lub remontu. Na rysunkach 2 i 3 zestawiono średnie i główne oceny obiektów mostowych pełnego zakresu obiektów zarządzanych przez GDDKiA.

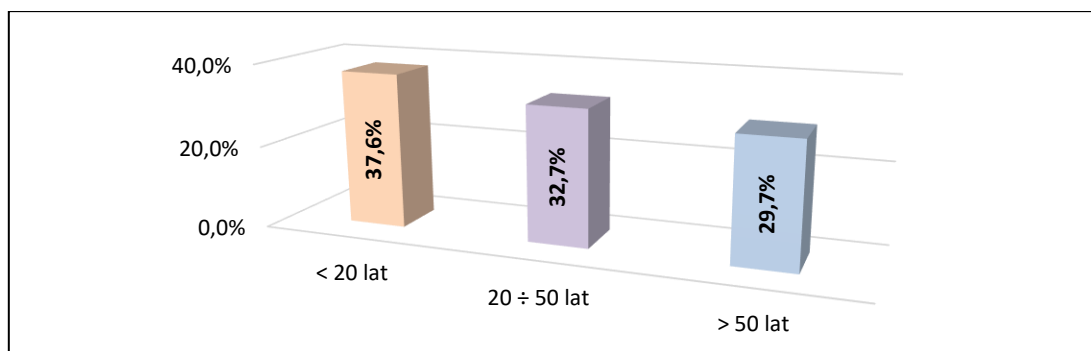


Rys. 2. Zestawienie ocen całego obiektu mostowego (ocen głównych), dla obiektów w ciągu dróg krajowych w latach 2006 – 2016 [1]



Rys. 3. Ocena główna stanu technicznego obiektów mostowych w poszczególnych oddziałach GDDKiA w roku 2017 [3]

Należy brać pod uwagę, że większość drogowych obiektów mostowych w Polsce stanowią obiekty młodsze niż 20 lat. W przypadku obiektów w ciągu dróg krajowych stanowią one około 70% ogólnej liczby – rysunek 4.



Rys. 4. Struktura wieku drogowych obiektów mostowych w Polsce w ujęciu procentowym (stan na 2010 r.) [4]

Analizując obiekty infrastruktury kolejowej w Polsce należy stwierdzić, że większość linii kolejowych w naszym kraju, bo aż 83%, zbudowano przed wybuchem I wojny światowej (tabela 2) [5]. Wieloletnie zaniedbania w utrzymaniu infrastruktury kolejowej, w tym obiektów mostowych, spowodowały degradację kolejnych odcinków tras kolejowych, co wymuszało wprowadzanie ograniczeń eksploatacyjnych, a następnie przyczyniało się do likwidacji kolejnych linii.

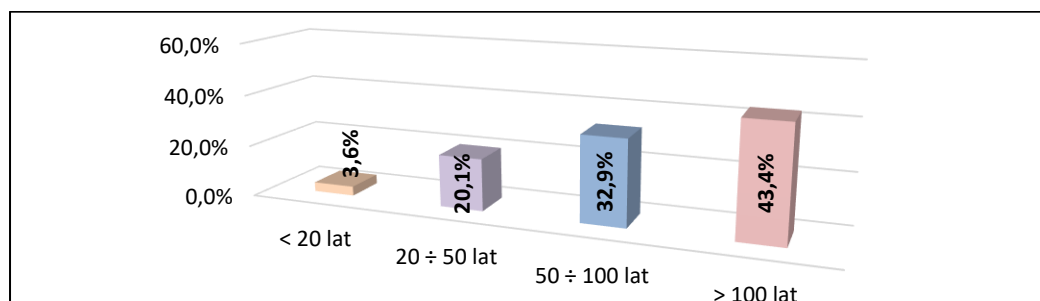
Tabela 2. Zestawienie długości eksploatowanych linii kolejowych w Polsce w latach 1850 – 2008 [5]

ROK	DŁUGOŚĆ EKSPLOATOWANYCH LINII KOLEJOWYCH
1850	1,3 tys. km
1900	16 tys. km
1950	26,3 tys. km
2000	21,6 tys. km
2008	20 tys. km

