

ZESZYTY NAUKOWE  
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ

---

FOLIA SCIENTIARUM  
UNIVERSITATIS TECHNICAЕ RESOVIENSIS

---

NR 283

# **BUDOWNICTWO I INŻYNIERIA ŚRODOWISKA**

Kwartalnik

zeszyt 59

nr 3/2012/I

Wydano za zgodą Rektora

Redaktor naczelny  
Wydawnictw Politechniki Rzeszowskiej  
Prof. dr hab. inż. Feliks STACHOWICZ

Komitet Redakcyjny

Władysław FILAR  
Roman PETRUS  
Grzegorz PROKOPSKI  
Jarosław SĘP  
Jan STANKIEWICZ  
Zbigniew ŚWIDER

Redaktor serii

Grzegorz PROKOPSKI

Redaktor naukowy

Aleksander KOZŁOWSKI

Opiniodawcy

Andrzej AJDUKIEWICZ, Andrzej M.BRANDT, Lech CZARNECKI, Jan DEJA,  
Stanisław GACA, Dariusz GAWIN, Marian GIŻEJOWSKI, Józef GŁOMB,  
Kazimierz JAMRÓZ, Zbigniew JANOWSKI, Józef JUDYCKI, Stanisław KAJFASZ,  
Oleg KAPLIŃSKI, Tadeusz KASPROWICZ, Michał KNAUFF, Piotr KONDERLA,  
Aleksander KOZŁOWSKI, Zbigniew LECHOWICZ, Andrzej ŁAPKO, Cezary MADRYAS,  
Henryk NOWAK, Wojciech RADOMSKI, Piotr RADZISZEWSKI, Zbigniew SIKORA,  
Tomasz SIWOWSKI, Edward SZCZECHOWIAK, Barbara SZUDROWICZ,  
Marian TRACZ, Krzysztof WILDE, Szczepan WOLIŃSKI, Leonard ZIEMIAŃSKI,  
Jerzy ZIÓŁKO

Redaktor zeszytu

Andrzej WOJNAR

ISSN 0209-2646

Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej  
ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów

## SPIS TREŚCI

Henryk BAŁUCH: Rola nauki w rozwoju infrastruktury kolejowej w Polsce.....	5
Maria BAŁUCH: Systemy komputerowe wspomagające zarządzanie infrastrukturą kolejową.	21
Krzysztof BERGER, Janusz TADLA: Innowacyjne technologie w budownictwie .....	29
Jan BIENI: Systemowe wspomaganie zarządzania mostami drogowymi i kolejowymi .....	49
Stanisław GACA: Badania naukowe i ich rola w przekształcaniu sieci drogowej.....	69
Sławomir HELLER: Systemy zarządzania stanem nawierzchni drogowej (PMS).....	81
Grażyna ŁAGODA, Marek ŁAGODA: Monitoring stanu technicznego konstrukcji (SHM) w zastosowaniu do obiektów infrastruktury komunikacyjnej.....	89
Andrzej MASSEL: Rozwój infrastruktury kolejowej w Polsce.....	101
Roger NILSSON, Ole G. ANDERSSON, Aleksander ZBOROWSKI: Innowacyjne metody redukcji hałasu komunikacyjnego .....	107
Paweł PONETA: Innowacyjne projekty R&D w zakresie dróg, kolei i mostów, realizowane przez Mostostal Warszawa.....	117
Wojciech RADOMSKI: Rola nauki w rozwoju mostownictwa .....	131
Leszek RAFALSKI: Innowacyjność w rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce .....	147
Dariusz SYBILSKI, Antonii SZYDŁO: Rola nauki w rozwoju konstrukcji nawierzchni i materiałów drogowych.....	159
Tomasz SZUBA: Właściwości innowacyjnych systemów i materiałów stosowanych w konstrukcji nawierzchni dróg szynowych .....	175
Antoni SZYDŁO: Wkład inżynierów w rozwój infrastruktury transportowej w Polsce.....	193
Marian TRACZ, Janusz BOHATKIEWICZ: Uwarunkowania środowiskowe rozwoju infrastruktury transportowej w Polsce.....	205





Henryk BAŁUCH  
Instytut Kolejnictwa<sup>1</sup>

## **ROLA NAUKI W ROZWOJU INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ W POLSCE**

### **STRESZCZENIE**

Rozwój infrastruktury kolejowej będzie podporządkowany zwiększeniu roli kolei w przewozach pasażerskich i towarowych, co wynika z konieczności oszczędzania energii i Dyrektyw UE. Badania w zakresie infrastruktury kolejowej w Polsce będą dotyczyły w dużym stopniu bezpieczeństwa jej eksploatacji. Referat zawiera charakterystykę celów badań w problematyce dróg kolejowych, przykłady niektórych rozwiązań, ważniejsze zagrożenia i sposoby ich zmniejszenia. W końcowej części przedstawiono konieczne warunki zwiększenia wpływu badań na doskonalenie konstrukcji infrastruktury kolejowej i jej utrzymania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** infrastruktura kolejowa, konstrukcje dróg kolejowych, eksploatacja, zagrożenia

### **1. WSTĘP**

W drugim ćwierćwieczu XXI wieku nabiorą ostrości dwa problemy globalne – brak wody pitnej i wyczerpywanie zasobów nieodnawialnej energii. Zmniejszenie ostrości tego drugiego problemu można uzyskać, m.in. poprzez energooszczędny transport. Intensywny rozwój kolejnictwa na całym świecie i umiejętne jego wykorzystanie, nie tylko w przewozach pasażerskich, może odegrać tu rolę znaczącą. Przykładem mogą być propozycje rozwoju kolei w Stanach Zjednoczonych z budową 48 000 km nowych linii i wprowadzeniem nowej technologii globalnych intermodalnych przewozów towarowych z prędkością 145 km/h w pociągach przewożących 280 kontenerów, co powinno rozładować zatłoczenie autostrad [1].

Tytuł referatu określa jego ramy do rozwoju. Rozwój ten należy jednak rozumieć szeroko, a więc nie tylko jako tworzenie nowych obiektów, konstrukcji i technologii, lecz również jako rozwój metod eksploatacji infrastruktury istniejącej, w tym zaś rozwój metod zmniejszających ryzyko jej eksploatacji. Przyjęcie takiego założenia uwzględnia realny stan infrastruktury kolejowej w Polsce, a więc infrastruktury, która na wielu liniach charakteryzuje się znacznym stopniem degradacji [2].

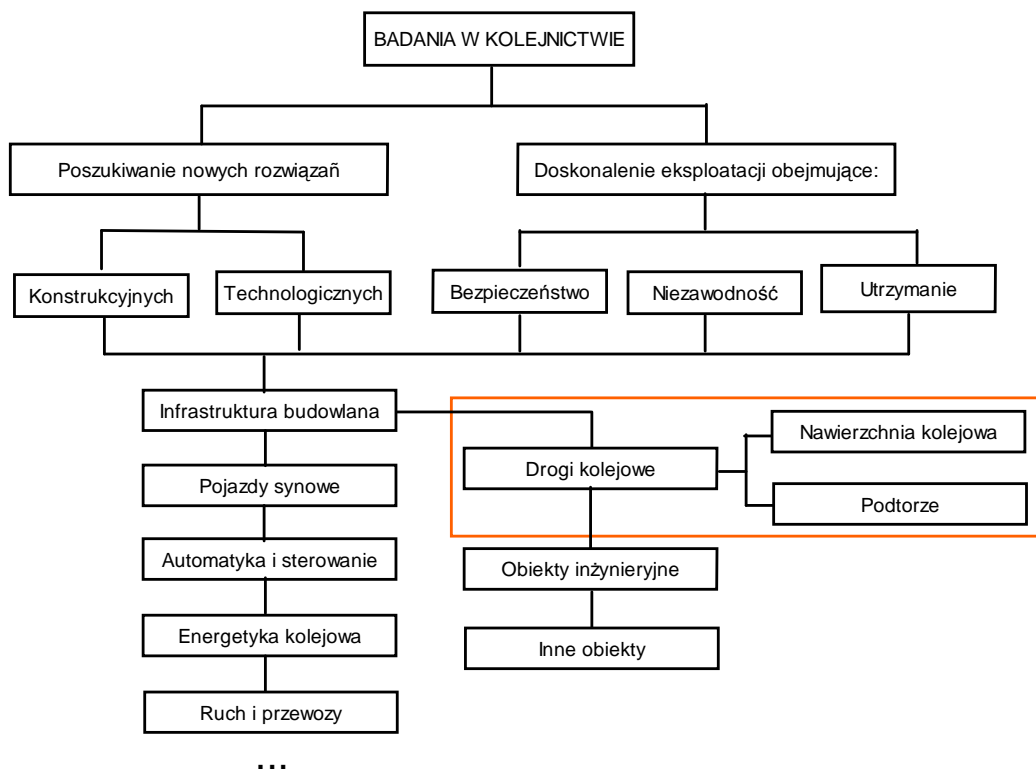
Założenie to znajduje też odzwierciedlenie w badaniach naukowych w kolejnictwie, które można podzielić na dwie grupy. Pierwsza dotyczy poszukiwania nowych rozwiązań,

---

<sup>1</sup> hbaluch@ikolej.pl

głównie konstrukcyjnych i technologicznych w infrastrukturze i pojazdach szynowych, druga zaś obejmuje metody doskonalenia eksploatacji obiektów i urządzeń istniejących (rys. 1).

Pojęcie infrastruktury kolejowej jest dość szerokie i nie ma ostro zarysowanych granic. W referacie ograniczono się do problemów badawczych dotyczących wybranych działów infrastruktury budowlanej. Pominięto więc automatykę i sterowanie oraz energetykę kolejową i telematykę, które nie wchodzą w zakres inżynierii lądowej. Nie zajmowano się również mostami, których problematyka jest szeroko omawiana w budownictwie drogowym. Główną uwagę skupiono więc na drogach kolejowych.



Rys. 1. Zakres badań w kolejnictwie (opr. własne)

## 2. TRENDY ROZWOJU INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

Nie ma dotychczas jednego wspólnego kierunku badań kolejowych we wszystkich krajach. Można natomiast dostrzec pewne trendy w rozwoju infrastruktury kolejowej, którymi są jej dostosowywanie do dużych prędkości pociągów pasażerskich, zwiększonych prędkości i nacisków osi w pociągach towarowych oraz do zmniejszania kosztów cyklu życia.

Zasłużony dla kolejnictwa Europejski Instytut Badań Kolejowych (*ERRI - European Rail Reseach Institute*), w którym Polska odgrywała dużą rolę, przestał istnieć<sup>2</sup>. Postęp techniczny w sensie powstawania nowych konstrukcji przesunął się od tego czasu do przemysłu. Instytuty kolejowe w zakresie nowych konstrukcji stały się placówkami certyfikującymi jej jakość i zgodność z Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności, w badaniach naukowych zaś poświęcają coraz większą uwagę zagadnieniom eksploatacji. Zmiana ta ma pewne cechy korzystne. Zmusza bowiem wytwórców urządzeń kolejowych do ciągłego doskonalenia swych wyrobów lub technologii.

Niektóre osiągnięcia przemysłu kolejowego są imponujące, jak np. skonstruowanie wózka wagonu pasażerskiego z systemami mechatronicznymi, dostosowującego się do stanu

<sup>2</sup> Polacy pełnili dwukrotnie funkcje dyrektorów tego Instytutu, a ponad 40 polskich specjalistów uczestniczyło w pracach komitetów naukowych.

toru, który jest badany przez ten wózek w czasie realnym [3]. Przemysł podejmuje również pewne próby wspólnych przedsięwzięć badawczych w ramach Europejskiego Zrzeszenia Przemysłu kolejowego (*European Rail Industry Association*) [4], głosząc interesującą tezę, że wspólne badania nie osłabiają konkurencji.

Likwidacja ERRI spowodowała jednak osłabienie całościowego ujmowania zagadnień konstrukcyjnych we wzajemnym powiązaniu różnych specjalności. W Polsce zjawisko to występuje z większą wyrazistością niż w innych krajach ze względu na nadmierne rozdrobnienie struktury organizacyjnej kolejnictwa. Przykładem mogą być tak podstawowe badania, jak cała bogata problematyka współdziałania pojazdów szynowych z torem. W tym zakresie w różnych krajach są ciągle prowadzone badania nad wykryciem pewnych szczegółów zwiększających bezpieczeństwo jazdy [5]. Zagadnienia torów nie stanowią zainteresowania spółek zajmujących się taborom, Polskie Linie Kolejowe S.A. nie mają zaś w zakresie swego działania problematyki taborowej.

Pewnym zamiennikiem badań prowadzonych przez ERRI były w latach 2006 ÷ 2008 badania pod nazwą *Innotrack (Innovative Track Systems)*. Prowadziła je grupa 38 organizacji z 15 krajów, w tym 9 kolei państw europejskich (Francja, Niemcy, Hiszpania, Szwecja, Anglia, Szwajcaria, Austria, Czechy, Holandia), 6 uniwersytetów (Anglia, Niemcy, Francja, Holandia, Czechy) i kilkanaście korporacji przemysłowych<sup>3</sup>. Badania te były finansowane przez UE (przy kosztach całkowitych 15,6 mln Euro, 10 mln Euro pokryła UE). *Innotrack* był odpowiedzią na białą księgę UE z roku 2002, w której sformułowano następujące zadania dla kolei w Europie<sup>4</sup>:

- podwojenie do roku 2020 przewozów pasażerskich i potrojenie towarowych,
- skrócenie czasu podróży o 20 ÷ 25 %,
- zmniejszenie kosztów cyklu życia o 30 %,
- redukcję hałasu do 69 dB w przewozach towarowych i do 83 dB na kolejach dużych prędkości,
- zmniejszenie wypadków o 75 %.

W ramach projektu *Innotrack* opracowano 141 raportów, z których 15 miało charakter zaleceń praktycznych [7]. Raporty te dotyczą wielu szczegółów, jak doskonalenie stali szynowej, szlifowanie szyn, wzmacnianie podtorza iniekcyjnymi palami ukośnymi, diagnozowanie napędów rozjazdowych, nowej konstrukcji nawierzchni bezpodsypankowej, metod obliczeń kosztów cyklu życia itp. [8]. W podsumowaniu tych badań nie znajduje się jednak ocena, w jakim stopniu zbliżyły one koleje europejskie do celów sformułowanych w białej księdze.

W Europie jest obecnie niewielkie zainteresowanie rozwojem kolei niekonwencjonalnych. Kontrastuje to z sytuacją w Japonii, gdzie minister transportu w dniu 27 maja 2011 roku podjął decyzję o rozpoczęciu budowy linii kolei magnetycznej łączącej Tokio z Osaką. Linia ta, nazwana *Chuo Shinkansen Maglev Line*, ma być wybudowana do roku 2027 i zastąpić pierwszą japońską linię dużych prędkości Tokaido. Podróż na trasie 550 km z prędkością 600 km/h będzie trwała 67 minut w porównaniu z czasem 2h 35 minut na istniejącej linii. Koszt budowy wyniesie 110 mld USD [9].

### 3. BADANIA W ZAKRESIE KONSTRUKCJI DRÓG KOLEJOWYCH

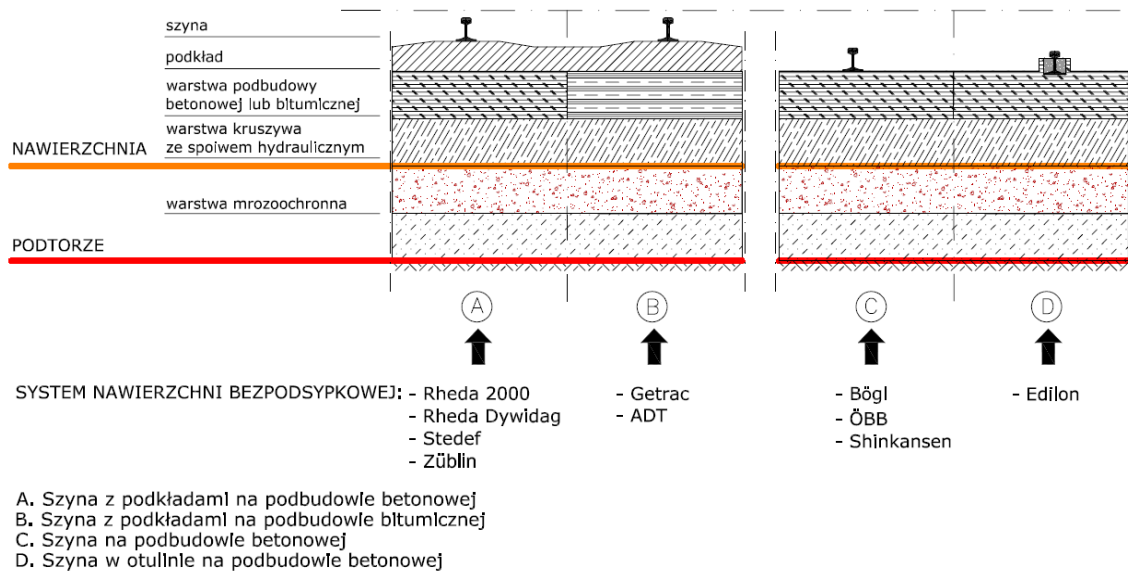
Od około 50 lat ścierają się poglądy o wyższość konstrukcji dróg kolejowych – czy lepsze są konstrukcje tradycyjne, tj. konstrukcje z podkładami na podsypce, czy też konstrukcje płytowe bez podsypki lub też z podkładami na podbudowie betonowej bądź

<sup>3</sup> W projekcie tym nie uczestniczyła żadna organizacja z Polski.

<sup>4</sup> Biała księga UE z marca 2011 odnosi się również do oszczędności energii [6].

bitumicznej. Odzwierciedleniem tego sporu jest budowa całych linii kolejowych. I tak, we Francji, Hiszpanii, Włoszech, Korei i kilku innych krajach koleje dużych prędkości mają na szlakach tradycyjną konstrukcję nawierzchni na podsypce, na stacjach zaś, w tunelach, na mostach i wiaduktach – konstrukcję bezpodsypkową. W Japonii, Niemczech, na Tajwanie na kolejach dużych prędkości dominują konstrukcje bezpodsypkowe. W Chinach stosuje się je na liniach o prędkości 300 km/h i większej.

Prace badawcze nad konstrukcjami bezpodsypkowymi, zapoczątkowane przez ERRI w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku budową odcinków doświadczalnych w Radcliffe w Anglii, doprowadziły do ponad 20 odmian tych konstrukcji, które można sprowadzić do kilku schematów (rys. 2).



Rys. 2. Schematy typowej konstrukcji nawierzchni bezpodsypkowej [10]

Poszukiwania nowych rozwiązań trwają, i tak np. w ramach INNOTRACK-a badano konstrukcję płytową, w której belka stalowa zastępująca szynę (prostokąt z zaokrąglonymi krawędziami) zatopiona jest w płycie betonowej i połączona z nią klejem oraz przekładkami polimerowymi.

### 3.1. Porównania konstrukcji podsypkowych i bezpodsypkowych

Istnieje kilkadziesiąt cech charakteryzujących poszczególne konstrukcje podsypkowe i bezpodsypkowe. Najważniejsze, w ujęciu porównawczym, przedstawia tablica 1.

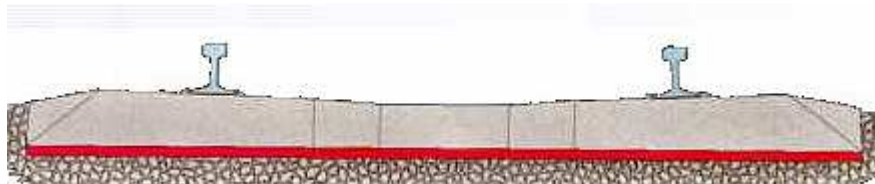
Kilkudziesięcioletni okres eksploatacji konstrukcji bezpodsypkowych rozwiązań całkowicie przeświadczenia, jakie wiązano z nimi przy pierwszych projektach, nazywając je bezutrzymaniowymi (*maintenles track*). Przy wielu ich zaletach właśnie problemy napraw tych konstrukcji stanowią obecnie największą trudność, czego już doświadczyły koleje japońskie na swej pierwszej linii dużych prędkości łączącej Tokio z Osaką. Na nawierzchni podsypkowej zaś ujawniły się pewne procesy do niedawna nieznane, jak podrywanie ziaren tłucznia wskutek zjawisk aerodynamicznych i drgań, z siłą powodującą przebijanie ekranów akustycznych.

Tablica 1. Porównanie konstrukcji podsypkowych i bezpodsypkowych

Lp.	Cecha	Konstrukcje podsypkowe	Konstrukcje bezpodsypkowe
1	Koszt budowy [Euro/m] <sup>5</sup>	500	1300
2	Trwałość [lat]	40	60
3	Naprawialność	Łatwa	Trudna
4	Narastanie odkształceń	Dość szybkie	Wolne
5	Odbudowa po wykolejeniach	Dość szybka	Długotrwała
6	Podrywanie ziaren tłucznia	Występuje przy dużych prędkościach	Nie ma tłucznia niezwiązanego
7	Hałas	Mniejszy	Większy
8	Koszty napraw bieżących	Znaczne	Małe
9	Wjazd pojazdów ratunkowych	Niemożliwy	Łatwy do uzyskania

### 3.2. Postęp w rozwoju konstrukcji podsypkowych

Obserwując coraz to inne konstrukcje bezpodsypkowe można by dojść do wniosku, że postęp w konstrukcjach podsypkowych jest nieznaczny. Wniosek taki byłby jednak nieuzasadniony. W konstrukcjach tradycyjnych uczyniono bowiem zasadniczy postęp w doskonaleniu wibroizolacji. Nie zadowolając się tym, że hałas i drgania w nawierzchni na podsypce są mniejsze niż na konstrukcjach bezpodsypkowych, opracowano nowe rozwiązania, które dodatkowo redukują zakłócanie klimatu ekologicznego i znacznie wydłużają cykle naprawcze. Temu celowi służą rozpowszechniające się obecnie podkłady betonowe zaopatrzone w podkładki elastomerowe przyklejane (lub łączone na mokro) do dolnej podstawy (*USP – Under Sleeper Pads*) (rys. 4).



Rys. 3. Podkład betonowy z podkładką stylomerową (rys. ze zbiorów IK)

Z badań [12] i obserwacji eksploatacyjnych wynika, że zastosowanie tych podkładek przynosi następujące korzyści:

- 1) spowalnia rozwój falistego zużycia szyn,
- 2) znacznie zmniejsza drgania w paśmie powyżej 40 ÷ 50 Hz,
- 3) wydłuża cykle między podbijaniem toru,
- 4) w pewnych przypadkach zastępuje maty układane pod podsypką,
- 5) na krzyżownicach rozjazdów ze stałym dziobem powoduje zmniejszenie oddziaływań dynamicznych w stopniu większym niż przynoszą to krzyżownice z ruchomym dziobem, układane na podrozjazdnicach bez podkładek.

Zastosowanie tych podkładek wymaga jednak wielu badań całego węzła przytwierdzenia, bez których mogą wystąpić zjawiska niepożądane. I tak np. zastosowanie tzw. miękkich USP i twardych przekładek podszytowych może doprowadzić do znacznego zwiększenia naprężeń w podkładkach a nawet do ich pęknięć. Badania MES z użyciem pakietu LS-DYNA wykazały, że najkorzystniejsze wyniki uzyskuje się przy zastosowaniu podkładek o module Younga 100 MPa i sztywności 400 kN/mm [13].

<sup>5</sup> Źródło [11].

Dobór odpowiednich podkładek do podrozjazdnic staje się znacznie trudniejszy niż do podkładów. Ze względu na zróżnicowaną sztywność poszczególnych stref rozjazdów muszą być zróżnicowane również sztywności podkładek [14].

Poprawę wibroizolacji w nawierzchni podsypkowej uzyskuje się też stosując podkłady z kompozytów polimerowych. Są one stosowane w Japonii, Niemczech oraz Holandii i wykazują zdecydowaną przewagę nad podkładami z drewna bukowego [15], np. ich wytrzymałość na ściskanie wynosi  $28 \text{ N/mm}^2$  w porównaniu z  $17 \text{ N/mm}^2$ , dopuszczalne naprężenie rozciągające przy zginaniu  $142 \text{ N/mm}^2$  w porównaniu z  $80 \text{ N/mm}^2$ , a nasiąkliwość wodą jest mniejsza ponad 40 razy. Największą ich zaletą jest więc całkowita odporność na procesy biologiczne, bardzo duża rezystancja elektryczna, łatwość wiercenia otworów na wkręty oraz możliwość produkcji na długich torach.

Podrozjazdnice wykonane z kompozytów polimerowych pochodzących z recyklingu ułożono w rozjazdach w Holandii [16]. Są one zbrojone czterema prętami stalowymi, dzięki czemu zmalało zużycie tworzywa. Mają przewidywaną trwałość 40 lat. Ich podstawa ma kształt niecki, dzięki czemu zwiększa się opór w łukach. Podrozjazdnice poliuretanowe ułożono również w Niemczech [17].

Skutecznym sposobem wzmocnienia nawierzchni podsypkowych jest układanie na torowisku warstw z betonu asfaltowego lub modyfikowanego gumą. Sposób ten jest stosowany m.in. na kolejach USA przy dużych naciskach osi. Warstwa betonu asfaltowego (asfalt naftowy) o grubości  $0,15 \div 0,20 \text{ m}$  powoduje zmniejszenie odkształceń konstrukcji w porównaniu z podsypką bez tej warstwy o  $60 \div 80 \%$  [18].

### 3.3. Perspektywy badań w zakresie szyn i rozjazdów

Doskonalenie szyn jest ciągłą troską kolei i przemysłu wielu krajów. Lata najbliższe przyniosą na pewno nowe wyniki ukierunkowane na dwa zasadnicze cele:

- zwiększenie trwałości szyn,
- zmniejszenie ich uszkodzeń zagrażających bezpośrednio bezpieczeństwu ruchu kolejowego, głównie zaś uszkodzeń kontaktowo-zmęczeniowych.

Trwałość obecnie produkowanych szyn o masie  $60 \text{ kg/m}$  odpowiada, przy dobrym utrzymaniu nawierzchni, obciążeniu ok.  $600 \text{ Tg}$ . Doskonalenie produkcji stali szynowej i walcowania szyn może zwiększyć tę trwałość do  $800 \text{ Tg}$ .

Oprócz znanego od około 150 lat falistego zużycia szyn usuwanego przez zestawy maszyn profilujących je w torze z dokładnością  $0,01 \text{ mm}$ , od przeszło 20 lat coraz większym problemem stają się uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe na powierzchni tocznej, zwłaszcza zaś rysy (*head check*) (rys. 4). Ich rozwój może powodować pęknięcia szyn, to zaś stanowi groźbę katastrof<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Złamanie szyny spowodowane rysami stały się powodem głośnej katastrofy pod Hatfield w Anglii 17 października 2000 roku.



Rys. 4. Uszkodzenie szyny w postaci rys (fot. H. Bałuch)

Uszkodzenia kontaktowo-zmęczeniowe, szczególnie zaś rysy, stanowią problem w istocie nierozwiązany na żadnej kolei. Jedyny dotychczas sposób ich likwidacji, tj. szlifowanie szyn został wzbogacony nowym rodzajem diagnostyki, tj. prądami wirowymi. Nie ma natomiast metod, które umożliwiłyby produkcję szyn nie podlegających tym wadom. Rozwiązanie tego problemu stanie się jednym z największych osiągnięć nauki w sferze kolejnictwa, zważywszy zwłaszcza, że nie udało się dotychczas wyprodukować szyn, w których nie powstawałoby zużycie faliste. Ostrość jego występowania zwiększyła się w świetle zastrzonych warunków dotyczących dopuszczalnego poziomu hałasu [19]. Faliste zużycie szyn o falach głębokości 0,05 mm generuje hałas  $5 \div 10$  dBA [20]. Nie jest to więc już obecnie tylko wada powodująca szybsze deformacje nawierzchni i zużycie kół pojazdów szynowych.

Duże nakłady przeznaczane na ustawiczne szlifowanie szyn, mających zużycie faliste i inne wady kontaktowo-zmęczeniowe [21,22] skłaniają do postawienia dyskusyjnego pytania – czy nauka w tym zakresie będzie nadal bezradna, czy też może wreszcie jej nowe odkrycia, zwłaszcza zaś nanotechnologia, doprowadzą do przełomu w tym zakresie.

W ostatnim dziesięcioleciu nastąpił duży postęp w konstrukcji rozjazdów, szczególnie zaś w ich sterowaniu. O złożoności układów sterowania może świadczyć fakt, że ich koszty dorównują kosztowi konstrukcji stalowych i podrozdnic łącznie. W rozjazdach o dużych promieniach toru zwrotnego odnotowuje się jednak przypadki niewłaściwego przylegania iglic do opórek iglicowych. Ze względu na duże znaczenie tych nieprawidłowości trwają badania nad ich usunięciem.

Rozjazdy na liniach z nawierzchnią bezpodsypkową są również układane na analogicznych konstrukcjach (rys. 5).





Rys. 5. Rozjazd mający krzyżownicę z ruchomym dziobem i urządzeniami tłumiącymi hałas ułożony na płycie typu Rheda (fot firma Rheda)

### 3.4. Postęp w konstrukcji podtorza

Największy postęp w budowie podtorza kolejowego nastąpił w ostatnich latach w zakresie zbrojenia gruntu. Przykładem mogą być geosiatki hybrydowe o obliczeniowej trwałości 120 lat. W budowie kolei dużych prędkości w Hiszpanii zastosowano nasypy o wysokości dochodzącej do 50 m, przy czym ich osiadanie, rzędu kilkunastu cm, było często mniejsze niż nasypów znacznie niższych. Zmiany klimatyczne, szczególnie ulewne deszcze, zmusiły geologów francuskich do poszukiwania nowych metod obliczeń nasypów.

W najbliższych latach zajdzie potrzeba opracowania nowych metod projektowania podtorza i podłoża kolejowego oraz wprowadzenia istotnych zmian w diagnozowaniu kolejowych budowli ziemnych. Zmiany w projektowaniu staną się konieczne z powodu postępów w wibroizolacji nawierzchni kolejowej. I tak, wprowadzenie podkładek USP powinno pociągnąć za sobą rezygnację z budowy grubych warstw ochronnych, co wpłynie na zmniejszenie kosztów kruszyw i kosztu ich transportu oraz zmniejszenie wysokości konstrukcji. Zmiany sztywności nawierzchni wymagają też nowych metod projektowania stref przejściowych, gdzie obecnie dochodzi do szybkich deformacji toru.

Postulat naukowego opracowania nowych zasad diagnozowania podtorza wypływa z niewystarczalności operowania jedynie wymiarami granicznymi (np. wymagany minimalny moduł odkształcenia 120 MPa) bez posługiwania się miarami rozproszenia, głównie zaś odchyleniem standardowym. Stan ten nie odpowiada znanej zasadzie, że odkształcenia toru, a więc jego nierówności powstają głównie z powodu zmienności podłoża.

W zakresie wymiarowania typowych przekrojów budowli ziemnych zmieniają się szerokości ław torowiska. Przy wysokościach lub głębokościach większych niż 12 m ławy będą miały szerokość umożliwiającą przejazd pojazdów obsługi technicznej.

## 4. POTRZEBY BADAWCZE W ZAKRESIE EKSPLOATACJI DRÓG KOLEJOWYCH

Eksploatacja infrastruktury kolejowej powinna odpowiadać strategii przedstawionej na rysunku 6. Jest ona podporządkowana paradygmatowi, że droga kolejowa i wszystko, co jest z nią związane powinno zapewniać bezpieczny, regularny i ciągły ruch pociągów.

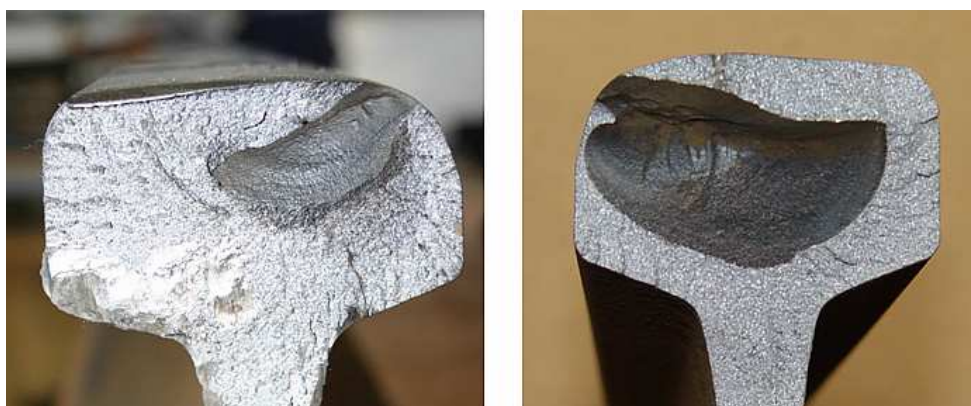




Rys. 6. Strategia w eksploatacji infrastruktury kolejowej (opr. własne)

Największą uwagę w Polsce skupia na sobie utrzymanie nawierzchni kolejowej, a więc tego elementu infrastruktury, który obok podtorza jest najbardziej podatny na degradację. Większość nierozwiązanych problemów w nawierzchni kolejowej dotyczy jej utrzymania, zwłaszcza zaś metod umożliwiających wczesne wykrycie zagrożeń i określenie terminów oraz zakresu koniecznych napraw. Dzieje się tak mimo dużego postępu w technice diagnozowania. Nowe wagony pomiarowe, oprócz wszystkich parametrów geometrycznych, mogą rejestrować stan powierzchni szyn przy prędkości 120 km/h z rozdzielczością 1 mm i przy prędkościach większych z rozdzielczością 2 mm [23]. Problemem jest jednak automatyczna identyfikacja tych obrazów. Próby zastosowania do tego celu sztucznych sieci neuronowych nie doprowadziły jeszcze do wyników mających znaczenie praktyczne.

Badania defektoskopowe, powszechne na każdej sieci kolejowej, wykrywają nawet małe nieciągłości w przekroju szyny (w torach głównych każda szyna w Polsce jest badana defektoskopowo 2 razy w ciągu roku). Nie są jednak znane metody, które pozwoliłyby określić jak będzie przebiegał rozwój każdej wykrytej nieciągłości strukturalnej, tzn. kiedy dana szyna powinna być wymieniona. Wymiany przedwczesne zwiększają zdecydowanie koszty utrzymania nawierzchni, wymiany zbyt późne to groźba pęknięcia szyny. Problem ten jest dodatkowo utrudniony faktem, że do kruchego pęknięcia szyny dochodzi często przy bardzo zróżnicowanej wielkości pęknięcia zmęczeniowego (rys. 7).

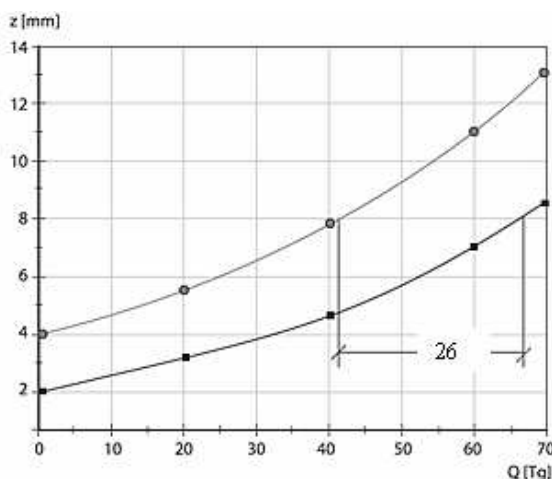


Rys. 7. Zróżnicowana wielkość pęknięcia zmęczeniowego w główkach szyn na tle przełomu kruchego (fot. ze zbiorów IK)

To samo dotyczy wspomnianych już rys. Są one dobrze widoczne dla obchodowego. Pewne zalecenia, jak np. zalecenie wymiany szyn, w których długość rys dochodzi do 30 mm okazały się zawodne wskutek trudnej dostępności torów na liniach dużych prędkości i braku obiektywnych porównań rozwijającej się wady.

Przyjmuje się często, że koszty utrzymania nawierzchni przekraczają 50 % wszystkich kosztów eksploatacyjnych. W celu zmniejszenia tych kosztów proponowane są nowe strategie utrzymania polegające m.in. na wprowadzaniu zapobiegawczego szlifowania szyn zamiast naprawczego, w którym występują już wyraźne wady oraz na łączeniu operacji podbijania torów ze szlifowaniem szyn, co zmniejsza koszty tych robót o około 5 %.

Największe oszczędności w utrzymaniu nawierzchni można uzyskać jednak poprzez wysoką jakość robót. Badania wykazują, że przy bardzo dobrej jakości budowy nawierzchni, w ramach modernizacji linii kolejowej, cykl podbijania podkładów odpowiada obciążeniu 67 Tg, przy jakości przeciętnej zaś skraca się o 26 Tg (rys. 8). Na linii kolejowej o średnim natężeniu przewozów ok. 12 Tg cykl naprawczy skraca się zatem o ponad 2 lata.



Rys. 8. Obciążenie do uzyskania do uzyskania odchyłki 8 mm przy początkowej dokładności 2 i 4 mm (opracowanie własne)

## 5. ZADANIA BADAWCZE W ZWIĘKSZANIU BEZPIECZEŃSTWA EKSPLOATACJI INFRASTRUKTURY

Naruszenie paradygmatu eksploatacji kolei przytoczonego w punkcie 4. pociąga za sobą niejednokrotnie skutki dalekosiężne, a nie tylko zaostrzone działania kontrolne i nowelizację pewnych przepisów, jak to np. miało miejsce po katastrofie kolejowej pod Szczekocinami 3 marca 2012 roku.

Po głośnej katastrofie pod Hadfield w Anglii 17 października 2000 roku [24] zmieniono całkowicie zarząd infrastruktury, spowodowano wymianę 600 km torów w ciągu pół roku i doprowadzono do paradygmatu zawartego w trzech słowach: *mierzyć, przewidywać, zapobiegać*.

Zderzenie dwóch pociągów w Wenzhou 23 lipca 2011 roku spowodowało decyzję o zawieszeniu budowy 5000 km linii dużych prędkości w Chinach [25,26] i podjęcie powtórnych badań systemów sterowania ruchem oraz usprawnień w jego kierowaniu.

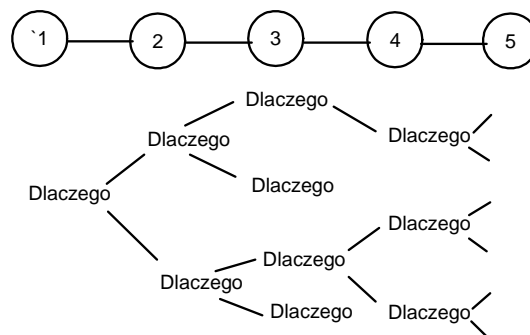
Główny wysiłek w badaniach nad bezpieczeństwem powinien być skupiony nie na wypadkach, lecz na zagrożeniach [27]. Umiejętność rozpoznawania zagrożeń jest w systemie bezpieczeństwa każdej dziedziny zadaniem najważniejszym [28]. Tymczasem zmniejszaniu zagrożeń poświęca się zdecydowanie za mało uwagi. Wyraz ten nie pojawia się w ogóle w niektórych aktach normatywnych dotyczących bezpieczeństwa np. [29].

Wykolejenia pojazdów szynowych na szlakach linii kolejowych, stacjach i bocznicach są zdarzeniami nagłymi, które jednak dość często poprzedzają procesy dające się zauważyć, głównie zaś zły stan toru kolejowego. Wykolejenia zdarzają się na wszystkich kolejach. Ich roczna liczba w Europie wynosi ok. 500 [30]. Dokładne badania wykolejeń wykazują, że są one powodowane nierzadko splotem zdarzeń, koincydencją, czyli nakładaniem się wad w drodze kolejowej lub jednym i drugim. Do tego zbioru przyczyn dochodzi niekiedy zły stan taboru. Mnogość tych przyczyn utrudnia w bardzo dużym stopniu wykrycie rzeczywistych przyczyn wykolejeń, zwłaszcza w przypadku zniszczeń toru i pojazdów, które miały w nich udział.

Podstawowym celem badań wykolejeń, podobnie, jak wszystkich innych wypadków w transporcie, jest znalezienie przyczyn i ustalenie sposobów ich zapobiegania. W badaniach tych nie powinno się ograniczać tylko do określenia przyczyny głównej, lecz pokazać cały ciąg zjawisk lub zdarzeń, które do tej przyczyny doprowadziły. Można się tu posłużyć kilkoma przykładami. W Australii w dniu 15 listopada 2004 roku wykoleił się pociąg pasażerski z wagonami mającymi wychylne nadwozia. Katastrofa nastąpiła w łuku o promieniu 235 m i przechyłce 51 mm. Dopuszczalna prędkość w tym łuku wynosiła 50 km/h dla pociągów bez wychylnych nadwozi i 60 km/h z wychylnymi. Maszynista prowadził pociąg z prędkością 112 km/h, co odpowiadało nieźrównoważonemu przyspieszeniu  $3,86 \text{ m/s}^2$ . Główną przyczyną wykolejenia była oczywista – przekroczenie dopuszczalnej prędkości. Zaskoczeniem może być więc, że na grafie prowadzącym do głównej przyczyny znalazło się kilkadziesiąt łuków i wierzchołków.

Złożony graf przedstawiał również przyczyny katastrofy w Niemczech na stacji Brühl w dniu 3 czerwca 2000 roku, spowodowanej również dużym przekroczeniem prędkości pociągu wjeżdżającego na tę stację. Warto wreszcie wspomnieć, że na grafie katastrofy samolotu Concorde w dniu 25 lipca 2000 roku, spowodowanej przebicciem opony przez opaskę tytanową, zgubioną przez samolot startujący wcześniej, znalazło się 48 pozycji.

Poszukiwanie przyczyn prowadzących do wypadku ułatwiają metody, do których w praktyce kolejowej w Polsce sięga się bardzo rzadko. Jedną z nich jest Metoda 5 *Whys* opracowana w latach 30. ubiegłego wieku przez Kiichiro Toydta. Szersze zastosowanie znalazła ona dopiero 40 lat później w koncernie Toyoty, gdzie uznano ją jako naukowe podejście do poszukiwania źródeł trudności i analizę przyczyn wystąpienia pewnych zjawisk. Metoda ta polega na zadawaniu kolejnych pytań nawiązujących do odpowiedzi na pytania wcześniejsze. Pierwsze pytanie odnosi się do zjawiska, zdarzenia, stanu lub zamierzenia, którego przyczyn staramy się dociec. Liczbę 5 w nazwie metody traktuje się jako umowną, może bowiem wyłonić się potrzeba zadania 6, 7 lub nawet więcej pytań, ale też bywają przypadki, gdy do ustalenia przyczyny pierwotnej wystarczą 3 lub 4 odpowiedzi. W przypadkach bardziej złożonych kolejne pytania mogą tworzyć schemat rozgałęziony (rys. 9).



Nadrzędnym celem podejmowanych prac badawczych nad zagrożeniami powinno być dostarczanie osobom odpowiedzialnym za bezpieczeństwo użytecznej wiedzy, umożliwiającej im podejmowanie trafnych decyzji w granicach ich kompetencji i w każdych warunkach, w jakich przyjdzie im działać. Praca badawcza dotycząca zagrożenia powinna przynieść, zależnie od jej celu, odpowiedź przynajmniej na jedno lub kilka następujących pytań:

1. Na czym polega zagrożenie, jakie są jego wczesne symptomy i stadia rozwoju,
2. Jakie są przyczyny występowania określonego zagrożenia i sprzyjające mu warunki,
3. Jakie są możliwości wczesnego wykrycia zagrożenia i jakimi metodami należy monitorować jego rozwój,
4. Jaką metodą należy określać skalę zagrożenia i jaka to ma być skala (porządkowa, przedziałowa itp.),
5. Jakimi sposobami należy zapobiegać wystąpieniu rozpatrywanego zagrożenia lub – w obiektach technicznych – spowalniać jego rozwój,
6. Jakie były skutki wypadków wywołanych określonym zagrożeniem i jakie mogą być.

Prace te przyniosą pełne korzyści wówczas, gdy będą zawierały naukowo uzasadnione i przynajmniej częściowo zweryfikowane metody prowadzące do zmniejszenia zagrożeń. Skuteczność takich opracowań będzie zależała w dużej mierze od ich zakresu. Wzorcem wyboru zakresów badań nad zagrożeniami może być budowa systemów eksperckich. Wiadomo, że system ekspercki daje zadowalające rozwiązania jedynie w tych przypadkach, w których obejmuje wąski zakres. Klasycznym przykładem może tu być system Willard do prognozowania burz w środkowych stanach USA, a więc nie w całej Ameryce Północnej, nie w całych Stanach Zjednoczonych, lecz tylko w pewnym ograniczonym ich obszarze.

## **6. POSTĘP W ZAKRESIE EKOLOGII NA KOLEJACH**

Największy nacisk w ochronie środowiska w infrastrukturze kolejowej kładzie się obecnie na zmniejszenie hałasu. Nowe rozwiązania w walce z hałasem na kolei zmierzają do budowy niskich, nie przekraczających 2 m, przezroczystych ekranów akustycznych, mających kształt litery C, ustawianych na ławie torowiska i nie przesłaniających widoków podróznym. Ich obliczenia prowadzone MES zakładają trwałość na 30 lat, co odpowiada 58 mln impulsów uderzeń fali powietrznej [31]. Innym rozwiązaniem jest umieszczanie tłumików na szynach oraz na konstrukcjach rozjazdów (por. rys. 5).

Problem hałasu występuje znacznie ostrzej w konstrukcjach bezpodsydkowych niż w podsydkowych. I tak np. na linii Seul-Busan w Korei hałas w tunelu z nawierzchnią bezpodsydkową jest o 5 ÷ 7 dB większy niż w nawierzchni na podsypce [32].

W projektowaniu nowych linii kolejowych i w modernizacji linii istniejących wprowadza się urządzenia ochrony zwierząt, budując dla nich dwupoziomowe przejścia przez tory i ustawiając kolumny odstraszające dźwiękiem.

## **7. ODCZUCIE POTRZEB BADAWCZYCH W ROZWOJU INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ**

Wpływ badań na rozwój infrastruktury zależy w znacznej mierze od polityki państwa, od tego czy jego organy, a zwłaszcza minister właściwy do spraw transportu odczuwa potrzebę wsparcia swych dalekosiężnych decyzji wynikami badań, opiniami oraz ekspertami środowisk naukowych.

Błędna w swych skutkach, strategiczna decyzja o rozdrobnieniu strukturalnym PKP została podjęta bez jakichkolwiek konsultacji z jednostkami badawczymi. Rozdrobnienie to

zmniejszyło sprawność całego organizmu, jakim jest kolej i osłabiło ocenę jej całościowych potrzeb innowacyjnych.

Problematyka badawcza dotycząca infrastruktury, nie tylko kolejowej, powinna uzyskać wyższą rangę w Narodowym Centrum Badań i Rozwoju, w którym liczne konkursy są formułowane głównie pod kątem zastosowań przemysłowych, nie mówiąc już o Narodowym Centrum Nauki, gdzie badaniom, których wyniki mogą znaleźć zastosowanie nie tylko w teorii, odmawia się cech naukowości.

Spotyka się jeszcze opinie, że w dobie globalizacji wszystko można kupić, wszystkie zaś potrzebne opracowania można znaleźć w Eurokodach i w Technicznych Specyfikacjach Interoperacyjności dotyczących kolejnictwa. Infrastruktury nie da się jednak kupić, lecz trzeba ją zbudować i utrzymywać w kraju. Nie wszystkie też międzynarodowe akty normatywne reprezentują wysoki poziom [33].

Doświadczenia z zatrudnianiem firm zagranicznych przy modernizacji infrastruktury kolejowej są nader zróżnicowane. W rozwiniętych krajach europejskich daje się odczuć preferowanie firm narodowych. W Polsce do budowy infrastruktury zbyt łatwo dopuszcza się firmy oferujące niskie koszty wykonania robót, nie żądając od nich solidnych referencji.

Uwagi te prowadzą do wniosku, że rozwój infrastruktury kolejowej będzie zależał nie tylko od przeznaczonych na nią nakładów. Konieczne są bowiem również usprawnienia organizacyjne, przy których warto zasięgać opinii środowisk badawczych.

Decydując się na zlecenie badań trzeba brać pod uwagę ich koszty. Warto przy tym jednak posługiwać się pewnymi porównaniami i tak np. ryzyko poniesienia wydatków na pracę badawczą, równoważnych wartości kilku m toru, która w najgorszym przypadku może nie przynieść spodziewanych efektów, jest z reguły znacznie mniejsze, niż nietrafna decyzja, której można by uniknąć poprzedzając ją dobrą ekspertyzą. Nakłady na duże opracowania dotyczące zmniejszenia zagrożeń w nawierzchni kolejowej są nieporównanie mniejsze niż straty w postaci rozbicia jednego wykolejonego wagonu.

## 8. ZAKOŃCZENIE

Z dotychczasowych doświadczeń wynika, że wiele osiągnięć w infrastrukturze kolejowej wprowadzono dzięki badaniom. Dotyczy to m.in. rozjazdów, wibroizolacji nawierzchni, wzmacniania podtorza, diagnostyki dróg kolejowych itp. Można jednak wskazać również pewne wprowadzone zmiany o ważnym znaczeniu, zwłaszcza w organizacji infrastruktury kolejowej, które były podejmowane bez żadnych konsultacji ze środowiskami naukowymi i które zakończyły się niepowodzeniem. Zastosowanie technik, narzędzi i metod naukowych w rozwiązaniach technicznych, technologicznych i eksploatacyjnych nie stanowi samo przez się gwarancji uzyskania sukcesu, zwiększa natomiast znacznie prawdopodobieństwo uniknięcia innowacji przynoszących skutki niezamierzone.

Wpływ badań na rozwój infrastruktury kolejowej zależy od trafnego wyboru ich kierunków, umiejętności wykonawców i zdolności absorpcyjnych potencjalnych użytkowników.