Cieszy fakt, że w ostatnich latach można jednak zauważyć stopniową tendencję wzrostową długości linii kolejowych w tym budowę nowych obiektów mostowych. Długość eksploatowanych linii kolejowych w Polsce w 2014 roku wynosiła 19 294 km, a w 2020 roku długość linii wynosiła już 19 461 km [6]. Większość z nich, bo aż 96% zarządzana jest przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

W ciągu linii kolejowych znajduje się ponad 25 tysięcy obiektów inżynierskich, z czego około 3,5 tysiąca stanowią mosty. Nieco mniej, bo 3,2 tysiąca stanowią wiadukty. W 2020 roku oddano do użytku około 150 mostów i 100 wiaduktów, nowych lub zmodernizowanych, co stanowiło kontynuację realizacji Krajowego Programu Kolejowego w latach 2016 – 2019.

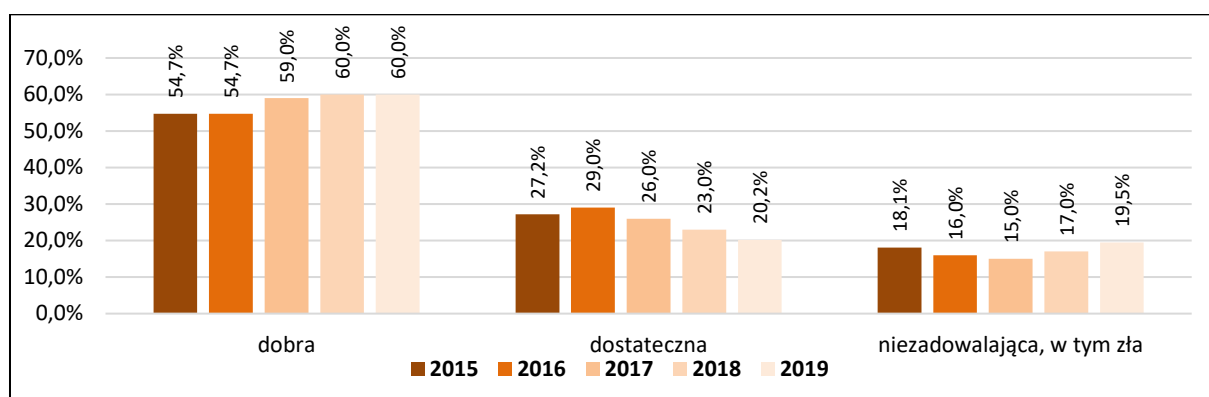
Eksploatowane w naszym kraju kolejowe obiekty mostowe są jednak często zaawansowane wiekowo, co pokazano na rysunku 5. Z przedstawionych danych wynika, że znaczna część obiektów jest w wieku zbliżającym się do okresu trwałości zakładanego w trakcie ich projektowania i wznoszenia.



Rys. 5. Struktura wiekowa kolejowych obiektów mostowych (stan na 2010 r.) [4]

Szczególną grupę obiektów stanowią kolejowe mosty graniczne. Ich stan techniczny decyduje o jakości i sprawności utrzymania komunikacji międzynarodowej na połączeniu z infrastrukturą kolejową Niemiec, Czech, Ukrainy i Białorusi. Z danych głównego zarządcy

infrastruktury kolejowej, dotyczących stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w 2019 roku [7], wynika, że stan 60,3% infrastruktury został oceniony jako dobry, 20,2% jako dostateczny, a 19,5% jako niezadowalający, z czego 7,3% infrastruktury było w stanie złym (rys. 6).



Rys. 2.23. Ocena stanu technicznego infrastruktury kolejowej zarządzanej przez PKP PLK S.A. w latach 2015 – 2019 [7]

Na podstawie powyższych analiz, można stwierdzić, że do podstawowych przyczyn obniżania stanu technicznego kolejowych obiektów mostowych należy niekorzystna struktura wiekowa utrzymywanych obiektów, która zmienia się stopniowo (głównie w wyniku prowadzenia inwestycji w ciągu międzynarodowych korytarzy transportowych), a także inne niż pierwotne warunki eksploatacji, szczególnie pod kątem zwiększenia oddziaływań dynamicznych przez zmianę prędkości pociągów oraz nacisku na osie.