Doskonalenie współpracy środowisk naukowych z zarządzającymi infrastrukturą kolejową wymaga od obu stron doskonalenia partnerskiej współpracy. Pracownicy jednostek badawczych powinni wzbogacać swą wiedzę o realnych procesach zachodzących w praktyce i odczuwać hierarchię potrzeb, również tych bieżących. Osoby zarządzające infrastrukturą, ponoszące ryzyko podejmowanych przez siebie decyzji o wielkim znaczeniu, mogłyby prawdopodobnie poczuć się bardziej komfortowo, mogąc korzystać przy tym z wyników odpowiednich badań.

**Piśmiennictwo**

- [1] Carmichael G.: A simple, sensible plan for North American transport network. *International Railway Journal* 2011, No. 9, s. 27-30
- [2] Biedrzycka A.: Modernizacja infrastruktury kolejowej w Polsce. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne* 2012, nr 2(41), s. 82-89
- [3] Vantorre B.: The intelligent bogie has arrived. *International Railway Journal* 2008, No. 11, s. 37-38
- [4] Barrow K.: Can collaboration bring a new dimension to rail research? *International Railway Journal* 2011, No. 12, s. 20-21
- [5] Huimin Wu, Wilson N.: Flange climb derailments: causes and prevention. *International Railway Journal* 2012, No. 3, s. 47-48
- [6] Matusiewicz M.: "Biała księga 2011" – europejska polityka transportowa a wyzwania dla polskich przedsiębiorstw. *Infrastruktura Transportu* 2012, nr 1, s. 32-33
- [7] Ekberg A.: Cutting the life-cycle cost of track. *Railway Gazette International* 2010, No. 1, s. 48-52
- [8] Platzer M.: Lessons learned from INNOTRACK. *European Railway Review* 2011, No. 2, s. 48-51
- [9] Go-ahead for Tokyo-Osaka Maglev. *International Railway Journal* 2011, No. 7, p.8
- [10] Nowosińska I.: Problemy wyboru konstrukcji nawierzchni - analiza metodą ANKOT. *Problemy Kolejnictwa* 2012, nr 155
- [11] Feasibility study ballastless track – Report. UIC Infrastructure Commission Civil Engineering Support Group, Version 08/04/2002, March 2002
- [12] UIC Project Under Sleeper Pads. Sumarising Report (4<sup>th</sup> Edition), 26 March 2009
- [13] Witt S.: The influence of Under Sleeper Pads on railway track dynamics. Linköping University. Institute of Technology, 2008
- [14] Loy H.: Under Sleeper Pads in turnouts. *Railway Technical Review* 2009, No. 2, s. 5-38
- [15] Abe N.: Synthetic sleepers. *Japanese Railway Engineering* 2008, No 160, s. 19-21
- [16] Getting a grip. *Railway Gazette International* 2009, No. 5, s. 45-46
- [17] Plastic track installed in Germany. *Railway Gazette International* 2008, No. 10, s. 776
- [18] Ferreira T., Teixeira P.F, Cardoso R.: Effects of incorporating a bituminous subballast layer on the deformation of railway trackbeds. *Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields.* – Tutumluer & Al-Quadi, Taylor & Francis Group, London 2009
- [19] Grassie S.: Rail corrugation, acoustic, roughness, profiles and planning. *European Rail Review*, Vol. 17, 2011 No. 2, s. 52
- [20] Grassie S.: Controlling irregularities in rail to reduce noise. *International Railway Journal* 2010, No. 4
- [21] Schoech W, Frick A.: Optimising rail grinding strategies on the Mambanan Railway *Gazette International* 2012, No. 1, s. 46-50
- [22] Taubert M.: High-speed grinding: flexible and efficient rail maintenance. *European Railway Review*, Vol. 17, 2011 No. 6, s. 11
- [23] Jackson C.: Keeping track of the track. *Railway Gazette International* 2011, No. 5, s. 62-64
- [24] Hadfield derailment investigation. Interim recommendation of the Investigation Board Office of Rail Regulation. August 2002
- [25] Han Qiao: China scales back high-speed rail investment. *International Railway Journal* 2011, No. 12, s. 28-30

- [26] Briginshaw D.: Shockwaves spread out from Wenzhou. *International Railway Journal* 2011, No. 9, s. 4-5
- [27] Bałuch H.: Zagrożenia w nawierzchni kolejowej – model i wynikające z niego wnioski. III Konferencja Naukowo-Techniczna „Projektowanie, budowa i utrzymanie infrastruktury w transporcie szynowym ”INFRASZYN 2010”, Zakopane 2010
- [28] Erhard F., Wolter K.U., Zacher M.: Improvement of track maintenance by continuous monitoring with regularly scheduled high-speeds trains. 10<sup>th</sup> International Conference RAIL ENGINEERING, London 2009
- [29] Rozporządzenie Ministra Transportu z dnia 19 marca 2007 r. w sprawie systemu zarządzania bezpieczeństwem w transporcie kolejowym . Dz.U.2007.60.407
- [30] Ebreo L.: Zero tolerance for derailments. *International Railway Journal* 2010, No. 5, s. 17-18
- [31] Tschada P.: Innovative noise abatement along railway lines. *Rail Technology Review*, 2011, No. 3, s. 37-39
- [32] Choi S. et al.: Interior noise of a Korean high-speed trains in tunnels. *Proceedings of ACOUSTICS*, 2004 November
- [33] Bałuch H.: Odchyłki dopuszczalne według normy europejskiej i wynikające stąd wnioski. *Technika Transportu Szynowego* 2009, nr 6, s. 36-39

## **ROLE OF SCIENCE IN THE DEVELOPMENT OF RAILWAY INFRASTRUCTURE IN POLAND**

### **Summary**

The development of rail infrastructure will be subordinated to the increasing role of railways in passenger and freight services. This is due to the need to save energy and EU Directives. Studies on the railway infrastructure in Poland will be largely concerned with the safety of its operation. The paper contains a description of the objectives of research in the problems of railways, examples of some of the solutions, the main risks and ways to reduce them. The final section presents the necessary conditions to increase the impact of research on improving the construction of railway infrastructure and its maintenance.





Maria BAŁUCH<sup>1</sup>  
Instytut Kolejnictwa

## **SYSTEMY KOMPUTEROWE WSPOMAGAJĄCE ZARZĄDZANIE INFRASTRUKTURĄ KOLEJOWĄ**

### **STRESZCZENIE**

Systemy komputerowe stosowane w budowie i utrzymaniu infrastruktury kolejowej można podzielić na 3 grupy. Pierwsza grupa obejmuje, np. systemy do projektowania linii kolejowych. Drugą grupę tworzą systemy zarządzania. Trzecia grupa obejmuje systemy wspierające eksploatację i modernizacji torów kolejowych. W referacie scharakteryzowano niektóre systemy z drugiej grupy stosowane w Polsce i omówiono szczegółowo dwa z kilku systemów grupy trzeciej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** infrastruktura, drogi kolejowe, systemy wspomaganie decyzji

### **1. WPROWADZENIE**

W budowie i eksploatacji infrastruktury kolejowej są stosowane trzy rodzaje oprogramowania:

- 1) duże systemy wspomagające projektowanie tras, kosztorysowanie i harmonogramowanie robót,
- 2) systemy wspomagające zarządzanie na szczeblu centralnym,
- 3) specjalistyczne systemy wspomaganie eksploatacji i modernizacji dróg kolejowych.

Systemy należące do pierwszej z wymienionych grup, opracowywane przez duże firmy i korporacje międzynarodowe, są ogólnie znane i ich wymienianie i charakteryzowanie w niniejszym artykule wydaje się zbędne. Stąd też następne punkty obejmą opis systemów z dwóch pozostałych grup, ze szczególnym uwzględnieniem grupy trzeciej.

### **2. SYSTEMY WSPOMAGAJĄCE ZARZĄDZANIE NA SZCZEBLU CENTRALNYM**

Liczba stosowanych systemów i mniejszych aplikacji w zarządzaniu infrastrukturą kolejową jest dość znaczna. Jednym z systemów wspomaganie decyzji stosowanych na kilku kolejach jest system pod nazwą Ramsys [1]. Na podstawie wprowadzonych pomiarów oraz danych o obiektach można edytować w nim plany napraw. Pomiary torów są przenoszone z uniwersalnego pojazdu drogowo-szynowego, eksploatowanego na torach kolejowych, tramwajowych oraz w metrze.

---

<sup>1</sup> mbaluch@ikolej.pl

Ostatnio wdrażanym systemem, wykorzystywanym na szczeblu PLK S.A. jest system SILK (System Informacji dla Linii Kolejowych) służący do gromadzenia, udostępniania i analizowania danych zgromadzonych w licznych zasobach PKP PLK S.A. System ten obejmuje cztery moduły [2].

Moduł LRS (Linear Reference System) umożliwia wizualizację sieci linii kolejowych wraz z wszelkimi danymi dotyczącymi obiektów lub zdarzeń występujących na tych liniach. W obecnej wersji dokładność tych map wynosi od 1:5 000 do 1:25 000 i będzie sukcesywnie zwiększana do dokładności odpowiadającej mapom sytuacyjno-wysokościowym w skali 1:500.

Drugi moduł „Dokumentacja” jest przeznaczony do katalogowania, wyszukiwania i analizowania dokumentów zgromadzonych w centralnym repozytorium. Dokumenty mogą być lokalizowane w przestrzeni na tle obszaru, którego dotyczą zawarte w nich ustalenia. Są to dokumenty powstające na różnych etapach inwestycji, jak np. mapy do celów projektowych, ortofotomapy, profile linii, umowy z wykonawcami, czy też protokoły z kontroli i odbiorów robót. Obecnie prowadzone są prace nad rozszerzeniem tego modułu o dokumenty stosowane w procesach eksploatacyjnych i utrzymaniowych.

Kolejnym modułem systemu SILK jest moduł „Nieruchomości”, służący do gromadzenia i analizowania danych dotyczących nieruchomości związanych z liniami kolejowymi. W powiązaniu z modułem LRS możliwa jest lokalizacja na mapie działek i budynków oraz ich opisy obejmujące informacje związane ze stanem prawnym, finansowym itp.

Ostatnim modułem jest „Interaktywna Mapa Linii Kolejowych” dostępna w wewnętrznej sieci intranetowej PLK. Mapa ta umożliwia pozyskiwanie informacji o położeniu obiektów oraz wybranych charakterystyk linii kolejowych, jak np. liczba torów, czy maksymalne prędkości. Stosowanie tego systemu przyspiesza proces decyzyjny i zmniejsza ryzyko związane z podejmowaniem decyzji.

### **3. SPECJALISTYCZNE SYSTEMY WSPOMAGANIA EKSPLOATACJI I MODERNIZACJI DRÓG KOLEJOWYCH**

W Instytucie Kolejnictwa (dawniejsze Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa) opracowano kilka powszechnie stosowanych obecnie systemów wspomaganie decyzji w jednostkach PLK i kilka innych, które oczekują na wdrożenie. Do najbardziej rozpowszechnionych należą:

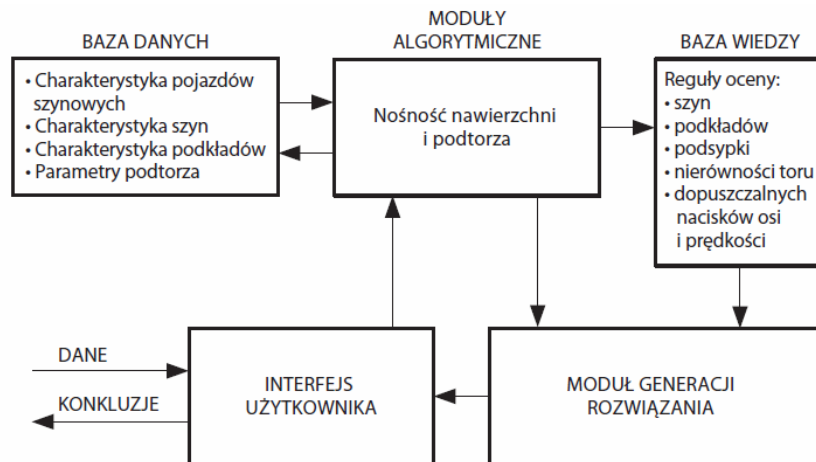
- 1) UNIP (ustalanie dopuszczalnych nacisków osi i maksymalnych prędkości pociągów),
- 2) SOHRON (system określania hierarchii robót nawierzchniowych).

System UNIP jest systemem wspomagającym decyzje dotyczące ustalania dopuszczalnych nacisków osi i maksymalnych prędkości pociągów na liniach kolejowych w Polsce [3]. Konkluzje generowane przez ten system są oparte na danych opisujących warunki eksploatacyjne analizowanego odcinka toru, cechy konstrukcyjne oraz stan utrzymania nawierzchni.

System UNIP jest systemem hybrydowym, tj. obejmuje bazę danych, reguły algorytmiczne dotyczące obliczeń naprężeń w poszczególnych elementach nawierzchni i na powierzchni torowiska oraz bazę wiedzy zawierającą reguły heurystyczne określające dopuszczalną prędkość ze względu na stan elementów konstrukcyjnych nawierzchni i występujące w torze nierówności (rys. 1).

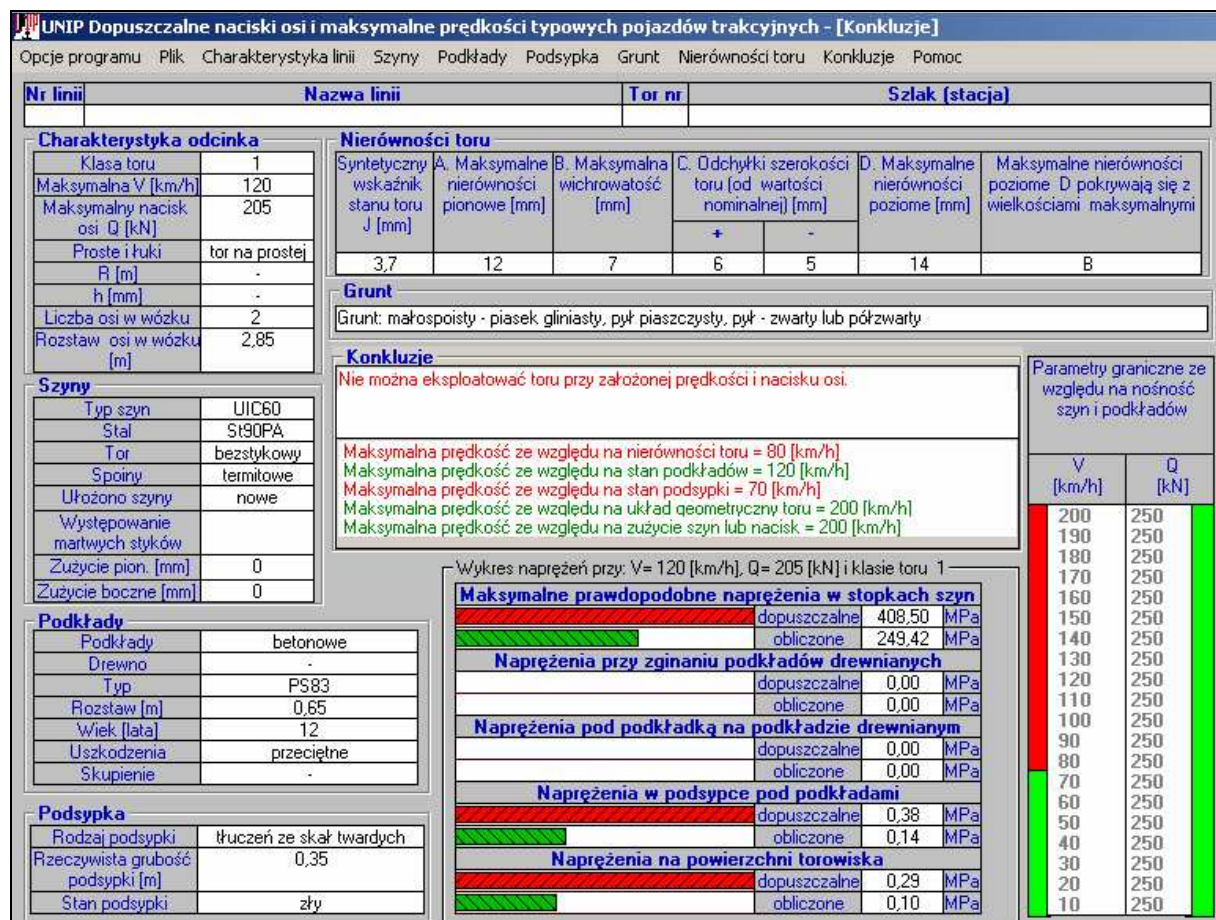
Generowanym rozwiązaniem jest jedna z dwóch możliwych konkluzji:

- 1) tor może być eksploatowany przy założonej prędkości i naciskach osi,
- 2) nie można eksploatować toru przy założonej prędkości i naciskach osi.



Rys. 1. Model systemu UNIP

Ponadto użytkownik uzyskuje informację o możliwości zwiększenia prędkości i nacisku osi, lub konieczności zmniejszenia tych parametrów, wraz z podaniem konkretnych wartości. W uzasadnieniu konkluzji są przedstawiane wykresy naprężeń dopuszczalnych i obliczonych maksymalnych prawdopodobnych naprężeń dla poszczególnych elementów nawierzchni oraz na powierzchni torowiska (rys. 2).



Rys. 2. Ekran konkluzji systemu UNIP

Analizy można prowadzić dla typowych pojazdów szynowych oraz nietypowych wieloosiowych wagonów towarowych typu Norka. System umożliwia również obliczanie obciążeń liniowych.

Celem systemu SOHRON jest:

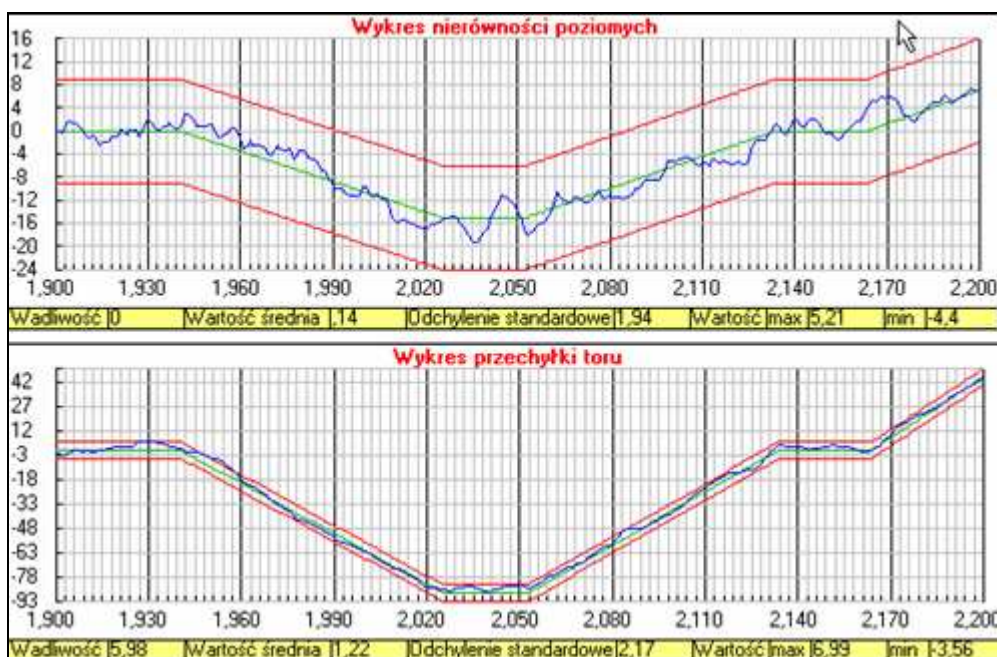
- 1) gromadzenie wyników pomiarów torów wykonywanych uniwersalnymi toromierzami elektronicznymi,
- 2) ocena stanu toru ułatwiająca planowanie miejsc napraw i ich hierarchizację oraz określanie dopuszczalnych prędkości pociągów ze względu na geometryczny stan nawierzchni i obliczane wartości parametrów kinematycznych,
- 3) porównywanie zachodzących zmian w stanie toru, które stanowi podstawowy warunek prowadzenia diagnostyki obrazowo-porównawczej [4],
- 4) syntetyzowanie wyników pomiarów do celów planowania napraw w skali większych rejonów sieci kolejowej.

System SOHRON spełnia też inne funkcje, które mogą się okazać pomocne przy odbiorach robót lub materiałów nawierzchniowych, tj.:

- oblicza podstawowe charakterystyki statystyczne dowolnych wielkości,
- losuje miejsca pomiarów wrywkowych w torze lub numery pobieranych próbek,
- oblicza strzałki krzywizn w różnych konfiguracjach układu geometrycznego toru.

System SOHRON umożliwia cyfrowy zapis mierzonych wielkości, obliczanie ich estymatorów, tj. wartości średniej, odchylenia standardowego i innych wskaźników scharakteryzowanych w pracy [5] oraz sporządzanie wykresów wielkości geometrycznych i kinematycznych.

Ze względu na ramy referatu charakterystykę systemu ograniczono tylko do kilku fragmentów. Na rysunku 3 są przedstawione wykresy nierówności poziomych i przechyłka w łuku o promieniu 830 m, przeznaczonym do prędkości 120 km/h. Przyspieszenie boczne nominalne w tym łuku, obliczone przy tej prędkości, wynosi  $0,75 \text{ m/s}^2$ , a przyrost przyspieszenia na krzywych przejściowych jest równy  $0,28 \text{ m/s}^3$ . Różnica wysokości toków szynowych i nierówności poziomych waha się w granicach około 3 mm. Na podstawie tych dwóch wykresów można by więc stwierdzić, że stan toru jest bardzo dobry.



Rys. 3. Nierówności poziome i różnica wysokości toków szynowych w łuku o promieniu  $R = 830 \text{ m}$

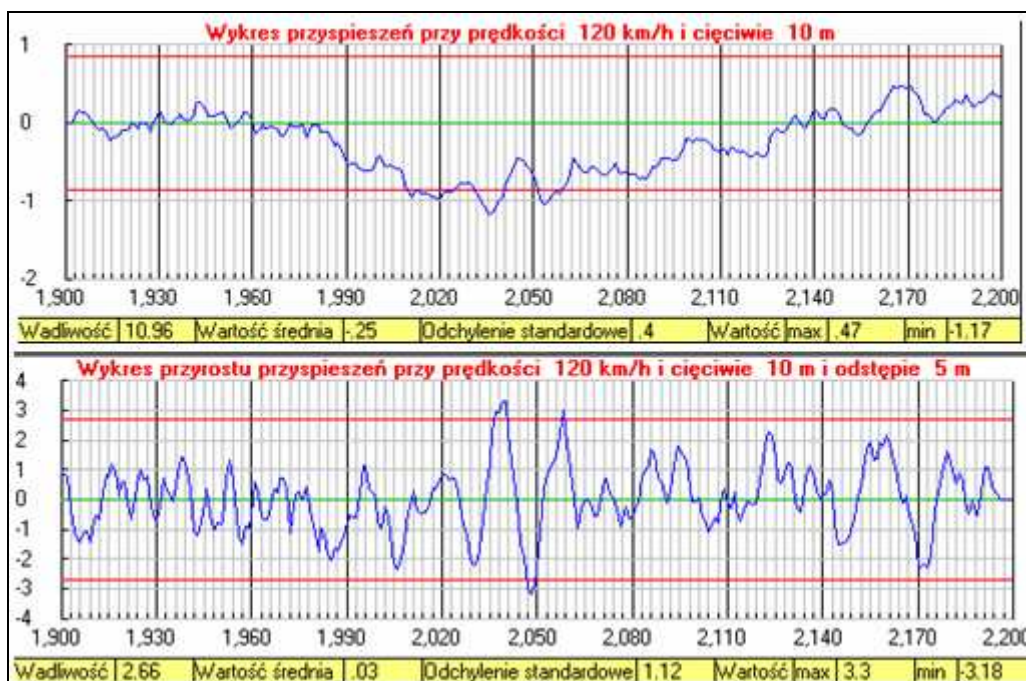


Ocena oparta tylko na nierównościach poziomych i przechyłce zmieni się, gdy przeanalizujemy wykres różnic strzałek sąsiednich przedstawiony na rysunku 4. Ich maksymalna wartość dochodzi do 6 mm.



Rys. 4. Różnica sąsiednich strzałek pomierzonych w łuku o promieniu  $R = 830$  m

Jeszcze pełniejszą ocenę tego odcinka dają wielkości kinematyczne (rys. 5). Niezrównoważone przyspieszenie poziome przekracza na długości prawie 11 % wartość  $0,8 \text{ m/s}^2$ , osiągając  $1,17 \text{ m/s}^2$ . Granice przyrostu przyspieszeń przyjęte jako  $2,7 \text{ m/s}^3$  są tu przekroczone w miejscu największej różnicy strzałek, a jego wartość maksymalna wynosi  $3,3 \text{ m/s}^3$ . W sumie więc, można stwierdzić, że podczas przejazdu pociągu przez ten łuk będą odczuwalne dość silne rzuty wagonu.



Rys. 5. Przyspieszenie boczne i przyrost przyspieszenia w łuku o promieniu  $R = 830$  m

Niezrównoważone przyspieszenie oblicza się przy założeniu, że pojazd jest punktem materialnym. Uproszczenie to jest konieczne ze względu na różnorodność pojazdów szynowych, ich zróżnicowany stan i wiele innych parametrów trudnych do ustalenia. Stosuje się przy tym wzór

$$a = 6,17 \cdot 10^{-4} \frac{V^2 f}{c^2} - 6,54 \cdot 10^{-3} h. \quad (1)$$

Przyrost przyspieszenia wyznacza się z zależności

$$\psi = \frac{3,43 \cdot 10^{-4} V^3}{c^3} (f_i - f_{i+1}) - \frac{V(h_1 - h_{i+1})}{275c}, \quad (2)$$

gdzie:

$V$  - prędkość [km/h],

$c$  - długość bazy pomiaru (cięciwy) [m],

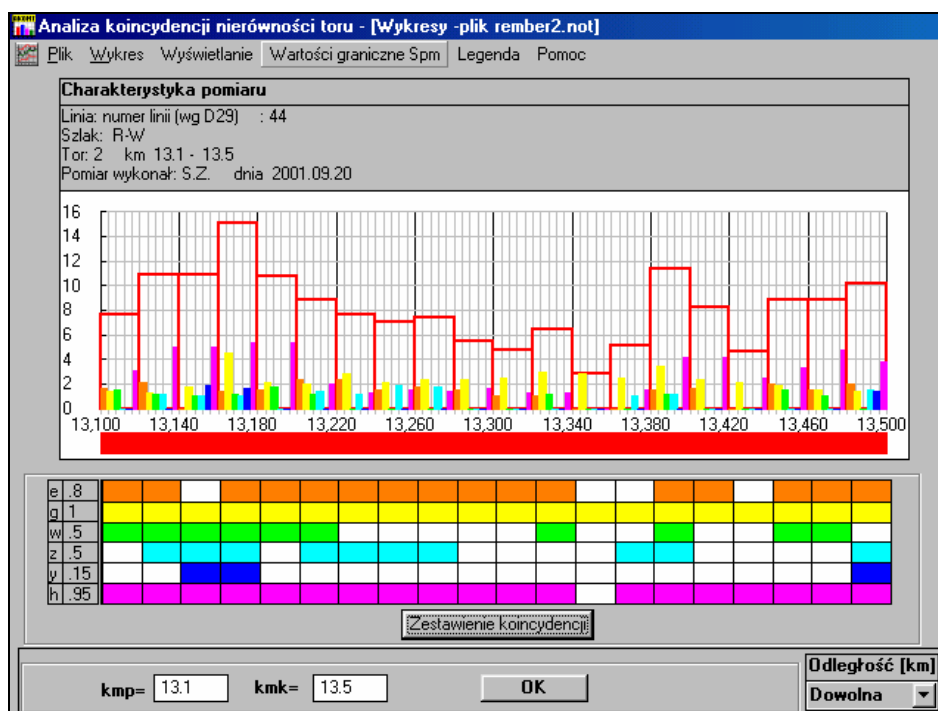
$h$  - różnica wysokości toków szynowych (przechyłka) [mm],

$f$  - strzałki nierówności poziomych [mm].

Wielkością decydującą o przyroście przyspieszenia, które pasażerowie odczuwają w postaci impulsów, jest różnica sąsiednich strzałek. Wpływ różnic przechyłki jest tu znacznie mniejszy. Wyjaśnienia wymaga przyjęta duża wartość graniczna przyrostu przyspieszenia, tj.  $2,7 \text{ m/s}^3$ . Odnosi się ona do cięciwy 10 m i odpowiada w przybliżeniu wartości  $0,6 \text{ m/s}^3$  przyjmowanej przy cięciwie 20 m [6].

Określanie hierarchii robót umożliwia moduł koincydencji, czyli nakładania się przekroczeń odchyłek dopuszczalnych. Analizowany odcinek toru jest dzielony na krótkie mikrosegmenty (np. o długości 20 m) i na każdym z nich są obrazowane tzw. wskaźniki  $Spm$ , tj. maksymalny stosunek największego wychylenia przekraczającego górną lub dolną odchyłkę dopuszczalną do tejże odchyłki.

Koincydencja jest przedstawiana w postaci wykresów słupkowych. Podstawowy ekran koincydencji (rys. 6) składa się z dwóch części. W górnej znajdują się wartości koincydencji w postaci czerwonych słupków<sup>3)</sup>, wewnątrz których mieszczą się mniejsze słupki przedstawiające wartość wskaźników  $Spm$  poszczególnych wielkości geometrycznych.



Rys. 6. Ekran modułu koincydencji

<sup>3)</sup> Dotyczy widoku na ekranie monitora i wydruku barwnego.

Z rysunku tego wynika, że największa wartość koincydencji stopnia szóstego, równa 15, wystąpiła w km 13,160 ÷ 13,180 natomiast w mikrosegmentcie 13,340 ÷ 13,360 była najmniejsza, gdyż spowodowana jedynie przekroczeniem gradientu. Ciągły barwny pas pod oznaczeniem kilometrów wskazuje, że na wszystkich mikrosegmentach zostały przekroczone umowne, tj. akceptowalne ze względu na kolejność robót, wartości wskaźników *Spm*.

Na wykresie dolnym są pokazane wielkości, które składają się na koincydencję w każdym mikrosegmentcie. Pola białe oznaczają, że dana wielkość na określonym mikrosegmentcie mieści się w granicach odchyłek dopuszczalnych, każde natomiast pole barwne oznacza wielkość, która te odchyłki przekroczyła. Liczba pól barwnych jest zatem stopniem koincydencji. Z lewej strony dolnego wykresu widnieją symbole poszczególnych wielkości geometrycznych, a obok nich - stosunek pól, w których dana wielkość przekroczyła odchyłki dopuszczalne do liczby wszystkich pól widocznych na ekranie. W konkretnym przypadku największa wartość tego stosunku, wynosząca 0,95, odnosi się do przechyłki (*h*), najmniejsza zaś 0,15 do nierówności poziomych (*y*).

Chcąc ustalić hierarchię robót należy wybrać małe długości mikrosegmentów i pogrupować roboty na te, które wykonuje podbijarka i te, które trzeba wykonywać w dużym stopniu ręcznie. Sprowadza się to w pierwszym przypadku do ograniczenia koincydencji do czterech wielkości geometrycznych, tj. *w*, *z* *y* i *h* w drugim zaś, do pozostawienia tylko *e* oraz *g*. Warto przy tym pamiętać, że wg badań [7,8] najniekorzystniejszy wpływ na oddziaływania dynamiczne wywiera nakładanie się przekroczeń odchyłek nierówności poziomych i przechyłki.

System SOHRON ma liczne opcje dodatkowe, jak np. syntezę wyników całego analizowanego odcinka, moduł porównań pięciu ostatnich wyników, obliczeń strzałek w różnych kombinacjach układów geometrycznych torów, kalkulator kinematyczny wyznaczający wszystkie parametry kinematyczne łuku nie zdeformowanego itp.

Oba scharakteryzowane systemy umożliwiają racjonalne podejmowanie działań, tj. ewentualne wprowadzenie ograniczenia prędkości, zaplanowanie napraw lub orzeczenie, że są one zbędne. Planowanie napraw jest również celem systemów stosowanych na innych kolejach, jak np. system ORIM, będący bazą danych połączoną z narzędziami wizualizacji stanu infrastruktury, stosowany w Szkocji i USA [9].

#### 4. UWAGI KOŃCOWE

Powodem powstania niektórych systemów i programów są potrzeby eksploatacyjne. Przykładem takiego systemu jest system diagnostyczny pod nazwą Gotcha monitorujący tabor przejeżdżający przez tunel Vereina [10], który opracowano w Szwajcarii po stwierdzeniu, że w tunelu tym, o długości 20 km, występują duże drgania i płaskie miejsca na kołach.

Krajowym przykładem może tu być program KINWAG opracowany na potrzeby szczegółowych analiz jednej z dużych katastrof kolejowych. Jego celem było wyjaśnienie przy jakim zbiorze pomiarów na rozjeździe i w jakich miejscach dochodzi do uderzeń wewnętrznej płaszczyzny koła o odsuniętą iglicę, a więc do zjawiska, które może nawet doprowadzić do wykolejenia [11] oraz system NATAS stosowany w Austrii [12].

#### Piśmiennictwo

- [1] Pace P., Jovanovic S.: Using measurement data for decision support. International Railway Journal 2011, No. 7, s. 37-41
- [2] Świniarska E., Łastowska-Siwiek A.: System Informacji dla Linii Kolejowych narzędziem wspomagającym podejmowanie decyzji w PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Przegląd Komunikacyjny 2011, nr 3/4, s. 46-48

- [3] Bałuch M.: Interpretacja pomiarów i obserwacji nawierzchni kolejowej. Wydawnictwa Politechniki Radomskiej, Radom 2005
- [4] Bałuch H.: Diagnostyka obrazowo-porównawcza jako podstawa planowania napraw toru. Przegląd Kolejowy 1998, nr 4, s. 16-23
- [5] Bałuch H., Bałuch M.: Determinanty prędkości pociągów – układ geometryczny i wady toru. Instytut Kolejnictwa, Warszawa 2010
- [6] Mišin V.V., Zenzinov B.N., Truščina J.R.: Opredelenie parametrov krivych vagonom CNII-4. Put' i Putevoe Choziajstvo 2001, nr 6, s. 5-8
- [7] Bałuch M.: Wpływ koincydencji nierówności poziomych i różnic wysokości toków szynowych na wartość stosunku sił Y/Q. Problemy Kolejnictwa 1999, nr 129, s. 18-36
- [8] Sato J., Yoshikawa C., Hara R.: Study on effect of track irregularities on Karikachi test track. Quarterly Reports of RTRI 1983, No. 3s. 125-126
- [9] Terril V.R., Selig T., Hyslip J.P.: A visual track maintenance management system. 5<sup>th</sup> International Conference RAIL ENGINEERING 2004, London
- [10] Boom P.: Gotcha - an open and modular wayside monitoring solution for optimising asset management and enhancing safety standards. Rail Engineering International 2011, No. 3, s. 7-9
- [11] Bałuch M.: Kinematics simulation as method of determining deviations of switch blade position in turnouts. Archives of Civil Engineering 1998, nr 3, s. 339-351
- [12] Schilder R.: ÖBB masters the art of improving quality and costs. International Railway Journal 2012, No. 3, s. 34-36

## **COMPUTER SYSTEMS SUPPORTING THE MANAGEMENT OF RAILWAY INFRASTRUCTURE**

### **Summary**

Computer systems used in the construction and maintenance of railway infrastructure can be divided into three groups. The first group includes, for example, systems to design railway lines. The second group forms management systems. The third group includes systems to support the operation and modernization of railway tracks. The paper characterizes some of the second group of systems used in Poland and discusses in more detail two of the several systems of the third group.



Krzysztof BERGER<sup>1</sup>  
Janusz TADLA<sup>2</sup>  
Freyssinet Polska Sp. z o.o.

## **INNOWACYJNE TECHNOLOGIE W BUDOWICTWIE**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono nowoczesne technologie w budownictwie na przykładzie działalności firmy Freyssinet Polska. Przedstawiono dostarczane przez firmę technologie oraz przykłady ich zastosowań na zrealizowanych obiektach.

**SŁOWA KLUCZOWE:** nasuwanie podłużne, podwieszanie, sprężanie, grunt zbrojony, technologie budowy

### **1. WSTĘP**

Freyssinet Polska Sp. z o.o. obecne na naszym rynku od kwietnia 1999 roku przedsiębiorstwo ma za sobą ponad pół wieku doświadczenia najstarszej i największej firmy w branży budownictwa specjalistycznego – Freyssinet International, wykonującej specjalistyczne prace na budowach całego świata.

Freyssinet została stworzona w 1943 roku przez wynalazcę betonu sprężonego, wybitnego francuskiego rzemieślnika i architekta – Eugene’a Freyssinet. Skupiła wokół siebie znanych francuskich inżynierów, do których dołączyli między innymi propagator konstrukcji z gruntu zbrojonego Henry Vidal i twórca technologii wzmacniania podłoża gruntowego Luis Menard. Takie zaplecze i wykorzystanie autorskich, nowatorskich rozwiązań tworzy siłę Freyssinet.

Obecnie ta najstarsza i z największym doświadczeniem firma specjalistyczna, stworzona przez wynalazcę betonu sprężonego jest reprezentowana w Polsce przez Freyssinet Polska Sp. z o.o.

W 1999r kiedy powstało Freyssinet Polska schemat organizacyjny firmy to cztery osoby. Od tego czasu firma budowała swoją pozycję na ciągłym rozwoju, wprowadzaniu na rynek nowych technologii i rzetelności wykonywania swoich prac. Już od pierwszych lat swojego istnienia w Polsce, działalność firmy obejmowała takie obszary jak: sprężenie zewnętrzne i wewnętrzne, podwieszenie konstrukcji, łożyska i dylatacje, naprawy konstrukcji oraz geotechnika. Do ważniejszych realizacji w pierwszych latach należą: sprężone i podwieszane wiadukty oraz kładki dla pieszych nad Autostradą A4 na trasie Wrocław-Nogawczyce. Dalej była Autostrada A2 z obwodnicą Poznania, obwodnice Krakowa,

---

<sup>1</sup> kberger @freyssinet.pl

<sup>2</sup> jtadla @freyssinet.pl

Legnicy, Bolesławca, budowa estakady Strzegomskiej we Wrocławiu a także estakady na Węzle Czerniakowska w Warszawie.

Freyssinet Polska wzmocniła za pomocą sprzężenia zewnętrznego NSS, szereg konstrukcji żelbetowych o przekroju kołowym, zbiorniki, silosy, kominy.

Działalność Firmy to także wprowadzanie na rynek nowych, nie stosowanych wcześniej technologii.

Grunt zbrojony z typowymi prefabrykatami w kształcie krzyża można dzisiaj zobaczyć w każdym dużym mieście i na każdej autostradzie.

Radość z sukcesów jest przełożeniem włożonego wysiłku w wykonywaną pracę oraz zdobytego doświadczenia. Na każdym etapie istnienia firmy poziom sukcesów odzwierciedlał pozycję Freyssinet'a w branży budowlanej. Kolejnym kamieniem milowym oraz największym na tamten czas kontraktem dla firmy, było pozyskanie zlecenia na podwieszenie mostu przez Wisłę w Płocku w 2003r.

W 2006 roku Freyssinet Polska podpisała umowę na realizację Nowej Przeprawy przez Wartę w Koninie- Nowy przebieg drogi krajowej nr 25. Podczas tego przedsięwzięcia Freyssinet Polska świadczyła kompleksowe usługi, czyli: projektowanie, nasuwanie, sprzężanie konstrukcji, podwieszenie a także dostawę i montaż łożysk i dylatacji. To co wydawałoby się niemożliwe stawało się budowlaną codziennością. Z tygodnia na tydzień 130 metrów nasuwanej konstrukcji przeobraziło się w pierwszy w Polsce most w technologii extradosed. W trakcie realizacji, Firma współpracowała już w największymi wykonawcami w branży, dzieląc się wzajemnie zdobytą wiedzą, wspólnie rozwiązując drobne potknięcia, ciesząc się z osiągnięcia wspólnego celu jakim było pomyślne i terminowe zakończenie budowy.

W dalszych latach firma pozyskiwała kolejne znaczące kontrakty. m.in. Autostradowa Obwodnica Wrocławia (wliczając most podwieszony przez Odrę); estakada WA-456 w ciągu autostrady A1 w Gliwicach; most MA-161 w ciągu autostrady A4 koło Rzeszowa; południowa obwodnica Gdańska.

Poniżej zaprezentowane zostaną wybrane systemy i realizacje z zastosowaniem nowoczesnych technologii do realizacji konstrukcji budowlanych.

## **2. TECHNOLOGIE - SYSTEMY**

### **2.1 Beton sprzężony**

#### **2.1.1 Długa droga do sukcesu**

Co to jest beton sprzężony i jak pracuje? Gdyby beton sprzężony mógł mówić powiedziałby, że odpoczywa kiedy pracuje a praca to przyjemność. Po prostu w stanie nieobciążonym beton jest ściskany za pomocą kabli sprzężających dopiero pod obciążeniem naprężenia powracają w pobliże 0.

Ten pomysł Freyssinet pozwolił na wyeliminowanie słabości betonu jakim jest jego niedostateczna wytrzymałość na rozciąganie i uniknięcie zarysowania.

W początkach swej kariery Eugene Freyssinet interesował się sprawnym wykonaniem konstrukcji betonowych a w szczególności mostów betonowych jako taniej alternatywy dla mostów stalowych.

Znaczącym problemem były rusztowania wspierające deskowania a w szczególności ich bezpieczne i ekonomiczne wykorzystanie.

Po zabetonowaniu można było je usunąć po wystarczającym stwardnieniu betonu co powodowało trudne w owych czasach do oszacowania ugięcie konstrukcji.

W roku 1909 Eugene Freyssinet zbudował pierwszy element z betonu sprzężonego. Był to ściąg próbnego łuku betonowego. Łuk o rozpiętości 50 metrów i wyniosłości 2 metry

rozpierał się o przyczółki połączone ze sobą ściągiem z betonu sprężonego. Betonowy ściągi ma przekrój 0,5 na 3 metry i był sprężony siłą około 3000 ton. Sprężenie uzyskano za pomocą drutów o średnicy 12mm ułożonych w prostokątnych kanałach kablowych, kotwionych za pomocą płaskich klinów stalowych. Element został sprężony siedmioma kablami umieszczonymi w kanałach o szerokości 120 mm. Kanały kablowe były wypełnione piaskiem i przykryte 3 centymetrową warstwą zaprawy. Przeprowadzone w 1994 roku badania wykazały, że naprężenia w betonie na skutek sprężenia są na poziomie 20MPa, stal sprężająca kabli jest skorodowana w niewielkim stopniu.

Od tego czasu minęło sto lat. Beton sprężony przeszedł kolejne stadia rozwoju i okazał się powszechnie stosowanym rozwiązaniem konstrukcyjnym.

W 1928 roku Eugen Freyssinet opatentował proces sprężania elementów betonowych ciągniami przyczepnościowymi naciąganimi przed wylaniem betonu, mocowanych do deskowania znanych obecnie jako strunobeton.



1939 rok, 20 ton



1959 rok, 330 ton

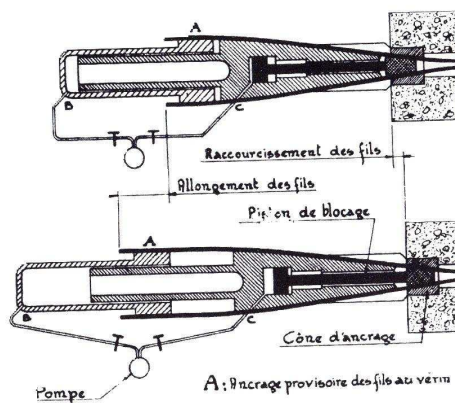


1965 rok, 1000 ton



1991 rok, 1500 ton

Rys.1. Rozwój zakotwień Freyssinet



Rys. 2. a) Siłownik do sprężania kabli wykonanych z drutów równoległych o sile 20 ton, b) widok zakotwień po sprężeniu, c) schemat siłownika do sprężania z blokadą hydrauliczną i zakotwień kabli.

W 1939 roku Freyssinet opatentował proces sprężenia betonu po jego stwardnieniu za pomocą drutów równoległych kotwionych za pomocą zakotwień stożkowych wykonanych z betonu zbrojonego. Sprężanie było wykonywane za pomocą siłowników hydraulicznych. To właśnie wtedy po raz pierwszy użyto w patencie sformułowania beton sprężony (beton precontraint).

### **Zastosowanie i rozwój.**

Od czasu patentów powstało i nadal powstaje wiele wspaniałych konstrukcji z betonu sprężonego. Coraz śmielsze projekty wymagają udoskonalania systemów sprężania.

W kolejnych latach zakotwienia betonowe zastąpiono stalowymi a druty zastąpiono splotami.

Kolejne udoskonalenie to wprowadzenie w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku przez angielską firmę CCL bloków i klinów kotwiących pojedyncze sploty. Ten rodzaj kotwienia jest stosowany obecnie we wszystkich powszechnie znanych systemach do sprężania betonu.

Wraz z rozwojem technologii betonu potrzebne są kable o dużo większej nośności. Obecnie powszechnie stosowane kable mogą mieć wytrzymałość charakterystyczną ponad 1500 ton (rys. 1).

Udoskonalane są metody zabezpieczania kabli przed korozją. Dysponujemy coraz lepszym sprzętem pozwalającym na sprawniejsze wykonanie sprężenia. Doskonalone są materiały jak stal i beton. Zwiększana jest wytrzymałość, a straty reologiczne są coraz mniejsze.

### **2.1.2 Rodzaje sprężenia**

Sprężenie stosowane w konstrukcjach można podzielić na kilka grup. Sprężenie przyczepnościowe i bezpryczepnościowe.

W systemie ciągien z przyczepnością sprężane sploty biegną w kanałach, które trasowane są zgodnie z momentami występującymi w sprężanym elemencie. Po zabetonowaniu i sprężeniu ciągną się iniektowane zaprawą wysokowytrzymałościową, niskoskurczową. Iniekt spełnia rolę ochronną dla wrażliwego na korozję ciągną, jak również uczestniczy w przekazywaniu sił sprężających na konstrukcję.

Sprężenie bezpryczepnościowe polega na zabetonowaniu splotów 7-drutowych wykonanych ze stali o wytrzymałości 1860 MPa i niskiej relaksacji. Sploty umieszczone są fabrycznie w osłonkach z tworzywa sztucznego i pokryte smarem. Osłonki i smar umożliwiają swobodny ruch splotów w betonie. Po stwardnieniu betonu kable naciągane są za pomocą pras hydraulicznych zgodnie z harmonogramem sprężania i w tym stanie trwale kotwione w blokach. Siły z ciągien za pośrednictwem bloków przenoszone są następnie na beton i sprężają go.

Ze względu na przebieg w lub poza betonem sprężenie można podzielić na wewnętrzne i zewnętrzne. Kable sprężenia wewnętrznego przebiegają w kanałach umieszczonych przed betonowaniem w deskowaniu a po zabetonowaniu w betonie (nie są widoczne) i współpracują na całej ich długości. Kable sprężenia zewnętrznego przebiegają poza obrysem betonu i współpracują z betonem jedynie w miejscu kotwienia oraz odgięć – dewiatorów.

## **2.2 System sprężenia zewnętrznego NSS**

System Freyssinet NSS został opracowany we Francji w latach 80 do Polski został wprowadzony w 1995 roku. Wykazał on swe zalety w naprawach konstrukcji o przekroju kolowym, które po przekroczeniu stanów granicznych nośności na rozciągające siły

równoleżnikowe, uległy zarysowaniu. Technologia ta okazała się jedną z najbardziej efektywnych metod napraw tak pod względem technicznym jak i ekonomicznym.

Podstawą Systemu jest zastosowanie kabli - splotów bezprzyczepnościowych w wypełnionej zaczynem cementowym osłonie z twardego polietylenu oraz zakotwień typu X (rys. 3).



Rys. 3. Zakotwienie typu X

Zakotwienie typu X jest następstwem wprowadzenia kabli bezprzyczepnościowych. Pozwala ono na wyeliminowanie kosztownych i trudnych do wykonania pilastrów. Wprowadzenie siły sprężającej odbywa się bezpośrednio do kabla na całym obwodzie bez wywoływania dodatkowych momentów zginających w powłoce.

Istotną zaletą systemu sprężania zewnętrznego jest jego trwałość. Uzyskuje się ją poprzez wielokrotne zabezpieczenie antykorozyjne. W omawianym systemie kable sprężające mają czterostopniowe zabezpieczenie.

Taka konstrukcja jednocześnie chroni kabel przed uszkodzeniami mechanicznymi i zmniejsza docisk na płaszcz przez rozłożenie siły na większą powierzchnię. Konieczność zastosowania zewnętrznych rur osłonowych potwierdziły wieloletnie doświadczenia firmy Freyssinet. Odpowiednio skonstruowane połączenie pomiędzy zakotwieniem, zewnętrzną rurą osłonową i samym kablem zapewnia pełne zabezpieczenie antykorozyjne we wszystkich newralgicznych miejscach kabla .

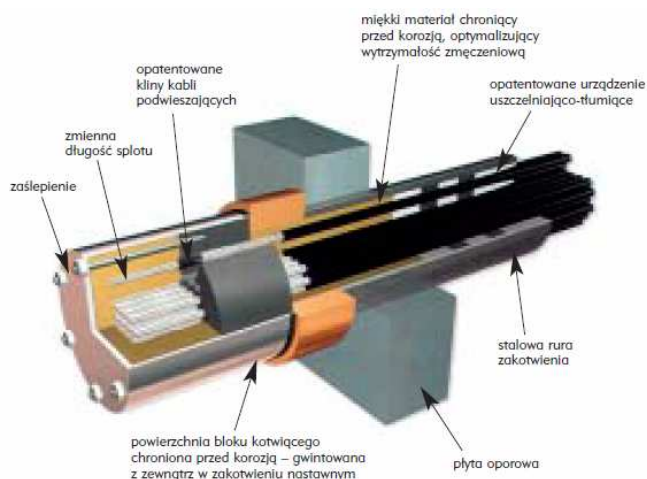
### 2.3 System podwieszenia HD

Bazując na doświadczeniach zdobytych przy doskonaleniu systemów sprężenia Freyssinet opracowała system podwieszenia, którego podstawą były sploty równoległe. Pierwsze zastosowania datowane są na rok 1976 a w Polsce w latach dziewięćdziesiątych. System podwieszenia Freyssinet HD oparty jest na całkowitej niezależności każdego ze splotów, co niesie ze sobą wiele korzyści, między innymi:

- oddzielny montaż i naciąg każdego splotu;
- indywidualna ochrona przeciwkorozyjna;
- możliwość wymiany pojedynczego splotu.