Należy mieć świadomość, że bezpośrednie oszacowane straty wynikające z korozji konstrukcji stalowych w naszym kraju to 3% PKB czyli około 70 mld złotych [8].

Z tego względu, ochrona infrastruktury mostowej, mającej ogromną wartość ekonomiczną, stanowi naczelne zadanie administracji drogowej i kolejowej. Ze względu na ograniczone fundusze pochodzące w znacznej mierze z budżetu państwa stoi ona w obliczu konieczności optymalnego wykorzystywania środków tak, aby w jak największym możliwym stopniu powstrzymać degradację obiektów mostowych oraz zwiększyć ich trwałość, co wiąże się w sposób bezpośredni z odpowiednim zarządzaniem [9].

Wiele wymagań, wynikających ze zrównoważonego rozwoju, może dotyczyć budownictwa w tym w aspekcie poprawy trwałości obiektów budowlanych. Jest oczywiste, że zastąpienie obiektu, który okazał się nietrwały na skutek m.in. ekstremalnych zdarzeń klimatycznych, wymaga zużycia dodatkowych ilości materiałów i energii, podobnie jak zbyt częste i poważne naprawy czy remonty. Obiekt, który spełnia swoje podstawowe funkcje pomimo występowania oddziaływań ponadnormatywnych okazuje się znacznie oszczędniejszy od podobnego, który trzeba wymienić dwukrotnie w tym samym założonym okresie eksploatacji. Poprawa trwałości prowadzi nie tylko do ograniczenia wpływu na środowisko przy wznoszeniu obiektu, ale także zmniejszenia kosztów utrzymania i zwiększenia bezpieczeństwa użytkownika.

OBCENE WYZWANIA DLA KRAJOWEJ INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ

1. Czynniki środowiskowe i korozyjne:

Zwiększone stosowanie środków odladzających w warunkach zimowych stanowi istotny czynnik wpływający na występowanie procesów korozyjnych, zwłaszcza w kontekście obiektów wykonanych z stali lub betonu zbrojonego stalą. Konieczne jest przyjęcie nowego podejścia do strategii odprowadzania wody (opadowej i roztopowej) z konstrukcji mostowych, aby jak najbardziej ograniczyć czas ekspozycji tych obiektów na działanie czynników korozyjnych.

Aby skutecznie przeciwdziałać korozyjnemu działaniu substancji odladzających, niezbędne jest zastosowanie innowacyjnych metod odprowadzania wody z konstrukcji. Może to obejmować lepszą izolację elementów konstrukcyjnych, zastosowanie specjalnych powłok ochronnych, a także regularne przeglądy i zabiegi utrzymaniowe, mające na celu monitorowanie stanu powierzchni oraz usuwanie nagromadzonych substancji korozyjnych.

Ponadto, ważne jest także ograniczenie samego stosowania substancji odladzających poprzez poszukiwanie alternatywnych rozwiązań, m.in. stosowania środków chemicznych o ograniczonym oddziaływaniu korozyjnym, lub zmniejszenie ilości potrzebnych środków odladzających, co w konsekwencji ograniczy wpływ korozji na infrastrukturę komunikacyjną.

Innowacyjne podejście do odprowadzania wody oraz poszukiwanie alternatywnych rozwiązań mogą odegrać kluczową rolę w utrzymaniu trwałości i bezpieczeństwa infrastruktury komunikacyjnej w warunkach zimowych.

2. Ekstremalne Zdarzenia Klimatyczne:

Wzrost liczby oraz skali powodzi, susz i innych zjawisk pogodowych stanowi obecnie realne zagrożenie dla istniejących oraz nowo budowanych mostów i dróg. Ekstremalne opady deszczu często prowadzą do erozji podpór mostowych, podmycia fundamentów oraz deformacji geometrycznej, co osłabia konstrukcję nośną tych obiektów. Jednakże nie można bagatelizować również wpływu pożarów na infrastrukturę. Pożary w pobliżu obiektów infrastrukturalnych często prowadzą do ich wyłączenia z użytkowania, często całkowicie paraliżując ruch drogowy na danym obszarze. Z tego powodu, konieczne staje się podejmowanie środków zaradczych i prewencyjnych w celu zabezpieczenia tych konstrukcji przed wpływem ekstremalnych zjawisk pogodowych oraz pożarów. Przede wszystkim należy zwiększyć odporność mostów i dróg na erozję oraz podmycie poprzez stosowanie innowacyjnych technologii m.in. stosowania materiałów syntetycznych oraz regularne monitorowanie stanu infrastruktury. Dodatkowo, konieczne jest opracowanie i wdrożenie skutecznych planów zarządzania kryzysowego, które umożliwią szybką reakcję w przypadku wystąpienia realnych zagrożeń.

Wreszcie, należy pamiętać o edukacji społecznej na temat znaczenia ochrony infrastruktury przed zagrożeniami związanymi z zmianami klimatycznymi i pożarami. Informowanie społeczności lokalnych o konieczności dbałości o infrastrukturę oraz o środkach zapobiegawczych może przyczynić się do zwiększenia świadomości i współpracy w dziedzinie ochrony infrastruktury przed klęskami żywiołowymi.

3. **Sejsmika i semi-sejsmika:**

Obszary podatne na oddziaływanie sejsmiczne i para-sejsmiczne wymagają szczególnej uwagi przy projektowaniu obiektów infrastrukturalnych. Zjawiska mogą prowadzić do deformacji i nawet całkowitego zniszczenia tych obiektów. Krajowa praktyka inżynierska niejednokrotnie pokazała, że w przypadku gruntów słabych, wykazujących się dużą podatnością na osiadania i niekontrolowane deformacje, występują efekty zbliżone do semi-sejsmicznych, co wymaga stosowania dodatkowych elementów i technologii ograniczających te zjawiska.

Wymaga to starannego planowania oraz odpowiedniego projektowania obiektów, uwzględniających specyficzne warunki terenowe i możliwe zagrożenia sejsmiczne. Dodatkowe elementy i technologie, takie jak systemy izolacji sejsmicznej czy wzmacnianie konstrukcji, są kluczowe dla zwiększenia odporności obiektów infrastrukturalnych na skutki sejsmicznych oraz para-sejsmicznych oddziaływań.

4. **Eksploatacja:**

Eksploatacja obiektów, w tym ruch pojazdów ponadnormatywnych, zwiększone obciążenia dynamiczne, oraz wpływ czynników korozyjnych dla stali i betonu, prowadzą do stopniowego pogarszania się stanu technicznego infrastruktury transportowej. Tym samym istniejące obiekty, często nie są dostosowane do wymagań współczesnego ruchu drogowego i kolejowego. W efekcie tego procesu, istniejące obiekty infrastruktury transportowej, takie jak mosty, wiadukty czy tunele, niejednokrotnie nie spełniają obecnych standardów bezpieczeństwa i wydajności, ustalonych z uwagi na współczesne wymagania ruchu drogowego i kolejowego. Brak adaptacji do nowych potrzeb oraz rosące obciążenia może prowadzić do zwiększenia ryzyka awarii, ograniczenia przepustowości oraz pogorszenia komfortu podróży dla użytkowników. W związku z tym, konieczne staje się podejmowanie działań mających na celu modernizację i naprawę istniejącej infrastruktury oraz projektowanie nowych obiektów zgodnych z najnowszymi standardami i technologiami, aby zapewnić bezpieczny i efektywny transport dla społeczeństwa.

Metody zwiększania trwałości i odporności obiektów infrastrukturalnych:

1. **Innowacyjne materiały:** Wykorzystanie nowoczesnych, trwałych i odpornych na warunki atmosferyczne oraz sejsmiczne materiałów, takich jak wysokowytrzymałe betony, stopy metali odpornych na korozję i włókna węglowe, może znacząco zwiększyć trwałość mostów. Wykorzystanie tych zaawansowanych materiałów w obiektach infrastruktury komunikacyjnej powoduje, że obiekty te stają się bardziej bezpieczne dla użytkowników, co bezpośrednio przekłada się na wyższy poziom niezawodności systemów transportowych. Ponadto, zwiększona trwałość tych nowoczesnych materiałów przyczynia się do zmniejszenia kosztów utrzymania, co jest istotnym aspektem ekonomicznym dla odpowiedniego zarządzania infrastrukturą drogowo-mostową. W rezultacie, inwestycje w takie innowacyjne materiały przynoszą korzyści zarówno w kwestii bezpieczeństwa, jak i efektywności ekonomicznej.