W połączeniu z opatentowaną metodą montażu Isotension umożliwiającą wyrównanie sił naciągu w splotach kabla podwieszenia, dzięki czemu naciąg wszystkich splotów jest identyczny system HD dominuje w konstrukcjach podwieszonych na całym świecie. Dzięki zastosowaniu systemu Isotension możliwe jest wyjątkowo szybkie i precyzyjne wykonanie podwieszenia. Technologia ta umożliwia ciągły monitoring sił w kablach podwieszenia, co pozwala na ścisłą kontrolę wprowadzanego naciągu.

Ostatnio zalety systemu HD compact pozwoliły na pobicie kolejnego rekordu jakim jest most Ruskij we Władywostoku o rozpiętości przęsła 1104m.

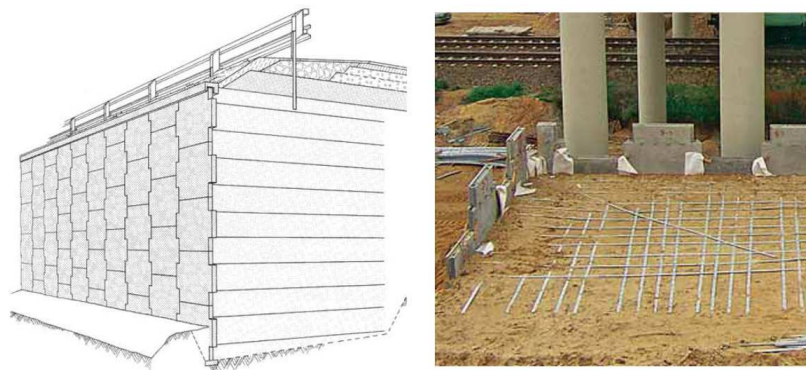


Rys. 4. Zakotwienia czynne systemu podwieszenia HD2000 firmy Freyssinet

## 2.4 Grunt zbrojony Freyssisol

Technologia Freyssisol wprowadzona i rozpropagowana na polskim rynku ponad 12 lat temu przez Freyssinet Polska Sp. z o.o. znajduje dziś wielu zwolenników oraz naśladowców.

Nowoczesną formę konstrukcji z gruntu zbrojonego opatentował w 1963 roku francuski inżynier Henri Vidal. W 1968 roku wykonano pierwsze znaczące prace związane z nową technologią na trasie A 53 we Francji. W roku 1976 zrealizowano 100 000 m<sup>2</sup> konstrukcji z gruntu zbrojonego. Obecnie na świecie buduje się ponad dwa miliony m<sup>2</sup> rocznie. W Polsce Freyssinet wykonało w roku 2011 70 000 m<sup>2</sup>. Do szybkiego wzrostu popularności tego systemu przyczyniła się niezawodność, konkurencyjna cena, a także różnorodność obszarów jego zastosowania.



Rys. 5. Grunt zbrojony - Freyssisol

Model konstrukcji z gruntu zbrojonego opiera się na złożonej idei: stalowe lub poliestrowe pasy zbrojeniowe, umieszczone w regularnych odstępach znajdujących się wewnątrz nasypu stanowią zbrojenie gruntu. Pasy są utrzymywane dzięki siłom tarcia pomiędzy stalą, a materiałem zasyпки (rys. 5). Zbrojony w ten sposób nasyp staje się konstrukcją samonośną. Lekka okładzina składająca się z betonowych elementów prefabrykowanych lub siatek stalowych stanowi wystarczające zabezpieczenie całego bloku zbrojonego oraz nadaje mu estetyczny wygląd zewnętrzny.



Trwałość konstrukcji z gruntu zbrojonego Freyssisol podlega systematycznej kontroli w naturalnych warunkach na ponad 100 obiektach znajdujących się na całym świecie. Zachowanie się pasów stalowych w ośrodku gruntowym jest badane laboratoryjnie od ponad 30 lat i w pełni finansowane przez firmę Freyssinet. Okres użytkowy konstrukcji z gruntu zbrojonego zgodnie z Polską Normą i Rozporządzeniem MTiGM w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie jest zakładany na minimum 100 lat.

## **2.5 Technologie budowy**

### **2.5.1 Budowa mostów metodą nasuwania podłużnego**

Technologia polega na wytwarzaniu pomostu w odcinkach w wytwórni. Po każdym betonowaniu segment jest sukcesywnie wysuwany z wytwórni, zostawiając miejsce na betonowanie kolejnego segmentu w gotowej formie.

Metoda nasuwania podłużnego daje możliwość szybkiej i efektywnej realizacji obiektów mostowych. Jest ona szczególnie ekonomiczna przy długich wieloprzęsłowych wiaduktach. Do najistotniejszych zalet metody należy zaliczyć przede wszystkim brak potrzeby stosowania dużej ilości kosztownych szalunków i rusztowań oraz koncentrację placu budowy w jednym miejscu pomimo znacznej długości obiektu, ograniczając radykalnie rozmiary placu budowy wykorzystywanego do produkcji przęseł. Dodatkowo projektując wytwórnię jako osłoniętą i ogrzewaną, prace można prowadzić również w okresie zimowym. Utrzymywanie tygodniowego cyklu pracy sprzyja efektywnemu wykorzystaniu siły roboczej.

Freyssinet Polska Sp. z o.o. zrealizowała szereg obiektów budowanych metodą nasuwania podłużnego w zakresie opracowania szczegółów technologii oraz realizacji procesu nasuwania (siłowniki, łożyska ślizgowe, awanbeki, pręty mocujące, itp.).

### **2.5.2 Budowy mostów metodą nawisową**

Metoda betonowania nawisowego, zwana również metodą betonowania wspornikowego umożliwia wykonywanie przęseł o dużych rozpiętościach. Technologii ta nie wymaga budowania pośrednich podpór montażowych, czy też rusztowań pod konstrukcją nośną, dzięki czemu jest ona niezależna od charakteru pokonywanej przeszkody. Technologia ta polega na kolejnym dodawaniu segmentów przęsła w kierunku od segmentu głowicowego (startowego) do środka rozpiętości przęsła.

Kluczowym elementem w metodzie nawisowej jest wózek rusztowaniowy zwany trawlerem. Spełnia on rolę rusztowania podtrzymującego deskowania oraz pełni funkcję platformy roboczej. Wózek projektowany jest tak aby zapewniać łatwy przesuw, jego montaż i demontaż nie powinien być skomplikowany.

Firma Freyssinet dostarczyła oraz zapewniła obsługę wózków do betonowania nawisowego m. in. na budowę mostów przez Odrę w Kędzierzynie Koźlu, przez Wisłę w Toruniu czy obecnie przez Wisłokę w Dębicy.

## **2.6 Technologia podnoszenia i przesuwania wielkogabarytowych elementów konstrukcji**

Firma Freyssinet Polska Sp. z o.o. projektuje i realizuje różnego rodzaju prace w zakresie podnoszenia czy przesuwania ciężkich i wielkogabarytowych elementów konstrukcji. Do realizacji tych zagadnień wykorzystywane są siłowniki hydrauliczne, liny trakcyjne czy indywidualnie zaprojektowane konstrukcje pomocnicze (wózki, żurawie itp.).

### 3. PRZYKŁADY REALIZACJI

Poniżej przedstawiono przykłady inwestycji, w których uczestniczyła firma Freyssinet Polska. Obejmują one zarówno obiekty mostowe, geotechniczne jak i kubaturowe.

#### 3.1 Estakada Gądowianka we Wrocławiu

Oddana do eksploatacji w 2003 roku estakada Gądowianka we Wrocławiu przeprowadza Obwodnicę Śródmiejską nad ul. Strzegomską oraz terenami PKP. Obiekt składa się z dwóch nitek (ponad 600m każda) oraz dwóch łącznic.

Ponieważ wiadukt przebiega nad ruchliwą ulicą oraz wiązką 12 torów kolejowych rozrzuconych na znacznej przestrzeni, przyjęto metodę nasuwania podłużnego. Jednak ze względu na geometrię obiekt trzeba było wykonać w technologii mieszanej; przęsła końcowe i łącznice były betonowane na rusztowaniach inwentaryzowanych, metodą przęsła po przęsła, a przęsła części centralnej o stałej krzywiznie wykonano przez nasuwanie (zdj. 6).



Rys. 6. Estakada Gądowianka we Wrocławiu

Największa rozpiętość przęsła w czasie nasuwania wynosiła 33,5m. Masa przemieszczana podłużnie w końcowych operacjach nasuwania przekroczyła znacznie 12 tys. ton w każdej nitce. Dodatkowo nasuwanie odbywało się pod górę początkowo z 4% nachyleniem. Maksymalna siła trakcyjna w czasie nasuwania osiągnęła około 7000 kN.

Technologię nasuwania (konceptję nasuwania, projekt awanbeku, łożysk ślizgowych, belki ciągnącej, formy) oraz podstawowe urządzenia trakcyjne wraz z ich obsługą dostarczyła firma Freyssinet Polska.

Rozwiązania technologiczne zaprojektowane przez Freyssinet zastosowane do wybudowanego obiektu okazały się skuteczne i nie sprawiły żadnych trudności przedsiębiorstwom inżynierskim i specjalistycznym zaangażowanym w realizację.

#### 3.2 Węzeł Czerniakowska w Warszawie

Doświadczenia zdobyte przy budowie wiaduktu nad ulicą Strzegomską we Wrocławiu zostały natychmiast wykorzystane przy budowie wiaduktów CE1 na Węźle Czerniakowska w Warszawie (zdj. 7) gdzie nasuwano estakady o jeszcze większej długości. Nasuwanie odbywało się nad ruchliwym skrzyżowaniem bez najmniejszych zakłóceń w ruchu samochodowym.





Rys. 7. Węzeł Czerniakowska w Warszawie

### 3.3 Most podwieszony przez Wisłę w Płocku

Most przez Wisłę w Płocku jest największym mostem podwieszanym w Polsce, jego długość całkowita wynosi 1 200 m. Na uwagę zasługuje rekordowa rozpiętość przęsła – 375 metrów. Jest to również pierwszy w Polsce most podwieszony o wantach usytuowanych w jednej centralnej płaszczyźnie.



Rys. 8. Most podwieszony przez Wisłę w Płocku – podnoszenie kolejnego segmentu

Podwieszenie zrealizowane było systemie Isotension. Dzięki jego zastosowaniu możliwe było wyjątkowo szybkie i precyzyjne wykonanie podwieszenia. Technologia ta umożliwiła ciągły monitoring sił w kablach podwieszenia w trakcie naciągu. Natomiast na wybranych wantach siła naciągu jest stale monitorowana w ramach zainstalowanego na obiekcie systemu monitoringu.

Most główny składa się z pięciu przęseł: czterech krótszych brzegowych i najdłuższego- nurtowego. Do jego budowy przęsła nurtowego zastosowano metodę wspornikową.

Montaż wspornikowy polegał na dostarczeniu segmentów barką w miejsce wmontowania; z barki segment był przechwytywany przez liny zainstalowane w siłownikach i podnoszony do pozycji ostatecznej (rys. 8). Po scaleniu segmentu z pomostem montowane były liny podtrzymujące konstrukcję pomostu. Łącznie wbudowanych w ten sposób było 16 segmentów o długości 22,5 m i szerokości 27,0 m, masie około 230 ton, sukcesywnie z obu brzegów, do momentu połączenia się pośrodku przęsła.

Na Moście w Płocku Freyssinet Polska zainstalowało także 56 łożysk, w tym dwa rekordowe pod względem nośności – przygotowane na przeniesienie siły 110 MN czyli

11 000 ton (rys. 9). Oznacza to, że można postawić na każdym z nich wieżę Eiffla, która waży 9000 ton. Zastosowane zostały dwa łożyska o takiej nośności, stałe i jednokierunkowo przesuwne. Są to zaprojektowane specjalnie dla tej konstrukcji łożyska soczewkowe.



Rys. 9. Łożysko przewidziane na most w Płocku podczas pomiarów w wytwórni

### 3.4 Most przez cieśninę Dziwnę koło Wolina

Nowy most o długości ponad 1 kilometra powstaje w ciągu drogi krajowej nr 3 na odcinku Świnoujście – Szczecin na obwodnicy Wolina i ma wyeliminować ruch kołowy z miasta i umożliwić go przez cieśninę Dziwną. Charakterystycznym elementem jest sekcja IV mostu - łuk o największej rozpiętości w Polsce.



Rys. 10. Ustrój nośny mostu przez Dźwinę koło Wolina

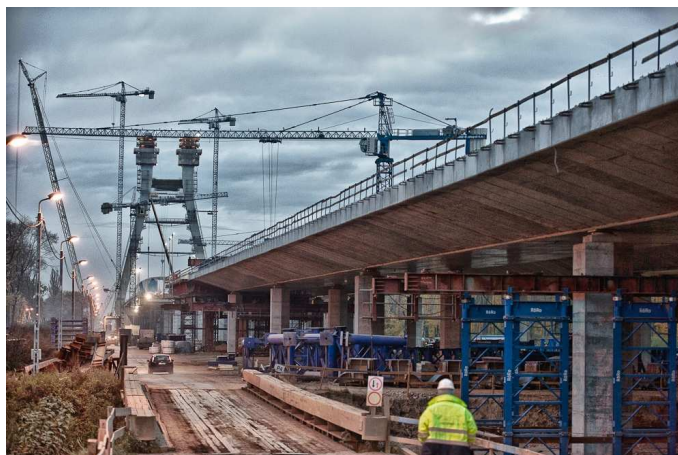
Ustrój nośny mostu ma dwa stalowe łuki skrzynkowe pochylone ku sobie i stężone poprzeczkami rurowymi (rys. 10). Łuki oparto na żelbetowych wezłowiach i łożyskach garnkowych Tetron – Freyssinet o nośności 12 MN. Pomost jest o konstrukcji zespolonego z rusztu ze stali 18G2A i płyty żelbetowej z betonu klasy B40 pracującej w układzie krzyżowym.

### 3.5 Most autostradowy przez Odrę w ciągu AOW

Most MA-21' przez rzeki Odrę i Ślężę w ciągu obwodnicy autostradowej Wrocławia składa się z trzech części: estakady lewobrzeżnej E1 (610m), podwieszonoego mostu głównego

M2 (612m) oraz estakady prawobrzeżnej E3 (520m). Na całej długości przeprawy konstrukcja składa się z dwóch niezależnych nitek. Estakady dojazdowej stanowią równoległe wieloprzęsłowe obiekty o przekroju skrzynkowym natomiast czteroprzęsłowy most główny także składa się z dwóch jezdni, przy czym są one podwieszane do jednego pylonu o wysokości 122m.

Ustroje nośne estakady E3 oraz mostu M2 zostały wykonane metodą nasuwania podłużnego. Ze względu na fakt, że autostrada na odcinku estakady E3 przebiega w krzywej przejściowej oraz łuku poziomym nasuwanie tej konstrukcji odbywało się ze stanowiska wytwórczego zlokalizowanego w połowie długości. W ten sposób do nasunięcia uzyskano cztery odcinki o długości prawie 245m i wadze ok. 8000ton każdy.



Rys. 11. Most MA-21' w ciągu Autostradowej Obwodnicy Wrocławia w trakcie budowy

Interesującym wyzwaniem technicznym była operacja przestawiania stanowiska wytwórczego na potrzebę budowy drugiej nitki bez potrzeby jego rozbierania. Przesuwanie zrealizowano z wykorzystaniem specjalnie zaprojektowanych. Do operacji przepychania wykorzystano dwa siłowniki 100t. Przygotowanie toru suwnego zajęło tydzień natomiast przesuwanie stanowiska o ponad 18m – trzy godziny.

Realizacja ustrojów nośnych metodą nasuwania podłużnego estakady E3 i mostu M2, pozwoliła na organizację całego zaplecza do wytwarzania segmentów w jednej lokalizacji i dzięki temu można było uniknąć potrzeby kolejnego przestawiania zaplecza sprzętowego wraz z wydłużaniem się wykonanej konstrukcji. Dodatkowo w przypadku mostu M2 możliwe było jednoczesne prowadzenie prac przy wykonywaniu ustroju nośnego oraz pylonu (co na przykład w przypadku realizowania mostu podwieszono metodą wspornikową byłoby niemożliwe).

Firma Freyssinet Polska realizowała także na tym moście podwieszenie ustroju nośnego do pylonu o wysokości 122m. System podwieszenia składał się ze 160 lin o łącznej masie około 1500 t.

System podwieszenia (HD2000) został zainstalowany w rekordowo szybkim tempie – prace instalacyjne trwały od końca marca do 31 maja 2011 r. W pracach (rys. 12) uczestniczyło około 80 robotników fizycznych oraz karda inżynierska (rys. 13).

Most Rędziniński we Wrocławiu jest kolejnym obiektem, który został wyposażony w system podwieszenia firmy Freyssinet. Dotychczas wykonane realizacje w Polsce obejmują m.in. most przez rzekę Wisłę w Płocku, most przez rzekę Skawę w Zembrzycach, wiadukt w ciągu ul. Obornicka w Poznaniu, wiadukt drogowy A016 (autostrada A-4, Strzelin), wiadukt drogowy A031 (autostrada A-4, Oława) oraz szereg kładek dla pieszych.





Rys. 12. Most główny obiektu MA-21' – montaż osłony wanty



Fot. 13. Zespół Freyssinet realizujący podwieszenie mostu MA-21' po zakończeniu instalacji

### 3.6 Obiekt WA-458 w ciągu autostrady A1 w Gliwicach

Obiekt WA-458 znajduje się w ciągu nowowybudowanego odcinka autostrady A1 (Sośnica – Maciejów). Wiadukt ma swój początek w Gliwicach a kończy się na terenie Zabrza. Przekracza Drogę Krajową nr 88, ulicę Chorzowską, tory kolejowe, linię tramwajową oraz rzekę Bytomkę.

Pomost opiera się na słupach o rozgałęzionej głowicy. Rozpiętości przęseł wynoszą średnio 45 metrów (maksymalna rozpiętość 52 metry). Nasuwanie wzdłużne każdej nitki wykonane było w trzech odcinkach (estakada E1, estakada E2+E3 oraz część estakady E4) Część estakady E4 w krzywej przejściowej (odcinek około 202 m) został wykonany w deskowaniu tradycyjnym.



Rys. 14. Nasuwanie estakady E2+E3



Rys. 15. Nasuwanie estakady E4 nad torami kolejowymi

Ze względu na wymogi harmonogramu zdecydowano się na jednoczesne nasuwanie z 5 wytwórni. Poszczególne nitki estakady E2+E3 (rys. 14) oraz E4 nasuwane były równocześnie (rys. 15), natomiast estakada E1 nasuwana była nitka po nitce z wykorzystaniem tego samego osprzętu. Taka organizacja budowy wymagała ogromnego zaangażowania, ale w efekcie uzyskano rekordowe tempo wykonania prac. Zgromadzone na budowie siły i środki pozwalały w szczytowym okresie na wybudowanie ponad 160 metrów konstrukcji tygodniowo.

Nasuwanie konstrukcji przy pełnej rozpiętości przęseł pozwoliło ograniczyć ilość konstrukcji tymczasowych, takich jak podpory pośrednie i łożyska ślizgowe. Ze względu na mniejszą liczbę punktów podparcia konstrukcji podczas nasuwania mniejsze było również zaangażowanie siły roboczej przy obsłudze łożysk ślizgowych. Rozwiązanie to wymagało zastosowania dłuższego niż standardowy dziobu montażowego (zastosowano dziób montażowy długości 30 metrów).

Obiekt WA-458 jest rekordzistą, jeżeli chodzi o ciężar nasuwanej konstrukcji oraz długość nasuwania po łuku. Terminowe zakończenie budowy obiektu WA-458 świadczy zarówno o profesjonalizmie wykonawców, jak i o trafności przyjętych założeń projektowych. Wybór poszczególnych rozwiązań takich jak rozpiętość przy nasuwaniu, długość nasuwania, wielkość segmentów czy układ sprzężenia zależy zwykle od wielu czynników ekonomicznych i możliwości technicznych, dlatego do osiągnięcia sukcesu, tak jak w przypadku WA-458, niezbędna jest współpraca pomiędzy inwestorem, wykonawcą i projektantem już od pierwszych etapów procesu budowlanego.

### 3.7 Obiekt MA-161 w ciągu autostrady A4 koło Rzeszowa

Most autostradowy MA-161 znajduje się w ciągu nowowymybudowanego odcinka autostrady A4 koło Rzeszowa między węzłami Rzeszów Centralny – Rzeszów Wschód. Przekracza on rzeki Mrowlę i Wisłok oraz drogę krajową nr 19.

Obie nitki były wykonywane jednocześnie, przy czym nitka północna była wykonywana z niewielkim wyprzedzeniem w stosunku do południowej (rys. 16). Całkowita długość pojedynczej nitki wynosiła 512 m natomiast jej masa 18 479 ton.

Brak podpór tymczasowych pozwolił na wykonanie sprzężenia docelowego ustroju przed wymianą łożysk ślizgowych na docelowe lub w jego trakcie (co wymagało jedynie skoordynowania wstępnych nastawów łożysk z aktualną ilością sprzężonych przęseł).

Podczas realizacji obiektu MA-161 uzyskano rekordową długość nasuwanego przęsła, tj. 60 metrów bez zastosowania podpór tymczasowych. Pozwoliło to na ograniczenie konstrukcji tymczasowych podpór, wymagało jednakże zastosowania większych łożysk tymczasowych o nośności zbliżonej do łożysk docelowych oraz dziobu montażowego o rekordowej długości ponad 40 metrów. Wykonanie ustrojów nośnych obu nitek (każda po 512 m) zajęło około 5,5 miesiąca. Zastosowanie metody nasuwania podłużnego pozwoliło na utrzymanie ciągłego i nieograniczonego ruchu na drodze krajowej nr 19 przebiegającej pod obiektem, w przeciwieństwie do zlokalizowanego nieopodal wiaduktu w ciągu A4 na Drodze Krajowej nr 9, gdzie realizacja obiektu (z belek prefabrykowanych) wymagała okresowego zamknięcia ruchu.



Rys. 16. Most MA-161 - widok blachownicy dziobu montażowego przed dotarciem do kolejnej podpory

### 3.8 Budynki ze stropami sprzężonymi

Freyssinet Polska wykonał sprzężenie stropów w ponad 10 budynkach. Jako przykład można podać budynki Platinum Towers oraz Cosmopolitan Twarda 2/4 w Warszawie.

Budynki mieszkalne Platinum Towers o wysokości 85,0m (rys. 17) zaprojektowano jako konstrukcje o 21 kondygnacjach nadziemnych oraz trzech podziemnych. Rozpiętości podstawowe stropów 8,60m wynikają szczególnie z funkcji usługowych parterów oraz parkingów podziemnych. Budynki o bardzo klarownym układzie konstrukcji postanowiono zrealizować jako monolityczne, żelbetowe ze stropami sprzężonymi o grubości 25cm, przy założeniu betonu klasy B37. Zmiana konstrukcji stropów (z żelbetowych na sprzężone) oraz likwidacja izolacji akustycznej o grubości 10cm dała w sumie oszczędność na wysokości kondygnacji brutto 25cm. Przy 21 kondygnacjach daje to zaoszczędzoną wysokość 525cm, a więc praktycznie prawie dwie kondygnacje dodatkowe.



Sprężenie konstrukcji wykonano przy zastosowaniu splotów bezprzyczepnościowych oraz kotwień pojedynczych Freyssineta (rys. 17). Sprężenie konstrukcji po trzech dniach przyspiesza realizację stropów oraz eliminuje w znacznym stopniu zarysowania skurczowe.



Rys. 17. Platinum Towers w Warszawie.

Budowany obecnie budynek Cosmopolitan Twarda 2/4 w Warszawie będzie składał się z dwóch części. Pierwsza z nich - czterokondygnacyjne podium jest już wybudowane i docelowo przeznaczone będzie na powierzchnie handlowe, usługowe i biurowe. Podium składa się z dwóch odrębnych części. Pomiedzy nimi znajdował się będzie plac pod szklanym dachem w kształcie trapezu. Obecnie trwa budowa drugiej części wieżowca- 160-metrowej wieży, która stanie na podium.

Oprócz sprężanych stropów firma Freyssinet realizuje w budynku Cosmopolitan podwieszenie wspornikowych kondygnacji (rys. 18). Podwieszenie to będzie składało się z trzech par want podtrzymujących wspornikowych fragment budynku co ok. 8 kondygnacji.



Rys. 18. Budynek Cosmopolitan Twarda 2/4 – wizualizacja, oraz budowa podwieszanych kondygnacji

### 3.9 Hala Czyżyny – płyta fundamentowa

Firma Freyssinet Polska współuczestniczyła przy wykonywaniu płyty fundamentowej o grubości 1m i powierzchni około 13 500 m<sup>2</sup> pod halę widowiskowo- sportową Kraków Czyżyny, gdzie zastosowano sprężana systemem bez przyczepności (rys. 19). Płyta podzielona została na 8 działek roboczych, umożliwiających wykonywanie prac na kilku działkach jednocześnie. Płyta fundamentowa została wykonana na 2-óch warstwach folii mających zapewnić lepszy poślizg zmniejszający straty podczas sprężania.





Rys. 19. Fundament hali sportowej w Krakowie Czyżynach - trasowanie kabli fundamentowej.

### 3.10 Przykłady zastosowania systemu NSS w naprawach

System NSS został wykorzystany do wzmocnienia żelbetowego kominia elektrowni o wysokości 150m. Średnica zewnętrzna u podstawy wynosi 15m, a u wylotu 10,6m. Komin służy do odprowadzania spalin z pięciu kotłów spalających węgiel brunatny. Normalna temperatura spalin wynosi ok. 160°C. Zgodnie z ówczesnie obowiązującymi normami trzon zazbrojono jedną warstwą zbrojenia usytuowaną po stronie zewnętrznej przekroju.

Po 20 latach eksploatacji komin zaczął narastać problemy związane z rysami pionowymi, które z roku na rok w sposób lawinowy. W roku 2000 Inwestor zdecydował się na naprawę decydując się na aktywną formę naprawy konstrukcji poprzez zastosowanie sprężenia.

Siły sprężające zostały tak dobrane by naprężenia rozciągające, pochodzące od obciążeń termicznych, nie wywoływały rozciągania w betonie. Sprężenie takie uniemożliwia pojawienie się rys w przyszłości.

Na kominie zamontowano 120 kabli typu NSS z zakotwieniami X w rozstawie od 2 m do 20 cm (przy włocie czopuchów). Każdy kabel został sprężony siłą 195 kN. Komin został wzmocniony w roku 2001 i zachowuje się zgodnie z oczekiwaniami autora ekspertyzy i Inwestora.



Rys. 20. Przykład wzmocnienia konstrukcji żelbetowej systemem NSS.

Zewnętrzne kable bezprzycznościowe wykorzystano także w trakcie pierwszego etapu remontu Hali Stulecia we Wrocławiu (rys. 21), w ramach którego wykonano wzmocnienie pierścienia dolnego kopuły, stanowiący rozciągany element żelbetowy. Wzmocnienie to zrealizowano poprzez sprężenie obwodowe, wprowadzając w ten sposób siłę działającą przeciwnie do sił rozciągających pierścieni kopuły.

Zastosowano kable zewnętrzne bezprzycznościowe (rys. 21), z zakotwieniami systemu C Freyssinet. Wbudowano 9 kabli trój splotowych o długości 218 m każdy. Wprowadzona siła sprężająca wynosiła jedynie 15% nośności charakterystycznej, gdyż wzmocnienie to zaprojektowane było jako profilaktyczne. Całkowita nośność wszystkich wbudowanych cięgien jest porównywalna z nośnością zaprojektowanego ponad 100 lat temu pierścienia kopuły.



Rys. 21. Hala stulecia we Wrocławiu – zastosowane kable wzmacniające oraz widok hali po remoncie

### 3.11 Przyczółki mostowe kształtowane z gruntu zbrojonego Freyssisol

Przyczółki z gruntu zbrojonego mają tę zaletę, że mogą być budowane na podłożu o mniejszej nośności. Taki rodzaj posadowienia wynika z mniejszych i bardziej równomiernych naprężeń przekazywanych z konstrukcji na podłoże gruntowe. Niepotrzebne są ogromne żelbetowe fundamenty, konieczne jest jedynie uzyskanie odpowiedniej nośności gruntu, na którym przyczółek ma być wzniesiony. Betonowa ława fundamentowa (35x15cm), pełniąca funkcję wyrównującą, wymagana jest jedynie tam, gdzie zaprojektowano położenie betonowych płyt okładzinowych.

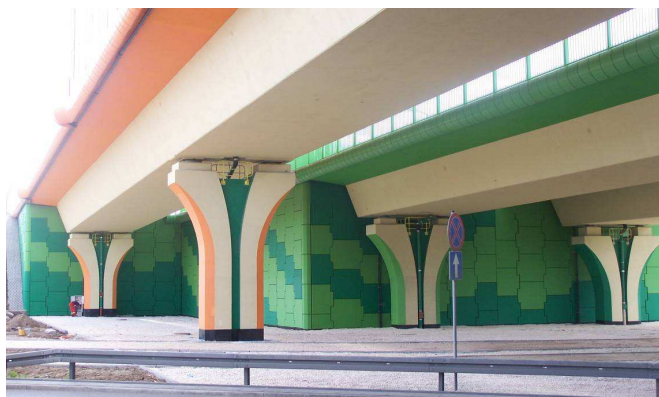


Rys. 22. Stróża – Wiadukt w ciągu „zakopianki”. Przyczółek mieszany ze schowanymi w nasyp z gruntu zbrojonego palami.

Konstrukcje Freyssisol są więc lżejsze od tradycyjnych rozwiązań betonowych na mokro, ponadto nie używa się deskowań i rusztowań, prace monterskie mogą być w całości wykonywane od wewnątrz (bez kolizji z pasem ruchu, w przypadku realizacji w bezpośrednim sąsiedztwie istniejącego ciągu komunikacyjnego).

W kraju, od 1998 roku wykonano już wiele obiektów mostowych w technologii zbrojenia gruntu pasami stalowymi. Do najważniejszych realizacji możemy zaliczyć:

- Autostrada A1 – Rusocin – Nowe Marzy (35 obiektów – inwestycja na ukończeniu),
- Stróża (wiadukt w ciągu trasy S7) (rys. 22),
- Kuźnica Białostocka, mosty przygraniczne,
- Warszawa - Trasa Siekierkowska (węzeł Czerniakowski, Marsa - rys. 23, Miedzeszyński),



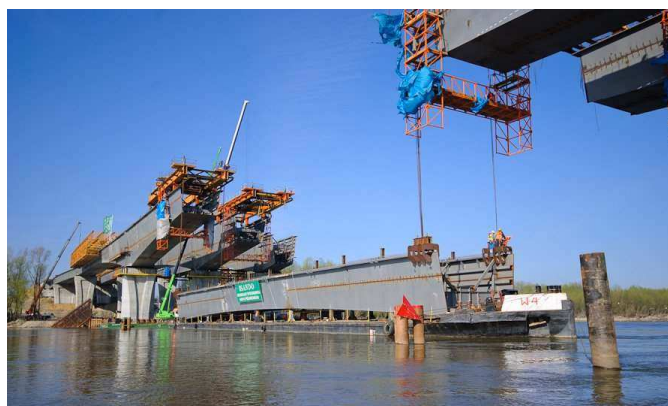
Fot. 23. Warszawa – Węzeł Marsa. Przyczółki mieszane

### 3.12 Podnoszenie segmentów mostu Północnego w Warszawie

Most północny ma długość ok. 795m. Konstrukcyjnie składa się na nią trzy niezależne obiekty inżynierskie (jezdnia północna, jezdnia południowa oraz trasa tramwajowa wraz z ciągiem rowerowo-pieszym).

Wszystkie o konstrukcji stalowej zespolonej, posadowione na palach o średnicy 150 cm. Najdłuższe z 10 przęseł mostu, nurtowe, będzie miało 160 m. Dwie podpory mostu znajdują się w nurcie rzeki, pozostałe są częściowo na terenach zalewowych. Nad podporą nurtową wysokość konstrukcji wynosi ponad 9 m.

Stalowe elementy największych przęseł były dostarczane na budowę transportem rzeczonym. Następnie elementy te były podnoszone przy użyciu siłowników hydraulicznych. Siłowniki zmontowane były na specjalnie zaprojektowanych wysięgnikach przymocowanych do konstrukcji (rys. 24).



Fot. 24. Most Północny w Warszawie – podnoszenie segmenty przęsłem nurtowego

#### **4. PODSUMOWANIE**

Nowoczesne technologie od wielu lat przychodzą z pomocą inwestorom, projektantom oraz wykonawcom konstrukcji inżynierskich. Ogromne doświadczenie zdobyte w dziedzinach konstruowania oraz realizacji budowy najbardziej skomplikowanych zadań inżynierskich w kraju i nie tylko, stawia Freyssinet Polska w ścisłej czołówce firm projektujących i dostarczających nowoczesne rozwiązania dla całego budownictwa infrastrukturalnego, przemysłowego oraz użyteczności publicznej.

Wybór poszczególnych rozwiązań zależy zwykle od wielu czynników ekonomicznych i możliwości technicznych, dlatego do osiągnięcia sukcesu, tak jak w przypadku wielu prezentowanych projektów, niezbędna jest współpraca pomiędzy inwestorem, wykonawcą i projektantem już od pierwszych etapów procesu budowlanego.

Nowatorskie, aczkolwiek sprawdzone na całym świecie rozwiązania technologiczne, silny zespół doświadczonych inżynierów oraz otwartość na rozwiązywanie najtrudniejszych zagadnień inżynierskich to główne atuty firmy.

### **INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN INFRASTRUCTURE CONSTRUCTIONS**

#### **Summary**

A short description of Freyssinet technology and its applications (in bridges and buildings in Poland) are presented.



Jan BIEN<sup>1</sup>  
Politechnika Wrocławska

## **SYSTEMOWE WSPOMAGANIE ZARZĄDZANIA MOSTAMI DROGOWYMI I KOLEJOWYMI**

### **STRESZCZENIE**

W pracy przedstawiono strategię stosowaną w zarządzaniu infrastrukturą mostową, a główną uwagę skupiono na strategii systematycznego monitorowania kondycji obiektów jako podstawy procesów zarządzania. Zaprezentowano podstawowe części składowe oraz funkcje użytkowe współczesnych systemów wspomagających zarządzanie obiektami mostowymi. Na tle syntetycznego przeglądu systemów zarządzania stosowanych w Polsce przedstawiono aktualne tendencje rozwoju kolejnych generacji tego typu narzędzi oraz wynikające z tego kierunki modernizacji użytkowanych systemów.

**SŁOWA KLUCZOWE:** system zarządzania, most, infrastruktura transportowa, eksploatacja, utrzymanie, diagnostyka, system informatyczny, narzędzia ekspertowe

### **1. STRATEGIE ZARZĄDZANIA INFRASTRUKTURĄ MOSTOWĄ**

Skuteczne zarządzanie infrastrukturą mostową ma fundamentalny wpływ na sprawne działanie systemu transportowego każdego kraju. Sieci transportowe mają także olbrzymie znaczenie ponadnarodowe, gdyż warunkują efektywność funkcjonowania i rozwój współpracy międzynarodowej, czego dobrym przykładem jest obszar Unii Europejskiej. W związku z tym obiektom mostowym stawiane są szczególnie wysokie wymagania w zakresie niezawodnego i długotrwałego funkcjonowania, przy zapewnieniu pełnego bezpieczeństwa użytkowników oraz konstrukcji.

Przyjmując ogólną definicję zarządzania jako „celowego działania polegającego na podejmowaniu i realizacji przez organ zarządzający decyzji w odniesieniu do obiektu zarządzania” [1], pod pojęciem system zarządzania obiektami mostowych będzie tu rozumiany „kompleksowy system wspomagający, przy wykorzystaniu technik komputerowych, podejmowanie decyzji w zakresie zarządzania utrzymaniem i eksploatacją obiektów mostowych” [2], [3]. Określenie utrzymanie dotyczy systemowych działań mających na celu zapewnienie właściwego stanu technicznego oraz wymaganej przydatności użytkowej i trwałości obiektu, natomiast pojęcie eksploatacja obejmuje działania techniczne oraz organizacyjne mające na celu obsługę użytkowników obiektu.

Specyficzne potrzeby w zakresie systemowego wspomaganie zarządzania infrastrukturą mostową przy wykorzystaniu technik komputerowych spowodowały

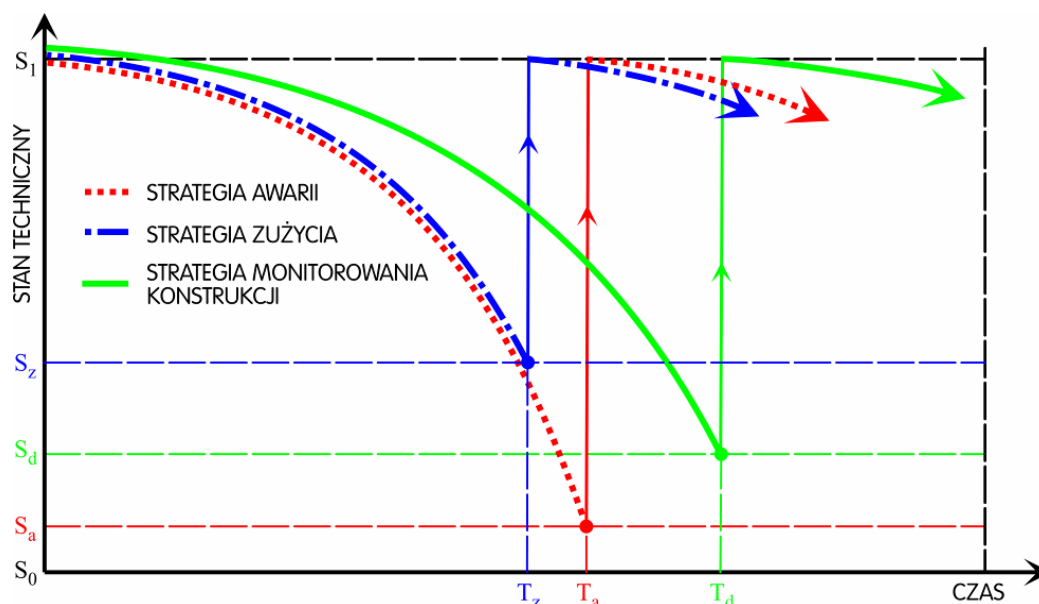
---

<sup>1</sup> jan.bien@pwr.wroc.pl



wyodrębnienie się wyspecjalizowanego obszaru, który można nazwać inżynierią komputerowych systemów wspomagających zarządzanie obiektami mostowymi. Ten stosunkowo nowy obszar wiedzy ma charakter interdyscyplinarny i obejmuje wybrane działy: inżynierii mostowej, mechaniki budowli, wytrzymałości materiałów, badań materiałów i konstrukcji, informatyki, teorii i techniki systemów, inżynierii systemów informacyjnych, inżynierii wiedzy, nauki o zarządzaniu, ekonomii i innych pokrewnych dziedzin. Przy rozwiązywaniu niektórych zagadnień wymaga także sięgania do psychologii (np. dostosowanie sposobu obsługi systemu komputerowego do preferencji i predyspozycji użytkowników) czy dydaktyki (np. organizacja systemu szkoleń użytkowników).

Można wyróżnić trzy podstawowe strategie zarządzania infrastrukturą mostową [2], [3]: strategię awarii, strategię zużycia oraz strategię monitorowania obiektów. Przebiegi procesów degradacji i rehabilitacji obiektów mostowych przy stosowaniu wymienionych wyżej strategii przedstawiono schematycznie na rys. 1, prezentującym zmiany stanu technicznego obiektu w trakcie jego użytkowania. Na osi pionowej przez  $S_1$  oznaczono idealny stan techniczny, w pełni zgodny z założeniami projektowymi, a przez  $S_0$  – stan katastrofy lub bezpośredniego zagrożenia katastrofą.



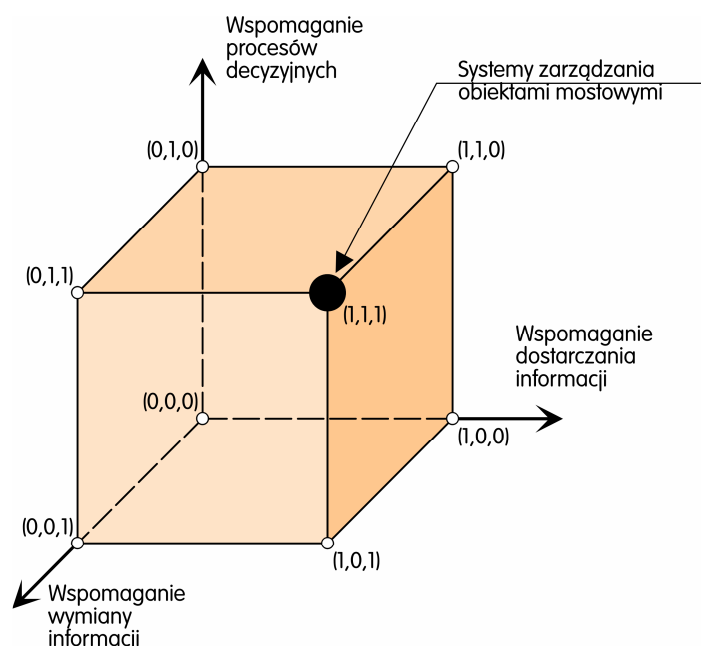
Rys. 1. Schemat przebiegu procesów degradacji i rehabilitacji obiektu mostowego w zależności od strategii gospodarowania [3]

Strategia awarii polega na podejmowaniu działań rehabilitacyjnych dopiero po stwierdzeniu, że uszkodzenia obiektu spowodowały, po okresie użytkowania  $T_a$ , osiągnięcie stanu awaryjnego  $S_a$  stwarzającego bezpośrednie zagrożenie bezpieczeństwa użytkowników lub obiektu. Przy stosowaniu tej strategii nie jest prowadzona systematyczna obserwacja uszkodzeń i ocena kondycji obiektu mostowego oraz nie wykonuje się także prac utrzymaniowych. Podejście takie nie wymaga nakładów finansowych, ale stwarza zagrożenie niespodziewaną awarią lub katastrofą, której skutki są trudne do przewidzenia, między innymi ze względu na długotrwałe zakłócenia w funkcjonowaniu ciągu komunikacyjnego.

Zgodnie ze strategią zużycia działania utrzymaniowe są wykonywane po osiągnięciu przez obiekt mostowy lub jego część założonego okresu użytkowania  $T_z$  (rys. 1). Po przyjętym z góry okresie użytkowania poszczególne części lub cała konstrukcja podlegają wymianie bez identyfikacji ich ewentualnych uszkodzeń i bez oceny ich rzeczywistego stanu  $S_z$  w momencie wymiany.



Zasadniczo odmienne założenia leżą u podstaw strategii systematycznego monitorowania stanu obiektów. Określanie kondycji każdego obiektu, uwzględniające ocenę stanu technicznego oraz przydatności użytkowej, jest w tej strategii dokonywane na podstawie rezultatów cyklicznych działań diagnostycznych obejmujących przeglądy i różnego typu badania, których celem jest wykrycie oraz jakościowa i ilościowa identyfikacja ewentualnych uszkodzeń obiektu. Procesy degradacji są opóźniane, a ich skutki minimalizowane poprzez działania utrzymaniowe. Działania rehabilitacyjne, poprawiające kondycję obiektu, są podejmowane najpóźniej w momencie  $T_d$  osiągnięcia przez stan techniczny obiektu poziomu  $S_d$  uznanego za dopuszczalne minimum. W strategii monitorowania kondycji, dysponując historią zmian stanu obiektu mostowego oraz narzędziami prognostycznymi, możliwa jest optymalizacja zakresu i harmonogramu działań utrzymaniowych, zapewniająca minimalizację kosztów utrzymania w skali całego okresu eksploatacji obiektu.



Rys. 2. Systemy wspomagające zarządzanie obiektami mostowymi w klasyfikacji funkcjonalnej według [4]

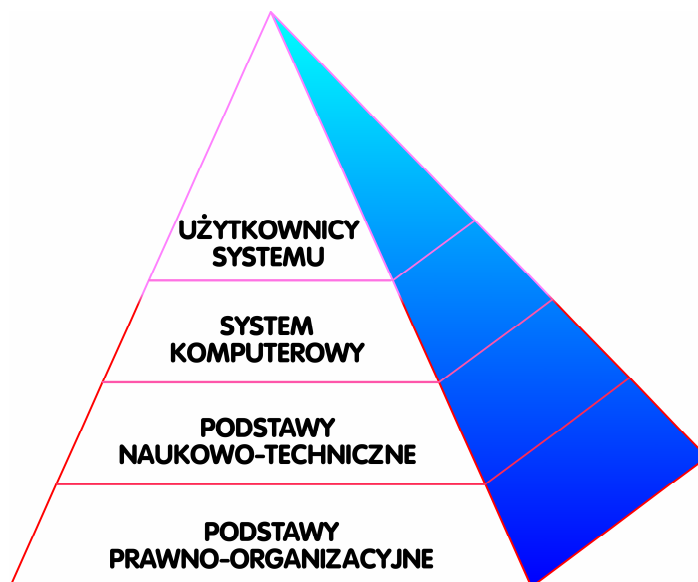
Biorąc pod uwagę podstawowe cechy funkcjonalne systemów zarządzania zgodnie z [4] można przyjąć następujące trzy podstawowe kryteria klasyfikacji:

- wspomaganie dostarczania informacji – polegające na gromadzeniu, wyszukiwaniu, przetwarzaniu i udostępnianiu informacji niezbędnych dla sprawnego działania organizacji;
- wspomaganie procesów decyzyjnych – obejmujące wykorzystywanie informacji w celu zapewnienia inteligentnego wspomaganie podejmowania decyzji, szczególnie w obszarach trudnych lub nieosiągalnych dla sformalizowanego opisu;
- wspomaganie wymiany informacji – umożliwiające współdzielenie i wymianę informacji pomiędzy wieloma użytkownikami.

Komputerowe systemy wspomagające zarządzanie obiektami mostowymi, przy przyjęciu strategii uwarunkowanej systematyczną analizą stanu konstrukcji, powinny w szerokim zakresie realizować wszystkie wymienione wyżej funkcje, co lokuje je wśród najbardziej złożonych systemów (rys. 2), a także systemów najbardziej kosztownych. Mimo tego w większości rozwiniętych gospodarczo krajów rozpatrywana strategia jest powszechnie stosowana, gdyż zapewnia bezpieczeństwo użytkowania obiektów oraz racjonalizację nakładów na ich utrzymanie.

## 2. KOMPONENTY SYSTEMU ZARZĄDZANIA OBIEKTAMI MOSTOWYMI

Można wyróżnić cztery podstawowe komponenty niezbędne dla sprawnego i skutecznego działania systemu zarządzania obiektami mostowymi. Ogólną strukturę takiego wspomaganego komputerowo systemu przedstawiono schematycznie na rys. 3, w postaci piramidy symbolizującej kolejność dołączania poszczególnych komponentów w trakcie procesu tworzenia systemu. Podstawowe części składowe poszczególnych komponentów zaprezentowano na rys. 4.



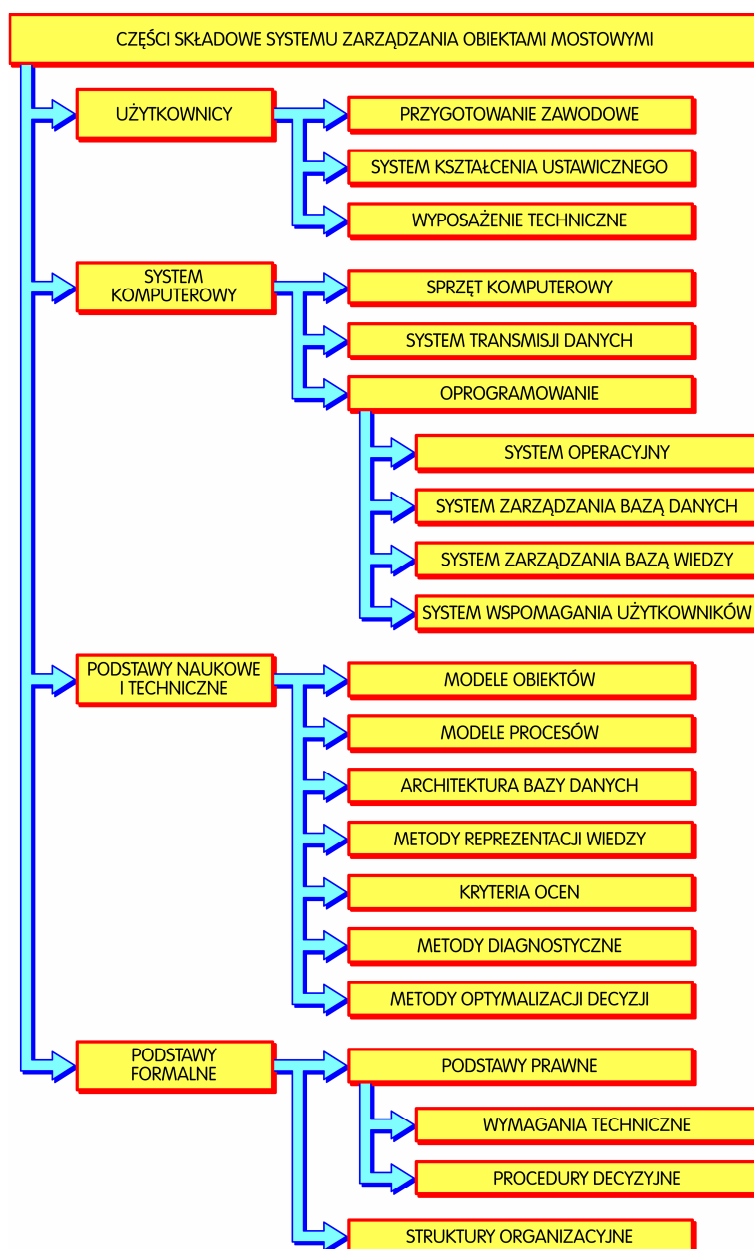
Rys. 3. Główne komponenty kompleksowego systemu zarządzania infrastrukturą mostową

Podstawę funkcjonowania systemu tworzą przepisy prawno-organizacyjne, określające formalne zasady realizacji procesu zarządzania obiektami mostowymi. Spójny zbiór przepisów powinien określać: wymagania techniczne, procedury decyzyjne, organizację służb utrzymaniowo-eksploatacyjnych, system przeglądów i badań obiektów, zakresy odpowiedzialności itp. W naszym kraju podstawowe wymagania w tym zakresie w odniesieniu do obiektów drogowych zawierają przepisy [5–8], a w stosunku do obiektów kolejowych dokumenty [9–11].