2. **Monitorowanie stanu technicznego:** Wdrożenie spójnych systemów monitorowania stanu technicznego mostów, takich jak czujniki naprężeń i ich zmian, monitorowanie korozji, analiza drgań czy systemy oparte na skanowaniu laserowym, stanowi kluczowy krok w zapewnieniu bezpieczeństwa infrastruktury mostowej. Dzięki tym systemom możliwe jest wczesne wykrywanie potencjalnych uszkodzeń oraz konieczności napraw. Analiza danych gromadzonych przez te systemy przez wykwalifikowanych specjalistów pozwala na szybkie podejmowanie właściwych działań zapobiegawczych. Dzięki temu można reagować na problemy z dużym wyprzedzeniem, co znacząco przyczynia się do ograniczenia kosztów związanych z niezbędnymi naprawami i utrzymaniem mostów w odpowiednim stanie technicznym. Dzięki temu inżynierowie i specjaliści ds. utrzymania infrastruktury mogą podejmować świadome decyzje oparte na solidnych danych, co w efekcie przekłada się na zwiększenie trwałości i niezawodności mostów oraz ograniczenie kosztów eksploatacyjnych.
3. **Utrzymanie i regularne prace konserwacyjne:** Wdrożenie nowatorskich metod utrzymania bazujących na zaawansowanych systemach baz wiedzy w tym m.in. elementach BIM. Systematyczne prace konserwacyjne, w tym czyszczenie, malowanie, naprawa uszkodzeń powierzchniowych i wymiana zużytych elementów, jest kluczowa dla przedłużenia trwałości mostów.
4. **Nowoczesne projektowanie:** Projektowanie obiektów z wykorzystaniem konstrukcji umożliwiających absorpcję oddziaływań dynamicznych wywołanych ekstremalnymi warunkami eksploatacyjnymi, może ograniczyć ryzyko uszkodzeń. Dodatkowo warunki wyjściowe dotyczące obiektów powinny uwzględniać dodatkowe, czynniki eksploatacyjne m.in. efekty dynamiczne, uderzenia pojazdów w elementy konstrukcyjne, czy też ryzyko wystąpienia pożaru, lub powodzi na danym terenie,

LITERATURA

- [1] Materiały GDDKiA (<https://www.gddkia.gov.pl>)
- [2] Zarządzanie obiektami mostowymi i przepustami przez administrację drogową. Informacja o wynikach kontroli. Najwyższa Izba Kontroli, Departament Infrastruktury, Warszawa, 2016.
- [3] Raport o stanie technicznym obiektów mostowych GDDKiA na koniec 2017 roku. GDDKiA, 2018 (www.gddkia.gov.pl , 2021).
- [4] BIEŃ J. Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2010.
- [5] BARCIK J., CZECH P., Sytuacja transportu kolejowego w Polsce na przełomie ostatnich lat – część 1. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: TRANSPORT z. 67 Nr kol. 1832, 2010.

- [6] Sprawozdanie z funkcjonowania rynku transportu kolejowego w 2020 r. Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa, 2021.
- [7] Ocena funkcjonowania rynku transportu kolejowego i stanu bezpieczeństwa ruchu kolejowego w 2019 roku. Urząd Transportu Kolejowego, Warszawa, 2020.
- [8] KRÓLIKOWSKA A. Bezpośrednie straty korozyjne to 3% PKB czyli 69,7 mld zł. Warto je odzyskać. Konstrukcje stalowe nr 3(176), 2022 r.
- [9] WYSOKOWSKI A. Trwałość mostów stalowych. PWN Warszawa 2022 r.