Drugim istotnym składnikiem systemu to jego podstawy naukowe i techniczne tworzące merytoryczny fundament formalnego systemu informacyjnego. Każdy duży system wspomagający zarządzanie obiektami mostowymi jest z reguły projektowany indywidualnie, z uwzględnieniem specyficznych potrzeb i możliwości przyszłych użytkowników systemu w zakresie: metod numerycznego modelowania obiektów i procesów, architektury i technologii bazy danych oraz bazy wiedzy, stosowanych technologii diagnostycznych, systemu cyklicznych przeglądów, kryteriów oceny stanu technicznego, przydatności użytkowej oraz estetyki obiektów mostowych, technik utrzymaniowych, kryteriów optymalizacji decyzji itp.

Kolejnym komponentem współczesnych systemów wspomagających zarządzanie infrastrukturą mostową jest system komputerowy, na który składa się sprzęt komputerowy, system wymiany (transmisji) danych oraz oprogramowanie, czyli techniczny system informacyjny. Głównym zadaniem systemu komputerowego jest gromadzenie, przetwarzanie i udostępnianie danych oraz wiedzy na potrzeby procesu zarządzania. Ze względu na duży, z reguły, obszar działania systemu zarządzania, obejmujący często całe terytorium kraju, bardzo istotne znaczenie dla efektywnego zarządzania ma sprawny system wymiany danych pomiędzy poszczególnymi użytkownikami systemu.

Na samym szczycie piramidy pokazanej na rys. 3, prezentującej strukturę systemu wspomagającego zarządzanie, znajdują się użytkownicy systemu. Korzystanie z zaawansowanych technicznie i technologicznie, wspomaganych komputerowo systemów wymaga przygotowania użytkowników, najczęściej w formie specjalistycznych szkoleń. Jednym z głównych celów szkoleń jest zapewnienie spójności i jednolitej interpretacji danych wprowadzanych do systemu oraz danych uzyskiwanych z systemu. Jest to szczególnie istotne w rozległych systemach współużytkowanych przez kilkuset, a nawet przez kilka tysięcy użytkowników.



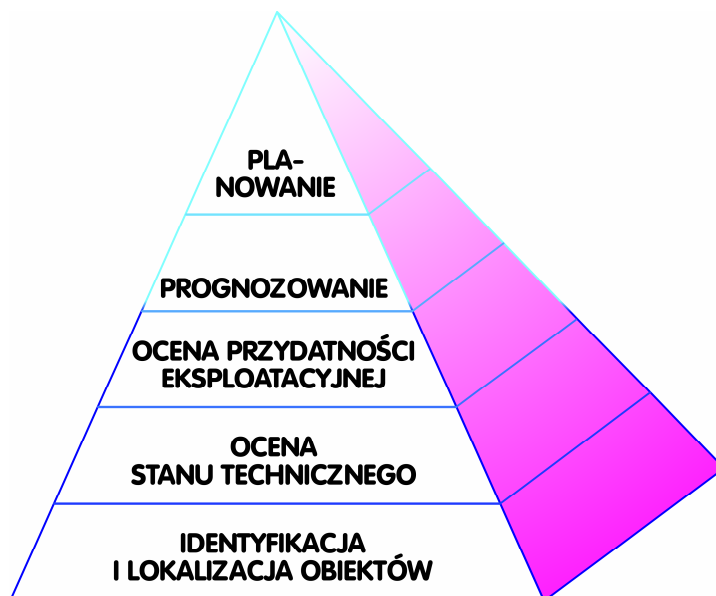
Rys. 4. Podstawowe części składowe kompleksowego systemu wspomagającego zarządzanie obiektami mostowymi [2]

### 3. FUNKCJE UŻYTKOWE SYSTEMU ZARZĄDZANIA OBIEKTAMI MOSTOWYMI

System wspomagający zarządzanie obiektami mostowymi, złożony z przedstawionych wyżej komponentów, powinien zapewniać realizację wszystkich funkcji użytkowych

niezbędnych w procesie gospodarowania infrastrukturą mostową. Podstawowe zadania systemowego wspomaganie obejmują następujące obszary (rys. 5):

- ewidencja obiektów, czyli identyfikacja ich parametrów technicznych i użytkowych, a także lokalizacji w sieci transportowej,
- utrzymanie infrastruktury zapewniające wymaganą zgodności aktualnych wartości parametrów technicznych obiektu z wartościami projektowanymi, kontrolowaną na podstawie ocen stanu technicznego,
- eksploatacja obiektów mostowych jako elementów sieci transportowej, z uwzględnieniem ocen przydatności użytkowej stanowiących miarę zgodności aktualnych wartości parametrów użytkowych obiektu z wymaganymi wartościami tych parametrów,
- planowanie działań utrzymaniowych i eksploatacyjnych, z uwzględnieniem prognozowanych zmian związanych z procesami degradacji i rehabilitacji.



Rys. 5. Podstawowe zadania realizowane przez funkcje użytkowe systemu zarządzania infrastrukturą mostową

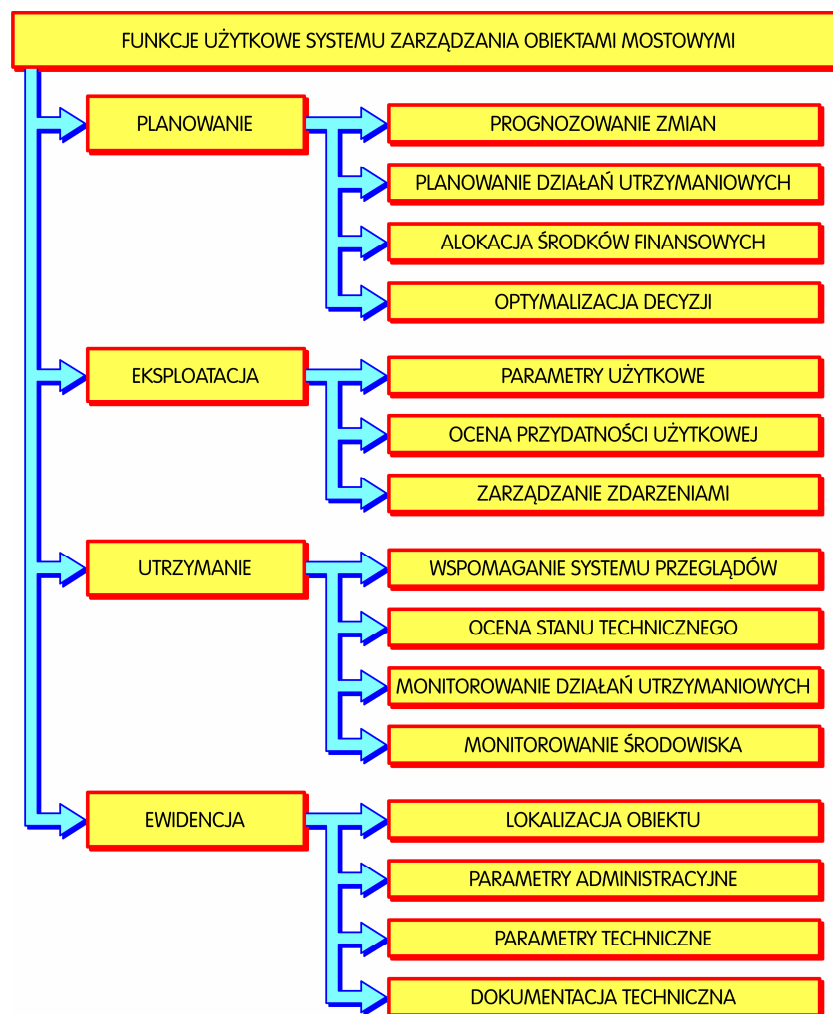
Na rysunku 6 zaprezentowano podstawowe funkcje użytkowe implementowane w wspomaganych komputerowo systemach zarządzania infrastrukturą mostową, z podaniem obszarów obsługiwanych przez poszczególne funkcje.

Zadaniem części ewidencyjnej systemu jest zdefiniowanie przedmiotu zarządzania, czyli dostarczenie niezbędnych informacji o obiektach mostowych objętych systemem. Informacje ewidencyjne obejmują z reguły: identyfikację obiektu (rodzaj obiektu, kod identyfikacyjny itp.), lokalizację w powiązaniu z układem komunikacyjnym oraz układem geograficznym, parametry administracyjne (zarządzający) oraz parametry techniczne (geometria konstrukcji, cechy materiałów, wyposażenie, urządzenia obce itp.).

Funkcja użytkowa związana z utrzymaniem wspomaga system przeglądów obiektów, szczególnie w zakresie gromadzenia i dokumentowania informacji o uszkodzeniach, a także w dziedzinie ocen stanu technicznego. Z reguły funkcja ta wspomaga też wstępne określanie niezbędnego zakresu i rodzaju działań utrzymaniowych wraz z oszacowaniem kosztów. Ważnym obszarem związanym z utrzymaniem obiektów jest też monitorowanie środowiska, w jakim znajduje się obiekt (warunki klimatyczne, agresywność itp.) oraz śledzenie wpływu użytkowania obiektów na otoczenie (hałas, zanieczyszczenia itp.).

Funkcja odpowiedzialna za wspomaganie zarządzania eksploatacją obiektów gromadzi, przetwarza i udostępnia informacje na temat parametrów użytkowych obiektu, takich jak: nośność, skrajnie ruchu na obiekcie i pod nim, dopuszczalne prędkości ruchu taboru itp. Funkcja ta wspomaga także najczęściej ocenę przydatności użytkowej. W obszarze działania funkcji znajduje się również zarządzanie wszelkimi zdarzeniami związanymi z obiektem, jak np. transporty specjalne (ponadnormatywne), wypadki komunikacyjne, awarie.

Część systemu związana z planowaniem obejmuje w większości systemów zagadnienia prognozowania zmian stanu technicznego i przydatności użytkowej, wykorzystywane następnie do optymalizacji decyzji dotyczących planowania działań utrzymaniowych i związanej z tym alokacji środków finansowych.

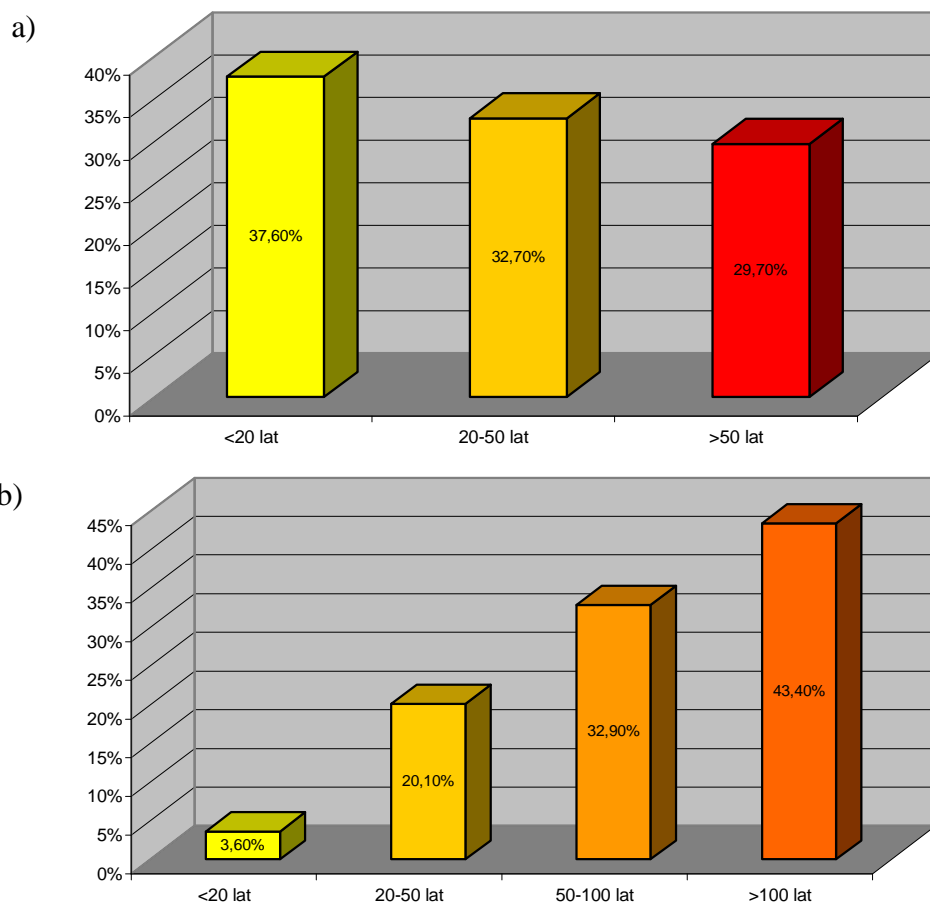


Rys. 6. Podstawowe funkcje użytkowe systemów wspomagających zarządzanie obiektami mostowymi

#### 4. ZARZĄDZANIE OBIEKTAMI MOSTOWYMI W POLSCE

Obiekty mostowe w Polsce są elementami krajowej oraz europejskiej sieci transportowej. Łączna długość sieci drogowej w krajach należących do Unii Europejskiej wynosi ponad 4 900 000 km, a linii kolejowych – prawie 215 000 km. Udział Polski jest znaczący i obejmuje ponad 380 000 km sieci drogowej oraz 19 300 km linii kolejowych, czyli odpowiednio około 8% oraz ponad 9% długości rozpatrywanych systemów transportowych wszystkich krajów należących do Unii.

W eksploatacji znajduje się ponad 30 000 drogowych obiektów mostowych i tuneli oraz ponad 8 000 kolejowych obiektów mostowych (łącznie z przepustami – ponad 33 000). Wiek obiektów jest bardzo zróżnicowany, co pokazano w zestawieniu na rys. 7. Drogowe obiekty mostowe są stosunkowo młode: 37,6% ogólnej liczby obiektów liczy poniżej 20 lat, 32,7% obiektów jest w wieku od 20 do 50 lat, a 29,7% obiektów jest użytkowanych ponad 50 lat. Odmienne przedstawia się sytuacja w zakresie kolejowej infrastruktury mostowej – najstarsze użytkowane do dzisiaj obiekty powstały na początku XIX wieku, a intensywny rozwój sieci kolejowej rozpoczął się już na przełomie lat 30. i 40. tego wieku. Stąd blisko 45% obiektów jest w wieku powyżej 100 lat, a jedynie około 3,6% konstrukcji ma za sobą poniżej 20 lat użytkowania.



Rys. 7. Wiek obiektów mostowych eksploatowanych w Polsce: a) obiekty drogowe, b) obiekty kolejowe [3]

Zarządzanie siecią drogową, w tym obiektami mostowymi, jest zdecentralizowane zgodnie z administracyjnym podziałem na pięć kategorii dróg: krajowe, wojewódzkie, powiatowe, gminne oraz miejskie. Efektem tego jest bardzo duża liczba jednostek zarządzających drogową siecią transportową, których łączna liczba przekracza 2 800. Zarządzanie siecią kolejową jest w sposób scentralizowany prowadzone przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

W ciągu ostatnich kilkunastu lat w Polsce opracowano i wdrożono kilka systemów wspomagających zarządzanie infrastrukturą mostową w zakresie gromadzenia, przetwarzania i udostępniania informacji wspomagających procesy decyzyjne. Należy tu wymienić przede wszystkim:

- System Gospodarki Mostowej „SGM” [12–15], wspomagający zarządzanie obiektami mostowymi dróg krajowych oraz znacznej części dróg niższych kategorii (rys. 8a),

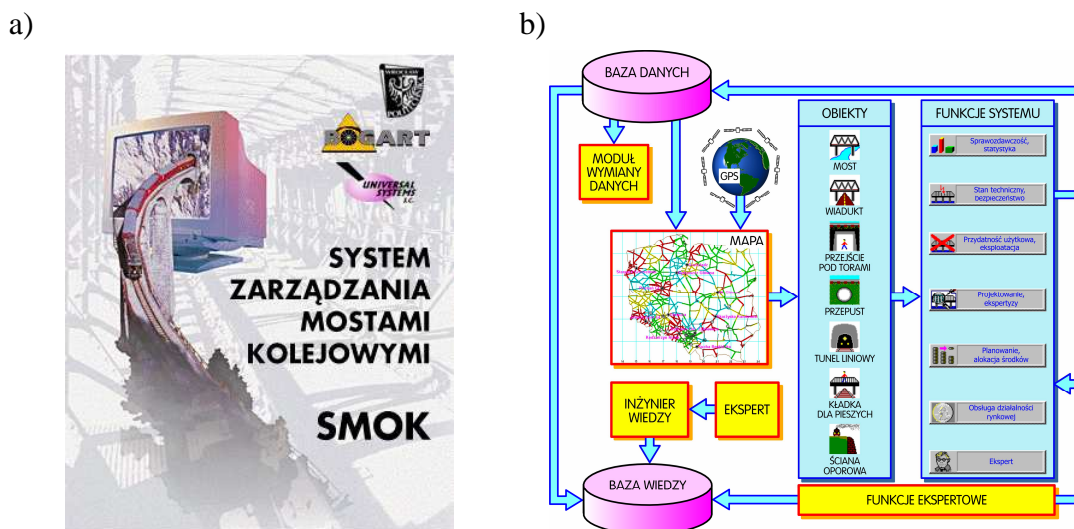


- System Zarządzania Obiektami Komunikacyjnymi „SZOK” [16], wykorzystywany przez niektóre jednostki zarządzające drogami powiatowymi, gminnymi i miejskimi (rys. 8b).
- System Zarządzania Mostami Kolejowymi „SMOK” [17–19], opracowany i wdrożony na potrzeby zarządzania kolejowymi obiektami inżynieryjnymi w całym kraju (rys. 9).



Rys. 8. Ekran tytułowy systemów wspomagających zarządzanie drogowymi obiektami mostowymi:  
a) System Gospodarki Mostowej „SGM”, b) System Zarządzania Obiektami Komunikacyjnymi „SZOK”

Wymienione wyżej systemy zostały opracowane i wdrożone w podstawowej wersji w drugiej połowie lat 90. dwudziestego wieku. Nowe lub zmodernizowane wersje poszczególnych systemów były przygotowywane i wprowadzane do użytku na początku obecnego stulecia.



Rys. 9. System Zarządzania Mostami Kolejowymi „SMOK”: a) ekran tytułowy, b) schemat funkcjonalny

W okresie ostatnich 15-20, jaki minął od powstania koncepcji i pierwszych projektów omawianych systemów, nastąpił kolosalny rozwój technologii informatycznych, sprzętu komputerowego, metod diagnostycznych i innych technik wykorzystywanych w systemowym zarządzaniu obiektami mostowymi. Sytuacja ta wskazuje na konieczność gruntownej modernizacji istniejących systemów lub opracowania i wdrożenia nowych rozwiązań dostosowanych do aktualnych potrzeb i możliwości.



## 5. KIERUNKI ROZWOJU ZARZĄDZANIA INFRASTRUKTURĄ MOSTOWĄ

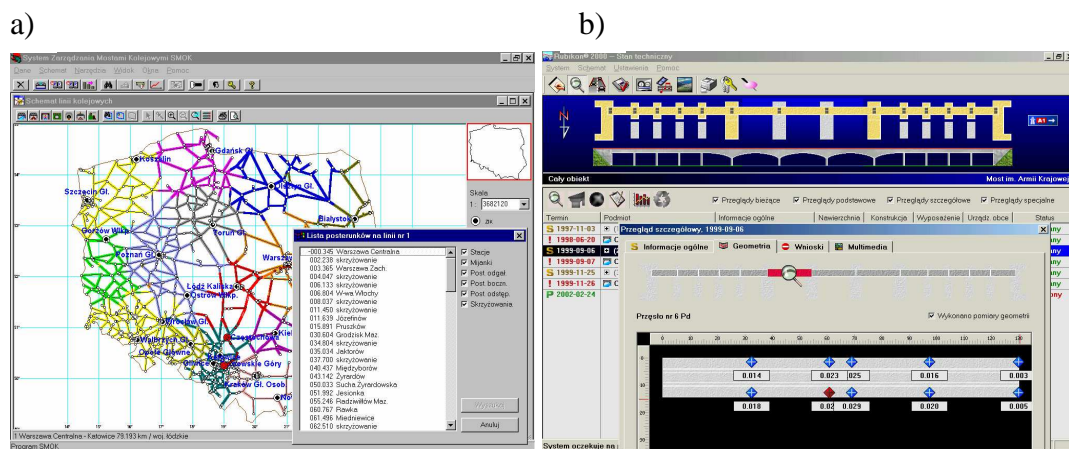
### 5.1. Główne obszary prac naukowo-badawczych

Zagadnienia związane z zarządzaniem infrastrukturą mostową stanowią przedmiot wielu prac naukowo-badawczych oraz rozwojowych prowadzonych w większości rozwiniętych gospodarczo krajów, a także są tematem współpracy na forum międzynarodowym (np. projekty badawcze „Sustainable Bridges” [20], [21], „SAMCO” [22], „Improving Assessment, Optimisation of Maintenance, and Development of Database for Masonry Arch Bridges”, „Smart Structures”, „COST”). Ukierunkowaniem prac związanych z rozwojem systemów zarządzania zajmują się wyspecjalizowane komitety organizacji o znaczeniu międzynarodowym:

- International Association for Bridge Maintenance and Safety (IABMAS) – „Bridge Management Committee”,
- Transportation Research Board (TRC) – „Committee on Bridge Management Systems”,
- American Society of Civil Engineers (ASCE) – „Bridge Management, Inspection and Rehabilitation Committee”.
- Główne tematy prowadzonych prac badawczych, charakteryzujące równocześnie tendencje rozwojowe systemów zarządzania obiektami mostowymi, obejmują między innymi:
  - rozwój zastosowań grafiki komputerowej w formie map cyfrowych, wizualizacji konstrukcji, graficznej prezentacji danych itp.,
  - zaawansowane techniki diagnostyczne z identyfikacją mechanizmów i procesów degradacji, a także klasyfikacją uszkodzeń obiektów mostowych,
  - technologie tworzenia baz wiedzy i narzędzi ekspertowych wspomagających procesy decyzyjne w zarządzaniu,
  - budowę kompleksowych modeli życia obiektów mostowych uwzględniających aspekty techniczne, eksploatacyjne oraz ekonomiczne w całym okresie użytkowania obiektu.

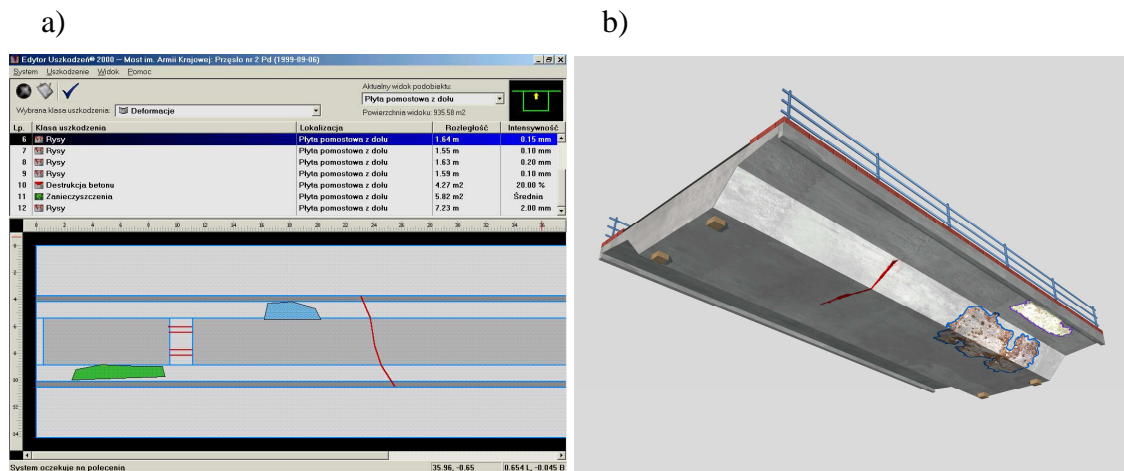
### 5.2. Grafika komputerowa

Rozwój technik komputerowych stwarza coraz szersze możliwości wykorzystywania narzędzi graficznych w systemach zarządzania infrastrukturą mostową [2], [23], [24]. Przykłady takich rozwiązań zastosowane w krajowych systemach zaprezentowano na rys. 10.



Rys. 10. Grafika komputerowa w systemach zarządzania: a) numeryczna mapa linii kolejowych w systemie „SMOK”, b) schemat obiektu mostowego w systemie „RUBIKON” [2]

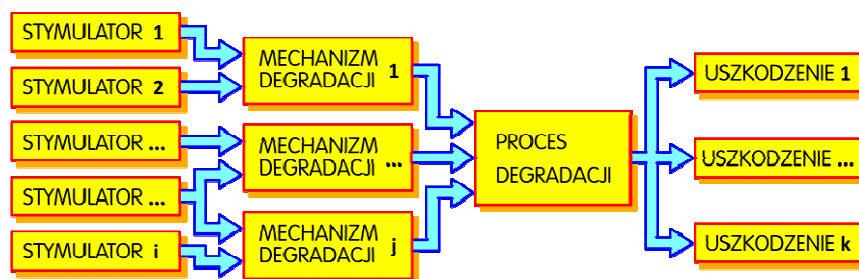
Obiecującym kierunkiem rozwoju jest wykorzystywanie edytorów graficznych do tworzenia wizualizacji uszkodzeń konstrukcji (rys. 11) wykrywanych w trakcie przeglądów i badań obiektów. Umożliwia to bardzo łatwe i precyzyjne śledzenie zmian stanu obiektu w całym okresie jego użytkowania.



Rys. 11. Graficzne modele uszkodzeń konstrukcji mostowej: a) w przestrzeni dwuwymiarowej, b) w przestrzeni trójwymiarowej

### 5.3. Technologie diagnostyczne

Istotny wpływ na prawidłowość oceny kondycji i podejmowane przez zarządcę decyzje ma efektywny system diagnostyczny. Ze szczególną uwagą są rozwijane metody rozpoznawania zachodzących procesów degradacji oraz ich skutków w postaci uszkodzeń (np. [3], [20–22], [25–30]). Proces degradacji jest definiowany jako pogarszanie się kondycji obiektu spowodowane aktywnością mechanizmu lub mechanizmów degradacji, gdzie mechanizmem degradacji jest zjawisko fizyczne, chemiczne lub biologiczne powodujące powstanie uszkodzeń obiektu [3]. Za inicjację, sposób przebiegu i szybkość rozwoju procesów degradacji odpowiadają czynniki, które można ogólnie określić jako stymulatory degradacji. Stymulatory te uruchamiają mechanizmy składające się na ostateczną postać procesu degradacji obiektu mostowego, a działając w trakcie procesu degradacji – wpływają na jego przebieg. Powiązania stymulatorów, mechanizmów i procesów degradacji z uszkodzeniami przedstawiono schematycznie na rys. 12.



Rys. 12. Schemat relacji pomiędzy stymulatorami, mechanizmami i procesami degradacji a uszkodzeniami [3]

Szczegółowe określenie zależności pomiędzy stymulatorami, mechanizmami i procesami degradacji a uszkodzeniami konstrukcji mostowych jest zagadnieniem bardzo trudnym, ale stanowi przedmiot intensywnych prac badawczych ze względu na ważność dla skuteczności podejmowanych decyzji w zakresie utrzymania i eksploatacji obiektów.

Metody i techniki badań nieniszczących oraz badań nieznacznie inwazyjnych (np. wymagających pobierania próbek materiału) najczęściej wykorzystywane w diagnostyce betonowych, stalowych i murowanych konstrukcji mostowych zestawiono w tablicy 1. Wyróżniono tu metody o znaczeniu podstawowym oraz metody dodatkowe umożliwiające uzyskanie informacji uzupełniających.

Tablica 1. Zakres zastosowań metod badawczych wykorzystywanych w diagnostyce konstrukcji mostowych

Metody i techniki badań		Rodzaj konstrukcji		
		betonowe	stalowe	murowane
<b>Fizyczne</b>	Bezpośrednie badania wizualne	●	●	●
	Pośrednie badania wizualne	●	●	●
	Metody geodezyjne	●	●	●
	Metody laserowe	●	●	●
	Metody termograficzne	○		○
	Metody radiograficzne	○	●	
	Metody radioskopowe	○	●	
	Tomografia komputerowa	●	●	○
	Metody impulsowe	●	○	●
	Metody ultradźwiękowe	●	●	○
	Pomiary emisji akustycznej	●	●	○
	Metody magnetyczne	●	●	
	Metody radarowe	○	○	○
	Metody indukcji elektromagnetycznej	●	○	
	Pomiary potencjału elektrycznego	●	○	○
	Pomiary oporności elektrycznej	●		○
	Bezpośrednie pomiary geometryczne	●	●	●
	Metody penetracyjne	○	○	
	Metody sklerometryczne	●	●	
	Metody ciśnieniowe	●		●
Polowe badania cech fizycznych	●	●	○	
Laboratoryjne badania cech fizycznych	●	●	●	
<b>Chemiczne</b>	Jakościowa analiza chemiczna	●		○
	Ilościowa analiza chemiczna	●	●	●
<b>Biologiczne</b>	Metody makroskopowe	●	●	●
	Metody mikroskopowe	○	○	○
	Metody hodowlane	○	○	○
Oznaczenia: ● – metody podstawowe; ○ – metody uzupełniające				

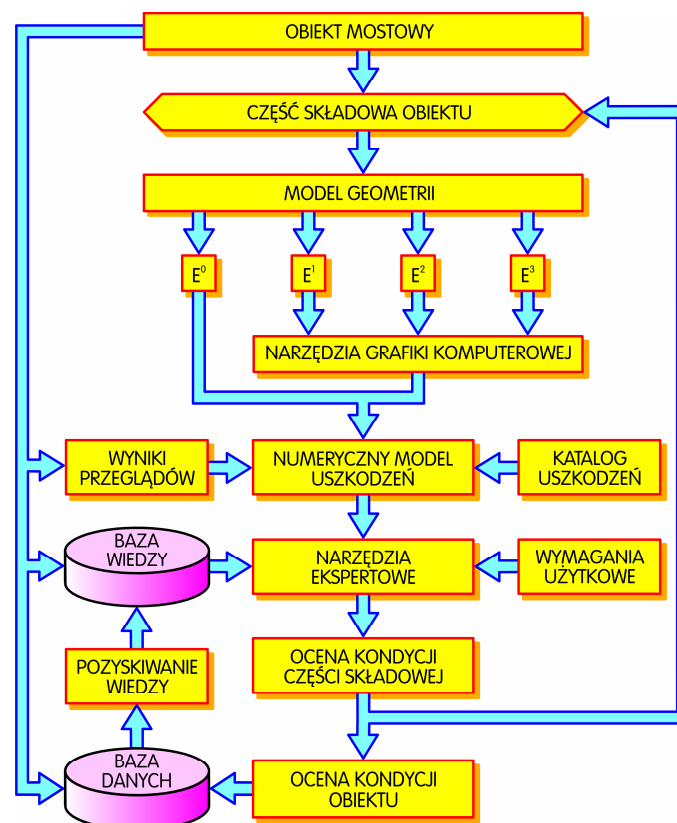
Odrębną grupę metod diagnostycznych, bardzo ważnych z punktu widzenia decyzji utrzymaniowych oraz eksploatacyjnych, tworzą badania obiektów mostowych prowadzone pod obciążeniami – statycznymi lub dynamicznymi, np. [3], [7], [28–30]. Należy wyróżnić tu badania pod obciążeniami próbnymi o zaprojektowanych wartościach i schematach obciążeń oraz badania przy obciążeniach eksploatacyjnych o charakterze losowym. W obu przypadkach wyniki pomiarów wybranych wielkości fizycznych (najczęściej: przemieszczeń, odkształceń, prędkości i przyspieszeń drgań) w punktach określonych w projekcie badań umożliwiają określenie odpowiedzi konstrukcji na obciążenia. Porównanie wartości wyznaczonych doświadczalnie i teoretycznie pozwala na ocenę poprawności zachowania się badanej konstrukcji. Określone eksperymentalnie statyczne oraz dynamiczne charakterystyki

obiektu stanowią podstawę oceny kondycji obiektu oraz zdefiniowania warunków jego bezpiecznego użytkowania.

Coraz częściej spotykaną praktyką jest wyposażanie szczególnie ważnych obiektów mostowych we wbudowane systemy pomiarowe umożliwiające systematyczne monitorowanie zachowania się konstrukcji w czasie rzeczywistym i wnioskowanie na tej podstawie o ewentualnych zmianach jej kondycji (np. [31], [32]). W takiej sytuacji badania pod obciążeniami próbnymi są z reguły wykorzystywane także do testowania i kalibracji zainstalowanych systemów monitorujących. Wyznaczone w wyniku badań charakterystyki konstrukcji stają się danymi wyjściowymi w procesie monitorowania i są wykorzystywane jako informacje referencyjne w zarządzaniu eksploatacją i utrzymaniem obiektu.

#### 5.4. Bazy wiedzy i narzędzia ekspertowe

W nowoczesnych systemach zarządzania procesy decyzyjne są coraz częściej wspomagane specjalistycznymi narzędziami ekspertowymi w formie doradczych programów komputerowych wykorzystujących bazy danych oraz bazy wiedzy. Termin „baza danych” określa uporządkowany zbiór danych przechowywanych na nośnikach komputerowych oraz wyposażony w oprogramowanie i inne środki pozwalające na utrzymywanie, zabezpieczanie, przetwarzanie i udostępnianie, natomiast pojęcie „baza wiedzy” można ogólnie zdefiniować jako formę komputerowej reprezentacji wiedzy, wymagającą specyficznych technik jej akwizycji, numerycznej reprezentacji oraz udostępniania [2], [3].



Rys. 13. Schemat procesu oceny kondycji obiektu mostowego z wykorzystaniem narzędzi ekspertowych

Można wyróżnić dwa podstawowe typy narzędzi ekspertowych:

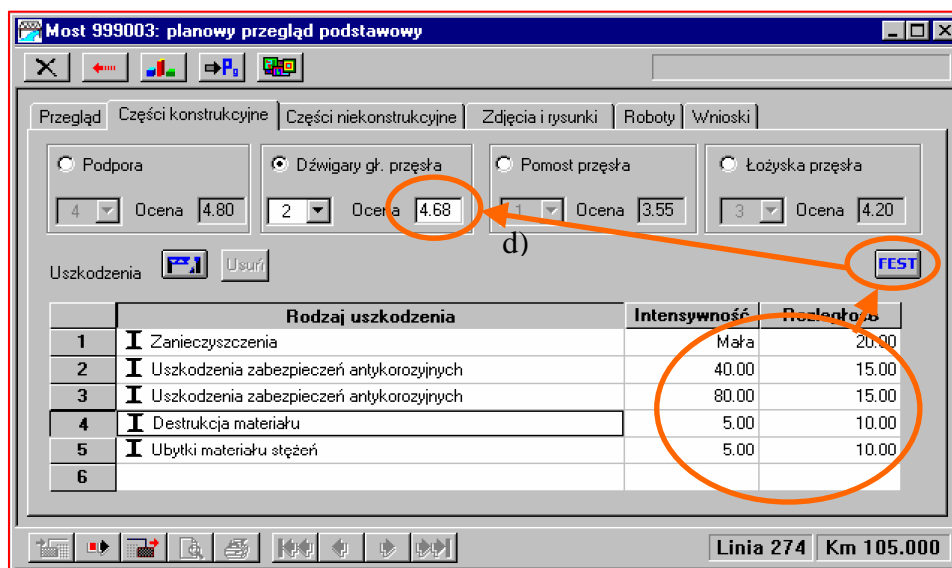
- autonomiczne systemy ekspertowe – narzędzia komputerowe wspomagające podejmowanie decyzji, w których można wyróżnić bazę wiedzy, zawierającą wiedzę

dziedzinową istotną dla podejmowanych decyzji, oraz system wnioskujący korzystający z bazy wiedzy dla wypracowania decyzji,

- funkcje ekspertowe – wydzielone funkcjonalnie części oprogramowania systemu wspomagającego zarządzanie, przeznaczone do rozwiązywania problemów z wykorzystaniem bazy danych oraz bazy wiedzy systemu.

Jednym z przykładów zastosowań narzędzi ekspertowych w systemach zarządzania infrastrukturą mostową jest obiektywizacja ocen kondycji obiektów. Narzędzia ekspertowe wspomagające ocenę kondycji obiektów, mogą wykorzystywać symboliczne lub niesymboliczne metody reprezentacji wiedzy, a także technologie hybrydowe (patrz np. [2], [3], [19], [33]), łączące rozwiązania należące do obu wymienionych wyżej grup. Ogólny schemat procedury oceny kondycji obiektów mostowych z użyciem wspomagających narzędzi ekspertowych zaprezentowano na rys. 13. W odniesieniu do każdej ocenianej części składowej obiektu niezbędne jest określenie sposobu modelowania geometrii, a następnie zdefiniowanie numerycznego modelu uszkodzeń. Przy stosowaniu modeli geometrii typu  $E^1$  (tworzonych z elementów jednowymiarowych),  $E^2$  (z elementów dwuwymiarowych) oraz  $E^3$  (z elementów trójwymiarowych) do generowania modelu uszkodzeń są z reguły używane narzędzia grafiki komputerowej. Na podstawie numerycznego opisu stwierdzonych uszkodzeń narzędzia ekspertowe generują oceny kondycji poszczególnych części składowych obiektu mostowego, a na podstawie tych ocen formułowana jest następnie ocena kondycji całego obiektu.

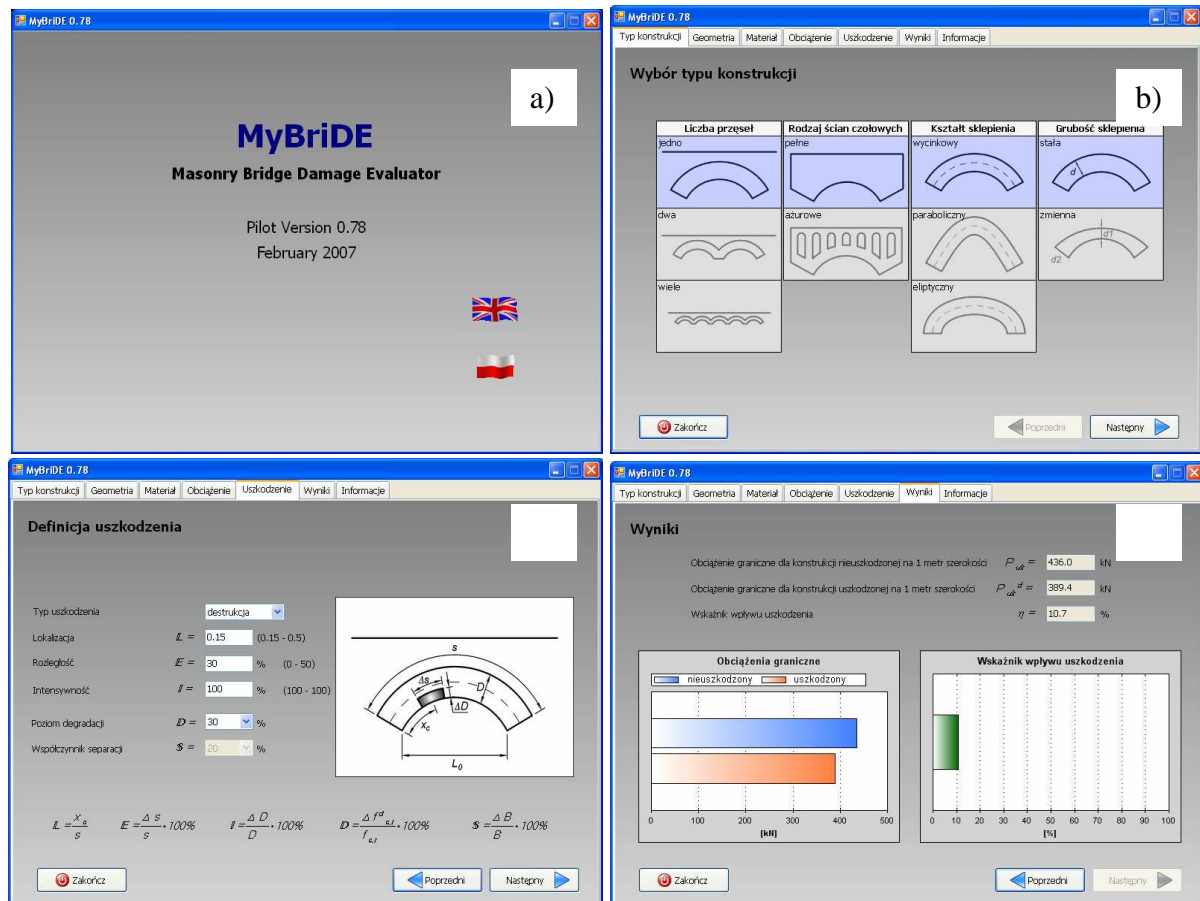
Pierwszym w naszym kraju praktycznym zastosowaniem narzędzia ekspertowego do wspomagania oceny stanu technicznego obiektów mostowych było zaimplementowanie Funkcji Ekspertowej Stanu Technicznego (FEST) w systemie „SMOK” [2], [19]. Na podstawie zidentyfikowanego rodzaju, intensywności i rozległości uszkodzeń ocenianego elementu konstrukcji (rys. 14) narzędzie ekspertowe FEST generuje ocenę stanu technicznego w skali od 0 (stan awaryjny) do 5 (stan bardzo dobry). W opisywanym narzędziu zastosowano technologię wielopoziomowych sieci hybrydowych wykorzystujących technikę sztucznych sieci neuronowych, logikę rozmytą oraz komponenty funkcyjne [2], [3], [33].



Rys. 14. Funkcja Ekspertowa Stanu Technicznego (FEST) zaimplementowana w systemie „SMOK”

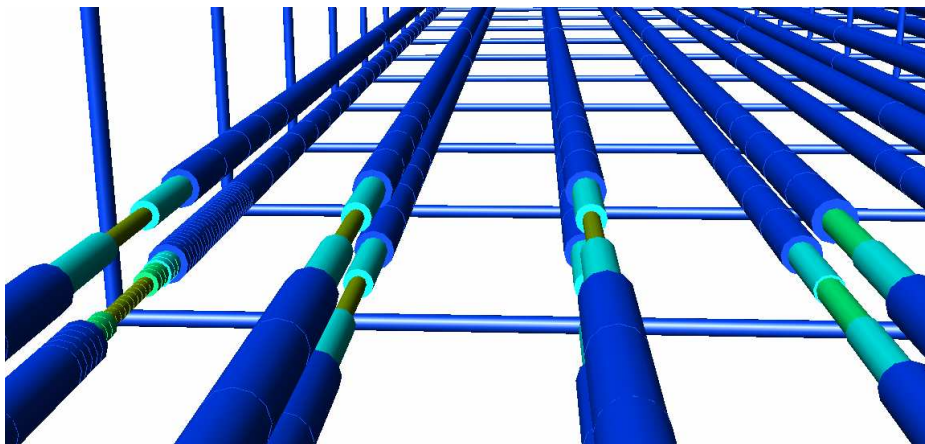
Technologię sieci hybrydowych zastosowano także z powodzeniem w narzędziu ekspertowym „MyBriDE” (Masonry Bridge Damage Evaluator) wspomagającym ocenę wpływu uszkodzeń na nośność sklepionych murowanych przęseł mostowych [34]. Interfejs oprogramowania zaprezentowano na rys. 15.





Rys. 15. Narzędzie ekspertowe „MyBriDE”: a) ekran tytułowy, b) wybór typu konstrukcji, c) typ oraz parametry uszkodzeń, d) wyniki analizy

Analogiczną technologię wykorzystano w systemie ekspertowym „ANACONDA” [35], [36] wspomagającym ocenę nośności kolejowych żelbetowych przęseł płytowych z uwzględnieniem uszkodzeń konstrukcji. System umożliwia bardzo precyzyjne modelowanie uszkodzeń (np. ubytków zbrojenia) z trójwymiarową ich wizualizacją jak pokazano na rys. 16. Na podstawie informacji o uszkodzeniach generowana jest rzeczywista obwiednia nośności przęsła.

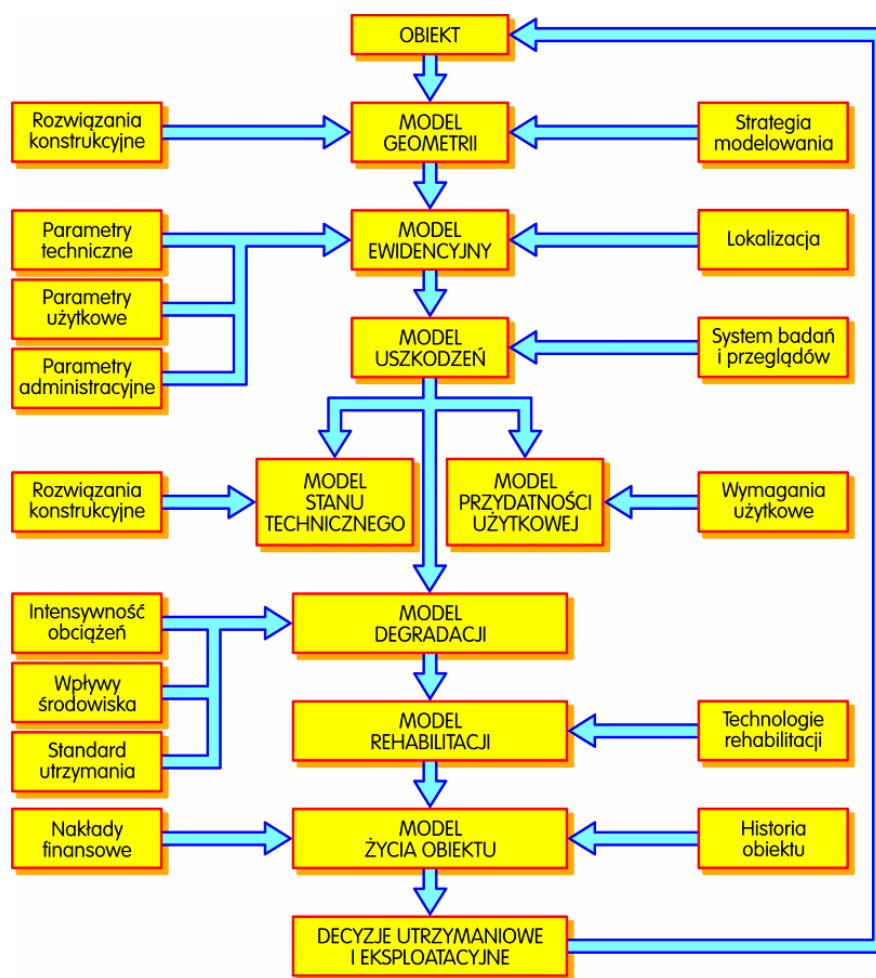


Rys. 16. System ekspertowy „ANACONDA” – trójwymiarowa wizualizacja ubytków materiału zbrojenia

## 5.5. Kompleksowy model życia obiektu

Jednym z celów prac rozwojowych w zakresie systemów wspomagających zarządzanie infrastrukturą mostową jest stworzenie numerycznych modeli wszystkich stanów i procesów związanych z utrzymaniem i eksploatacją obiektów mostowych. Ogólny schemat takiego kompleksowego systemu przedstawiono na rys. 17. Wyróżniono tu następujące rodzaje modeli:

- model geometrii – określający sposób numerycznego odwzorowania rzeczywistej geometrii konstrukcji i decydujący o sposobie modelowania pozostałych cech obiektu,
- model ewidencyjny – zawierający numeryczną reprezentację podstawowych parametrów lokalizacyjnych i administracyjnych obiektu, a także jego parametrów technicznych (rozwiązania konstrukcyjne, wymiary, charakterystyki materiału itp.) oraz użytkowych (nośność, skrajnie ruchu, dopuszczalne prędkości pojazdów itp.),
- model uszkodzeń – prezentujący numeryczny opis uszkodzeń obiektu zidentyfikowanych w wyniku przeprowadzonych przeglądów i badań diagnostycznych,
- model stanu technicznego – zawierający aktualne wartości parametrów technicznych oraz ocenę stanu technicznego obiektu z uwzględnieniem wpływu uszkodzeń na jego rozwiązania konstrukcyjne,
- model przydatności użytkowej – zawierający numeryczny model bieżących parametrów użytkowych z uwzględnieniem wpływu uszkodzeń konstrukcji oraz ocenę obiektu z punktu widzenia wymagań użytkowych układu komunikacyjnego,



Rys. 17. Schemat funkcjonalny systemu kompleksowo wspomagającego zarządzanie infrastrukturą mostową [3]



- model degradacji – umożliwiający analizę i prognozowanie przebiegu procesów degradacyjnych z uwzględnieniem intensywności obciążeń, warunków środowiskowych oraz technicznych i finansowych standardów utrzymania,
- model rehabilitacji – służący do analizy i prognozowania zmian kondycji obiektu w wyniku działań zmniejszających lub usuwających skutki uszkodzeń,
- model życia obiektu – pozwalający na kompleksową symulację stanu kondycji obiektu mostowego w dowolnym momencie jego istnienia, z uwzględnieniem wpływów procesów degradacyjnych oraz rehabilitacyjnych.

## 6. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Ze względu na narastającą degradację zaawansowanych wiekowo obiektów przy zwiększających się wymaganiach eksploatacyjnych efektywne gospodarowanie infrastrukturą mostową staje się z roku na rok coraz ważniejszym problemem tak w Polsce, jak i praktycznie we wszystkich krajach świata. Stymuluje to międzynarodową współpracę, widoczną szczególnie na obszarze Unii Europejskiej, związaną z postępującą integracją układów komunikacyjnych i dążeniem do harmonizacji systemów utrzymania i eksploatacji obiektów mostowych.

Zagadnienia związane z systemowym zarządzaniem utrzymaniem i eksploatacją obiektów mostowych mają bardzo złożony wymiar interdyscyplinarny. Efektywna diagnostyka oraz analiza wpływu uszkodzeń na kondycję obiektów mostowych, ocena i prognozowanie zmian stanu konstrukcji, technologie rehabilitacji obiektów, wspomaganie procesów decyzyjnych z wykorzystaniem komputerowych narzędzi ekspertowych – oprócz zaangażowania wiedzy ze wszystkich dziedzin inżynierii mostowej, wymagają prowadzenia systematycznych prac rozwojowych z wykorzystaniem zaawansowanych rozwiązań między innymi z zakresu metrologii, materiałoznawstwa, fizyki, chemii, biologii, informatyki, teorii zarządzania, ekonomii.

Tablica 2. Generacje wspomaganých komputerowo systemów zarządzania obiektami mostowymi [2]

Generacja systemów	Wykorzystywane technologie				
	bazy danych	procedury decyzyjne	bazy wiedzy i systemy ekspertowe	systemy uczące się	sterowanie parametrami konstrukcji
I	•				
II	•	•			
III	•	•	•		
IV	•	•	•	•	
V	•	•	•	•	•

Na podstawie analizy aktualnie użytkowanych na świecie systemów zarządzania obiektami mostowymi oraz kierunków prowadzonych prac naukowo-badawczych można wyróżnić pięć generacji systemów, które scharakteryzowano w tab. 2 [2]:

- systemy I generacji – wykorzystujące standardowe bazy danych z oprogramowaniem umożliwiającym wprowadzanie, podstawowe przetwarzanie i udostępnianie danych gromadzonych w systemie – decyzje zależą od indywidualnego przygotowania i doświadczenia użytkowników systemu,

- systemy II generacji – posiadające oprócz wyspecjalizowanej bazy danych także algorytmy decyzyjne określające procedury podejmowania decyzji na podstawie zgromadzonego zasobu danych,
- systemy III generacji – wyposażone dodatkowo w bazy wiedzy oraz narzędzia ekspertowe, co umożliwia wspomaganie procesu zarządzania z wykorzystaniem wiedzy gromadzonej w systemie,
- systemy IV generacji – wzbogacone w stosunku do systemów III generacji o zaawansowane narzędzia sztucznej inteligencji umożliwiające uczenie się systemu na podstawie gromadzonych danych i wykorzystywanie aktualizowanej wiedzy do wspomagania procesów decyzyjnych,
- systemy V generacji – posiadające dodatkowo zdolność bezpośredniego oddziaływania na obiekty przy użyciu systemów sterujących parametrami konstrukcji (na przykład zmianami siły sprężającej w zależności od obciążenia), systemów sterujących ruchem itp.

Użytkowane w naszym kraju systemy wspomagające zarządzanie drogowymi i kolejowymi obiektami mostowymi można zakwalifikować do systemów I generacji zgodnie z klasyfikacją podaną w tab. 2. Niektóre z nich zawierają elementy charakterystyczne dla systemów II lub III generacji (algorytmy rankingowe, algorytmy rozdziału środków finansowych, pilotażowe wersje narzędzi ekspertowych). Biorąc pod uwagę bardzo szybko rosnące potrzeby transportowe oraz szeroką modernizację, a także rozbudowę sieci drogowej i kolejowej, niezbędne wydaje się opracowanie i wdrożenie nowej generacji systemów wykorzystujących współczesne możliwości techniczne i technologiczne oraz aktualną wiedzę.

### **Piśmiennictwo**

- [1] Bubnicki Z.: Podstawy informatycznych systemów zarządzania. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 1993.
- [2] Bień J.: Modelowanie obiektów mostowych w procesie ich eksploatacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2002.
- [3] Bień J.: Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Warszawa, WKŁ, 2010.
- [4] Mentzas G.: A Functional Taxonomy of Computer-Based Information Systems. *International Journal of Information Management*, Vol. 14, No. 6, 1994, s. 397–410.
- [5] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 63, poz. 735.
- [6] Instrukcje przeprowadzania przeglądów drogowych obiektów inżynierskich. Załącznik do Zarządzenia nr 14 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 7 lipca 2005 roku, Warszawa, 2005.
- [7] Zalecenia dotyczące wykonywania badań pod próbnym obciążeniem drogowych obiektów mostowych. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 2008.
- [8] Zasady stosowania skali ocen punktowych stanu technicznego i przydatności do użytkowania drogowych obiektów inżynierskich. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Warszawa, 2008.
- [9] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 151, poz. 987.
- [10] Instrukcja o dozorowaniu linii kolejowych Polskich Kolei Państwowych D-10. PKP, Warszawa 1996.

- [11] Instrukcja o utrzymaniu kolejowych obiektów inżynierskich Id-16. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., 2004.
- [12] Mistewicz M., Bień J.: Planowanie utrzymania mostów w Polsce. *Drogownictwo*, nr 11/12, 1991, s. 194–200.
- [13] Hutnik A., Łęgosz A., Wysokowski A.: BMS in Poland – Computer Supported Maintenance. *Conf. on Maintenance of Bridges and Civil Structures*, Paris, Presses de l’Ecole Nationale des Ponts et Chaussees, Paris, France, 1994, s. 449–454.
- [14] Wysokowski A., Łęgosz A., Hutnik A.: System gospodarki mostowej. Komputerowe wspomaganie zarządzania mostami w drogownictwie (stan obecny). *Drogownictwo*, nr 11, 1996, s. 334–342.
- [15] Hutnik A., Bednarczyk M., Trochymiak W.: Modernizacja Systemu Gospodarki Mostowej. *Drogownictwo*, nr 2, 2001, s. 54–57.
- [16] Bień J., Rawa P., Bień B.: Komputerowe wspomaganie zarządzania autostradowymi obiektami mostowymi. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 11, 2001, s. 669–672.
- [17] Bień J., Rewiński S.: SMOK – kompleksowy system zarządzania mostami kolejowymi. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 3, 1996, s. 180–184.
- [18] Bień J., Król D., Rawa P., Rewiński S.: Komputerowa ewidencja obiektów inżynierskich. Seria wydawnicza: „System Zarządzania Mostami Kolejowymi SMOK”, Dyrekcja Generalna PKP, Warszawa, 1997.
- [19] Bień J., Król D., Rawa P., Zwolski J.: Komputerowe wspomaganie przeglądów obiektów mostowych w systemie SMOK. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 7–8, 2006, s. 384–390.
- [20] Helmerich R., Bień J., Cruz P.: A guideline for inspection and condition assessment including the NDT-toolbox. W: “Sustainable Bridges – Assessment for Future traffic Demands and Longer Lives”, Eds. J. Bień, L. Elfgren, J. Olofsson, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007, s. 93–104.
- [21] Guideline for Inspection and Condition Assessment of Railway Bridges. 2007, [www.sustainablebridges.net](http://www.sustainablebridges.net).
- [22] Guideline for the Assessment of Existing Structures. Final Report, Research Project “Structural Assessment Monitoring and Control – SAMCO”, 2006.
- [23] Bień J., Kuźawa M., Bień B.: To See is to Know: Visualization in Bridge Inspection and Management. 5<sup>th</sup> International Conference “Bridge Maintenance, Safety, Management and Life-Cycle Optimization”, IABMAS, Philadelphia, USA, 2010, s. 267–574.
- [24] Bień J.: Modelling of structure geometry in Bridge Management Systems. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, Vol. XI, No. 3, 2011, s. 519–532.
- [25] Shull P.J.: *Nondestructive evaluation: theory, techniques and applications*. Marcel Dekker, Inc., 2002.
- [26] Zobel H.: *Naturalne zjawiska termiczne w mostach*. WKŁ, Warszawa, 2002.
- [27] Mix P.E.: *Introduction to nondestructive testing: a training guide*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [28] Bień J., Krzyżanowski J., Rawa P., Zwolski J.: Dynamic Load Tests in Bridge Management. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 4, nr 2, 2004, s. 63–78.
- [29] Wenzel H.: *Ambient Vibration Monitoring*. J. Wiley & Sons Ltd, 2005.
- [30] Zwolski J., Bień J.: Modal analysis of bridge structures by means of Forced Vibration Tests. *Journal of Civil Engineering and Management*, Vol. 17, No. 4, 2011, s. 590–599.
- [31] Uhl T.: SHM of Civil Structures – methods, tools and applications. 3<sup>rd</sup> International Conference “Experimental Vibration Analysis for Civil Engineering Structures – EVACES’09”, Wrocław, 2009, s. 73–92.
- [32] Wenzel H.: *Health Monitoring of Bridges*. J. Wiley & Sons Ltd, 2009.

- [33] Bień J., Rawa P.: Hybrid Knowledge Representation in BMS, Archives of Civil and Mechanical Engineering. Vol. IV, No. 1, 2004, s. 41–55.
- [34] Kamiński T.: Nośność graniczna przęseł mostów murowanych z uwzględnieniem wpływu uszkodzeń (rozprawa doktorska). Raport Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, Seria PRE – 1/08, Wrocław, 2008.
- [35] Maksymowicz M.: Evaluation of load capacity of concrete railway slab spans with defects (PhD Thesis). University of Minho, Portugal, 2008.
- [36] Maksymowicz M., Cruz P., Bień J.: Load capacity of damaged RC slab spans of railway bridges. Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. XI, No. 4, 2011, s. 963–978.

## **COMPREHENSIVE MANAGEMENT OF ROAD AND RAILWAY BRIDGES**

### **Summary**

The paper presents strategies applied in bridge management and main attention is paid to strategy of systematic condition monitoring as a base for management processes. The basic parts of contemporary Bridge Management Systems and the most important functions of the systems are presented and discussed. Against the background of a short review of road and railway Bridge Management Systems implemented and operated in Poland, the paper presents directions of BMS development as well as expected characteristics of coming generations of the systems.

Stanisław GACA<sup>1</sup>  
Politechnika Krakowska

## **BADANIA NAUKOWE I ICH ROLA W PRZEKSZTAŁCANIU SIECI DROGOWEJ**

### **STRESZCZENIE**

Program budowy sieci autostrad i dróg ekspresowych realizuje jeden z podstawowych celów przekształceń sieci drogowej, jakim jest uzyskanie sieci hierarchicznej z wyraźnym podziałem funkcji poszczególnych elementów tej sieci, jej lepszym dostosowaniem do potrzeb uczestników ruchu oraz poprawą sprawności i bezpieczeństwa ruchu. Pełne osiągnięcie takich efektów wymaga stosowania rozwiązań tworzonych na podstawie zasad i przepisów techniczno-budowlanych odpowiadających aktualnemu stanowi wiedzy technicznej. Bazę tej wiedzy tworzą, obok doświadczeń praktycznych, wyniki odpowiednio zaplanowanych i realizowanych badań naukowych. Identyfikacja potrzeb badawczych wzbogacających wiedzę w zakresie zasad projektowania dróg, a także pokazanie kierunków tych prac i wynikających z nich potencjalnych korzyści, zostały przedstawione w artykule.

**SŁOWA KLUCZOWE:** sieć drogowa, projektowanie dróg, przepisy techniczno-budowlane

### **1. WPROWADZENIE**

Pojęcie przekształcania sieci drogowej może obejmować szeroki zbiór działań związanych z przebudową istniejącej sieci drogowej wraz z jej uzupełnieniami o nowe elementy. Cechą charakterystyczną tych działań powinno być ich podporządkowanie jasno zdefiniowanemu celom, wśród których najważniejszymi są:

- poprawa sprawności i bezpieczeństwa funkcjonowania istniejącej sieci drogowej,
- stworzenie warunków do realizacji przewozów drogowych przy ograniczeniu negatywnych oddziaływań na środowisko oraz zmniejszeniu zużycia energii,
- uzyskanie spójności z siecią dróg międzynarodowych i zapewnienie jednolitych warunków ruchu w ciągu głównych korytarzy transeuropejskich i krajowych,
- uzupełnienie istniejącej sieci w celu poprawy dostępności transportowej wraz z aktywizacją gospodarczą nowych terenów, które wcześniej miały utrudnioną obsługę transportową,
- dostosowanie do zmieniających się potrzeb wynikających m.in. z rozwoju wiedzy technicznej, zmian konstrukcji pojazdów, a także z oczekiwań społecznych powiązanych z uwarunkowaniami ekonomicznymi.

---

<sup>1</sup> sgaca@pk.edu.pl

Podane powyżej cele stają się łatwiejsze do osiągnięcia przy założeniu, że przekształcenia sieci drogowej będą zmierzały do budowy sieci hierarchicznej, tj. z wyraźnym podziałem funkcji poszczególnych elementów tej sieci oraz kontrolą dostępności, rozumianej jako zakres i częstość połączeń z innymi drogami, a także możliwość dostępu z bezpośredniego otoczenia drogi [2]. Hierarchiczna sieć drogowa umożliwia: eliminację nakładania się na tej samej drodze szybkiego ruchu samochodowego relacji międzyregionalnych lub regionalnych z lokalnym ruchem o mieszanej strukturze pojazdów a nawet z ruchem pieszym; eliminowanie ruchu tranzytowego z wnętrza obszarów zabudowanych; pełną kontrolę dostępności oraz wprowadzenie jednorodności warunków drogowo-ruchowych na głównych ciągach dróg. Wszystko to sprzyja poprawie bezpieczeństwa i sprawności ruchu, a także zmniejsza uciążliwości środowiskowe w otoczeniu dróg i obniża zużycie energii przez środki transportowe. Korzystne efekty z tworzenia hierarchicznej sieci występują zarówno na drogach poza terenami zabudowy, jak i w obrębie obszarów zurbanizowanych.

Stworzenie hierarchicznej sieci dróg i ulic wymaga bardzo dużych nakładów i jest procesem wieloletnim. Dlatego musi być prowadzone w oparciu o najlepsze wzorce oraz wiedzę obejmującą m.in. zdolność prognozowania skutków takich przekształceń w przyszłości. Należy przy tym zaznaczyć, że do przekształceń sieci drogowej należą także przebudowy jej wybranych odcinków, w ramach których zmienia się ich standard techniczny. Bardzo ważnym skutkiem przekształceń sieci drogowej jest zmiana rozkładu ruchu w sieci, powodująca istotne odciążenie wielu odcinków dróg i zmianę ich funkcji. Przystosowanie tych dróg do nowych funkcji, w tym wzrostu znaczenia niechronionych uczestników ruchu jest stosunkowo nowym wyzwaniem w praktyce krajowej.

Z powyższych uwarunkowań wynika, że potrzebna jest nie tylko wiedza o ogólnym wpływie różnych form sieci drogowych na szeroko rozumianą sprawność i uciążliwość ruchu, ale także wiedza o oddziaływaniu szczegółowych rozwiązań drogowych na ruch różnych grup użytkowników dróg. Wiedza taka jest wprawdzie w dużym stopniu dostępna, ale trudno jest zaprzeczyć stwierdzeniu, że często *„budujemy drogi jutra korzystając z wiedzy dnia wczorajszego”*.

Duża część z obowiązujących w kraju przepisów techniczno-budowlanych wykorzystuje wiedzę z lat 90. i z końca ubiegłego wieku, mimo iż na ich podstawie kształtowane są rozwiązania infrastrukturalne na przyszłe stulecie. Można stwierdzić, że podjęcie ogromnego programu przekształcania i rozwoju sieci drogowej w Polsce w zbyt małym stopniu było powiązane z przygotowawczymi badaniami naukowymi, które stwarzałyby lepszą podstawę do racjonalnego planowania i projektowania infrastruktury drogowej. Badania tego typu muszą być zadaniem permanentnym, gdyż ciągle zmieniają się uwarunkowania planistyczno-projektowe, obejmujące m.in.:

- zmiany cech geometrycznych i dynamicznych pojazdów,
- lepsze poznanie zachowań uczestników ruchu i ich uwarunkowań,
- praktyczną weryfikację już stosowanych reguł projektowania (szczególnie tych bazujących na analizach modelowych),
- budowę nowych i rozwój dotychczasowych modeli ruchu (bardziej wiarygodne dane),
- nowe rozwiązania przyjmowane z praktyki innych krajów i ich formalne sankcjonowanie,
- uwarunkowania ekonomiczne (redukcja kosztów),
- rozwój środków zarządzania i sterowania ruchem, które mogą istotnie wpływać na sprawność i bezpieczeństwo ruchu.

Wobec oczywistych potrzeb wspierania rozwoju infrastruktury przez badania naukowe, powstaje pytanie, czy istniejący system inicjowania, wyboru i koordynacji prowadzonych badań jest wystarczający i czy są konieczne jego modyfikacje? Tak



postawionemu pytaniu musi towarzyszyć także pytanie o priorytety badań w drogownictwie oraz ich ramowy plan. Próbie odpowiedzi na te pytania poświęcono kolejne rozdziały niniejszego artykułu.

## **2. ORGANIZACJA I POTRZEBY BADAŃ NAUKOWYCH W DROGOWNICTWIE**

Opisując organizację badań naukowych powiązanych z rozwojem drogownictwa, zdaniem autora należy najpierw odpowiedzieć na następujące, ogólne pytania:

- czy istnieje organizacja odpowiedzialna za badania i jak ustalane są priorytety badawcze?
- kto jest na ogół inicjatorem projektów badawczych?
- jak i przez kogo są wybierane projekty badawcze do finansowania?
- jak przebiega koordynacja i ocena projektów oraz transfer ich wyników do praktyki?

Pozornie odpowiedzi na te pytania są oczywiste, gdyż od wielu lat istnieje w Polsce system finansowania badań naukowych np. pośrednio poprzez dofinansowywanie działalności jednostek naukowo-badawczych i uczelni wyższych lub bezpośrednio w ramach konkursów na projekty badawcze (wcześniej Komitet Badań Naukowych, a obecnie Narodowe Centrum Nauki oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju). Tworzone są także krajowe strategiczne programy badawcze z wyróżnionymi priorytetami. Brak jest wśród nich problematyki infrastruktury drogowej, mimo olbrzymich nakładów ponoszonych na przekształcenia i rozbudowę tej infrastruktury (tylko na drogi krajowe planowane jest wydanie 63,3 mld. zł w latach 2011 – 2015). Stąd rodzi się pytanie, czy bez wystarczającego wsparcia naukowego w tych działaniach, tak poważne środki są i będą wykorzystywane w sposób najlepszy z możliwych?

W wyborze projektów badawczych pomocne jest ustanawianie priorytetów, które powinny wynikać z obiektywnej oceny potrzeb oraz potencjalnych korzyści z podejmowanych badań. W tym przypadku główna rola powinna przypadać profesjonalnym organizacjom związanym z drogownictwem, wspomaganym przez zespoły ekspertów. Trudno jest jednak wskazać w kraju organizację pełniącą rolę lidera w tym zakresie. Roli takiej nie pełni i nie spełniało Ministerstwo Transportu, budownictwa i gospodarki Morskiej. Mogłaby to być np. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, ale jej dotychczasowe działania w tym zakresie są ograniczone tematycznie i finansowo. Nie mają one charakteru systemowego, lecz są działaniami doraźnymi, odpowiadającymi na bieżące potrzeby.

Nawiązując do postawionych na wstępie pytań o organizację badań naukowych w drogownictwie, a szczególnie badań związanych ze wspieraniem przekształceń sieci drogowej oraz jej rozwojem, można sformułować następujące spostrzeżenia, które powinny być przedmiotem szczegółowych analiz i działań korygujących:

- Badania naukowe są często wymuszane doraźnymi problemami, a nie świadomą polityką kreowania długoterminowych planów związanych z doskonaleniem narzędzi wykorzystywanych w praktyce planistyczno-projektowej.
- Brak jest okresowych, strategicznych ocen stanu i potrzeb badań naukowych w drogownictwie.
- Znaczna część badań jest podejmowana w wyniku indywidualnych inicjatyw poszczególnych badaczy lub ośrodków naukowych (w szerszym zakresie Politechniki: Krakowska, Gdańska, Warszawska, Wrocławska, Poznańska i Białostocka oraz Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy). Przy takim inicjowaniu badań oraz braku ich koordynacji, część z nich jest zbyt rozproszona i prowadzi jedynie do cząstkowych wyników.

- Brak aktywności administracji drogowej oraz przedsiębiorstw w inicjowaniu i finansowaniu badań naukowych o strategicznym znaczeniu, mimo możliwości, jakie stwarza Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu badań stosowanych.
- Minimalizacja kosztów przygotowania oraz budowy i przebudowy infrastruktury drogowej ogranicza zaangażowanie sektora wykonawców we wspieraniu badań naukowych.
- Jako niewystarczające należy ocenić wykorzystanie wyników badań naukowych poprzez ich ujmowanie w formie przepisów techniczno-budowlanych i podręczników dobrej praktyki.

Poszukując możliwości usprawnień organizacji badań można sięgnąć po przykłady zagraniczne. Inspirujące w tym przypadku mogą być doświadczenia USA, a z europejskich niemieckie.

W USA w 1962 roku powołano do życia, przy udziale federalnej administracji drogowej, *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)* – *Narodowy Program Badań Drogowych*, obejmujący problematykę: nawierzchni drogowych; materiałów drogowych generalnie; materiałów bitumicznych; materiałów do nawierzchni betonowych; mechaniki gruntów i fundamentowania; specyfikacji technicznych; uwarunkowań ekonomicznych; zarządzania i sterowania ruchem; projektowania; zagospodarowania w otoczeniu dróg; wyposażenia dróg; utrzymania dróg; bezpieczeństwa; oświetlenia i widoczności na drogach; barier drogowych; utrzymania zimowego; mostów; planowania transportowego, prognoz; procedur administracyjnych; prawa; urzędzeń do testów i pomiarów oraz wpływów środowiskowych. Wszystkie stany uczestniczące w *NCHRP* mają swój udział w tworzeniu corocznego programu badań wynikającego z identyfikacji głównych problemów budowy, eksploatacji i utrzymania infrastruktury drogowej. Projekty badawcze są recenzowane oraz przyjmowane przez powołane do tego zespoły robocze. Poza poszczególnymi stanami również federalna administracja drogowa może sugerować, jakie projekty powinny być finansowane przez *NCHRP*. W planowaniu badań bardzo dużą rolę odgrywają przygotowywane okresowo (co kilka lat) raporty identyfikujące potrzeby badań i wprowadzające ich systematykę w różnych działach drogownictwa. Wyniki projektów są rozpowszechniane w serii wydawniczej *NCHRP Report*. Raporty te są dostępne na stronie internetowej: [www.trb.org/NCHRP/Public/NCHRP.aspx](http://www.trb.org/NCHRP/Public/NCHRP.aspx).

Ważnym zadaniem *NCHRP* jest koordynowanie badań obejmujące nie tylko eliminowanie powtarzających się badań, ale także wybór projektów o wysokim priorytecie i odpowiedniej jakości [7]. Zgodnie z polityką *NCHRP* dopuszcza się powtarzanie badań wówczas, gdy wyniki badań wcześniejszych stanowią bazę wyjściową do ich kontynuacji w celu poszerzenia bazy wiedzy. Powielanie badań, w których nie bierze się pod uwagę wyników z przeszłości, jest niepotrzebną stratą funduszy. Takie podejście do koordynacji wymaga jednak odpowiedniej bazy danych o pracach badawczych.

Przykładem badań zrealizowanych w ramach *NCHRP*, nawiązujących bezpośrednio do przekształceń sieci drogowej, jest opisany w raporcie *NCHRP 500* w 23 tomach strategiczny plan poprawy bezpieczeństwa ruchu [5]. W tym opracowaniu znajdują się m.in. zalecenia do projektowania geometrycznego, zawarte w tomach: „redukcja kolizji na krzywych w planie sytuacyjnym”, „redukcja kolizji z udziałem pieszych”, „redukcja kolizji na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną”, „redukcja kolizji w strefach robót drogowych”, „redukcja kolizji typu zderzenia czołowe na drogach ruchu szybkiego”. Innym przykładem badań, których wyniki powinny się stać podstawą do weryfikacji zasad projektowania geometrycznego są badania opisane w raporcie *NCHRP 432*, będącym syntezą wiedzy z ostatnich 10 lat na temat wpływu różnych elementów geometrycznych dróg na bezpieczeństwo i sprawność ruchu [6].

W podsumowaniu szkiecowo podanej organizacji badań poświęconych problematyce drogownictwa w USA, należy zwrócić uwagę na bardzo dużą rolę ich planowania w powiązaniu z prognozami problemów, jakie mogą się pojawić w przyszłości. Za oczywistą uznaje się konieczność koordynacji badań oraz wyznaczania ich priorytetów.

Kolejnym przykładem organizacji badań w drogownictwie są rozwiązania niemieckie. W tym przypadku bardzo ważną rolę odgrywa administracja federalna i poszczególnych landów, która poprzez ministerstwa odpowiedzialne za infrastrukturę transportu oraz poprzez federalne ministerstwo ds. kształcenia i badań, identyfikuje potrzeby i konstruuje plany badań naukowych. Funkcję koordynatora i jednostki ewaluacyjnej, w przypadku drogownictwa, pełni Bundesanstalt für Strassenwesen (*BAST*) - Federalny Instytut Drogownictwa. Podobnie, jak w przypadku *NCHRP* tworzone są plany niezbędnych badań, a następnie w postępowaniu konkursowym wybiera się ich wykonawców. Plany badań są grupowane w następujących działach: materiały, konstrukcje nawierzchni, technologia budowy i utrzymania dróg; mosty i konstrukcje inżynierskie; inżynieria ruchu; uczestnicy ruchu i jego bezpieczeństwo; technika pojazdów w powiązaniu z drogami i ruchem; inne badania grupujące bieżące problemy nie występujące w podanych powyżej działach. Podana systematyka badań ułatwia zarządzanie nimi oraz identyfikację priorytetowych zadań [3].

Przykład niemieckiej organizacji badań naukowych w drogownictwie zasługuje dodatkowo na uwagę z powodu istnienia systemowego rozwiązania zapewniającego transfer wyników badań naukowych do praktyki. Szczególną rolę odgrywa w tym przypadku *Forschungsgesellschaft für Strassenwesen (FGSV)* – Stowarzyszenie badawcze dla drogownictwa. Powołane w 1924 roku *FGSV* zajmuje się badaniami i popularyzacją wiedzy technicznej poprzez zespoły specjalistów opracowujących wytyczne projektowania, instrukcje i zalecenia projektowe. Wykorzystuje się w nich najnowszą wiedzę techniczną z badań naukowych oraz doświadczenia praktyczne. W strukturze *FGSV* działa 8 grup merytorycznych obejmujących: planowanie; projektowanie dróg; zarządzanie ruchem; zarządzanie infrastrukturą drogową; geotechnikę i budowlę ziemne; kamienne materiały drogowe i ich wbudowywanie; nawierzchnie bitumiczne i metody budowy; nawierzchnie z betonu cementowego i metody budowy. Większość z opracowanych przez *FGSV* dokumentów jest rekomendowana przez ministra właściwego ds. drogownictwa do stosowania w praktyce. Tym samym wyniki badań naukowych znajdują bezpośrednie wykorzystanie.

W opisanej powyżej organizacji badań naukowych poświęconych problematyce drogownictwa, widać wyraźnie bardzo dużą wagę przywiązywaną do planowania badań oraz wdrażania ich wyników w praktyce. Przyjęta systematyka badań w wyróżnionych grupach ułatwia ich planowanie oraz zarządzanie nimi. W podobnym kierunku powinny zmierzać usprawnienia organizacji badań naukowych na potrzeby drogownictwa w Polsce.

Pozytywnym, polskim przykładem kompleksowego traktowania potrzeby badań naukowych i wykorzystania ich wyników w drogownictwie jest realizowany obecnie projekt badawczy „*Innowacyjne środki i efektywne metody poprawy bezpieczeństwa i trwałości obiektów budowlanych i infrastruktury transportowej w strategii zrównoważonego rozwoju*” – POIG.01.01.02-10-106/09, składający się z 8 pakietów tematycznych, wśród których jest także pakiet *PT 6 Innowacyjne metody tworzenia i wykorzystywania komputerowej reprezentacji wiedzy w inżynierii lądowej, kształtowanie infrastruktury transportowej z uwzględnieniem strategii zrównoważonego rozwoju* ([www.bais.p.lodz.pl/POIG/](http://www.bais.p.lodz.pl/POIG/)). W ramach tego pakietu realizowane są następujące zadania badawcze:

- „Innowacyjne metody komputerowej reprezentacji wiedzy w gospodarowaniu infrastrukturą transportową”.
- „Innowacyjne metody badań jako źródło wiedzy o infrastrukturze transportowej”.

- „Bezinwazyjny system monitoringu i diagnozowania konstrukcji żelbetowych oparty na analizie emisji akustycznej, ze szczególnym uwzględnieniem drogowych obiektów inżynierskich”.
- „Opracowanie systemu komputerowego dla „inteligentnego” wspomaganie decyzji administracyjnych i gospodarczych w budownictwie i ochronie środowiska”.
- „Kształtowanie infrastruktury drogowej spełniającej standardy bezpieczeństwa ruchu”. Wybrane wyniki ostatniego zadania opisano w rozdz. 3.

Podjmując próbę diagnozy przyszłych potrzeb badawczych oraz uwzględniając dotychczasowe doświadczenia z programu rozbudowy sieci dróg w Polsce i podejmowane w ostatnich latach prace badawcze, można wskazać na potrzebę pilnego podjęcia lub kontynuowania badań w następujących grupach problemowych, związanych z geometrycznym projektowaniem dróg i zarządzaniem ruchem:

- badania wpływu infrastruktury drogowej na bezpieczeństwo ruchu i aktualizacja zasad projektowania dróg w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu,
- kształtowanie przekroju poprzecznego dróg i ulic z uwzględnieniem ich nowych funkcji oraz z uwagi na poprawę sprawności i bezpieczeństwa ruchu, w tym przekroje 2+1,
- obwodnice drogowe i przebudowa dróg na odcinkach przejść drogowych przez miejscowości,
- uwarunkowania dostępności do dróg i wynikające z nich zasady projektowania przy równoczesnym uwzględnieniu kryteriów bezpieczeństwa, sprawności ruchu oraz minimalizacji oddziaływań środowiskowych dróg i ruchu,
- zagrożenia bezpieczeństwa niechronionych uczestników ruchu, urządzenia dla niechronionych uczestników ruchu w ciągach dróg o dużych prędkościach,
- kształtowanie dróg z uwagi na kryterium jednorodności warunków ruchu wzdłuż ciągu drogi,
- sprawność i koszty funkcjonowania infrastruktury drogowej w warunkach krótkoterminowej i sezonowej zmienności ruchu,
- trendy zmian parku samochodowego i ich wpływ na projektowanie dróg oraz skrzyżowań, a także konstrukcji nawierzchni,
- badania skuteczności nowych rozwiązań promowanych w praktyce zagranicznej,
- wpływ stosowania środków inteligentnych systemów transportowych ITS na projektowanie dróg i zarządzanie ruchem, praktyczne rekomendacja do praktyki projektowej.

Odrębną grupę stanowią badania z zakresu materiałów i konstrukcji nawierzchni drogowych, które muszą odpowiadać na pytania o sposoby budowy trwałych nawierzchni, przy uwzględnieniu kryteriów kosztów oraz środowiskowych. W artykule pominięto tą problematykę, gdyż jest ona prezentowana w innych opracowaniach prezentowanych w części problemowej i ogólnej.

### **3. PRZYKŁADY BADAŃ I MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA ICH WYNIKÓW**

Podany w rozdz. 2 przykład projektu badawczego badań kompleksowo traktującego problematykę budownictwa drogowego, obejmuje m.in. prowadzone przez zespół Politechniki Krakowskiej i Gdańskiej badania poświęcone kształtowaniu infrastruktury drogowej spełniającej standardy bezpieczeństwa ruchu. Tego typu badania mają bardzo duże znaczenie w zapewnieniu oczekiwanego przez uczestników ruchu możliwie najwyższego poziomu jego bezpieczeństwa. Celem projektu jest poprawa bezpieczeństwa ruchu drogowego poprzez zmiany infrastruktury drogowej, tj. podanie zasad jej projektowania

eliminujących dotychczasowe błędy, które zostały zidentyfikowane w efekcie analiz danych o wypadkach oraz ocen istniejącej infrastruktury. Błędy te zostały sklasyfikowane w następujących grupach: błędy o charakterze planistycznym, błędy dotyczące założeń projektowych, błędy doboru typu przekroju poprzecznego, błędy w zakresie ustalania trasy i profilu podłużnego drogi, błędy skrzyżowań i węzłów, błędy urządzeń dla niechronionych uczestników ruchu oraz urządzeń transportu zbiorowego. Określono następujące, potencjalne przyczyny błędów [1]:

- stosowanie przepisów i materiałów pomocniczych zawierających „niewłaściwe” sformułowania - jest to podstawowa grupa błędów, która może zostać wyeliminowana przez zmiany przepisów,
- pomijanie w przepisach technicznych istotnych uwarunkowań bezpieczeństwa ruchu - jest to druga grupa błędów, które mogą być eliminowane przez zmiany istniejących przepisów,
- niewłaściwe zastosowanie (interpretacja) przepisów technicznych, braki wiedzy projektantów,
- ignorowanie przepisów technicznych lub świadome stosowanie odstępstw,
- koncentracja uwagi planistów i projektantów na sprawach ekonomicznych, realizacyjnych i ochrony środowiska z drugorzędną rolą bezpieczeństwa ruchu.

W wyniku analiz zagrożeń bezpieczeństwa ruchu na krajowej sieci dróg oraz przeglądu innych prac badawczych, sformułowano następujące, ogólne kierunki uzupełnień i zmian przepisów techniczno-budowlanych:

- wprowadzenie wymaganych standardów bezpieczeństwa ruchu poprzez wyznaczenie dopuszczalnych klas ryzyka wraz ze stworzeniem narzędzi oceny tego ryzyka,
- wprowadzenie metod ocen wpływu na bezpieczeństwo odstępstw od warunków technicznych i stosowania substandardowych rozwiązań,
- wprowadzenie formalnych wymagań w zakresie kształtowania bezpiecznego otoczenia drogi i form zagospodarowania tego otoczenia,
- stworzenie formalnych podstaw do budowy dróg określanych jako „samoobjaśniające”, tj. o wyraźnie rozdzielonych funkcjach i standardzie technicznym zgodnym z przyjętą funkcją, która powinna być jednoznacznie identyfikowana przez użytkowników,
- zintegrowanie projektowania geometrycznego z projektowaniem środków bezpieczeństwa ruchu i wprowadzaniem środków zarządzania prędkością,
- standaryzacja przekrojów poprzecznych dróg z eliminacją przekrojów niebezpiecznych,
- dostosowanie wartości granicznych parametrów dróg, skrzyżowań i węzłów a także wymagań widoczności do współczesnych modeli ruchu z uwzględnieniem zmian cech dróg, cech pojazdów oraz zachowań uczestników ruchu,
- projektowanie wyposażenia drogi i jej otoczenia zapewniające uzyskanie rozwiązań bezpiecznych, w tym „wybaczących” błędy kierowców,
- wprowadzenie odrębnych grup technicznych ograniczeń dla parametrów dróg, skrzyżowań i węzłów w zależności od ich lokalizacji i rzeczywiście pełniących funkcji,
- określenie szczegółowych wymagań w zakresie środków uspokojenia ruchu dla różnych przypadków ich zastosowań,
- uściślenie i rozszerzenie zasad wymiarowania urządzeń dla ruchu pieszego i rowerowego,
- uwzględnienie w projektowaniu geometrycznym i organizacji ruchu wyposażenia w środki inteligentnych systemów transportowych wpływających na podniesienie bezpieczeństwa ruchu.

Dopełnieniem powyższych, praktycznych zaleceń jest rozwój narzędzi wspomagania projektowania w postaci metody oceny ryzyka na sieci dróg oraz modeli predykcji wypadków w skali mikro. Szczegółowo zagadnienia te są omawiane w ramach innych referatów prezentowanych w części ogólnej konferencji. Podany przykład dobrze ilustruje możliwości praktycznego wykorzystania wyników właściwie zaplanowanych badań naukowych.

Innymi przykładami badań mających bezpośrednie powiązanie z przekształceniami sieci drogowej jest seria projektów badawczych podjętych z inicjatywy Katedry Budowy Dróg i Inżynierii Ruchu Politechniki Krakowskiej, finansowanych ze środków budżetowych (KBN, MNiSzW, NCBiR). Poniżej podano jedynie ich krótką charakterystykę, gdyż część z nich jest szerzej prezentowana w ramach sesji części ogólnej konferencji.

„Identyfikacja i prognozowanie zakresu oddziaływań środowiskowych ruchu pojazdów na przejściach dróg przez małe miejscowości”. Projekt badawczo-rozwojowy nr R1000802 (2007 - 2009).

Celem projektu, związanego bezpośrednio z rozwojem sieci drogowej w Polsce, był opis i charakterystyka ilościowo-jakościowa oddziaływań dróg i ruchu drogowego w zakresie hałasu, drgań oraz zagrożenia wypadkowego, kategoryzacja tych oddziaływań i powiązanie z nią metod planowania, projektowania, budowy i eksploatacji dróg na przejściach drogowych przez małe miejscowości i tereny zabudowy. W ramach projektu wykonano m.in. ilościowy opis uciążliwości hałasu drogowego wraz z oceną potrzeb ekranowania dróg. Na podstawie badań empirycznych i analiz symulacyjnych stworzono modele predykcji hałasu drogowego przy uwzględnieniu różnych czynników drogowo-ruchowych, a także form zabudowy w otoczeniu dróg. Dzięki tym badaniom możliwe było sformułowanie praktycznych zaleceń dotyczących wzajemnej lokalizacji dróg i zabudowy dla minimalizacji uciążliwości dróg i ruchu z uwagi na hałas i drgania. Wykazano także istotny wpływ dostępności do dróg, wyrażonej gęstością wjazdów indywidualnych i sposobem zagospodarowania otoczenia, na poziom bezpieczeństwa ruchu. Z tych analiz także wynikają praktyczne zalecenia dotyczące lokalizacji i form zabudowy wzdłuż dróg [4, 8, 9].

„Identyfikacja determinant bezpieczeństwa ruchu w warunkach nocnych ograniczeń widoczności”. Projekt badawczy własny nr N N509 254437 (2009 – 2012).

W projekcie zrealizowano zadania mające na celu zbadanie wpływu różnych warunków oświetlenia dróg na bezpieczeństwo ruchu drogowego, oceniane poprzez miary bezpośrednie, tj. wskaźniki wypadkowe i strukturę wypadków oraz poprzez miary pośrednie. W sposób ilościowy oszacowano wzrost zagrożenia wypadkami w nocy w różnych grupach uczestników ruchu oraz w odniesieniu do różnych typów wypadków. Potwierdzono nieproporcjonalnie duży w stosunku do innych typów wypadków wzrost zagrożenia bezpieczeństwa pieszych oraz wypadków związanych z najeżdżaniem na przeszkody w otoczeniu drogi. W przypadku miar pośrednich badano wpływ warunków oświetlenia na wybór prędkości przez kierujących pojazdami oraz odstępy między pojazdami. Szczególną uwagę poświęcono identyfikacji czynników drogowych determinujących występowanie odstępów niebezpiecznych między pojazdami

Warunki nocnych ograniczeń widoczności wprowadzają specyficzne uwarunkowania w percepcji drogi i zachowaniach kierujących pojazdami, które wskazują na potrzebę następujących działań:

- zmniejszenie udziału wypadków powodowanych zmęczeniem przez rozbudowę miejsc obsługi podróżnych także przy drogach innych niż autostrady,
- poprawa percepcji przebiegu krytycznych odcinków dróg poprzez weryfikację wymagań dotyczących ciągłości pola widoczności oraz niestandardowe oznakowanie;
- segregacja ruchu pieszego i rowerowego na odcinkach dróg zamiejskich i na przejściach przez miejscowości a także oświetlanie miejsc przechodzenia pieszych,



- eliminacja lub zabezpieczenie stałych przeszkód w otoczeniu krytycznych odcinków dróg,
- intensyfikacja losowego nadzoru prędkości w nocy oraz rozszerzenie automatycznego nadzoru prędkości.

„Wybrane problemy projektowe i eksploatacyjne skrzyżowań z sygnalizacją świetlną na zamiejskich drogach z dużymi prędkościami”. Projekt badawczy własny nr N N509 254037 (2009 – 2012).

Skrzyżowania z sygnalizacją świetlną zlokalizowane na drogach poza terenem zabudowy mają swoją specyfikę, wyróżniającą je spośród innych skrzyżowań; duże prędkości ruchu, duża dysproporcja obciążenia kierunku głównego i drogi podporządkowanej oraz znaczny udział pojazdów ciężkich w potokach ruchu. Często, skrzyżowania na drogach poza terenem zabudowy, dla poprawy bezpieczeństwa ruchu wyposaża się w sygnalizację świetlną, nie proponując jednak niezbędnych rozwiązań towarzyszących, oddziałujących na zachowania uczestników ruchu, zwłaszcza regulujących prędkość dojazdu i przejazdu przez skrzyżowanie jak również nadzorujących przejazd skrzyżowania przy zmianie sygnałów.

Podjęte badania umożliwiły identyfikację specyficznych cech przedmiotowych skrzyżowań oraz zachowań uczestników ruchu i na tej podstawie wypracowanie naukowych i empirycznych podstaw dla racjonalizacji procesu decyzyjnego dotyczącego stosowania skrzyżowań z sygnalizacją na drogach poza terenem zabudowy a także samego procesu ich projektowania. Uzyskane wyniki pozwalają na ujednoczenie zawartości dokumentacji projektowej, zwłaszcza jej części dotyczącej sterowania ruchem na skrzyżowaniu.

„Racjonalizacja ochrony zabudowy przed hałasem drogowym z uwzględnieniem wymogów bezpieczeństwa”. Projekt badawczy własny nr N N509 498638 (2009 – 2012).

W projekcie przeprowadzono badania zagospodarowania otoczenia dróg wraz z ilościowym opisem oddziaływania hałasu drogowego na to otoczenie. W projekcie analizowano i szczegółowo opisano problem sprzeczności celów pomiędzy ochroną akustyczną otoczenia a dostępnością do dróg i bezpieczeństwem ruchu drogowego. Zidentyfikowano i opisano problem kształtowania wjazdów przez ekran do posesji, opracowano metodę szacowania wpływu parametrów wjazdu na efektywność ekranowania. Wykazano, że przez odpowiednie przesunięcie przerwy w ekranie/wjeździe względem budynków można istotnie poprawić skuteczność ochrony akustycznej zabudowy. Przeprowadzono analizę efektywności ekranowania w przypadku lokalizacji ekranu w pasie drogowym i poza pasem, przy odbiorcy pokazując, że z uwagi na skuteczność i koszty jest to rozwiązanie bardziej racjonalne. Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie ogólnych zaleceń dla racjonalizacji ochrony akustycznej z uwzględnieniem wymogów bezpieczeństwa ruchu.

Narzędzia wspomagające decyzje przy projektowaniu obwodnic i przebudowie przejść drogowych przez miejscowości. Projekt rozwojowy N R10-0067-10/2010 (2010 – 2013).

Głównym celem realizacji projektu jest opracowanie narzędzi wspomagających podejmowanie decyzji inwestycyjnych i projektowych dla obwodnic miejscowości, małych i średnich miast z uwzględnieniem przekształceń istniejącej infrastruktury. Narzędzia wspomagania decyzji odnosić się będą do zasad planowania i projektowania obwodnic oraz zasad przekształceń odcinków przejść drogowych przez miejscowości, tak aby uzyskać korzystne efekty w zakresie bezpieczeństwa ruchu, zużycia energii, zmniejszenia uciążliwości środowiskowych i społecznych. W projekcie podjęto prace nad budową modeli predykcji wskaźników bezpieczeństwa ruchu na obwodnicach i przejściach drogowych przez miejscowości, a także nad budową modeli szacowania zużycia energii i emisji zanieczyszczeń, przy uwzględnieniu szczególnych uwarunkowań wpływu obwodnic na ruch pojazdów i przekształceń dotychczasowych przejść przez miejscowości. Analizowane są także skutki społeczno-ekonomiczne budowy obwodnic i związanych z tym zmian lokalnego

układu drogowego oraz powstających konfliktów wraz z ustaleniem wskaźników do ocen wielokryterialnych efektywności realizacji obwodnicy.

Podane powyżej przykłady badań pokazują, że ich wyniki w istotny sposób wzbogacają wiedzę o dużym praktycznym znaczeniu w doskonaleniu zasad planowania i projektowania dróg. Dlatego tego rodzaju badania zasługują na nadanie im wysokiego priorytetu.

#### 4. PODSUMOWANIE

Większość obowiązujących w kraju przepisów techniczno-budowlanych wykorzystuje wiedzę z lat 90. i z końca ubiegłego wieku, mimo iż na ich podstawie kształtowane są rozwiązania infrastrukturalne na przyszłe stulecie. Dlatego niezbędna jest intensyfikacja badań naukowych, których wyniki stwarzałyby podstawę do bardziej racjonalnego planowania i projektowania infrastruktury drogowej. Badania tego typu muszą być zadaniem permanentnym, gdyż ciągle zmieniają się uwarunkowania planistyczno-projektowe.

Podejmowane dotychczas krajowe badania naukowe wspierające przekształcenia sieci drogowej nie mają charakteru systemowych, lecz są działaniami doraźnymi, odpowiadającymi zwykle na bieżące potrzeby. Konieczna jest zmiana takiej praktyki poprzez zwiększenie roli ich planowania w powiązaniu z prognozami problemów, jakie mogą się pojawić w przyszłości. Za oczywistą uznaje się konieczność koordynacji badań oraz wyznaczania ich priorytetów. W sposób systemowy powinno być także rozwiązane przenoszenie wyników badań do praktyki planistycznej i projektowej. Konieczne jest włączenie programu badań naukowych do programu rozwoju sieci drogowej

Dotychczasowe doświadczenia z programu rozbudowy sieci dróg w Polsce i podejmowane w ostatnich latach prace badawcze, pozwalają na sformułowanie programu badań, które powinny być traktowane jako priorytetowe i ujęte w programie badań zamawianych przez administrację drogową. Propozycje takich badań zamieszczono w niniejszym artykule.

#### Piśmiennictwo

- [1] Gaca S.: Rola przepisów technicznych i promocja dobrej praktyki jako środka poprawy bezpieczeństwa ruchu. *Drogownictwo* Nr 4/2012
- [2] GDDKiA/Transprojekt Warszawa: Komentarz do warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Warszawa, 2002.
- [3] Jahresbericht 2009/2010. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Allgemeines Heft A 34. Bergisch Gladbach, 2011.
- [4] Kieć M.: Wpływ dostępności do dróg na warunki i bezpieczeństwo ruchu, Praca doktorska, Politechnika Krakowska, 2009.
- [5] NCHRP Report 500: Guidance for Implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan Transportation Research. Transportation Research Board, Washington D.C., 2009.
- [6] NCHRP Synthesis 432: Recent Roadway Geometric Design Research for Improved Safety and Operations. A Synthesis of Highway Practice., Transportation Research Board, Washington D.C., 2012.
- [7] Safety Research on Highway Infrastructure and Operations. Improving Priorities, Coordination, and Quality. Special Report 292, Transportation Research Board, Washington D.C., 2008.
- [8] Tracz M. i inni.: Identyfikacja i prognozowanie zakresu oddziaływań środowiskowych ruchu pojazdów na przejściach dróg przez małe miejscowości – Projekt badawczy nr R10

008 02, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Politechnika Krakowska, Kraków, 2009 (nie publikowany)

[9] Woźniak K.: Wpływ dostępności do dróg na efektywność ochrony akustycznej otoczenia. Praca doktorska. Politechnika Krakowska, 2011.

## **RESEARCHES AND THEIR ROLE IN THE ROAD NETWORK TRANSFORMATION**

### **Summary**

The construction of highways and expressways implements one of the main goals of the road network transformation, which is to obtain a hierarchical network with a distinct division of functions between the elements of the network, its better adaptation to the traffic users' needs and an improvement of the efficiency and road safety. Full achievement of such effects requires the use of solutions developed on the basis of technical and construction principles and rules corresponding to the current state of technical knowledge. The foundation of this knowledge is developed by practical experience and also the results coming from properly planned and carried out scientific research. Identification of research needs to enhance overall knowledge of road design, and also introduction the directions of this research with the resulting potential benefits, are presented in the paper.



Sławomir Heller<sup>1</sup>  
HELLER Ingenieurgesellschaft mbH, Darmstadt  
Republika Federalna Niemiec

## **SYSTEMY ZARZĄDZANIA STANEM NAWIERZCHNI DROGOWEJ (PMS)**

### **STRESZCZENIE**

Systemy zarządzania stanem nawierzchni drogowej (PMS) wspomagają Zarządcę na poziomie strategicznym i operacyjnym. Na poziomie strategicznym umożliwiają one planowanie budżetów na utrzymanie dróg w długim horyzoncie czasu (15-20 lat) tak, aby uzyskać założone cele jakościowe, opisywane poprzez wymagany stan nawierzchni. PMS na poziomie operacyjnym wspomaga Zarządcę przy planowaniu konkretnych programów utrzymaniowych w krótkim horyzoncie czasu (do 3 lat), optymalizujących korzyści dla użytkowników dróg przy równoczesnym spełnieniu ograniczeń budżetowych. Efektywne wykorzystanie systemów zarządzania stanem nawierzchni przez administrację drogową jest możliwe tylko przy wykorzystaniu odpowiedniego oprogramowania. Programy PMS na poziomie strategicznym posiadają charakter „automatu decyzyjnego” i bazują na danych o dużym stopniu agregacji, natomiast na poziomie operacyjnym wykorzystywane są dane szczegółowe, zaś sam program umożliwia interakcję z operatorem.

**SŁOWA KLUCZOWE:** PMS, utrzymanie dróg, stan nawierzchni, konstrukcja nawierzchni, eksploatacja dróg

### **1. WPROWADZENIE**

Zapewnienie mobilności ludzi i towarów należy do najpoważniejszych wyzwań XXI wieku. Infrastruktura drogowa, jej potencjał techniczny i eksploatacyjny, decydują o stopniu zaspokojenia społecznych oczekiwań, związanych z transportem. Kapitał zamrożony w obiektach infrastruktury drogowej jest ogromny. Szacuje się, że majątek zgromadzony jedynie w sieci dróg wojewódzkich i powiatowych w Polsce w 2006 roku wynosił 352 mld zł [1]. Planowa i konsekwentna odnowa tego majątku oraz racjonalna jego eksploatacja wymagają systematycznego podejścia i wykorzystania dostępnych technik i narzędzi menadżerskich. Podejmowanie decyzji odbiegających od optimum implikuje znaczące straty społeczne. Odsuwanie w czasie niezbędnych inwestycji restytucyjnych, tzn. odtwarzających zużywany sukcesywnie potencjał użytkowy, na rzecz inwestycji nowych jest strategią krótkowzroczą.

---

<sup>1</sup> slawek.heller@heller-ig.com

Jedynie harmonizacja obydwu kierunków działania, tzn. świadome i wyważone kształtowanie poziomu inwestycji na nowe obiekty drogowe oraz na modernizację istniejących układów drogowych z jednej strony, z drugiej zaś na utrzymanie i odtwarzanie zużytego potencjału obiektów już istniejących, jest jednym z istotniejszych wymogów polityki transportowej państwa.

W celu wsparcia Zarządcy dróg w procesie eksploatacji istniejącej infrastruktury drogowej opracowano szereg technik planistycznych i menadżerskich oraz zaimplementowano wspomagające je „narzędzia“ komputerowe. Utworzoną w ten sposób dyscyplinę przyjęło się określać angielskim terminem: *Pavement Management Systems* (w skrócie: PMS). Termin ten jest stosowany w wielu państwach, także i w Polsce. Jakkolwiek dosłowne tłumaczenie tego terminu: „systemy zarządzania nawierzchnią“ lub częściej stosowany termin „systemy utrzymania nawierzchni” sugerowałyby zawężenie problematyki do samej nawierzchni, to jednak większość tych systemów obejmuje swoim zakresem także eksploatację wyposażenia drogi oraz niekiedy mniejszych obiektów inżynierskich. Obok *Bridge Management Systems* (w skrócie: BMS) stanowią one istotne narzędzie decyzyjne administracji drogowej. W celu umożliwienia kompleksowego podejścia do eksploatacji infrastruktury drogowej coraz częściej sięga się do nadrzędnych systemów: *Road Asset Management*, dla których PMS stanowi pewien podzbiór narzędzi i metod.

## 2. ZASTOSOWANIA PMS NA POZIOMIE PROJEKTU I SIECI DROGOWEJ

Historia PMS zaczęła się we wczesnych latach 60-tych, kiedy to po raz pierwszy tym terminem określono systemy, wykorzystywane do planowania budowy i utrzymania nawierzchni lotniskowych a następnie nawierzchni drogowych w zastosowaniach militarnych. Jednym z pierwszych takich systemów był *Paver*, finansowany przez *Department of Defense USA*. Z upływem czasu zaczęto sukcesywnie wykorzystywać techniki PMS także dla projektów cywilnych, przede wszystkim w celu porównywania wariantów większych inwestycji drogowych. Dzięki tym systemom stało się możliwym uwzględnienie, oprócz bezpośrednich kosztów inwestycji oraz zabiegów utrzymaniowych (*agency costs*) także kosztów użytkowników drogi (*operational costs*), będących funkcją stale zmieniającego się stanu dróg i ich przydatności użytkowej (*serviceability level*).

Zastosowanie technik PMS było w końcu lat 60-tych i na początku 70-tych dowodem dojrzewającej wśród kadr inżynierskich świadomości, iż nie można w procesie planowania systemów transportowych koncentrować się wyłącznie na samej inwestycji i abstrahować od aspektów późniejszego utrzymania i pomijać w rachunku inwestycji nieodzownych, choć nie zawsze świadomie postrzegane koszty późniejszej eksploatacji. W przełomowej publikacji: „*Pavement Management Systems*” amerykańsko – kanadyjska para ekspertów: Haas i Hudson w zaprezentowała tę nową dyscyplinę szerokiej rzeszy odbiorców.

### 2.1. PMS na poziomie projektu

Aby takie kompleksowe, nie zaś jednostronne podejście do planowania inwestycji drogowych ugruntować w świadomości decydentów i planistów w krajach rozwijających się, w których to wydatki na infrastrukturę transportową, przede wszystkim na drogi kołowe stanowiły (i wciąż stanowią) znaczącą pozycję w programach inwestycyjnych, sfinansowany został przez Bank Światowy, w ramach wielomilionowego programu badawczo-wdrożeniowego system HDM – *Highway Development and Management System*. Wdrożenie tego systemu do celów porównywania i optymalizacji wariantów realizacji inwestycji drogowych z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych było przez lata warunkiem koniecznym przy ubieganiu się o kredyty Banku Światowego na inwestycje drogowe.



Takie zastosowanie PMS na poziomie projektu, tzn. planowania konkretnych inwestycji drogowych, jest powszechnie wykorzystywane przy projektach koncesyjnych. Koncesjodawca, odpowiedzialny za budowę i utrzymanie odcinka drogi lub autostrady, dobiera konstrukcję nawierzchni i standard wykonania tak, aby zdyskontowana suma inwestycji oraz kosztów utrzymania podczas całego okresu koncesji były minimalne (funkcja celu) przy równoczesnym zagwarantowaniu utrzymania wymaganego umową koncesyjną stanu nawierzchni (warunki ograniczające).

Ocenia się, że ten wymóg racjonalnego, długofalowego postrzegania procesów inwestycyjno-eksploatacyjnych jest w ostatnich latach najistotniejszym motorem postępu technicznego w technologii nawierzchni drogowych, gdyż kieruje się regułami rynku i zasadami konkurencji.

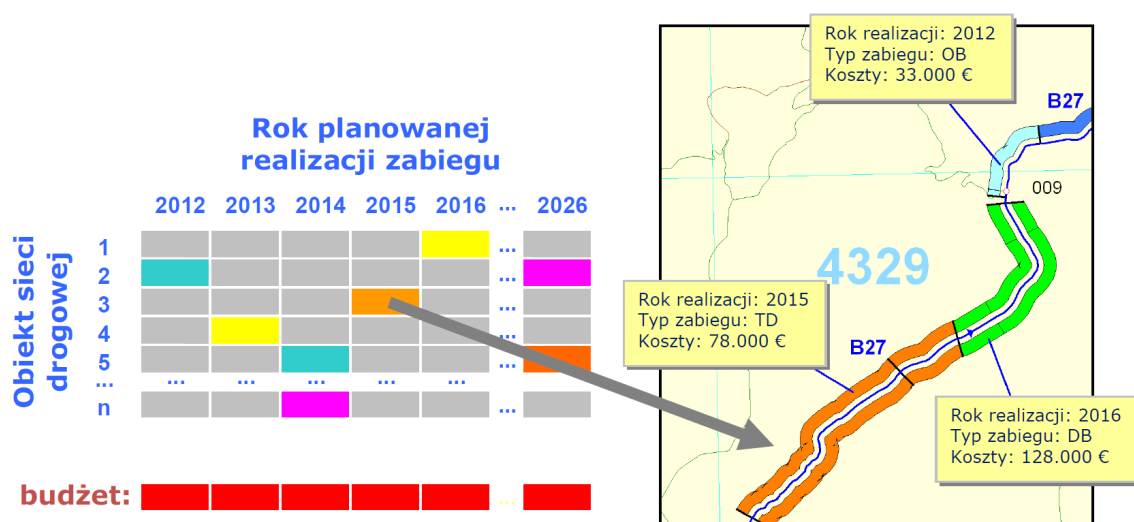
PMS operuje modelami, które w istotnym stopniu bazują na prognozach. Prognozy stanu nawierzchni, natężenia ruchu drogowego, kosztów zabiegów utrzymaniowych etc., będące podstawą analiz technicznych i ekonomicznych są z natury rzeczy obciążone niepewnością i powodują, że uzyskane wyniki należy traktować raczej jako zmienne losowe, podlegające określonym rozkładom prawdopodobieństwa. Podjęcie się realizacji poważnych inwestycji koncesyjnych jest zatem związane z ryzykiem, którego kwantyfikacja jest możliwa przy wykorzystaniu stochastycznych modeli PMS. Szczególnie banki, finansujące inwestycje koncesyjne coraz częściej zlecają wykonanie odpowiednich ekspertyz w tym zakresie i w zależności od wyników określają stopy procentowe udzielanych kredytów.

## 2.2 PMS na poziomie sieci drogowej

Drugim, obok planowania inwestycji drogowych, istotnym obszarem zastosowania PMS jest planowanie zabiegów utrzymaniowych w obrębie całej sieci drogowych. Podmiotem decyzyjnym jest w tym przypadku z reguły administracja drogowa. PMS pomaga Zarządcy udzielić odpowiedzi na trzy fundamentalne pytania:

- które odcinki sieci drogowej powinny zostać poddane zabiegom utrzymaniowym?
- jakie typy zabiegów należy zastosować?
- kiedy (w którym roku kalendarzowym) należy je przeprowadzić?

Te powyższe trzy pytania (gdzie? co? kiedy?) są zarazem parametrami decyzyjnymi, które definiują program utrzymania nawierzchni w obrębie sieci drogowej (rys.1).



Rys. 1. Struktura programu utrzymania nawierzchni

Każdemu programowi utrzymania nawierzchni przypisane są z jednej strony koszty realizacji, z drugiej zaś korzyści, wynikające z jego przeprowadzenia. Korzyści z realizacji programu utrzymania nawierzchni są obliczane na podstawie porównania kosztów użytkowania w przypadku realizacji tego programu z kosztami użytkowania w przypadku zaniechania jakichkolwiek działań czyli dla tzw. „wariantu zerowego” (*do nothing*). Systemy utrzymania nawierzchni na poziomie sieci (PMS) umożliwiają kalkulację tych kosztów i korzyści na przestrzeni całego, wieloletniego horyzontu planowania oraz odpowiednią optymalizację programów utrzymaniowych. Stosowane są przy tym dwa alternatywne zagadnienia optymalizacyjne, określane jako „scenariusz jakościowy” (*quality scenario*) oraz „scenariusz finansowy” (*budget scenario*).

„Scenariusz jakościowy” umożliwia wybór spośród możliwych, technicznie uzasadnionych programów utrzymania nawierzchni takiego, który prowadzi do uzyskania założonych korzyści przy minimalizacji zaangażowanych środków budżetowych.

Natomiast „scenariusz finansowy” pozwala na wybór programu utrzymania nawierzchni, który maksymalizuje korzyści przy zaangażowaniu określonych (limitowanych) środków budżetowych.

Wybór programu utrzymania nawierzchni w „scenariuszu jakościowym” lub „finansowym” jest zagadnieniem optymalizacyjnym i wymaga zastosowania technik z zakresu badań operacyjnych. Z uwagi na poważną złożoność zagadnienia optymalizacyjnego praktycznie wszystkie stosowane w praktyce PMS uciekają się do metod heurystycznych.

### **3. MODELOWANIE RZECZYWISTOŚCI EKSPLOATACYJNEJ W RAMACH PMS**

Wszystkie systemy decyzyjne posiłkują się modelami, pozwalającymi przedstawić złożoną rzeczywistość w postaci uproszczonej i ograniczonej do aspektów, istotnych z punktu widzenia zewnętrznych celów, jakie system decyzyjny ma realizować. W przypadku PMS konieczne jest takie zdefiniowanie modelu, aby korespondował on z potrzebami Zarządcy i uwzględniał istotne uwarunkowania techniczne, w tym normatywne oraz parametry otoczenia decyzyjnego.

Jak każdy model, także i model PMS jest uproszczeniem rzeczywistości. Od jakości modelu PMS zależy jakość generowanych na jego podstawie decyzji, tzn. programów utrzymania nawierzchni drogowej.

Model PMS składa się z szeregu modeli składowych. Poniżej wyszczególniono i krótko omówiono najistotniejsze z nich.

#### ***Model stanu nawierzchni***

Model ten jest najistotniejszym z modeli PMS. Pozwala on na opisanie stanu eksploatacyjnego nawierzchni poprzez parametry stanu, takie jak np. wskaźnik równości podłużnej, głębokość kolein, współczynnik tarcia. Wskaźniki stanu mogą być definiowane w różny sposób, w zależności od szczegółowości analiz, horyzontu czasowego programów utrzymaniowych oraz optymalizowanej w modelu funkcji celu.

#### ***Model konstrukcji nawierzchni***

Konstrukcja nawierzchni może być modelowana z różnym stopniem szczegółowości. Większość systemów utrzymania korzysta z warstwowego modelu nawierzchni. Każda warstwa jest opisywana poprzez trzy podstawowe parametry: grubość, typ oraz rok budowy. Model nawierzchni uwzględnia ponadto parametry podłoża naturalnego.

### ***Model degradacji stanu nawierzchni***

Modele degradacji stanu nawierzchni opisują jego zmienność w czasie pod wpływem oddziaływania ruchu, szczególnie zaś ruchu ciężkiego oraz czynników klimatycznych i atmosferycznych. Sukcesywnie kalibrowane modele degradacji są z reguły modelami statystycznymi, opracowywanymi na podstawie wieloletnich obserwacji zmienności stanu. Odnoszą się one do poszczególnych parametrów stanu.

### ***Model przedsięwzięć utrzymaniowych***

Wszystkie typy przedsięwzięć utrzymaniowych, będących przedmiotem planowania w ramach PMS są poddane standaryzacji. Każdemu typowi przedsięwzięcia jest przypisywana jego skuteczność tzn. stopień, w jakim przywraca on utracony w trakcie eksploatacji potencjał użytkowy nawierzchni oraz wpływ, jaki wywierają na późniejszy przebieg degradacji stanu. Ponadto określone są reguły stosowania poszczególnych zabiegów w zależności od danego stanu nawierzchni oraz od innych, istotnych parametrów decyzyjnych. Dla poszczególnych przedsięwzięć są także określone jednostkowe koszty ich realizacji.

### ***Modele ruchu***

Modele ruchu obejmują prognozę ruchu, w tym także prognozę struktury rodzajowej oraz koszty ruchu w zależności od stanu eksploatacyjnego nawierzchni, jak również ocenę zakłóceń płynności, spowodowanych realizacją robót utrzymaniowych.

Modele PMS zapisywane są w postaci parametrów, wzorów a także złożonych sekwencji poleceń i warunków, sformułowanych zgodnie z przyjętymi i odpowiednio udokumentowanymi regułami. O jakości PMS decyduje w dużym stopniu jego elastyczność, tzn. zdolność do indywidualnego definiowania otoczenia decyzyjnego w modelu PMS.

## **4. PMS NA POZIOMACH STRATEGICZNYM I OPERACYJNYM**

Systemy PMS, wykorzystywane do celów planowania programów utrzymaniowych dla długiego horyzontu czasu, sięgającego 15-20 lat, posiłkują się prognozami, opracowanymi głównie na bazie analiz statystycznych. Szczególnie prognoza stanu jest obciążona poważnymi błędami statystycznymi. Wykorzystanie długoletniej prognozy stanu dla konkretnych odcinków sieci i planowanie na tej podstawie obligatoryjnych decyzji eksploatacyjnych w długim (wieloletnim) horyzoncie czasu jest nieracjonalne. Faktyczny stan nawierzchni odbiega bowiem zawsze od prognozowanego i decyzje o konkretnych zabiegach mogą być podejmowane jedynie w krótkim horyzoncie czasu (1-3 lat).

Wyniki PMS dla długiego horyzontu czasu mogą być natomiast z powodzeniem wykorzystywane dla prognozowania nakładów utrzymaniowych, niezbędnych dla realizacji określonych celów jakościowych, tzn. utrzymania stanu nawierzchni na wymaganym poziomie, w ramach całej sieci drogowej. Ten poziom decyzyjny jest określany mianem poziomu strategicznego. Na poziomie strategicznym są planowane globalne i lokalne budżety dla długich horyzontów czasowych (15-20 lat) w celu uzyskania założonych celów jakościowych, np. utrzymania stanu nawierzchni na aktualnym poziomie, tzw. „status quo scenario”. Skutki braku pełnej adekwatności modelu PMS, przede wszystkim zaś prognozy degradacji stanu, z obserwowanym stanem faktycznym w odniesieniu do poszczególnych obiektów niwelują się bowiem w obrębie większych sieci i nie wykluczają tym samym możliwości długoterminowego szacowania zapotrzebowania na środki utrzymaniowe.

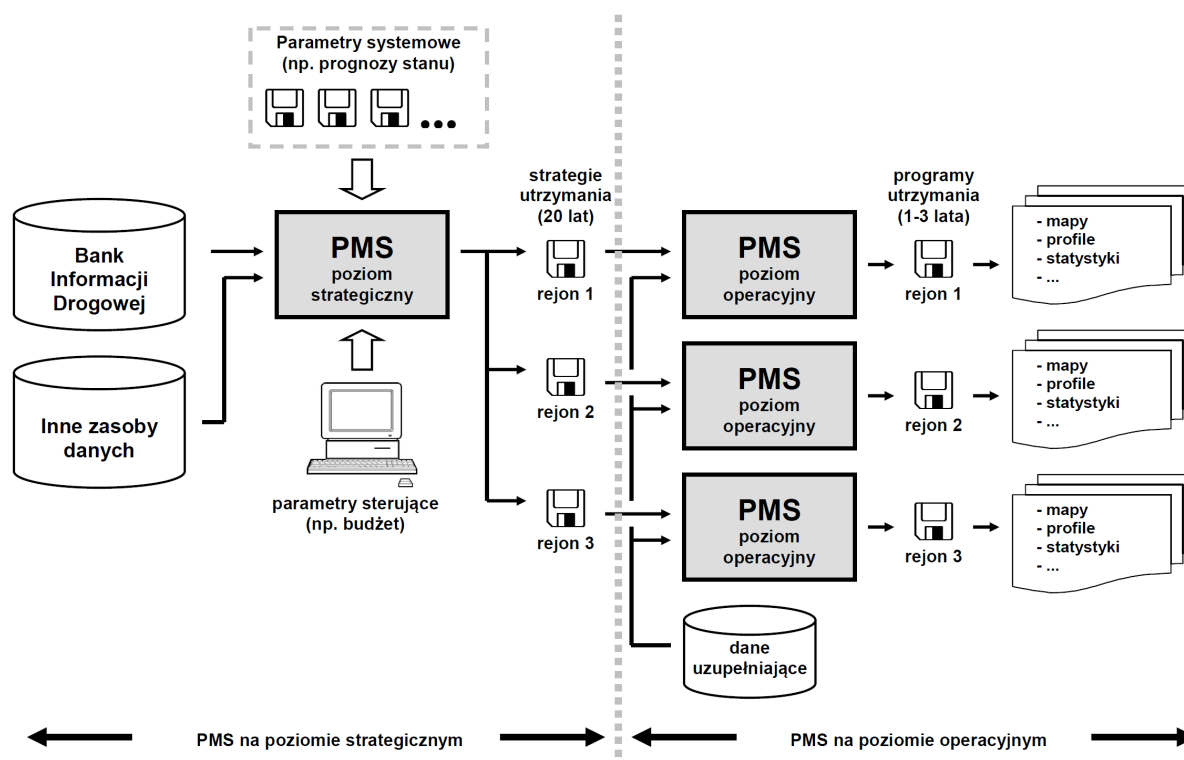
Mimo faktu niwelowania się błędów statystycznych, jakimi obciążone są modele PMS, są one dla poszczególnych obiektów (odcinków) na tyle duże, aby uzyskane rozwiązania przejąć bezkrytycznie do konkretnych, obligatoryjnych programów utrzymaniowych na poziomie operacyjnym, szczególnie w krótkim i średnim horyzoncie

czasowym. Obniżałoby to stopień zaufania do wyników PMS zarówno ze strony samego personelu inżynierskiego, jak i politycznych czynników decyzyjnych.

Mając to na uwadze wyróżnia się w procesie decyzyjnym dwa poziomy, realizujące różne, jednak komplementarne zadania:

**Poziom strategiczny**, na którym opracowywane są prognozy funduszy utrzymaniowych, niezbędnych do realizacji założonych celów utrzymaniowych.

**Poziom operacyjny**, na którym następuje konkretyzacja przedsięwzięć w takim stopniu szczegółowości, który umożliwia uwzględnienie ich w konkretnych programach utrzymaniowych. Na rysunku 2 zilustrowano schematycznie obydwie poziomy decyzyjne PMS.



Rys. 2. Strategiczny i operacyjny poziom decyzyjny PMS

## 5. KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PMS

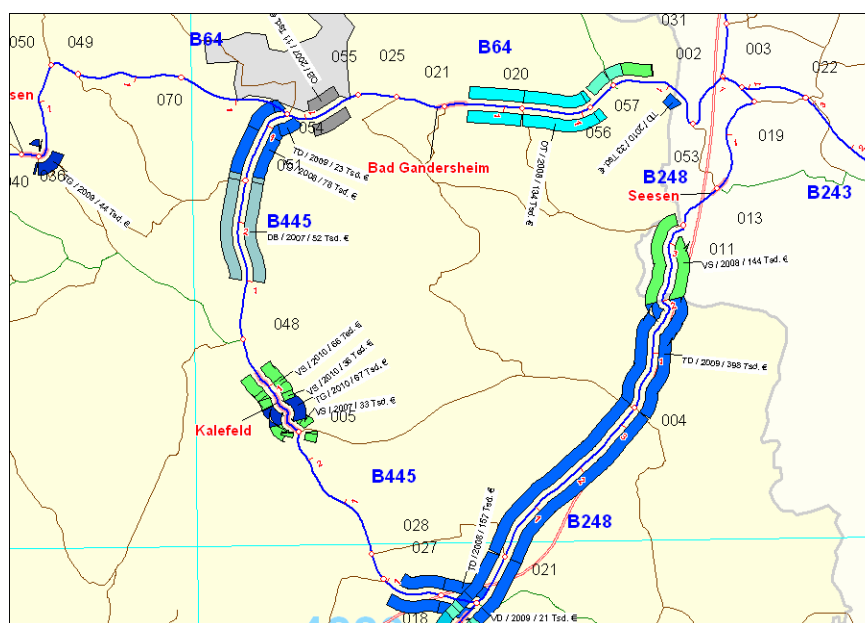
Efektywne korzystanie z technik PMS w praktyce zarządzania eksploatacją dróg wymaga stosowania narzędzi komputerowych, adekwatnych do danego poziomu decyzyjnego. Zdecydowana większość stosowanych na świecie programów komputerowych PMS wspomaga Zarządcę na poziomie strategicznym. Obok systemu HDM-4 Banku Światowego najbardziej rozpowszechnionym systemem w tym zakresie jest dTims® kanadyjskiej firmy *Deighton Associates Ltd*, wykorzystywany przez administracje drogowe na wszystkich kontynentach.

Proces adaptacji wyników analiz PMS, uzyskanych na poziomie strategicznym dla potrzeb krótko- i średnioterminowego planowania przedsięwzięć utrzymaniowych na poziomie jednostek niższego szczebla (np. rejony drogowe) realizowany jest jednak w większości administracji drogowych wciąż metodami tradycyjnymi, bez wsparcia zaawansowanych technik komputerowych. Ten niezadowolający stan na tym operacyjnym poziomie decyzyjnym doprowadził do podjęcia przed kilku laty w Niemczech działań na

rzecz opracowania stosownych dla tego poziomu decyzyjnego narzędzi komputerowych. Zaprezentowane po raz pierwszy podczas światowego kongresu PMS w australijskim Brisbane rozwiązania w tym zakresie [4] spotkały się z powszechną aprobatą i są sukcesywnie adaptowane przez dalsze administracje drogowe.

System komputerowy, wspomagający Zarządcę na poziomie operacyjnym różni się w istotnym stopniu od systemu na poziomie strategicznym. Usprawiedliwione, wręcz konieczne uproszczenia modelowe na poziomie strategicznym muszą na poziomie operacyjnym być zastąpione daleko posuniętą konkretyzacją. Powyższe uwarunkowania narzucają wysokie wymagania zarówno co do kwalifikacji personelu podejmującego decyzje jak i do wspomagających je narzędzi decyzyjnych. Muszą być one wyposażone w efektywny, niezawodny i ergonomiczny interfejs użytkownika. Z uwagi na dużą złożoność procesu decyzyjnego na poziomie operacyjnym, jakość narzędzi wspomagających te decyzje ma fundamentalne znaczenie dla akceptacji przez Zarządcę nowoczesnych technik utrzymania dróg.

Zarówno dane wejściowe, jak i rezultaty pracy z systemem PMS są dokumentowane i wizualizowane w standardowej formie, zarówno w postaci list z planowanymi zabiegami utrzymaniowymi, na planach liniowych, wykonywanych dla poszczególnych dróg, jak i na mapach tematycznych (rys. 3). Odpowiednia wizualizacja wyników PMS jest jednym z kluczowych czynników, wpływających pozytywnie na jakość wypracowywanych decyzji oraz zwiększających poziom akceptacji zarówno wśród kadr inżynierskich, władz lokalnych oraz opinii publicznej.



Rys. 3. Przykład mapy z programem utrzymania nawierzchni (rezultat PMS) [3]

## 6. PODSUMOWANIE

Systematyczne planowanie programów utrzymania nawierzchni jest warunkiem koniecznym racjonalnego gospodarowania majątkiem „zamrożonym” w infrastrukturze drogowej. Systemy PMS na poziomie strategicznym umożliwiają szacowanie nakładów na utrzymanie nawierzchni drogowych, niezbędnych do uzyskania określonych celów eksploatacyjnych w długim horyzoncie czasu. Szacunki te stanowią punkt wyjścia do planowania budżetów utrzymaniowych. Planowanie konkretnych przedsięwzięć utrzymaniowych dokonywane jest na poziomie operacyjnym i wymaga uwzględnienia

w procesie decyzyjnym dodatkowych grup danych, w tym także o dużym stopniu szczegółowości, nie branych pod uwagę na poziomie strategicznym oraz implementacji stosownych narzędzi komputerowych. Wzajemna harmonizacja tych obydwu poziomów decyzyjnych, zarówno w kontekście aspektów technicznych jak i organizacyjnych, jest jednym z najistotniejszych zadań, stojących przed Zarządcą.

### **Piśmiennictwo**

- [1] Opara K., Tabor Z.: Ile warte są drogi? Drogi Samorządowe, nr 1-2/2012, s. 22
- [2] Haas R., Hudson W.R.: Pavement Management Systems. New York, Mac Graw-Hill, 1978
- [3] Heller S.: PMS Systemy utrzymania nawierzchni drogowych. Magazyn Autostrady, nr 3/2007 s.30-34
- [4] Heller S.: Consolidating Trust in Road Asset Management by Means of a Dynamic Data-view. 6<sup>th</sup> International Conference on Managing Pavements. Brisbane, 2004

## **SYSTEMS FOR MANAGING ROAD PAVEMENT (PMS)**

### **Summary**

Pavement Management Systems (PMS) support the road administration on the strategic level as well as on the operational level. On the strategic level, PMS allow to plan budget for pavement maintenance for a long time horizon (15-20 years) in such a way, that the targeted quality goals, which are determined by the required pavement condition, are reached. PMS on the operational level help the road administration to plan specific maintenance program for a short time horizon (up to 3 years). These maintenance programs optimize the road user's benefits and fulfill budgetary constraints. Road administration can use PMS effectively only if they use proper software. PMS software on the strategic level act according a defined algorithm. On the operational level however, detailed data is used and the software itself allows interaction with the operator.



Grażyna ŁAGODA<sup>1</sup>  
Politechnika Warszawska  
Marek ŁAGODA<sup>2</sup>  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa  
Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury

## **MONITORING STANU TECHNICZNEGO KONSTRUKCJI (SHM) W ZASTOSOWANIU DO OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY KOMUNIKACYJNEJ**

### **STRESZCZENIE**

W artykule przedstawiono zagadnienia monitoringu stanu technicznego mostów, który polega na identyfikowaniu, przez odpowiednie pomiary i analizy, lokalizacji zmian konstrukcyjnych i ocenie ich dotkliwości oraz pozwala skutecznie oszacować metody zmierzające do właściwego utrzymania mostów pod kątem technicznym i ekonomicznym. SHM zdefiniowano jako pomiar funkcjonalności i stanu technicznego konstrukcji w celu oceny symptomów mogących wywołać awarie, anomalie i / albo degradacje, które mogą wpływać na nośność lub użyteczność obiektów mostowych.

**Słowa kluczowe:** diagnostyka mostów, ocena stanu technicznego, monitorowanie

### **1. WSTĘP**

Ogólnie ograniczona obecnie dostępność zasobów ekonomicznych wymaga, by analiza stanu technicznego istniejących mostów w celu przewidywania i planowania napraw była bardziej ostrożna. Dotyczy to nie tylko istniejącej populacji, ale też mostów, które będą budowane w przyszłości. Dzieje się tak dzięki możliwości stosowania nowych metod projektowania, zdolnych optymalizować typ konstrukcji i dobór materiałów w celu pomniejszenia sumarycznych nakładów finansowych (budowa + utrzymanie).

W diagnostyce istniejących mostów dominują dwa zagadnienia: ocena obciążeń i ocena nośności konstrukcji [1]. Technologie monitorowania mogą dostarczyć danych, które w konsekwencji pomogą w dokładniejszej ocenie zarówno obciążeń jak i nośności. Poprawnie oceniona nośność prowadzi do zwiększania się okresu użytkowania mostu z większym bezpieczeństwem. W wielu krajach tworzone są zalecenia, których głównym celem jest pomoc inżynierom w ocenie stanu technicznego mostów i opracowanie sposobów łączenia techniki diagnozowania i monitorowania z metodami utrzymania konstrukcji przy należyтым

---

<sup>1</sup> g.lagoda@il.pw.pl;

<sup>2</sup> mlagoda@ibdim.edu.pl; m.lagoda@pollub.pl

współczynnika bezpieczeństwa. Monitorowanie pozwala aktualizować istniejące modele procesów degradacji i w konsekwencji pozwala na dokładną ocenę bezpieczeństwa mostu.

Planowanie bieżącego utrzymania jest możliwe tylko przez rozpoznanie zachowania się konstrukcji w warunkach zaistnienia uszkodzeń i ich rozwoju. Ta wiedza wymaga stałej aktualizacji przez obserwacje. Uzyskane w ten sposób niezbędne informacje pozwolą na utworzenie modeli konstrukcji przewidujących funkcjonowanie i rozwój degradacji mostu. Używając zaawansowanych technik monitorowania, dostępnych dzisiaj w Europie, można uzyskać brakujące informacje na temat pracy konstrukcji i uniknąć niepotrzebnych interwencji w odniesieniu do wielu mostów.

## 2. GENEZA I DEFINICJA MONITORINGU STANU TECHNICZNEGO KONSTRUKCJI (SHM)

Na etapie analizy i projektowania, wykorzystując badania i wstępne obliczenia, określana jest funkcjonalność konstrukcji. Wyniki tych analiz z uwzględnieniem wskazówek zarządzających mostami są podstawą etapu konstruowania. Raz zbudowany most jest eksploatowany i zarządzany zgodnie z wytycznymi, zaleceniami albo podręcznikami utrzymania. Z powodu braku wiedzy na temat aktualnego stanu, związanego z eksploatacją i oddziaływaniem środowiska, konieczne są przeglądy konstrukcji. W miarę upływu czasu użytkowania konstrukcji, stopień zaufania do jej funkcjonalności spada, podczas gdy koszty utrzymania wzrastają.

W ostatnich latach, w ramach kilku europejskich projektów lub programów badawczych przeprowadzono skutecznie wiele ciekawych studiów [2]. Główną cechą wszystkich tych programów było rozwijanie technologii sensorów albo stosowanie technik i metod systemów monitoringu dla konkretnych celów badawczych. Jednakże w wyniku tych projektów nie zdołano nawet zainicjować opracowanie ogólnej, zintegrowanej, naukowej podstawy systemu monitorowania stanu technicznego konstrukcji SHM (ang.: *Structural Health Monitoring*). Lukę tę częściowo wypełnił ostatni program europejski ARCHES [3].

Dotychczas, w wielu badaniach SHM, szczególnie w Ameryce Północnej [4, 5] i w pewnym stopniu w Europie, koncentrowano się na oprzyrządowaniu albo jakichś częściach składowych systemu SHM. Tymczasem, ważne jest wywarcie presji na zarządzających mostami, aby rozpoznać ich potrzeby a także i potrzeby społeczeństwa w celu uzyskiwania bezpieczniejszych konstrukcji mostowych. Ameryka Północna i Japonia podchodziły do tego problemu bardzo różnie: Amerykańskie Stowarzyszenie Inżynierów (*American Society of Civil Engineers*) i Federalna Administracja Autostrad (*Federal High Way Administration*) w 2002 r. wypromowały grupy robocze, a instytuty naukowe (Uniwersytet Drexel, Uniwersytet Manitoby, Uniwersytet Tokio) utworzyły z podmiotami indywidualnymi publiczno - prywatne spółki. Ten duży wysiłek badawczy został sfinansowany przez władze (FHWA w Stanach Zjednoczonych, Administrację mostową w Japonii, Ministerstwo Transportu w Quebec i Ontario) szczególnie w części oprzyrządowania systemów. Ale, należy zaznaczyć, że najważniejsze naukowe prace zwłaszcza w dziedzinie przetwarzania i interpretacji uzyskiwanych danych były prowadzone w Uniwersytecie Kalifornijskim w San Diego i w Laboratorium w Los Alamos. W związku z budowanymi dużymi konstrukcjami mostowymi w Europie, Japonii, Chinach i w USA dostrzega się dążenie do rozszerzenia systemu SHM o dodatkową, składową część dotyczącą warunków eksploatacji i utrzymania. W tym miejscu należy zaznaczyć, że również w Polsce czynione są już od kilku lat próby monitoringu dużych mostów, poszerzone o instrukcje zawierające opisy warunków utrzymania i eksploatacji.

Współczesna, europejska diagnostyka zajmuje się określeniem stanu technicznego mostów i jest to najczęściej dokonywane podczas regularnych oględzin z zastosowaniem

dobrze znanych technik badawczych. Szacujący inżynier ma zadanie, aby znaleźć widoczne oznaki pogorszenia stanu i ocenia ich wpływ na pracę konstrukcji. Powtarzalne badanie, jakim jest monitorowanie mostu wykazującego oznaki pogorszenia stanu, jest zalecane w przypadkach, jeżeli występuje wysokie ryzyko postępu uszkodzeń konstrukcji, doprowadzające do niedopuszczalnych poziomów degradacji w okresie od aktualnych do następnych oględzin. Obecnie w rozwiniętych krajach Europy uwidacznia się wyraźnie ukierunkowanie diagnostyki mostów na ocenę i monitorowanie bezpieczeństwa konstrukcji oraz na ocenę niezawodności mostów.

Idea monitorowania stanu technicznego SHM polega na identyfikowaniu, przez odpowiednie pomiary i analizy, lokalizacji zmian konstrukcyjnych i ocenie ich dotkliwości (porównanie uszkodzenia albo degradacji do linii bazowej) i pozwala skutecznie oszacować sposoby zmierzające do stosowania środków zaradczych oraz zmniejszać koszty utrzymania mostów. SHM może więc zostać zdefiniowana jako pomiar funkcjonalności i stanu technicznego konstrukcji w celu oceny symptomów mogących wywołać awarie, anomalie i / albo degradacje, które mogą wpływać na nośność lub użyteczność. Koszt monitorowania stanu technicznego, biorąc pod uwagę jego dość skomplikowane oprzyrządowanie i zarządzanie, może być znaczący. Porównanie między zdrowiem ludzkim i stanem technicznym konstrukcji pomaga wypromować, przez analogię z ochroną zdrowia ludzkiego, prawdziwą politykę zapewnienia dobrego stanu konstrukcji. To już nie jest zagadnienie remontowe (polityka doraźna), kiedy uszkodzenie jest dostrzegane, ale ustalenie strategii zapobiegawczej, czyli profilaktyki (analogicznie do polityki ochrony zdrowia).

SHM obejmuje trzy tematy:

- **bieżący monitoring**, który zawiera oprzyrządowanie, pomiar i zarządzanie informacją (wynikami);
- **diagnozę**, która składa się z przetwarzania danych (wyników), określania oznak i wagi uszkodzeń, badań testowych oraz może lub nie, bazować na godnej zaufania charakterystyce konstrukcji;
- **prognozę**, której celem jest przewidywanie zachowania się konstrukcji (nośność, trwałość) w nawiązaniu do systemu utrzymania.

Ostatecznym celem monitoringu stanu technicznego SHM jest wprowadzenie rozwiązania ogólnego systemu zarządzania mostami w połączeniu z ich utrzymaniem. Monitoring stanu technicznego SHM musi prowadzić do poprawy bezpieczeństwa konstrukcji, optymalnego wykorzystania ich zdolności funkcjonalnych i określać właściwe warunki utrzymania z wyważonymi działaniami naprawczymi.

### 3. BIEŻĄCY MONITORING

#### 3.1. Aspekty bieżącego monitoringu

Pierwszy aspekt wywodzi się ze znaczenia żywotności mostu (cyklu życia). Cykl życia mostu ma 3 główne fazy:

- Tworzenie mostu (planowanie i budowa)
- Odbiór i eksploatacja
- Likwidacja

Faza tworzenia dotyczy fazy projektowania i fazy budowy. Technologie monitorowania mogą być użyte już w fazie budowy, by zapewnić właściwe zachowanie się konstrukcji mostu podczas montażu. Ten etap najczęściej jest projektowany za pomocą modeli numerycznych, służących do określania wyteżeń elementów i ich deformacji podczas montażu (budowy). Jednym z ważniejszych rodzajów obciążeń konstrukcji podczas budowy są obciążenia środowiskowe, np. wiatr i temperatura. Monitorowanie środowiskowych

oddziaływań (wiatr, temperatura) na konstrukcję podczas jej wznoszenia jest ważne szczególnie w przypadku mostów, które w czasie montażu są mniej sztywne od konstrukcji docelowej. Zwykle działanie wiatru lub różnicy temperatur na konstrukcję uwzględniane jest w obliczeniach projektowych jako działanie krótkotrwałe i oparte na wartościach statystycznych. Monitorowanie może pomóc potwierdzić te założenia i jednocześnie może ostrzec, jeżeli skutki tych oddziaływań przewyższają dozwolony poziom graniczny. Również podczas wytwarzania elementów konstrukcji i ich scalania, zwłaszcza w przypadku mostów stalowych, dochodzi do powstawania tak zwanych naprężeń wewnętrznych, własnych. Są to skutki różnych procesów, np. spawania, a ich poziom w fazie projektowej jest nieznanymi i niemożliwy do określenia podstawowymi metodami obliczeniowymi. Tutaj monitorowanie konstrukcji (wybranych elementów) od wytworzenia, poprzez montaż, dodanie wyposażenia do obciążenia eksploatacyjnego, pozwala na pomiar poziomów naprężeń we wszystkich fazach pracy konstrukcji mostu [6].

Podczas odbioru obiektu, przed oddaniem go do eksploatacji, konstrukcja jest poddawana badaniom pod obciążeniem próbnym statycznym i dynamicznym. Badania te są istotnym elementem monitoringu mostu. Następnie w fazie eksploatacji most ulega degradacji i poddany jest działaniom utrzymawczym. Konstrukcja mostu pogarsza się na skutek mechanicznych, chemicznych i fizycznych oddziaływań. Pogorszenie stanu technicznego mostu może prowadzić do różnych niepożądanych konsekwencji, takich jak:

- utrata nośności,
- utrata zdolności funkcjonalnej (użytkowości),
- redukcja poziomu bezpieczeństwa,
- ograniczenia ruchu,
- utrata estetycznej wartości.

Problem jest skomplikowany, ponieważ konstrukcje mostów i ich elementy mogą pogarszać się w różnym tempie i według różnych mechanizmów. Również poszczególne elementy są wystawione na działania zróżnicowanego makro i mikroklimatu. Ponadto ustroje nośne mostów podobnej konstrukcji mogą różnić się wiekiem, schematem statycznym, materiałami konstrukcyjnymi, rodzajem ruchu na obiekcie, obecnością utajonych wad i innymi czynnikami, znacząco oddziałującymi na tempo pogarszania się stanu technicznego. Dlatego znajomość rzeczywistych warunków i przewidywanie ich zmian nabiera najwyższego znaczenia, a monitoring i szacowanie stanu technicznego są dwoma ważnymi założeniami w ogólnej strukturze zarządzania mostami.

Drugim aspektem jest ryzyko. Celem analitycznych modeli ryzyka jest ocena wszystkich możliwości, które mogłyby zagrażać dalszej eksploatacji mostu. Czynniki ryzyka można podzielić się na trzy główne kategorie:

- czynniki konstrukcyjne,
- czynniki środowiskowe,
- inne czynniki ryzyka.

Czynniki konstrukcyjne wpływają na funkcjonalność mostu. W tym aspekcie należy rozważyć:

- pogorszenie materiału:
- korozję stali powodującą redukcję pola przekroju poprzecznego,
- czynniki prowadzące do strat siły sprężającej,
- spalling w betonie (ubytki betonu),
- zarysowanie i pęknięcia betonu,
- pęknięcia zmęczeniowe w stali,
- niesprawność urządzeń wyposażenia (np. elementy tłumiące, odwodnienie, itp.);
- zmiana warunków brzegowych:
- schemat statyczny,

- uszkodzenie łożysk,
- uszkodzenie urządzeń dylatacyjnych;
- zagadnienia użyteczności:
- powiększanie się deformacji,
- niekorzystna zmiana parametrów drgań (np. z powodu pogarszania się nawierzchni drogi).

Analiza ryzyka identyfikuje i charakteryzuje wielkość zagrożenia oraz związane z nim konsekwencje. Głównym celem jest dostarczenie odpowiedzi na następujące pytania:

- które wydarzenie może prowadzić do awarii konstrukcji (albo utraty funkcjonalności)?
- jak wrażliwa jest konstrukcja na to zagrożenie?
- jak to zagrożenie postępuje?
- jaki jest poziom zjawiska?
- jakie są konsekwencje?

Analizę ryzyka poprzedza inżynierska analiza konstrukcji. Podczas tego procesu konieczne jest zebranie wszystkich, dostępnych danych, ważnych dla nowych jak również dla istniejących mostów. Informacje te dotyczą materiałów, procesów technologicznych, stopnia degradacji (dla istniejących konstrukcji), problemów podczas budowy (dla istniejących i nowych obiektów) albo podczas eksploatacji. Istotne są też informacje o normach używanych podczas budowy, eksploatacji albo utrzymania. Ten ogromny komplet informacji jest niezbędny do identyfikacji krytycznych czynników i dostosowania monitoringu lub badań kontrolnych do rzeczywistych warunków. Zebrane dane dotyczą projektowania, budowy, utrzymania i eksploatacji, a także rzeczywistych warunków środowiskowych.

Zgromadzone dane są wykorzystywane do identyfikacji błędów, pomyłek (słabe projektowanie, budowa, uszkodzenia, itp.) w celu określenia wielkości zagrożenia, identyfikacji mechanizmów degradacji i potencjalnych możliwości wystąpienia awarii jak również ich konsekwencji. Skutki tej analizy precyzują:

- gdzie są błędy ?
- jakie mogą być konsekwencje ?
- jakie elementy nie są zagrożone?
- w jakich miejscach występuje brak naszej wiedzy ?

Kolejnym aspektem koniecznym do uwzględnienia przy planowaniu SHM jest aspekt ekonomiczny. Odpowiednim narzędziem, jakie może tu być wykorzystane, jest znana analiza kosztu cyklu życia (LCCA z ang.: *life cycle cost analysis*). Poziom kosztów eksploatacji mostu i jego utrzymania, a tym samym zakres SHM może zostać zmniejszony w przypadku, gdy zarządzający dostarcza dokładnych danych dotyczących eksploatacji i metod utrzymania oraz gdy projektowanie mostu będzie oparte na wieloletnich doświadczeniach.

Ważnym zagadnieniem jest zaprojektowanie SHM pod kątem uzyskania odpowiednich danych. Należy rozpatrywać dwa następujące punkty:

1. Dobór i rozkład czujników w zależności od mierzonych wielkości (naprężenia, deformacje, drgania, przyspieszenia, itp.) oraz od lokalizacji punktów pomiarowych.
2. Uzyskiwane wartości w zależności od wymaganej dokładności pomiaru, jego zakresu oraz od częstości próbkowania.

Układ sensorów powinien być tak zaprojektowany, żeby lokalizacja czujników umożliwiła dokonanie pomiarów z uwzględnieniem możliwości powstania przewidywanego typu uszkodzenia. W celu określenia optymalnej lokalizacji sensorów najważniejszym narzędziem, który powinien być zastosowany, jest analiza wrażliwości.

Jakość danych zależy od właściwości czujników, amplitudy odpowiedzi konstrukcji i cyfryzacji danych. W przypadku mostu w dobrym stanie technicznym odpowiedź konstrukcji jest poprawna, wówczas sensory i system cyfryzacji danych mogą być tak dobrane, że uzyskujemy dane o wymaganym, wysokim poziomie jakości. Przede wszystkim

należy oszacować odpowiedź konstrukcji, aby określić oczekiwany zakres mierzonych wielkości. Rozmieszczenia sensorów jest uzależnione od oczekiwanych zakresów (wpływów) odpowiedzi konstrukcji. Czujniki należy umieszczać w miejscach oczekiwanych największych odpowiedzi konstrukcji na oczekiwane działanie.

Dobór właściwego typu sensora jest oparty na jego właściwościach. Najważniejsze parametry to: zakres pomiaru, rozdzielczość, dokładność, wrażliwość na temperaturę, nieliniowość itp. W celu zapewnienia dobrej jakości danych (wyników pomiaru) powinien być utrzymany wysoki stosunek wartości oczekiwanej do dokładności sensora (albo jego rozdzielczości). Dobra jakość danych jest najważniejszym wymaganiem koniecznym dla osiągnięcia małego poziomu niepewności w ocenie stanu konstrukcji.

### 3.2. Nowoczesny sprzęt używany do SHM

Najbardziej popularnymi czujnikami do mierzenia drgań konstrukcji są przyspieszeniomierze. Asortyment ich jest bardzo duży i z tego powodu można je swobodnie dobierać pod kątem przydatności do poszczególnych badań.

Często występuje konieczność pomiaru prędkości. Może to dotyczyć poruszających się obciążeń zmiennych oraz samych elementów konstrukcyjnych. Używa się wówczas prostych geofonów, działających na zasadzie opartej na indukcji elektrycznej lub wibrometrów laserowych, wykorzystujących do pomiaru zjawisko Dopplera między promieniem źródłowym i odbitym. Zwykle są to bardzo dokładne lasery helowo-neonowe, mierzące różnicę między częstotliwością promienia źródłowego, a częstotliwością promienia odbitego. Skanujące wibrometry laserowe pozwalają na dokonywanie pomiarów wielkiej liczby punktów w krótkim czasie. Wadą ich jest wysoki koszt.

Do pomiaru przemieszczeń stosowane są najczęściej czujniki indukcyjne tzw. LVDT ([ang. Linear Variable Differential Transformer](#)). Są to czujniki przemieszczeń liniowych [transformatorowe](#) o układzie różnicowym z przesuwającym rdzeniem. Czujniki tego typu mogą mierzyć przemieszczenia w granicach od kilku  $\mu\text{m}$  do kilkudziesięciu cm. Można też w tym celu stosować wyżej opisane czujniki laserowe. Ostatnie lata dają możliwość wykorzystywania do monitorowania przemieszczeń globalnego systemu lokalizacji tzw. GPS ([ang.: Global Positioning System](#)). System ten jednak ze względu na małą dokładność pomiarów w pionie jest przede wszystkim przydatny do monitoringu poziomych przemieszczeń konstrukcji lub jej elementów np. szczytów pylonów mostów podwieszonych.

Jednym z podstawowych elementów przeglądów konstrukcji mostowych, związanym z bezpieczeństwem ich użytkowania, jest okresowa kontrola geometrii konstrukcji, a przede wszystkim pomiary niwelacyjne osiadania podpór i ugięć przęseł. Prowadzenie takich pomiarów co najmniej raz na pięć lat jest w Polsce zalecane w ramach wykonywania przeglądów szczegółowych. Wykonanie pomiarów niwelacyjnych z wysoką dokładnością w większości przypadków (szczególnie konstrukcji podatnych na drgania i o znacznych rozpiętościach przęseł) wymaga wyłączenia obiektu z eksploatacji na czas prowadzenia pomiarów. Jak wskazuje praktyka na znacznej części obiektów pomiary niwelacyjne nie są wykonywane ze względu na ograniczone środki finansowe lub są wykonywane w sposób uproszczony bez wyłączania obiektu z eksploatacji.

Z tego powodu celowe jest opracowanie systemu, który umożliwi okresową kontrolę zmian geometrii konstrukcji mostowej w czasie jej eksploatacji bez zamykania ruchu pojazdów. System będzie miał przede wszystkim zastosowanie do kontroli obiektów o znacznych rozpiętościach przęseł nad dużymi rzekami i tam, gdzie wyłączenie mostów z eksploatacji nawet na kilka godzin prowadzi do konieczności wprowadzania długich i uciążliwych objazdów. Dokładność pomiarów opracowanego systemu powinna uwzględniać specyfikę pracy konstrukcji mostowej. W przypadku obiektów przez duże rzeki



(o rozpiętości przęseł powyżej 100 m) za zadawalające wydają się dokładności pomiarów  $\pm 1$  mm.

Uzasadnione ekonomicznie jest opracowanie systemu do krótkoterminowego monitorowania konstrukcji mostowych z wykorzystaniem metod tachimetrycznych i GNSS. System taki byłby instalowany na konstrukcji na okres od kilku godzin do kilku dni w celu prowadzenia pomiarów bez wyłączania obiektu z eksploatacji. System na podstawie pomiarów zmian geometrii obiektu pod obciążeniem eksploatacyjnym zapewni okresową kontrolę stopnia wykorzystania stanów granicznych użyteczności związanych z przemieszczeniami. Kolejnym problemem badawczym do rozwiązania w tym przypadku będzie stworzenia metod oceny zapasów bezpieczeństwa, wynikających ze stanów granicznych użyteczności i niezawodności mostów.

Podstawowymi czujnikami do pomiaru odkształceń (naprężeń), przydatnymi w monitorowaniu konstrukcji mostowych są różnego rodzaju tensometry. Do długotrwałych pomiarów bardzo wskazane są tensometry strunowe, wykorzystujące zależność drgań struny od jej naprężenia. Są to dość proste i trwałe urządzenia badawcze, ale ich wadą jest brak przydatności dla szybkich, dynamicznych pomiarów. Możliwa szybkość próbkowania to maksimum 100 Hz. Do szybkich, dynamicznych pomiarów odpowiednie są foliowe tensometry elektrooporowe. Pomiary przy zastosowaniu tych tensometrów są tanie i relatywnie dokładne, ale ich długotrwała stabilność nie jest zadawalająca. Sensory charakteryzujące się długotrwałą stabilnością to z pewnością włókna optyczne, zwane światłowodami. Wykorzystuje się tu zjawisko Dopplera, zachodzące w przymocowanym do konstrukcji włóknie optycznym, którego naprężenie zmienia częstość interferujących promieni świetlnych. Wyniki pomiarów światłowodowych charakteryzują się wysokim poziomem ufności i są niewrażliwe na elektromagnetyczne szумы. Wadą jest wysoki koszt wyposażenia, szczególnie dekodera, który transformuje sygnał świetlny na elektryczne napięcie.

Bardzo przydatne w monitorowaniu, szczególnie bardziej sprężystych konstrukcji, np. mostów stalowych mogą być inklinometry. Jest niewiele typów konstrukcji tych czujników, które różnią się zakresem i dokładnością pomiarów.

Do pomiaru naprężeń w kablach sprężających używa się czujników sprężysto-magnetycznych EM (z ang.: *Elastomagnetic*). Metoda pomiaru oparta jest na cechach absorpcji magnetycznej stali. Absorpcja zmienia się wraz ze zmianą naprężenia i temperatury. Do przeprowadzenia interpretacji wyników pomiarów i oceny wartości siły sprężającej konieczne są krzywe kalibracji. Są one określane dla każdej pary: czujnik – kabel sprężający. Dokładna wartość siły sprężającej i pomiar temperatury są podstawą sukcesu podczas kalibrowania.

#### 4. DIAGNOZA

Oznaki uszkodzeń są cechami odpowiedzi konstrukcji. Różne wskaźniki uszkodzeń identyfikują uszkodzenie w różnych poziomach informacji. Ogólnie możliwe są następujące, identyfikujące poziomy:

- I. wykazanie obecności uszkodzenia w konstrukcji,
- II. wskazanie miejsca uszkodzenia,
- III. określanie dotkliwości uszkodzenia,
- IV. oszacowanie pozostałego okresu użytkowania konstrukcji.

Wskaźniki uszkodzenia mogą być przyporządkowane do dwóch grup: wskaźniki bazujące na statycznej lub dynamicznej odpowiedzi konstrukcji.

Metody oparte na statycznych pomiarach wybranej wielkości podczas przejazdu pojazdu przez most, najczęściej prowadzą do określenia linii wpływu tej szczególnej

mierzonej wielkości. W dalszej analizie następuje ocena linii wpływu i wykrywanie uszkodzenia w oparciu o zmiany zachodzące w linii wpływu.

Dynamiczne odpowiedzi konstrukcji pozwalają na poszukiwanie i ocenę uszkodzeń opartą na analizie drgań. Modalne właściwości konstrukcji (np. częstości drgań własnych, postaci drgań, współczynnik dynamiczny) są uzyskane przez pomiar dynamicznej odpowiedzi konstrukcji. Każde uszkodzenie konstrukcji powoduje zmianę modalnych właściwości i może przez pomiar być zidentyfikowane.

## 5. PROGNOZA

W wyniku SHM uszkodzenia w konstrukcji będą mogły być określane jako przewidywane albo nieprzewidziane zmiany materiałowe lub geometryczne. Skutki tych uszkodzeń mogą być natychmiastowe albo rozłożone progresywnie w czasie eksploatacji.

Jednakże nawet jeśli w czasie na dłuższą skalę wszystkie uszkodzenia rozwijają się w materiale równomiernie, to wówczas przy odpowiednich obciążeniach zmniejsza się zapas bezpieczeństwa w różnym tempie dla różnych elementów konstrukcyjnych. Uszkodzenia zmęczeniowe lub korozyjne mogą się kumulować w dłuższym okresie czasu. Niebezpieczne dla konstrukcji mostowej uszkodzenie może też nastąpić w krótszym czasie jako skutek dyskretnych, ekstremalnych wydarzeń, takich jak skutki wiatru, trzęsienia ziemi, uderzenia pojazdu, lokalne przeciążenia, itp.

Monitorowanie użyteczności jest procesem pomiaru zachowania się konstrukcji i w pewnym sensie założeń początkowych. Monitorowanie stanu technicznego konstrukcji (SHM) jest procesem wykrywania uszkodzeń. SHM obserwując w pewnym czasie obiekt określa aktualny stan konstrukcji. W tym celu wykorzystywane są uzyskane wyniki okresowych badań statycznych i dynamicznych. Analiza efektów badań powinna być ukierunkowana na wydobycie wrażliwych cech wyników pomiarów, świadczących o powstałych uszkodzeniach i ich statystyczną ocenę. Dla długotrwałego SHM wyżej opisany proces jest podstawą uaktualnienia informacji dotyczącej dalszej zdolności eksploatacyjnej mostu. Po ekstremalnych wydarzeniach, takich jak trzęsienia ziemi albo wypadek komunikacyjny itp., SHM jest wykorzystany do szybkiego ustalania godnych zaufania informacji o stanie konstrukcji i warunków eksploatacji konstrukcji mostowej w przyszłości.

## 6. PRZYKŁAD MONITORINGU KONSTRUKCJI

### 6.1. Opis systemu monitoringu

Podany przykładowy system<sup>3</sup> służy do monitorowania konstrukcji w dwóch okresach jej pracy: w okresie budowy i w okresie eksploatacji. Składa się z działających samodzielnie rejestratorów odkształceń/naprężeń, przyspieszeń i temperatury. Rejestratory współpracują z przenośnym komputerem zewnętrznym wyłącznie w fazie przygotowywania, testowania i archiwizacji pomiarów. Wysoka wiarygodność pomiarowa jest osiągnięta przez zdublowanie metody pomiaru odkształceń/naprężeń. Oprócz tensometru elektrooporowego rejestrator zawiera element elastooptyczny. Zadaniem elementu elastooptycznego jest kontrola i weryfikacja pomiaru statycznej składowej odkształceń mierzonych przez tensometr elektrooporowy, co pozwala jeśli nie całkowicie wyeliminować, to zminimalizować

---

<sup>3</sup> System monitorowania pracy konstrukcji mostowych opracowano w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów we współpracy z Instytutem Lotnictwa oraz z Instytutem Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej Politechniki Warszawskiej (kier. tematu dr inż. Piotr Olaszek).

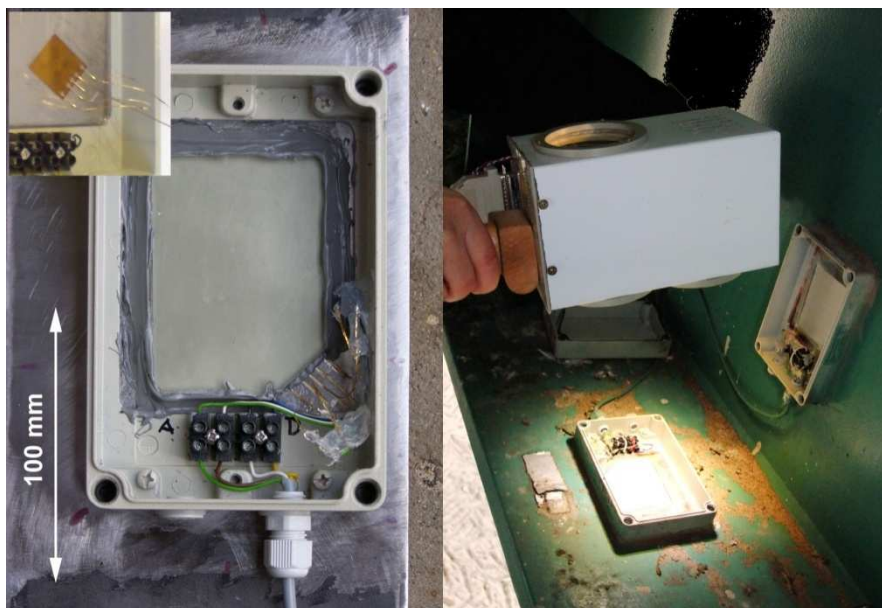
ewentualne błędy, związane ze starzeniem się przetworników tensometrycznych bądź wpływem temperatury.

Pojedynczy rejestrator (rys. 1) umożliwia pomiar: odkształceń/naprężeń w dwóch punktach, pomiar przyspieszeń w jednym z trzech kierunków oraz pomiar temperatury. W skład zestawu związanego z jednym rejestratorem wchodzi dodatkowo dwie ramki, osłaniające element elastooptyczny i tensometr elektrooporowy, mocowane w odległości do 1,5m od rejestratora i połączone z nim wiązkami przewodów.



Rys. 1. Rejestrator wraz z modułem zasilania.

Odczyt elastooptyczny wartości odkształceń jest wykonywany na miejscu montażu rejestratora za pomocą specjalnie opracowanego polaryskopu przenośnego (rys. 2).



Rys.2. Elementy systemu do pomiaru odkształceń/naprężeń. Po prawej odczyt polaryskopem

Monitorowanie kolejnych faz montażu konstrukcji i jej eksploatacji umożliwia śledzenie historii: naprężeń/odkształceń, przyspieszeń i temperatury w funkcji czasu. Częstotliwość próbkowania sygnałów pomiarowych w wybranych przedziałach czasowych jest programowana w przedziale od 2 do 100 Hz. Historia naprężeń/odkształceń i przyspieszeń jest rejestrowana dzięki zastosowaniu pracującego z częstotliwością 25 Hz w trybie „on-line” algorytmu zliczania cykli i tworzenia widm zakresów zmienności.

W przypadku monitorowania budowy obiektu mostowego podstawową zaletą rejestratora jest możliwość jego instalacji na elemencie konstrukcji mostowej, wykonanym w wytwórni lub na placu budowy i śledzenie historii obciążeń podczas kolejnych faz budowy. Pomiary takie umożliwią określenie naprężeń własnych konstrukcji, które są bardzo trudne do pomiaru na konstrukcji już istniejącej.

System szczególnie polecany jest przy montażu konstrukcji poprzez nasuwania stalowego ustroju nośnego z dużym wysięgiem i montażu konstrukcji poprzez nasuwania stalowego ustroju nośnego jednocześnie z betonową płytą pomostu.

W przypadku monitorowania eksploatowanych konstrukcji mostowych podstawową zaletą rejestratora jest jego niski koszt, co jest istotne przy planowaniu zastosowania rejestratorów bez dozoru, czyli narażonych na wandalizm lub kradzież. System może mieć również zastosowanie do monitorowania ruchu ciężkich pojazdów i określania, w jakich dniach lub godzinach i w jakiej skali występują przejazdy samochodów ciężkich lub pojazdów o ponadnormatywnej masie.

## 6.2. Przykłady zastosowań

Czujniki systemu (rys.3) zainstalowano na elementach konstrukcji stalowej po jej wykonaniu w wytwórni i prowadzono rejestrację wartości naprężeń podczas kolejnych faz budowy wiaduktu, włączając w to transport elementów (rys.4), montaż konstrukcji na miejscu budowy (rys. 5), betonowanie płyty pomostu i demontaż szalunku (rys. 6, 7).



Rys. 3. Zainstalowane czujniki na konstrukcji w wytwórni

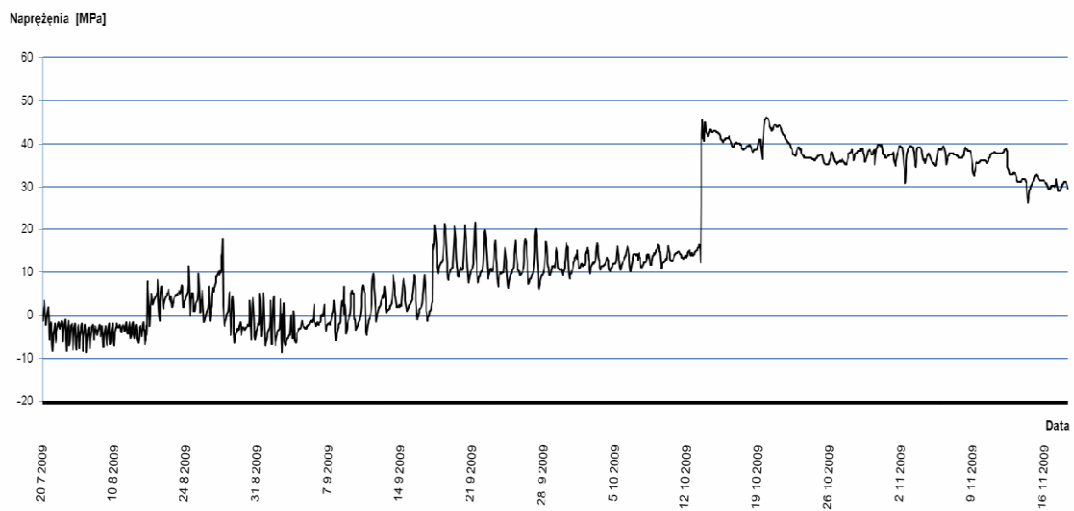




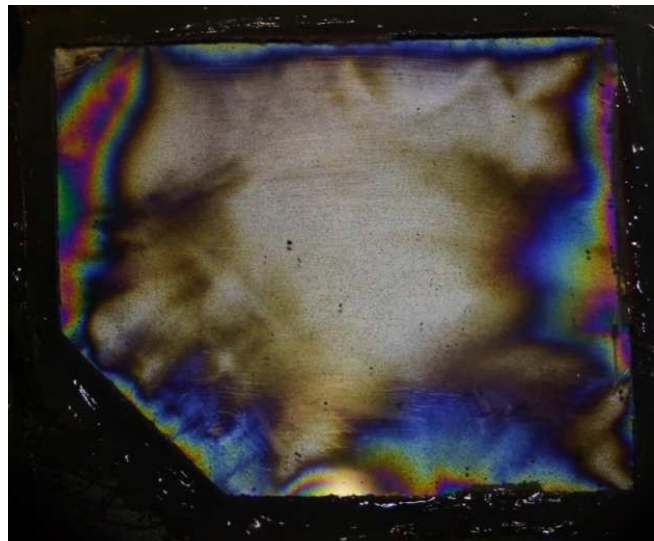
Rys. 4. Transport konstrukcji z rejestratorami



Rys. 5. Konstrukcja tymczasowo podparta



Rys. 6. Przebieg naprężeń w pasie zarejestrowany podczas poszczególnych faz budowy



Rys. 7. Zdjęcia z polaryskopu wykonane dla pasa dolnego

## 7. PODSUMOWANIE

Obecnie w Europie szereg prac jest ukierunkowanych na rozwój technologii i procedur odpowiedniego utrzymywania mostowych obiektów drogowych. Cel można zdefiniować w trzech pojęciach: „uniknąć”, „zapobiec” i „utrzymać”, a zrealizować go można pod warunkiem posiadania kompletnej wiedzy o stanie technicznym konstrukcji w każdej jej fazie budowy i eksploatacji. Informacje o rzeczywistym obciążeniu ruchomym na mostach i rzeczywistym stanie technicznym konstrukcji mostowych są podstawą dla ulepszanego zarządzania mostami. Taką wiedzę może zapewnić systemowe monitorowanie stanu technicznego konstrukcji.

### Piśmiennictwo

- [1] Łagoda M.: Nowoczesne systemy diagnostyki i monitoringu obiektów drogowych w Europie - kierunki rozwoju. 56 Konf. Naukowa KILiW PAN KN PZITB KRYNICA 2010, Problemy naukowo-badawcze budownictwa. Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Kielce 2010 s. 291-299
- [2] SAMARIS: Sustainable and Advances Materials for Road Infrastructure, Project of the Fifth Framework Programme. Deliverable 19: State of the art report on assessment of structures in selected EEA and CE countries 2006
- [3] Casas J.: Recommendation on the use of results of monitoring on bridge safety assessment and maintenance. Deliverable D08, ARCHES, Bruxelles 2010
- [4] Sohn, H. Effects of environmental and operational variability on structural health monitoring. Philosophical Transactions of the Royal Society A 365, s. 539-560, 2007
- [5] Frangopol, D.M., Strauss, A., Kim, S. Bridge Reliability Assessment Based on Monitoring. Journal of Bridge Engineering, May 2008, Vol.13., No.3, s. 258-270
- [6] Olaszek P.: Smart system of bridge strain monitoring during construction and service. 6 th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management IABMAS' 12, Stresa, Lake Maggiore, Italy 2012.

## STRUCTURAL HEALTH MONITORING OF BRIDGE STRUCTURES

### Summary

The paper presents an idea of Structural Health Monitoring (SHM). Ideally, health monitoring consists in identifying, by suitable measurements and analyses, the localization and severity of structural modification (damage or degradation compared to the baseline), and allowing an efficient assessment of measures to remedy and mitigate maintenance costs. Structural health monitoring can thus be defined as the measurement of operating and structural conditions of a structure in order to evaluate the symptoms of operational incidents, anomalies and/or degradations which can affect the integrity, serviceability and operation, and more.



Andrzej MASSEL<sup>1</sup>  
Ministerstwo Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej

## **ROZWÓJ INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ W POLSCE**

### **STRESZCZENIE**

Artykuł przedstawia podstawowe kierunki działań dotyczących infrastruktury kolejowej w Polsce na tle obowiązujących dokumentów strategicznych. Działania te służą osiągnięciu poprawy stanu tej infrastruktury. Obejmują one kompleksowe modernizacje istniejących linii kolejowych, budowę nowych odcinków a także inwestycje o charakterze odtworzeniowym (rewitalizacyjnym), których celem jest przywrócenie normalnych parametrów eksploatacyjnych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** infrastruktura kolejowa

### **1. DOKUMENTY STRATEGICZNE**

Podstawą planowania działań dotyczących transportu kolejowego są dokumenty strategiczne, określające przede wszystkim cele poszczególnych działań oraz oczekiwane ich efekty.

Najważniejszym dokumentem w perspektywie średniookresowej, określającym cele strategiczne rozwoju kraju do 2020 roku jest Strategia Rozwoju Kraju [2]. Wskazuje ona strategiczne zadania państwa, których podjęcie w perspektywie najbliższych 10 lat jest niezbędne, by wzmocnić procesy rozwojowe wraz z szacunkowymi wielkościami potrzebnych środków finansowych. Strategia średniookresowa wyraźnie wskazuje na działania polegające na usuwaniu barier rozwojowych, swoistych „wąskich gardeł”, w tym słabości polskiej gospodarki ujawnionych przez kryzys gospodarczy.

Wśród 9 zintegrowanych strategii, służących realizacji założonych celów rozwojowych, jest Strategia Rozwoju Transportu do 2020 roku z perspektywą do 2030 roku [3]. Strategia ta jest spójna z opracowanym w 2008 roku Master Planem dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku [1]. Według założeń Strategii, transport kolejowy ma możliwość uzyskania stabilnej pozycji na rynku przewozowym w najbliższym okresie, zwłaszcza w tych jego segmentach, w których przewozy kolejowe są najbardziej atrakcyjne cenowo, właściwe ze względów ekonomicznych i społecznych oraz dobrze postrzegane przez użytkowników.

Ze względu na znaczenie pasażerskich przewozów kolejowych w obszarze ciężenia metropolii (uznanych za perspektywiczne), niezbędne są inwestycje infrastrukturalne na tych obszarach. Inwestycje te mogą obejmować nie tylko budowę nowych linii, czy nowych torów

---

<sup>1</sup> amassel@transport.gov.pl

(par torów) na liniach obecnie eksploatowanych, ale także rewitalizację niewykorzystywanych odcinków.

Należy też skoncentrować się na zapewnieniu wydajnej i efektywnej infrastruktury, charakteryzującej się odpowiednią do potrzeb przewozów towarowych zdolnością przepustową, prędkością maksymalną, dopuszczalnym naciskiem osi, skrajnią ładunkową, a także długością toru. Taka infrastruktura pozwoli zapewnić właściwą płynność ruchu pociągów. Jest ona warunkiem stworzenia konkurencyjnej, wobec transportu drogowego oferty kolei w przewozach towarowych, w tym szczególnie w tranzycie wschód-zachód (z uwzględnieniem przewozów Europa-Azja) oraz północ-południe, a także w obsłudze portów morskich. Osobną grupę działań będą stanowiły inwestycje obejmujące budowę systemów sterowania na liniach o małym i średnim obciążeniu ruchem. Zadaniem tych inwestycji jest automatyzacja prowadzenia ruchu i obniżka kosztów eksploatacji tych linii. Ponadto przewidywane są także inwestycje w infrastrukturę systemów usprawniających zarządzanie przewozami pasażerskimi i towarowymi.

Na poprawę funkcjonowania kolejowego systemu transportowego wpłynie ponadto wdrażanie rozwiązań w zakresie wykorzystania inteligentnych systemów transportowych. W szczególności odnosi się to do stopniowego wprowadzenia na najważniejszych szlakach kolejowych Europejskiego Systemu Zarządzania Ruchem Kolejowym (ERTMS). Ma on służyć interoperacyjności kolei w Europie, poprawić bezpieczeństwo ruchu pociągów oraz umożliwić prowadzenie ich z prędkościami ponad 160 km/h.

## **2. STAN INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ W POLSCE**

Infrastruktura kolejowa w Polsce wymaga pilnej poprawy jej stanu technicznego. Odzwierciedleniem tego stanu są obowiązujące na liniach kolejowych parametry eksploatacyjne – prędkości maksymalne i dopuszczalne naciski osi. Ponadto na sieci kolejowej obowiązuje bardzo duża liczba ograniczeń prędkości, wprowadzonych ze względu na zły stan torów, rozjazdów, podtorza oraz obiektów inżynierskich. Dodatkowo występują bardzo liczne ograniczenia wynikające z niedostatecznego zabezpieczenia przejazdów w poziomie szyn.

Należy podkreślić, że stan infrastruktury w skali sieci ulegał stopniowego pogorszeniu od początku lat dziewięćdziesiątych. Corocznie przejawem degradacji infrastruktury był ujemny tzw. bilans prędkości. Oznaczało to, że sumaryczne długości odcinków, na których przy zmianie rozkładu jazdy zwiększano prędkość były mniejsze niż sumy długości odcinków, na których prędkość ulegała zmniejszeniu. Odwrócenie tej niekorzystnej tendencji nastąpiło dopiero pod koniec roku 2011, kiedy to po raz pierwszy od około 20 lat bilans prędkości przy wprowadzeniu nowego rozkładu jazdy był dodatni.

Obecny stan infrastruktury, mimo podjętych działań inwestycyjnych jest postrzegany przez przewoźników kolejowych jako największa bariera dla konkurencyjności transportu kolejowego. W raporcie opracowanym przez przewoźników zwraca się uwagę na następujące problemy [4]:

- Niska prędkość,
- Ograniczona przepustowość,
- Ograniczony nacisk osiowy,
- Ograniczona długość składu,
- Brak elektryfikacji.

### 3. DZIAŁANIA W ZAKRESIE INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

Na okres planowania 2007-2013 przewidziano działania w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko (POIiŚ) a także działania w ramach Regionalnych Programów Operacyjnych poszczególnych województw. W naturalny sposób działania te obejmują przede wszystkim modernizację istniejącej infrastruktury kolejowej, aczkolwiek już w tym okresie planowana realizowana jest budowa kilku nowych odcinków linii, których przykładami są:

- Połączenie kolejowe do Portu Lotniczego im Fryderyka Chopina w Warszawie (oddane do eksploatacji w maju 2012 roku),
- Pomorska Kolej Metropolitalna, obejmująca nowe połączenie stacji Gdańsk Wrzeszcz z linią nr 201 Kościerzyna – Gdynia przez Port Lotniczy Trójmiasto imienia Lecha Wałęsy,
- Łącznica pomiędzy liniami nr 273 i 356, pozwalająca na przejazd pociągów w relacjach Poznań – Zielona Góra i Gorzów Wielkopolski – Zielona Góra bez zmiany czoła na stacji Czerwieńsk.

Zgodnie z ideą zawartą w Master Planie dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku istotną grupę działań stanowią działania w perspektywie krótkoterminowej, w założeniu 2-3 letniej [1]. Ze względu na bardzo zły stan infrastruktury kolejowej w skali sieci, konieczne jest stopniowe nadrobienie zaległości w utrzymaniu i przywracanie normalnych parametrów eksploatacyjnych, szczególnie na odcinkach, charakteryzujących się równocześnie:

- złym stanem technicznym, skutkującym poważnym zmniejszeniem prędkości rozkładowych lub ograniczeniami punktowymi,
- istotnym znaczeniem w sieci kolejowej, mierzonym liczbą pociągów i strukturą ich ruchu.

Z uwagi na ograniczone środki, możliwe działania podlegają hierarchizacji, w ten sposób by uzyskać najbardziej efektywny wybór odcinków do przeprowadzenia inwestycji odtworzeniowych. Działania te zostały ujęte w Wieloletnim Programie Inwestycji Kolejowych do roku 2013 z perspektywą 2015 [5]. W dużej mierze działania krótkoterminowe pokrywały się z działaniami zrealizowanymi w celu zapewnienia obsługi transportowej w czasie EURO 2012. Szczególne znaczenie miały inwestycje odtworzeniowe przeprowadzone w roku 2011 na ciągu Trójmiasto – Poznań – Wrocław, finansowane z dodatkowych środków budżetowych. Pozwoliły na uzyskanie czasu przejazdu pociągów pomiędzy Poznaniem a Gdańskiem rzędu 3 ½ godziny (w 2010 roku 5 godzin 17 minut).

W latach 2011-2012 uzgodniono z Komisją Europejską możliwość i warunki realizowania inwestycji rewitalizacyjnych również w ramach POIiŚ, a więc ze współfinansowaniem ze środków UE. Uwzględniając te warunki, Polskie Linie Kolejowe przygotowały 8 pierwszych projektów rewitalizacyjnych, które poddano ocenie środowiskowej. Projekty te obejmują między innymi następujące odcinki linii kolejowych: Toruń – Bydgoszcz, Inowrocław – Toruń – Jabłonowo Pomorskie, Koluszki – Częstochowa, Częstochowa – Lubliniec – Fosowskie, Zawiercie – Dąbrowa Górnicza Ząbkowice – Jaworzno Szczakowa, Błotnica Strzelecka – Opole Groszowice, Kalety – Lubliniec - Kluczbork, Legnica – Rudna Gwizdanów. Istotną cechą projektów rewitalizacyjnych jest ograniczony zakres techniczny, co pozwala na uproszczenie procedur administracyjnych niezbędnych do rozpoczęcia tych inwestycji. Znacznie szybciej niż przy kompleksowych modernizacjach zostaną także osiągnięte efekty. Poza opisanymi projektami, przygotowane zostały także przedsięwzięcia obejmujące inwestycje o charakterze punktowym:

- program poprawy bezpieczeństwa na przejazdach kolejowych,
- program zakupu i wymiany rozjazdów kolejowych.

Na okres 2014-2020 przewidywana jest kontynuacja obecnie prowadzonych kierunków działań, przy zachowaniu równowagi pomiędzy kompleksowymi modernizacjami a inwestycjami o charakterze rewitalizacyjnym.

Prowadzone na sieci kolejowej inwestycje modernizacyjne wiążą się z rozwojem technicznym infrastruktury i z wprowadzaniem nowych (w warunkach polskich) rozwiązań, takich jak:

- rozjazdy z ruchomymi dziobami krzyżownic,
- nowe konstrukcje sieci trakcyjnej,
- system bezpiecznej kontroli jazdy z sygnalizacją kabinową (ERTMS/ETCS).

Po raz pierwszy na kolejach polskich zostanie wprowadzona prędkość powyżej 160 km/h:

- na Centralnej Magistrali Kolejowej Warszawa – Katowice/Kraków – prędkość 200 km/h, z późniejszym jej zwiększeniem dla pociągów obsługiwanych składami zespolonymi do 220-230 km/h,
- na linii E65 Warszawa – Gdańsk prędkość do 200 km/h.

Przewiduje się, że rozpoczęcie normalnej eksploatacji pociągów na odcinku Centralnej Magistrali Kolejowej z prędkością 200 km/h nastąpi już na przełomie 2012 i 2013 roku.

Ze względu na znaczenie dworców kolejowych w procesie przewozowym podejmowane są projekty ich modernizacji. Wykorzystane są w tym zakresie postanowienia ustawy o transporcie kolejowym, zgodnie z którą mogą być udzielane dotacje z budżetu Państwa na finansowanie lub dofinansowanie kosztów realizacji inwestycji polegających na budowie lub przebudowie dworców kolejowych w zakresie bezpośrednio związanym z obsługą podróży. Należy podkreślić, że poza finansowaniem lub dofinansowaniem budżetowym na modernizacje dworców kolejowych mogą być uzyskiwane dotacje ze środków UE w ramach Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko na lata 2007-2013. Na pewnej grupie dworców, zlokalizowanych w największych aglomeracjach, obsługujących największe potoki podróży realizowane są projekty o charakterze komercyjnym, z udziałem inwestorów (Katowice, Poznań, Sopot).

Działania dotyczące dworców mają doprowadzić od poprawy warunków obsługi pasażerów i zapewnić im różnego rodzaju usługi. Mają też zmienić dotychczasowy (często bardzo negatywny) wizerunek dworców, które dzięki modernizacji staną się intermodalnymi węzłami przesiadkowymi, a równocześnie będą postrzegane jako atrakcyjna przestrzeń publiczna.

#### 4. WYZWANIA

Z dotychczas zebranych doświadczeń z przygotowania i realizacji dużych inwestycji infrastrukturalnych wynikają następujące wnioski, które powinny zostać wzięte pod uwagę przy następnych projektach:

- Konieczność zapewnienia lepszej jakości robót na modernizowanych i budowanych odcinkach linii kolejowych.
- Konieczność pełnego wykorzystania możliwości korekt istniejącego układu geometrycznego tras (bez pozyskiwania nowych terenów) w celu zwiększenia prędkości pociągów przy inwestycjach modernizacyjnych i rewitalizacyjnych – wykorzystanie wartości dopuszczalnych według TSI CR INF oraz norm europejskich.
- Konieczność uwzględniania docelowej struktury ruchu przy projektowaniu układów torowych stacji i innych posterunków ruchu.
- Potrzeba uwzględniania w programach kształcenia (studia inżynierskie, magisterskie, podyplomowe) metod projektowania wykorzystujących normy europejskie oraz przepisów prawa europejskiego (dyrektywy, techniczne specyfikacje interoperacyjności).

- Konieczność opracowania zbioru odchyłek dopuszczalnych dla torów eksploatowanych przy zwiększonych wartościach parametrów kinematycznych.
- Konieczność opracowania i wprowadzenia do praktyki systemów wspomagających odbiory robót nawierzchniowych na liniach dużych prędkości (w tym dla zmodernizowanej CMK).
- Konieczność hierarchizacji inwestycji modernizacyjnych i rewitalizacyjnych – potrzeba doskonalenia metod wspierających wybór najbardziej efektywnych projektów.
- Konieczność hierarchizacji działań utrzymaniowych w warunkach obowiązywania kontraktu wieloletniego na utrzymanie infrastruktury.

Należy podkreślić, że poprawa stanu infrastruktury kolejowej jest warunkiem koniecznym rozwoju nowych, atrakcyjnych dla pasażerów i dla nadawców ładunków usług przewozowych. Poprawa ta musi zostać osiągnięta jak najszybciej i to w warunkach niedoboru środków finansowych i innych kluczowych zasobów. Podejmowanie racjonalnych decyzji w zakresie planowania poszczególnych przedsięwzięć wymaga wsparcia ze strony środowisk naukowych.

### **Piśmiennictwo**

- [1] Master Plan dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku. Warszawa 2008.
- [2] Strategia Rozwoju Kraju 2020. Warszawa, listopad 2011.
- [3] Strategia rozwoju transportu do 2020 roku (z perspektywą do 2030 roku) - projekt. Warszawa, maj 2012.
- [4] Wąskie gardła na polskiej sieci kolejowej. Związek Niezależnych Przewoźników Kolejowych Warszawa 2012.
- [5] Wieloletni Program Inwestycji Kolejowych do roku 2013 z perspektywą 2015. Warszawa listopad 2011.

## **DEVELOPMENT OF RAILWAY INFRASTRUCTURE IN POLAND**

### **Summary**

The article presents key activities concerning railway infrastructure in Poland taking into account strategic documents which are in force. The main goal of these actions is improvement of technical condition of this infrastructure. They include comprehensive modernizations of existing lines, construction of new sections and revitalization investments focused on restoration of normal operational parameters – maximum speeds and axle loads.





Roger NILSSON<sup>1</sup>  
Ole G. ANDERSSON<sup>2</sup>  
Aleksander ZBOROWSKI<sup>3</sup>  
Skanska Teknik, Szwecja  
Skanska Asphalt A/S, Dania  
Skanska S.A., Oddział Budownictwa Inżynieryjnego w Warszawie, Polska

## **INNOWACYJNE METODY REDUKCJI HAŁASU KOMUNIKACYJNEGO**

### **STRESZCZENIE**

Budowa nawierzchni redukujących hałas jest na ogół droższa w porównaniu do standardowych nawierzchni, jednak te pierwsze są bardziej ekonomiczne biorąc pod uwagę cały okres eksploatacyjny drogi, bowiem mogą zredukować lub wykluczyć zastosowanie kosztownych barier dźwiękochłonnych. Niniejsza praca przedstawia najważniejsze wyniki badań prowadzonych na dwóch odcinkach testowych cichych nawierzchni, wykonanych przez Skanska w Szwecji i Danii. Praca ta zawiera też praktyczną wiedzę oraz doświadczenie uzyskane dzięki użyciu tego rodzaju nawierzchni, mających na celu ograniczenie i/lub kontrolę dyskomfortu spowodowanego przez hałas komunikacyjny. Dodatkowo omówione zostaną różne typy cienkich warstw nawierzchni. Wszystkie oparte są na minimalnej wielkości kruszywa – maksymalnie do 6 mm, ponieważ dowiedziono, że opony samochodów osobowych wytwarzają wtedy najmniejszą ilość hałasu o najniższej częstotliwości – „dudnienia”. Przedstawiono tu również specjalny typ nawierzchni redukującej hałas pod nazwą SkanTOP XL SILENCE, którą uważa się za nawierzchnię „nowej generacji” opartą na SMA. Wskazuje się, że trwałe nawierzchnie redukujące hałas mają potencjał, aby stać się najbardziej zaawansowanym technicznie, estetycznym oraz ekonomicznym rozwiązaniem spośród wszystkich innych rozwiązań redukujących hałas drogowy.

**SŁOWA KLUCZOWE:** ciche, hałas, nawierzchnie, redukcja, trwałość

### **1. WSTĘP**

Hałas należy do najbardziej rozpowszechnionych form skażenia środowiska życia człowieka. Otaczający nas poziom hałasu ciągle rośnie na skutek stale zwiększającego się ruchu drogowego. Coraz więcej osób cierpi na schorzenia spowodowane zbyt dużym hałasem. W przeciwieństwie do wielu innych problemów związanych ze środowiskiem,

---

<sup>1</sup> roger.nilsson@skanska.se

<sup>2</sup> Ole.G.Andersson@Skanska.dk

<sup>3</sup> aleksander.zborowski@skanska.pl

zanieczyszczenie powietrza stale rośnie. W Europie prawie 55% ludności mieszka w aglomeracjach z liczbą mieszkańców wyższą niż 250 000, przy czym wszyscy oni są narażeni na codzienne natężenie hałasu drogowego przekraczające 55  $L_{den}$ , czyli poziom, który bardzo negatywnie wpływa na ogólne samopoczucie. Uważa się, że projektowany wzrost natężenia dźwięku spowodowany ruchem drogowym skazi hałasem również obszary przylegające do dróg. Dlatego hałas drogowy został zidentyfikowany jako jeden z głównych lokalnych problemów środowiskowych w Europie oraz jako źródło zwiększającej się liczby skarg ze strony społeczeństwa. Coraz większa ilość badań naukowych ukazuje, że hałas pochodzący od ruchu drogowego może spowodować zakłócenia snu, choroby sercowo-naczyniowe, podniesienie poziomu hormonów, problemy psychologiczne, a nawet przedwczesną śmierć; badania na dzieciach zidentyfikowały z kolei kognitywne upośledzenie, pogorszenie zachowania oraz jakości życia.

Uważa się, że jest kilka środków zaradczych obniżających poziom hałasu, które łagodzą omawiany problem. W zasadzie są dwie strategie kontrolujące hałas drogowy: zapobieganie, aby nie dotarł on do odbiorców oraz redukcja hałasu bezpośrednio u źródła. Pierwsza z wymienionych obejmuje użycie ekranów akustycznych (np. ścian, osłon), stref buforowych, tuneli lub rozcięć drogowych, a także izolowanych budynków. Druga strategia ma na celu obniżenie wytwarzania hałasu przez pojazdy i opony poprzez zarządzanie ruchem drogowym (np. ograniczenia dla pojazdów i prędkości) oraz używanie nawierzchni redukujących hałas.

Nawet jeżeli można uzyskać zadowalającą redukcję hałasu przez zapobieganie jego docieraniu do odbiorców, to wszystkie dostępne rozwiązania mają poważne wady lub ograniczenia w zastosowaniu. Na przykład ekrany akustyczne mogą wymagać dużej powierzchni, jeżeli są bardzo wysokie. Osłony akustyczne zużywają mniej przestrzeni, ale są ograniczone co do wysokości z powodów strukturalnych i estetycznych. Lepsze rozmieszczenie dróg, np. prowadzenie ich w wykopach czy tunelach, to generalnie bardzo skuteczne, ale także bardzo kosztowne rozwiązanie, tak jak izolacja fasad i okien. Inną wadą jest to, że uzyskuje się redukcję hałasu za wyjątkiem „cienia hałasu” za przeszkodami. Na przykład ekrany akustyczne są mało skuteczne dla domów na wzgórzu wychodzących na drogę lub budynków, które wznoszą się ponad ekran. Otwory w ścianach akustycznych dla połączeń drogowych lub przecinających się dróg zmniejszają skuteczność ekranów. Dodatkowo na niektórych obszarach domy są rozrzucone tak daleko od siebie, że nie pozwala to na budowę ekranów akustycznych w rozsądnej cenie. Izolacja budynków może znacznie zmniejszyć hałas drogowy, szczególnie, kiedy okna są zamknięte. Należy jednak zauważyć, że nie uzyskuje się żadnej izolacji na zewnątrz budynków, na balkonach lub w obszarach wypoczynkowych. Izolacja może być również bardzo droгим rozwiązaniem.

Dlatego w ostatnim dziesięcioleciu wzrasta zainteresowanie tym, by zredukować hałas bezpośrednio u źródła. Nawet jeżeli technologiczny postęp oraz ustawodawstwo przyniosły skutki w postaci znacznej redukcji hałasu zespołu napędowego, to całkowite zmniejszenie właściwego hałasu drogowego jest najczęściej pomijane. Oznacza to, że emisja hałasu na skutek interakcji opona/droga nie została znacznie zmniejszona przez te lata, mimo postępu w rozwoju pojazdów i opon. Kontrola i ograniczenia typu pojazdów, ruchu drogowego oraz szybkości mają wielki potencjał, by zredukować hałas, ale mogą kolidować ze zdolnością poruszania się i ogólną dostępnością. Dlatego ostatnie osiągnięcia, mające na celu obniżenie poziomu całkowitego hałasu spowodowanego przez pojazdy wystarczają jedynie na tyle, by utrzymać *status quo* mimo wzrostu ruchu drogowego. Można to częściowo wyjaśnić przez znaczny wzrost ruchu drogowego, ale również przez to, że poprzednie ustawodawstwo nie obejmuje interakcji opona/droga.

Dla nowoczesnych pojazdów hałas opona/droga przewyższa inne źródła hałasu drogowego w normalnych warunkach działania, np. ~40-100km/h. Ogólnie rzecz biorąc,

hałas zespołu napędowego dominuje przy niższej prędkości, podczas gdy hałas wywołany turbulencją wiatru dominuje przy prędkości  $>100\text{km/h}$ . Postęp uzyskany przy redukcji hałasu zespołu napędowego pojazdu ujawnił hałas opona/droga jako główne źródło hałasu dla szerokiego zakresu warunków pracy. Kontrolowanie hałasu opony wymaga wzięcia pod uwagę rodzaju nawierzchni drogi, jak również komponentów pojazdu: projektu opony i wnętrza nadwozia. W konsekwencji istnieje duży potencjał, aby zmniejszyć hałas typu droga/opona, gdy ogólny hałas drogowy zostanie znacznie zredukowany.

W ostatnich dekadach w kilku krajach podjęto wiele prób złagodzenia problemu hałasu drogowego przez użycie nawierzchni redukujących hałas. Spośród kilku dostępnych dla władz drogowych technologii zastosowanie warstw nawierzchni redukujących hałas jest ogólnie mówiąc nie tylko najbardziej oszczędne, ale także może być wprowadzone w bardzo krótkim czasie. Korzyści te doprowadziły do rozwoju i zastosowania kilku nawierzchni zmniejszających hałas. Najbardziej obiecujące rozwiązania obejmują rozwój nawierzchni porowatych i gładkich.

Jednak, podczas gdy niektóre kraje donoszą o nawierzchniach redukujących hałas z powodzeniem, to wiele innych krajów zauważyło obniżenie trwałości tych nawierzchni oraz zmniejszenie ich właściwości redukujących hałas z powodu zniszczenia materiału i zatkania porów kurzem i śmieciami. Do pewnego stopnia zahamowało to szersze zastosowanie technik obniżających hałas. W konsekwencji musiano zoptymalizować nawierzchnie zmniejszające hałas tak, aby ograniczyć koszt ich cyklu życia w stosunku do kosztu budowy, drogiego utrzymania oraz zakłóceń użytkowników dróg, etc. W większości przypadków nawierzchnie redukujące hałas są bardzo oszczędne oraz mogą zmniejszyć lub wykluczyć zastosowanie kosztownych ekranów akustycznych. W innych przypadkach najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest połączenie nawierzchni redukujących hałas z innymi środkami obniżającymi jego poziom.

Skanska posiada długą historię związaną z rozwojem nawierzchni drogowych obniżających hałas i ostatnio jest zaangażowana w dwa europejskie projekty, tj. „SILVIA” (2001-2005) [1] i „SILENCE” (2004-2008) [2]. Celem niniejszej pracy jest przedstawienie najważniejszych wyników badań prowadzonych na dwóch odcinkach testowych w Szwecji i Danii.

## **2. NAWIERZCHNIE REDUKUJĄCE HAŁAS**

Aby uzyskać perfekcyjną nawierzchnię drogową redukującą hałas, nawierzchnia powinna być tak równa i gładka jak to możliwe – wtedy można uniknąć pionowych garbów oraz „dudnienia”. Z drugiej strony gładka, wiadomo, że bardzo gęsta nawierzchnia, wytwarza donośny świszczący głos, spowodowany przez ciśnienie powietrza, kiedy opony dotykają drogi. Porowata nawierzchnia z połączonymi wolnymi przestrzeniami zawierającymi powietrze pozwoli uniknąć efektu pompowania. Dlatego perfekcyjna powierzchnia nawierzchni redukująca hałas powinna być bardzo równa, z otwartymi, połączonymi wolnymi przestrzeniami.

### **2.1. SZWEDZKIE ODCINKI TESTOWE**

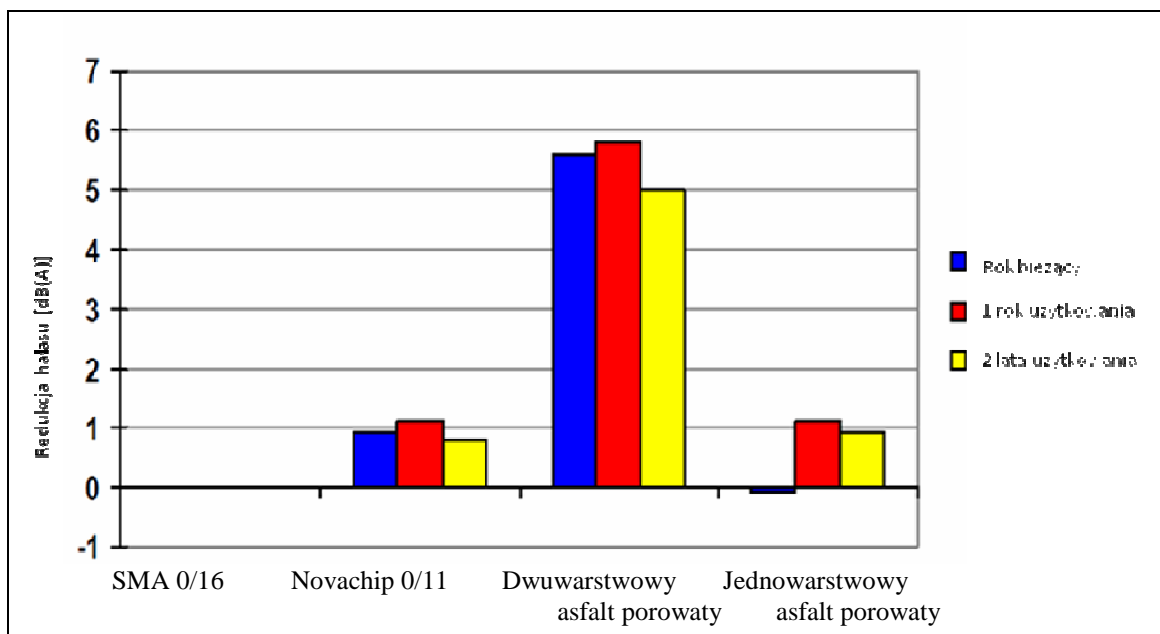
W związku z faktem, że najbardziej obiecujące nawierzchnie redukujące hałas przetestowano w klimatach środkowej Europy, nie mieliśmy doświadczenia co do ich wykonania w warunkach ostrej zimy (z lodem, zamarzającym deszczem, problemem ich utrzymania, użyciem okolcowanych opon itd.).

Aby pokonać te ograniczenia, zbudowano oraz oceniono najbardziej obiecujące typy nawierzchni w warunkach szwedzkiej zimy. Określono, że porowate asfaltowe nawierzchnie

o jednej lub dwóch warstwach oraz nawierzchnia o cienkiej warstwie są najbardziej obiecującymi oraz korzystnymi typami nawierzchni w zimowym klimacie. Odcinki testowe oraz nawierzchnia, o której mowa, znajdują się na autostradzie E18 pod Sztokholmem, z ograniczeniem prędkości do 110 km/h oraz SDR około 20 000, z czego około 12% to wzmożony ruch uliczny. Generalnie surowe warunki klimatyczne wymagają bardzo trwałych nawierzchni, aby zapewnić dopuszczalne wykonanie oraz żywotność nawierzchni.

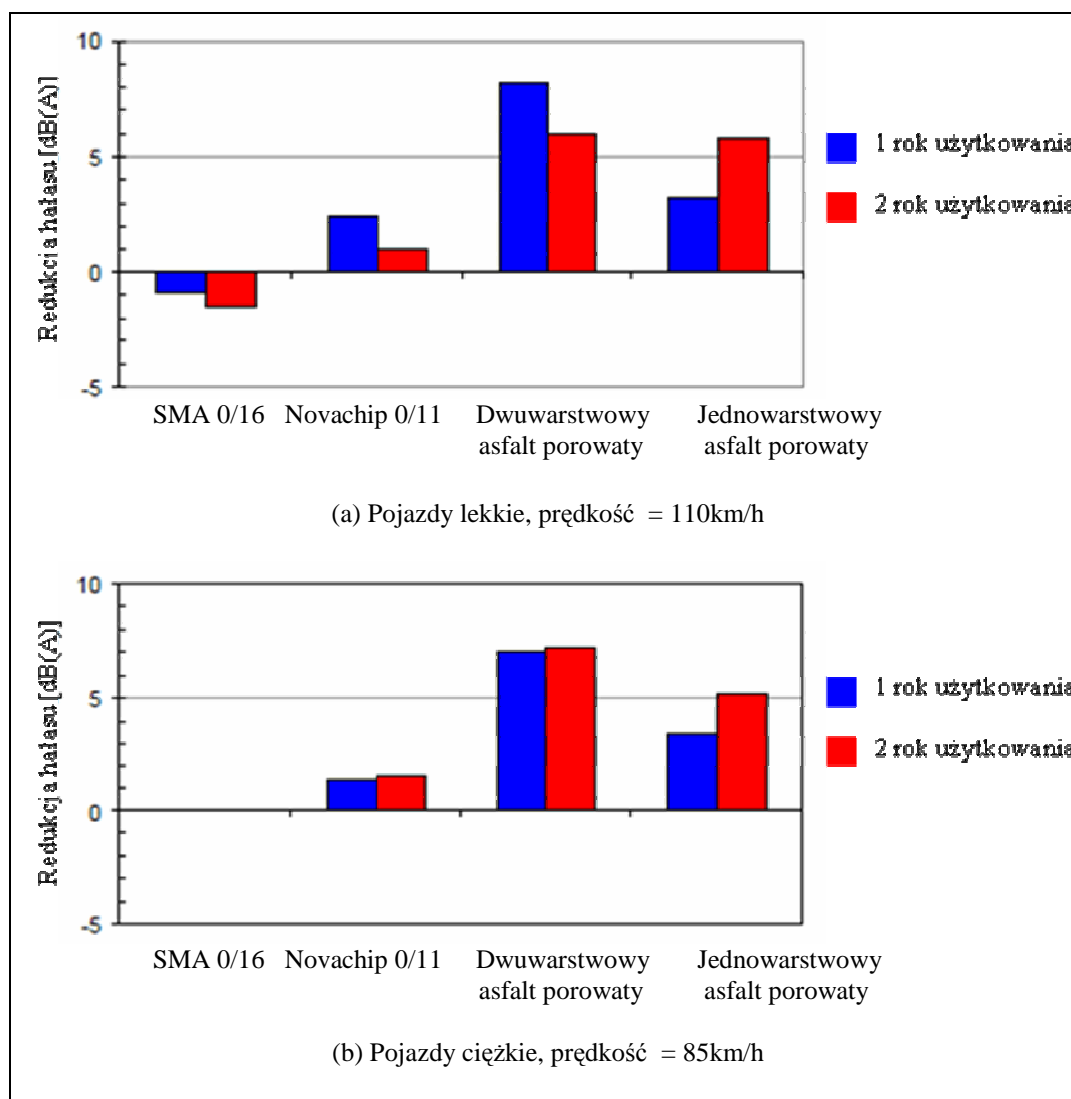
Tradycyjne mieszanki asfaltowe stosowane w Szwecji składają się z wysokiej jakości grysłu frakcji do 16 mm, aby wytrzymało zużycie wywołane okolcowanymi oponami. Drobniejsze kruszywo wytwarza mniejszy hałas, ale jest też mniej odporne na zużycie, więc optymalizacja odnosząca się zarówno do trwałości, jak i do redukcji hałasu była bardzo ważna. Głównym celem była redukcja hałasu przy użyciu względnie dużych frakcji kruszywa bez uszczerbku na trwałości. Duże przedziały temperatur doświadczane podczas cykli zamrażania i topnienia wymagały użycia asfaltu modyfikowanego polimerami. Projekt mieszanek był oparty na miejscowym doświadczeniu i praktyce, jak również najnowszej wiedzy oraz technologii osiągalnej w Europie. Nawierzchnia o cienkiej warstwie została zoptymalizowana w ten sposób, aby zapewnić korzystną teksturę w odniesieniu do redukcji hałasu, podczas gdy jedno- i dwuwarstwowy porowaty asfalt został zoptymalizowany tak, aby posiadał wysoką zawartość wolnych przestrzeni.

Przetestowano następujące mieszanki: cienka warstwa (TSF) o frakcji do 11 mm z wolnymi przestrzeniami około 5%; asfalt porowaty jednowarstwowy (PAC) frakcji do 16 mm z projektowanymi wolnymi przestrzeniami około 20%; asfalt porowaty dwuwarstwowy (DPAC) frakcji do 11 mm w górnej warstwie i projektowaną zawartością wolnych przestrzeni około 25%, podczas gdy dolna warstwa posiada maksymalne uziarnienie do 16 mm oraz około 20% wolnych przestrzeni. Nawierzchnia odniesienia wykonana była z SMA o uziarnieniu do 16 mm, z wolnymi przestrzeniami około 3%. Nawierzchnia odniesienia jest typem najczęściej używanym na autostradach w Szwecji. Obszerny program testujący, który wykonano obejmował: pomiary SPB przy różnych wysokościach mikrofonu, pomiary CPX – używając standardowych opon, jak również opon okolcowanych, pomiary przepuszczalności, testy tarcia, pomiary równości, pomiary tekstury oraz testy laboratoryjne na rdzeniach. Główne wyniki pomiarów są przedstawione poniżej.



Rysunek 1. przedstawia redukcję hałasu CPXI związaną z nawierzchnią odniesienia przy prędkości 80 km/h.

Można zauważyć, że dwuwarstwowy asfalt porowaty cechuje wstępna redukcja hałasu o 5,6 dB(A), która zmniejsza się do 5 dB(A) po dwóch latach. Jednowarstwowy asfalt porowaty oraz cienka warstwa nie wskazują żadnej znacznej redukcji hałasu, która jest rzędu 1 dB(A). Nie oczekiwano takich wyników w przypadku jednowarstwowego asfaltu porowatego. Nie znaleziono żadnego bezpośredniego wyjaśnienia niniejszego zjawiska. Do potencjalnych przyczyn można zaliczyć niekorzystną podłużną nierówność powodującą znaczne wibracje opony tak, że w jednowarstwowym porowatym asfalcie została uformowana tylko ograniczona ilość wewnętrznych porów, lub że pory zostały już zatkane przed pierwszymi pomiarami. Jednak obecnie nie ma żadnych dowodów na potwierdzenie którejkolwiek z tych tez. Rysunek 2. przedstawia redukcje hałasu SPB dla dwóch kategorii pojazdów, odnoszących się do nawierzchni odniesienia HARMONOISE. Jest to dużo bardziej istotny przypadek odniesienia dla ogólnych europejskich warunków niż nawierzchnia SMA. W projekcie HARMONOISE ustalono mieszanki SMA 0/11 oraz DAC 0/11 jako potencjalne nawierzchnie odniesienia. Uważa się, że SMA 0/11 lub DAC 0/11 są typowe dla wszystkich europejskich krajów, podczas gdy na przykład SMA 0/16 można by użyć niemal jedynie w krajach nordyckich.



Rys. 2. Redukcje hałasu SPB dla dwóch kategorii pojazdów związane z nawierzchnią odniesienia HARMONOISE.

W przypadku cienkiej warstwy oraz lekkich pojazdów zaobserwowano początkową redukcję hałasu o około 2 dB(A), która po dwóch latach zmniejszyła się do 1,5 dB(A). W przypadku ciężkich pojazdów redukcja ta wyniosła 1,5 dB(A) przy obu mierzonych możliwościach. W przypadku jednowarstwowego asfaltu porowatego i dla lekkich pojazdów początkowa redukcja hałasu o wielkości 4 dB(A) po dwóch latach wzrosła do 6 dB(A). Dla ciężkich pojazdów wartości te wyniosły odpowiednio 4 oraz 5,5 dB(A). Wzrost redukcji hałasu wraz z wiekiem nawierzchni jest zjawiskiem unikalnym i dlatego całkowicie nieoczekiwanym. Jednak przyczynę tego stanu rzeczy można zidentyfikować podczas sprawdzania zakresu częstotliwości. Kiedy nawierzchnia była nowa, to największa redukcja hałasu pojawiała się przy częstotliwości, która nie była częstotliwością idealną, taką, w której jest zlokalizowana maksymalna energia akustyczna ruchu drogowego; pomiędzy tymi dwiema wartościami istniała więc dysharmonia. Jednak z powodu pewnego procesu zachodzącego w nawierzchni, może wspomaganego przez zatkanie, maksymalna redukcja hałasu przesunęła się z pierwszego pomiaru do drugiego w korzystną stronę, powodując lepsze dopasowanie z zakresem hałasu ruchu drogowego w 2005, niż w 2003 roku.

Najistotniejsze wyniki to te mierzone metodą SPB. Powinno się wyjaśnić różnice w pomiarach CPX i SPB. Redukcja hałasu dwuwarstwowego asfaltu porowatego oraz jednowarstwowego asfaltu porowatego jest prawie identyczna po dwóch latach według pomiarów SPB, ale bardzo różni się według pomiarów CPX. Wybrana nawierzchnia odniesienia SMA 0/16, jest najczęściej wybieranym typem nawierzchni na szwedzkich autostradach. Wyniki wskazują, że istnieje potencjał dla znacznej redukcji hałasu przy użyciu kruszywa dużej frakcji, nie tylko w Szwecji, ale także w pozostałej części Europy. Jest to szczególnie widoczne, kiedy obserwuje się nawierzchnię po wystawieniu jej przez dłuższy czas na warunki ruchu drogowego. Z niniejszego eksperymentu wynika, że koncentracja na rozwoju oraz użyciu asfaltu porowatego o drobnym kruszywie (w górnej warstwie) nie jest w pełni uzasadniona. Można uzyskać równie dobre, jeżeli nie lepsze, wyniki przy użyciu grubszego kruszywa pod warunkiem, że projekt nawierzchni jest dobry. Jednak nie wiadomo, czy podobne wyniki zostałyby osiągnięte przy prędkości 50 km/h. Strukturalna trwałość wszystkich testowanych nawierzchni jest zadowalająca. Nie wykryto jeszcze żadnych uszkodzeń nawierzchni podczas dwóch pierwszych lat użytkowania.

## 2.2. DUŃSKIE ODCINKI TESTOWE

W 2003 roku duński oddział ds. asfaltu firmy Skanska wraz ze szwedzką spółką brał udział w europejskim projekcie badawczym „SILVIA”. Podczas gdy większa część projektu badawczego koncentrowała się na optymalizacji systemów dwuwarstwowego asfaltu porowatego, o którym wiadomo, że powoduje najwyższą możliwą redukcję hałasu, to celem duńskiego pod-projektu był rozwój serii cienkich nawierzchni dróg asfaltowych redukujących hałas, które nie mogą uzyskać takiego samego zmniejszenia hałasu, ale są, z powodu małej grubości warstwy, mniej kosztowne i nie wymagają dodatkowej konserwacji oraz czyszczenia podczas obsługi.

W ramach projektu „SILVIA” Skanska rozwinęła szereg różnych typów cienkiego asfaltu, wszystkie oparte na minimalnej wielkości kruszywa, maksymalnie 6 mm, ponieważ dowiedziono, że to uziarnienie kruszywa wytwarza najniższy poziom „turkotania”, powodowanego przez opony samochodu pasażerskiego. Jest możliwe, że w innych nordyckich krajach użycie kruszywa o tak małym rozmiarze mogłoby spowodować jego duże zużycie z powodu okolcowanych opon, jednak w łagodniejszych klimatach, takich jak w Danii, gdzie okolcowane opony nie są powszechne, drobnoziarniste nawierzchnie drogowe znajdują ogólne zastosowanie. Typy nawierzchni drogowych testowanych w ramach projektu „SILVIA” zmieniały się od mieszanek o uziarnieniu otwartym do drobnoziarnistych typów

SMA, gdzie szczególnie „SkanTOP 6+ LowNoise” wskazał dobrą kombinację redukcji hałasu i trwałości.

„SkanTOP 6+ LowNoise” to specjalna receptura, w której określona ilość kruszywa frakcji 5/8 „plus” jest dodawana podczas produkcji drobnoziarnistej mieszanki SMA 0/6 mm bogatej w lepiszcze, tworząc bardziej otwartą teksturę nawierzchni z unikalnymi właściwościami redukującymi hałas, nie narażając przy tym jej trwałości lub stabilności, co jest „znakiem firmowym” typów SMA.



Rys. 3. Odcinek testowy SILVIA usytuowany w Kopenhadze oficjalnie używany jako odcinek odniesienia do kalibracji pomiaru hałasu przyczepami CPX pracującymi w Danii.



Rys. 4. Redukcja hałasu przez SkanTOP w mieście Aalborg.

Nawierzchnie dróg redukujące hałas wykazały pierwotną redukcję wynoszącą około 4 dB(A) przy pomiarze przyczepą CPX w porównaniu do duńskiej standardowej wartości odniesienia (określonej oficjalnie z nordyckiego modelu hałasu), i około 2 dB w porównaniu do nawierzchni o uziarnieniu ciągłym AC 11d w tym samym wieku (prędkość ruchu drogowego 50 km/h). Śledzono poziom hałasu regularnie od momentu budowy. Nawet jeżeli poziom hałasu wzrósł trochę przez te lata, to redukcję hałasu przez „SkanTOP6+ LowNoise” po 5 latach używania określono jako prawie niezmienioną w porównaniu z nawierzchnią referencyjną w tym samym wieku.





Rys. 5. SkanTOP XL Silence posiada unikalną drobnoziarnistą strukturę powierzchni, która skutecznie redukuje hałas uliczny opon/nawierzchni drogowej.

Innym interesującym parametrem jest aspekt bezpieczeństwa. Można by się obawiać, że odporność na poślizg osiągana na mieszance o uziarnieniu 0/6 mm będzie raczej niska w porównaniu z tradycyjną mieszanką o uziarnieniu ciągłym AC 11d. Jednak pomiary odporności na poślizg wykonane na odcinkach „SILVIA” przez Duńskie Narodowe Laboratorium Drogowe wykazały, że „SkanTOP 6+ LowNoise” (w nieznacznym stopniu) poprawił odporność na poślizg w porównaniu z nawierzchnią referencyjną o uziarnieniu 0/11.

„SkanTOP 6+ LowNoise” jest również powszechnie używany na wielu duńskich drogach z ograniczeniem prędkości do 80 km/h, charakteryzując się redukcją hałasu do 6 dB(A) przy pomiarze przyczepą CPX, przy prędkości 80 km/h, w porównaniu z narodową wartością odniesienia.

W 2005 roku Skanska wygrała kontrakt na przebudowę odcinka M10 (około 5,5 km), najbardziej ruchliwej autostrady w Danii, na południe od Kopenhagi, ze średnim dziennym natężeniem pojazdów sięgającym 120 000 oraz dużą ilością ciężkich pojazdów. W tym celu Skanska opracowała specjalny typ nawierzchni redukującej hałas o nazwie „SkanTOP XL SILENCE”. Uważa się, że niniejsza nawierzchnia należy do nawierzchni „następnej generacji”, opartych na SMA redukujących hałas, opracowanych na podstawie doświadczeń zdobytych dzięki wykonanym testom „SILVIA”. Jest to krok w przód, aby dostosować się do intensywności dużego ruchu drogowego oraz nieco większej grubości nawierzchni (zwykle 50-55 kg/m<sup>2</sup>) i w dalszym ciągu polepszać redukcję hałasu poprzez większą ilość wolnych przestrzeni. Ponieważ odcinek charakteryzuje się dużym ruchem, nawierzchnia została zbudowana z użyciem zmodyfikowanego lepiszcza polimerowego (Skanska Asphalt Stabilizer – Stabilizator Asfaltowy Firmy Skanska).

Pomiary CPX wykonane nieco później w 2005 roku wykazały bardzo wysoką wartość redukcji hałasu, prawie 7 dB(A) w porównaniu z narodową wartością odniesienia, przy CPX i przy prędkości 80 km/h, oraz prawie 8 dB(A) (samochody, opona A) w porównaniu ze starą użytą nawierzchnią, która została wymieniona. Jeżeli porównamy to z nową nawierzchnią referencyjną AC 11d o odpowiadającym wieku, to redukcja hałasu nadal jest wysoka, wynosząc 4 dB(A). Efekt redukujący hałas był oczywisty i wielu obywateli mieszkających wzdłuż odcinka świętowało, że mogą teraz, po raz pierwszy od lat, cieszyć się swoimi ogrodami oraz pozwolić sobie na otwarcie okien w sypialni podczas snu.

W 2008 roku Skanska wykonała następny wynoszący 5 km odcinek M10, w połączeniu z drogą poszerzającą się do 5 pasów w każdym kierunku. W oparciu o bardzo pozytywne doświadczenie z poprzedniego odcinka, Duński Zarząd Dróg ponownie wybrał typ chodnika „SkanTOP XL SILENCE”. Później w 2008 roku autostrada M3, prowadząca na północ od Kopenhagi, na odcinku około 5 km została poszerzona i ponownie wykonana przy użyciu „SkanTOP XL SILENCE” jako warstwy ścieralnej redukującej hałas.



Rys. 6. Połączenie ścian redukujących hałas oraz unikalnej nawierzchni redukującej hałas firmy Skanska, SkanTOP XL Silence.

Nawierzchnie „SkanTOP” redukujące hałas są powszechnie stosowane w Danii od 2003 roku i są oczywistym wyborem dla autostrad, dróg szybkiego ruchu oraz innych dróg o wzmożonym ruchu, gdzie wymagana jest cienka, ale bardzo solidna warstwa ścieralna z dobrymi właściwościami redukującymi hałas. Doświadczenie pokazuje, że zaprezentowane typy nawierzchni nie potrzebują specjalnego czyszczenia lub utrzymania i mogą zostać użyte na wszystkich typach dróg, także na tych z ciężkim przemysłowym ruchem drogowym.

### 3. DYSKUSJA I WNIOSKI

Uzyskano znaczny postęp, odkąd podjęto pierwsze próby z nawierzchniami redukującymi hałas. Na przykład przez około 25 lat prawie nie istniały nawierzchnie porowate, podwójne nawierzchnie porowate, ani też nawierzchnie cienkie lub ultracienkie.

W zasadzie można powiedzieć, że da się osiągnąć znaczną redukcję hałasu przy zastosowaniu dobrze wybranych nawierzchni redukujących hałas. Dzisiaj najcichsze nawierzchnie drogowe są albo porowate albo drobnoziarniste (tj. równe i gładkie). Dla bardzo korzystnych warunków odnotowano pierwotne redukcje hałasu do 10 dB(A) w stosunku do danego odniesienia.

Nawierzchnie wytwarzające niewiele hałasu muszą być zoptymalizowane, aby ograniczyć koszt cyklu eksploatacji dotyczący kosztu budowy, uzupełniających działań konserwatorskich oraz zakłóceń użytkowników dróg, itd. Nawierzchnie wytwarzające niewiele hałasu są zwykle droższe w budowie w porównaniu ze standardowymi nawierzchniami, ale są niezwykle opłacalne w trakcie użytkowania nawierzchni.

Użytkownicy dróg będą żądać większego bezpieczeństwa włącznie z ulepszoną teksturą oraz lepszą odpornością na poślizg, mniejszego hałasu i zredukowanej „mgiełki”

powstającej podczas opadów deszczu. Przerwy w płynnym strumieniu ruchu będą mniej dopuszczalne zarówno dla nowej jak i remontowanej nawierzchni.

W końcu wskazuje się, że trwałe nawierzchnie „Low Noise” posiadają potencjał, aby stać się najlepszym technicznie, estetycznie i ekonomicznie rozwiązaniem obniżającym hałas spośród wszystkich innych metod. Nawierzchnie redukujące hałas mogą wykluczyć lub zredukować potrzebę zmniejszenia hałasu za pomocą innych środków, oczywiście w zależności od warunków miejscowych i przy odpowiednim zastosowaniu tych nawierzchni.

### **Piśmiennictwo**

- [1] The SILVIA website: <http://www.trl.co.uk/silvia/>.
- [2] The SILENCE website: <http://www.silence-ip.org/>.
- [3] Sandberg, U., Ejsmont, J. A., Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, SE-59040 Kisa, Sweden (2002) ([www.informex.info](http://www.informex.info)).
- [4] Berglund, B., et al., Guidelines for community noise, WHO, World Health Organisation, Geneva, Switzerland 1999.
- [5] S.I.R.U.U.S., Traffic noise and road surfaces: state of the art, BRRC, Brussels, Belgium 2000.

## **ALTERNATIVE METHODS OF TRAFFIC NOISE REDUCTION**

### **Summary**

Low-noise pavements are generally more expensive to construct compared to standard pavements but are extremely cost effective over the service life of the pavement since they may reduce or exclude the application of costly noise barriers. This paper presents the major results from two low-noise test sections done by Skanska in Sweden and Denmark and includes practical knowledge and experiences with the use of this type of surface layers to limit and/or control the noise pollution caused by the road traffic. Series of different thin asphalt types have been developed and are presented in the paper, all based on a very small 6 mm maximum aggregate size, as this small size has been found to create the lowest level of “rumble” noise from passenger car tyres. The special noise reducing pavement type called SkanTOP XL SILENCE is also presented, that is considered as the “next generation” noise reducing SMA based pavement. It is indicated that low-noise durable pavements have the potential to be the most technical, aesthetic and economical noise abatement solution when compared to other measures.

Paweł PONETA<sup>1</sup>  
Mostostal Warszawa S.A.

## **INNOWACYJNE PROJEKTY R&D W ZAKRESIE DRÓG, KOLEI I MOSTÓW REALIZOWANE PRZEZ MOSTOSTAL WARSZAWA**

### **STRESZCZENIE**

W niniejszym opracowaniu przedstawiono ogólny opis kilku projektów badawczo-rozwojowych realizowanych przez firmę Mostostal Warszawa. Projekty te to:

- Trans-IND – uprzemysłowienie procesu budowy infrastruktury transportowej wykonanej z kompozytów polimerowych;
- Pantura – nowe procesy i ulepszone technologie na placach budowy w zurbanizowanych terenach miejskich;
- Floodprobe – innowacyjne rozwiązania technologiczne dla wydajnej ekonomicznie ochrony przeciwpowodziowej;
- Rectyre – ocena przydatności rozdrobnionych opon jako wypełnień nasypów drogowych;
- Kładka kompozytowa dla pieszych – opracowanie technologii wytwarzania i wdrożenie kompozytowych kładek dla pieszych;
- Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu;
- Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło jako nowoczesne rozwiązanie technologiczne zwiększające wydajność budowy nawierzchni asfaltowych;
- Zastosowanie nanomateriałów w technologii nawierzchni asfaltowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** projekty badawczo-rozwojowe, innowacje w budownictwie, R&D

### **1. WSTĘP**

Innowacje, innowacyjność, nowe technologie, badania i rozwój stały się w ostatnich czasach bardzo modnymi stwierdzeniami. Przedsiębiorstwa z branż takich jak farmaceutyczna, lotnicza czy choćby IT nie wyobrażają sobie swojego istnienia bez podejmowania działalności badawczo-rozwojowej opartej na klarownej strategii powiązanej bezpośrednio z działalnością biznesową. Trendy rynkowe pokazują, że tylko i wyłącznie nowe technologie mogą być tym, czym europejska gospodarka może w przyszłości konkurować z takimi potęgami jak Chiny czy Indie. Niestety branża budowlana ciągle uznawana jest za mało innowacyjną, a przez to również mało konkurencyjną. Niewiele jest

---

<sup>1</sup> p.poneta@mostostal.waw.pl

wspólnych inicjatyw badawczo-rozwojowych podejmowanych przez konsorcja naukowo-przemysłowe w zakresie budownictwa właśnie. Polskie uczelnie i instytuty dysponują ogromnym potencjałem i wykazują chęć współpracy. Dostępne są też ogólnodostępne publiczne środki finansowe dedykowane projektom badawczo-rozwojowym. Brakuje jednak cały czas inicjatyw podejmowanych wspólnie przez przemysł i naukę. Przedsiębiorstwo Mostostal Warszawa może być dobrym przykładem generalnego wykonawcy, który inwestuje w przedsięwzięcia innowacyjne i szeroką współpracę z nauką. Poprzez wyodrębnioną w strukturze firmy jednostkę firma realizuje wiele projektów R&D, z których część została zaprezentowana w niniejszym opracowaniu.

## 2. DZIAŁALNOŚĆ INNOWACYJNA PRZEDSIĘBIORSTWA

Działalność innowacyjna w Mostostalu Warszawa realizowana jest poprzez wyodrębnioną w strukturze firmy komórkę: Biuro Analiz i Rozwoju – jednostkę, której głównym zadaniem jest poszukiwanie, rozwijanie i wdrażanie nowych technologii. Biuro Analiz i Rozwoju działa jak wewnętrzny inkubator nowych technologii oraz jak tzw. „think tank” pomysłów. W ramach tych działań określone są biznesowe możliwości dla innowacji na wszystkich etapach produkcji budowlanej: na etapie projektowania, planowania i wyceny, na etapie przygotowania produkcji oraz w fazie realizacji.

Główne działania, na których skupia się jednostka to:

- inicjacja oraz realizacja działań badawczo-rozwojowych w dziedzinie szeroko pojętej inżynierii, wykorzystując potencjał intelektualny i innowacyjny firmy,
- rozwój myśli inżynierskiej przedsiębiorstwa, bazując na jego historycznych osiągnięciach,
- przygotowanie własnych propozycji projektów w ramach europejskich i krajowych programów badawczych oraz ich późniejszą realizację,
- członkostwo w krajowych i zagranicznych organizacjach, np. PPTB (Polskiej Platformie Technologicznej Budownictwa), ECTP (European Construction Technology Platform), KRAB (Krajowej Radzie Koordynatorów Projektów UE),
- zarządzanie i aktywny udział w stowarzyszeniu E2BA (Energy Efficient Buildings Association),
- wspieranie techniczne pionów organizacyjnych firmy oraz budów Mostostalu Warszawa poprzez wzajemną współpracę i proponowanie innowacyjnych rozwiązań na etapie ofertowania, przygotowania produkcji i realizacji przedsięwzięć budowlanych,
- kontakt i współpraca z organami państwowymi oraz europejskimi, firmami i organizacjami kompetentnymi w zakresie badań, nauki, budownictwa, przemysłu i nowoczesnych technologii.

Obecnie jednostka składa się inżynierów różnych specjalności. Tę interdyscyplinarną grupę współtworzą specjaliści z dziedziny budownictwa i konstrukcji budowlanych, mostownictwa, budownictwa kolejowego, nowych materiałów, instalacji budynkowych i efektywności energetycznej, ochrony środowiska oraz technologii komunikacyjno-informacyjnych.

Biuro Analiz i Rozwoju, reprezentując spółkę Mostostal Warszawa, bierze udział w licznych projektach dofinansowanych ze źródeł zewnętrznych, takich jak Siódmy Program Ramowy (FP7), Program Ramowy na rzecz Konkurencyjności i Innowacji (CIP), Program realizowany w ramach Funduszu Badawczego Węgla i Stali (RFCS), programy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz programy Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. W swoich działaniach firma współpracuje z ponad sześćdziesięcioma kluczowymi europejskimi uniwersytetami, instytutami oraz jednostkami badawczo-rozwojowymi. Firma

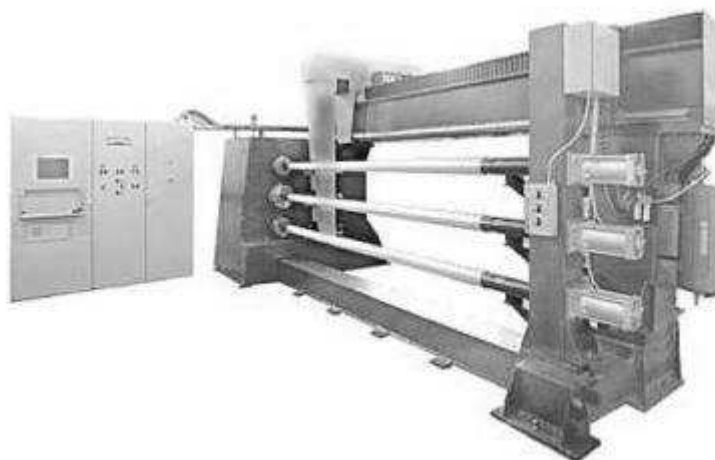


aktywnie współpracuje z kluczowymi politechnikami oraz instytutami w Polsce, prowadząc wspólne projekty badawcze i rozwojowe. Biuro Analiz i Rozwoju posiada do dyspozycji nowoczesne laboratorium badawcze materiałów bitumicznych, oraz nawierzchni jak również warsztat prototypowy materiałów kompozytowych. W warsztacie wykorzystywane są i rozwijane głównie dwa procesy produkcyjne: proces pultruzji oraz proces infuzji. Mostostal Warszawa posiada pełne wyposażenie umożliwiające produkcję prototypową wykorzystującą wspomniane procesy.

### 3. TRANS-IND – UPRZEMYSŁOWIENIE PROCESU BUDOWY INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ WYKONANEJ Z KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH<sup>2</sup>.

Koordynatorem projektu, realizowanego w ramach siódmego programu ramowego w zakresie badań i rozwoju technologicznego (7.PR), będącego największym mechanizmem finansowania badań naukowych oraz projektów badawczych i rozwojowych na poziomie europejskim, jest firma Mostostal Warszawa. Przedsięwzięcie realizuje konsorcjum 20 firm i jednostek naukowych z całej Europy. Jednocześnie jest to jedno z największych przedsięwzięć badawczo-rozwojowych w dziedzinie infrastruktury drogowej w Europie.

Głównym celem projektu jest opracowanie nowych technologii w zakresie materiałów oraz technologii produkcji (rys. 1), które pozwoliłyby na przemysłową produkcję elementów infrastruktury drogowej (mostów drogowych i kolejowych, wiaduktów, kładek dla pieszych, barier akustycznych, barier energochłonnych, etc.) z wykorzystaniem polimerowych materiałów kompozytowych typu FRP (fibre reinforced plastic).

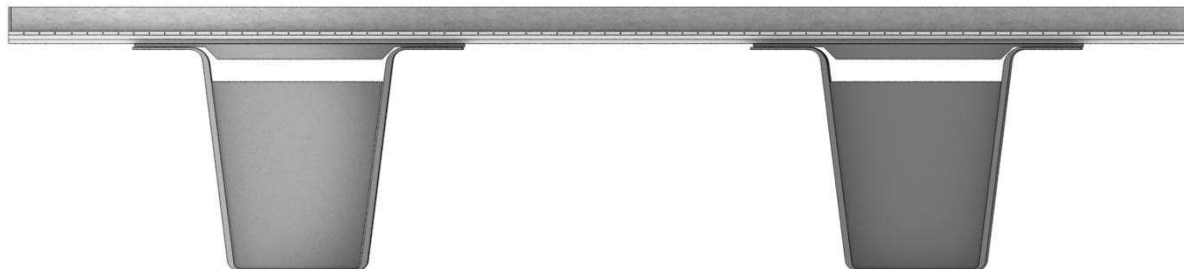


Rys. 1. Urządzenie do produkcji elementów kompozytowych metodą nawijania (ang.: filament winding) firmy Mikrosam – jednego z partnerów projektu. Źródło: Konsorcjum projektu Trans-IND.

Realizacja projektu Trans-IND obejmuje całą serię działań, począwszy od analizy potrzeb i wymagań inwestora, po opracowanie katalogowych (rys. 2) rozwiązań elementów infrastruktury drogowej (np.: dźwigarów głównych, pomostu, połączeń). Podczas realizacji projektu opracowywana jest technologia produkcji wspomnianych elementów (w zakładzie prefabrykacji oraz na placu budowy). System Trans-IND będzie zintegrowany z narzędziami ICT (ang. information and communications technology, pl. technologie informacyjno-

<sup>2</sup>Trans-IND: „New Industrialised Construction Process for transport infrastructures based on polymer composite components”. Grant agreement no. CP-IP 229142-2 (FP7).

komunikacyjne) w postaci platformy do zarządzania całym procesem budowy, a w szczególności logistyką i transportem. Innowacyjny proces produkcji będzie charakteryzował się wysoką wydajnością, zdolnością dostosowywania się do zmiennych warunków zamówień oraz wysoką jakością i powtarzalnością produkcji.



Rys. 2. Jedna z koncepcji katalogowych projektu Trans-IND. Źródło: Konsorcjum projektu Trans-IND.

Projekt Trans-IND rozpoczął się 01.06.2009 i będzie realizowany przez 4 lata. Więcej informacji dotyczących projektu oraz jego wyników można znaleźć na stronie internetowej projektu: [www.trans-ind.eu](http://www.trans-ind.eu) i/lub na profilu LinkedIn: <http://tnij.org/trans-ind>.

#### **4. PANTURA – NOWE PROCESY I ULEPSZONE TECHNOLOGIE NA PLACACH BUDOWY W ZURBANIZOWANYCH TERENACH MIEJSKICH<sup>3</sup>.**

Mostostal Warszawa z dniem 1 listopada 2010 r. rozpoczął realizację projektu europejskiego realizowanego w ramach siódmego programu ramowego, dotyczącego opracowania nowych procesów i technologii ograniczających negatywny wpływ realizacji budowy i utrzymania infrastruktury drogowej na otoczenie w terenie zurbanizowanym. W ramach tego projektu konsorcjum pod przewodnictwem koordynatora – Chalmers University of Technology z Goeteborga (Szwecja) – stawia sobie za cel opracowanie narzędzi, dzięki którym możliwe będzie przeprowadzenie budowy, konserwacji i napraw infrastruktury drogowej w możliwie jak najkrótszym czasie przy minimalnych zakłóceniach i utrudnieniach dla środowiska miejskiego i życia mieszkańców.

Mosty stanowią główny punkt projektu PANTURA. Warto jednak podkreślić, że zaproponowane podejście może być stosowane do wszystkich typów projektów infrastrukturalnych realizowanych na terenach zurbanizowanych. Cele dotyczą doskonalenia prefabrykacji, projektowania efektywnych energetycznie placów budowy, ulepszenia technologii i narzędzi dla budowy mostów na zurbanizowanych, zaludnionych terenach. Jednym z głównych celów projektu jest poprawienie współpracy oraz komunikacji pomiędzy władzami lokalnymi, projektantami oraz przedsiębiorstwami budowlanymi.

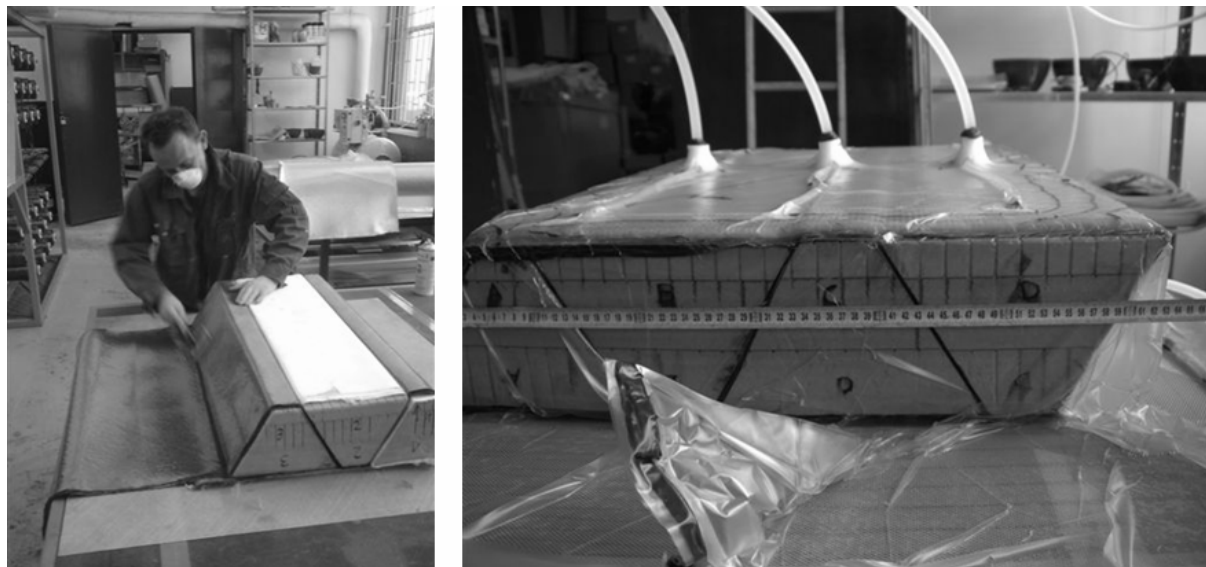
Główne korzyści z realizacji projektu PANTURA:

- wyposażenie organów, zainteresowanych stron i ekspertów w kompleksowe instrumenty (metody, narzędzia i techniki), w celu przygotowania i realizacji obiektów infrastrukturalnych, ich konserwacji oraz efektywnego przeprowadzenia procesów naprawy i renowacji, przy jak najmniejszym negatywnym wpływie na otoczenie,
- zmniejszenie kosztów realizacji obiektów infrastrukturalnych w środowisku zurbanizowanym,

<sup>3</sup> PANTURA: “Flexible Processes and Improved Technologies for Urban Infrastructure Construction Sites”. Grant agreement no. 265172 (FP7).



- zastosowanie nowych materiałów w celu szerszego zastosowania prefabrykacji (rys. 3),
- zastosowanie analizy porównawczej LCC i LCA różnych technologii i systemów opartych na ocenie wydajności i innowacyjności.



Rys. 3. Przygotowanie koncepcji pomostu drogowego w warsztacie prototypowym Mostostalu Warszawa. Warszawa, rok 2012. Źródło: Mostostal Warszawa S.A.

Projekt PANTURA dotyczy badań, opartych na interdyscyplinarnym, holistycznym podejściu i promuje innowacyjne, bardziej praktyczne niż stosowane obecnie, rozwiązania.

Strona internetowa projektu: [www.pantura-project.eu](http://www.pantura-project.eu).

## 5. FLOODPROBE – INNOWACYJNE ROZWIĄZANIA TECHNOLOGICZNE DLA WYDAJNEJ EKONOMICZNIE OCHRONY PRZECIWPOWODZIOWEJ<sup>4</sup>.

Głównym naturalnym zagrożeniem dla ludności Unii Europejskiej są powodzie. Projekt FloodProBE powołano w celu wypracowania, przetestowania, rozpowszechnienia technologii, metod, nowych koncepcji, jak również opracowania narzędzi do oceny oraz łagodzenia ryzyka związanego z zagrożeniami powodziowymi. Konsorcjum projektu swoje wysiłki skupia na podniesieniu poziomu bezpieczeństwa przeciwpowodziowego jak i umożliwieniu jak najszybszego przywrócenia pierwotnych funkcji po zalaniu, zarówno nowych, jak i już istniejących budynków oraz sieci infrastrukturalnych. Cel ten zostanie osiągnięty poprzez skupienie się na lukach oraz głównych zagadnieniach niedawno prowadzonych oraz trwających procesach badawczych nad zagadnieniem zarządzania ryzykiem powodziowym oraz na doświadczeniach wynikających z ostatnich klęsk powodziowych, głównie spowodowanych przez nie zniszczeń.

Wyżej wymienione elementy posłużą do opracowania strategii zarządzania ryzykiem powodziowym. Zebrane doświadczenia oraz otrzymane wyniki zostaną opublikowane w postaci ogólnodostępnego poradnika. Obecność w konsorcjum wielu jednostek naukowych jak i przemysłu zapewnia lepsze upowszechnienie idei oraz lepsze zrozumienie potrzeb rynku i społeczeństwa.

<sup>4</sup>FloodProbe: “Technologies for the cost-effective Flood Protection of the Built Environment”. Grant agreement no. 243401 (FP7).

Końcowym efektem zastosowania w praktyce wyników pracy konsorcjum FloodProBE będzie znaczące obniżenie zagrożenia skutkami powodzi w Europejskich strefach miejskich. W wyniku czego spadnie ilość wypadków śmiertelnych wywołanych zjawiskiem powodzi oraz poprawi się wydajność czynności ratunkowych, prowadząc do mniejszych zakłóceń funkcjonowania społeczeństwa oraz szybszego podnoszenia się z sytuacji kryzysowej. Projekt rozpoczął się w listopadzie 2009 i będzie realizowany przez 4 lata. Więcej szczegółowych informacji można znaleźć na stronie internetowej projektu: [www.floodprobe.eu](http://www.floodprobe.eu).

## **6. RECTYRE: OCENA PRZYDATNOŚCI ROZDROBNIONYCH OPON JAKO WYPEŁNIEŃ NASYPÓW DROGOWYCH<sup>5</sup>.**

Celem projektu było przebadanie oraz zastosowanie surowca pochodzącego z recyklingu jako wypełnienia nasypów drogowych. Materiał ten to guma otrzymywana poprzez zmielenie zużytych opon samochodowych. Projekt został złożony i zatwierdzony do finansowania w ramach programu Eco-Innovations. Konsorcjum rozpoczęło realizację projektu 1 czerwca 2009.

Podstawowym zamierzeniem analizy było znalezienie optymalnego rozwiązania problemu przetwarzania zużytych opon, która mogłaby stanowić odpowiedź na wprowadzenie przez Unię Europejską coraz bardziej restrykcyjnych zasad dotyczących ograniczenia ilości składowanych odpadów. Obecnie wykorzystuje się 93% zużytych opon zarówno do wtórnego pozyskania półproduktów, jak również do produkcji paliw stanowiących substytut paliw kopalnych. Jako że spalanie pogłębia efekt cieplarniany, wskazane jest poszukiwanie nowych rozwiązań zagospodarowania odpadów, jakimi są zużyte opony samochodowe.

Głównym celem projektu było wprowadzenie na rynek innowacyjnej technologii lekkiego wypełnienia nasypów drogowych wraz z analizą jej przydatności. Nowe wypełnienie nasypów wykonane z rozdrobnionych zużytych opon samochodowych może przede wszystkim zmniejszać zapotrzebowanie na naturalne kruszywa pochodzące z innego miejsca niż wykonywany nasyp. W ramach projektu w 2011 roku firma Mostostal Warszawa wykonała nasyp drogowy, gdzie grunt w nasypie został częściowo zastąpiony warstwami wykonanymi z materiału pochodzącego ze zmielenia zużytych opon samochodowych. W ramach wykonania demonstracji projektu Rectyre zaprojektowano i wykonano (rys. 4) nasyp drogowy o grubości warstwy „gumowej” od 1,0 do 1,2 m, szerokości 10 metrów i długości 200 m.

---

<sup>5</sup> Rectyre: “Used tyres valorisation as lightweight filler for embankments”. Grant agreement no. ECO/08/239110/SI2.535262 (CIP, Eco – Innovations).



Rys. 4. Wykończenie nasypu drogowego. Układanie warstwy strzępów gumowych jako jednej z warstw konstrukcyjnych nasypu. Czuprynowo, rok 2011. Źródło: Mostostal Warszawa S.A.

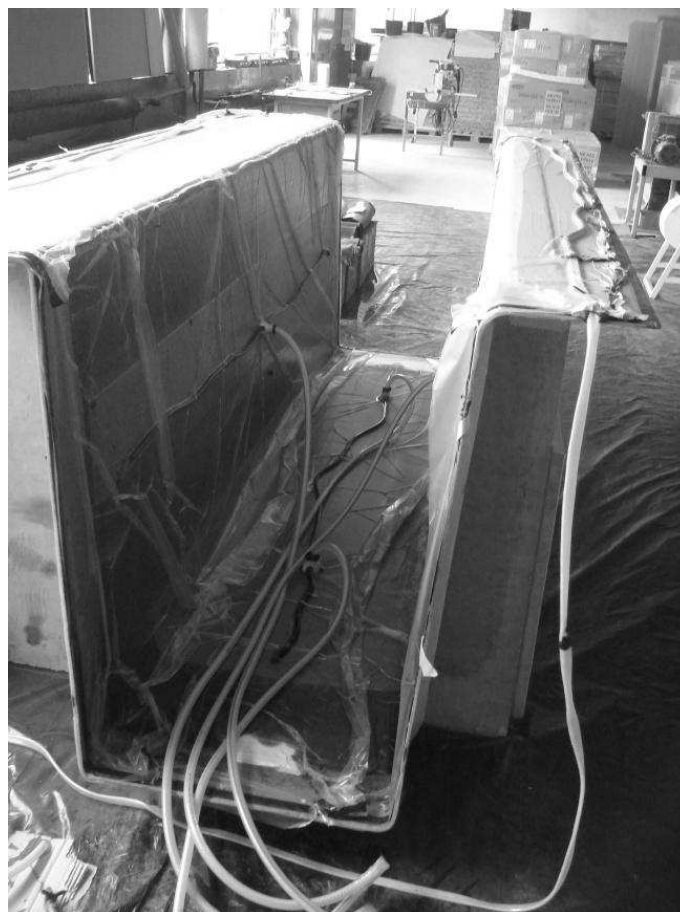
Założeniem projektu było ograniczenie stosowania tradycyjnych materiałów do budowy nasypów na rzecz materiałów pochodzących z recydingu. Realizując ten cel, należy pamiętać, że prowadzi to do nieznacznego podniesienia kosztów inwestycji. Konsorcjum postawiło sobie za cel rozwiązanie tego problemu poprzez optymalizację procesu produkcyjnego i stworzenie dogodnych warunków rynkowych wykorzystania tego typu odpadów. Wśród trudności wprowadzenia produktu na rynek jest różnica w przepisach prawnych określających limity emisji zanieczyszczeń w poszczególnych krajach członkowskich. Bariera staje się wyraźniejsza w momencie, gdyby chciało się ujednolicić zasady wprowadzenia produktu na rynek całej Unii. Dzięki wybudowanemu przez firmę Mostostal Warszawa obiektowi demonstracyjnemu można zaobserwować zdecydowanie większe zainteresowanie tego typu technologiami w naszym kraju, które związane są między innymi ze znacznymi ograniczeniami prawnymi możliwości spalania opon samochodowych w piecach przemysłowych. Więcej informacji na temat projektu można znaleźć na stronie internetowej projektu: [www.rectyre.solintel.eu](http://www.rectyre.solintel.eu) oraz licznych publikacjach dotyczących wykonanego odcinka testowego.

## 7. **KŁADKA KOMPOZYTOWA DLA PIESZYCH, OPRACOWANIE TECHNOLOGII WYTWARZANIA I WDROŻENIE KOMPOZYTOWYCH KŁADEK DLA PIESZYCH<sup>6</sup>.**

W październiku 2010 Mostostal Warszawa we współpracy z przedsiębiorstwem Materials Engineerings Group oraz Uczelnianym Centrum Badawczym Politechniki Warszawskiej podjęła się realizacji projektu „Opracowanie technologii wytwarzania i wdrożenie kompozytowych kładek dla pieszych”, który na podstawie umowy grantowej otrzymał dofinansowanie ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Tematyka projektu dotyczy istotnego problemu konstrukcji mostowych, w tym również kładek dla

<sup>6</sup> Projekt realizowany jest na podstawie umowy 4613/C.ZR7-6/2010 o dofinansowanie wykonania podpisanej z Ministerstwem Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

pieszych, którym jest ich trwałość związana przede wszystkim z korozją stalowych elementów konstrukcji. Dodatkowo w przypadku konstrukcji nowych obiektów mostowych budowanych w zurbanizowanym środowisku komunikacyjnym, zwłaszcza w obrębie miast, bardzo istotne są problemy związane ze znacznymi utrudnieniami w ruchu, a co za tym idzie stratami materialnymi, powstającymi na skutek czasu prowadzonych prac budowlanych. W ramach projektu, opracowana, zoptymalizowana i wdrożona zostanie technologia wytwarzania lekkich, łatwych w transporcie i szybkich w montażu, kompozytowych modułowych kładek dla pieszych. Dźwigar główny kładki zostanie wykonany w technologii infuzji (rys.5). Metoda ta polega na ułożeniu w odpowiedniej konfiguracji tkanin węglowej i szklanej w formie odzwierciedlającej kształt dźwigara kładki. Po ułożeniu tkanina jest szczelnie przykrywana folią, spod której odsysane jest powietrze. Pod wpływem próżni zasysana jest żywica epoksydowa, która impregnuje ułożoną tkaninę. Proces infuzji jest powszechnie stosowany do produkcji kadłubów jachtów jednak nie był jeszcze nigdy zastosowany do produkcji konstrukcji budowlanych. Pozwala on na bardzo szybką ich produkcję, a co najważniejsze – na optymalne projektowanie.



Rys. 5. Wykonanie prototypowego elementu dźwigara głównego kompozytowej kładki dla pieszych. Testy procesu infuzji. Warszawa, rok 2011. Źródło: Mostostal Warszawa S.A.

Wykonany tą metodą element charakteryzuje się powtarzalnymi parametrami użytych materiałów kompozytowych. Powierzchnia wykonanego elementu nie wymaga zabezpieczenia i malowania. Zastosowanie procesu infuzji pozwala także ograniczyć koszt wykonania kładki poprzez zmniejszenie kosztów pracy. Realizacja projektu zakończy się wybudowaniem obiektu demonstracyjnego, którego realizacja planowana jest na 2013 rok.



## 8. INNOWACYJNA TECHNOLOGIA NAWIERZCHNI DROGOWYCH O OBNIŻONEJ EMISJI HAŁASU<sup>7</sup>.

Hałas to dźwięki o dowolnym charakterze niepożądane w danych warunkach, które są szkodliwe, uciążliwe i wywołują zaburzenia u odbiorcy. Obecnie zmniejszanie hałasu jest zadaniem priorytetowym dla Europy; szczególną uwagę zwraca się zaś na hałas generowany przez pojazdy mechaniczne i hałas powstający na styku opony z nawierzchnią. W związku z tym pracuje się nad rozwojem technologii, która stworzą możliwość wprowadzenia trwałych rozwiązań w zakresie walki z hałasem. Celem projektu, która koordynowany jest przez firmę Mostostal Warszawa, pt.: „Innowacyjna technologia nawierzchni drogowych o obniżonej emisji hałasu” jest wdrożenie do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, z której można będzie wykonywać nowy typ nawierzchni drogowej, cechujący się obniżoną emisją hałasu.

Podstawową właściwością nawierzchni o obniżonej emisji hałasu jest jej porowata struktura, uzyskana poprzez zwiększenie ilości wolnych przestrzeni w stosunku do innych mieszanek. Otwarta struktura MMA determinuje wiele właściwości, które w korzystny sposób wpływają na komfort użytkowania nawierzchni, a jednocześnie nie obniżają nośności warstw. Mieszanka porowata w nawierzchni drogowej wpływa na obniżenie hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią oraz umożliwia odprowadzenie wody z nawierzchni podczas opadów deszczu oraz redukuje zjawisko rozprysku wody i powstawania tzw.: klina wodnego (Aquaplanning). Hałas generowany przez toczący się samochód zaczyna dominować nad hałasem pracującego silnika po przekroczeniu prędkości 50 km/h, dlatego też podstawowym zastosowaniem opracowanej nawierzchni będą drogi szybkiego ruchu przebiegające przez miasta i położone blisko domów. Dzięki zastosowaniu nawierzchni porowatej można osiągnąć efekt redukcji hałasu o 6 – 7dB, podczas gdy budowa barier dźwiękoszczelnych zmniejsza hałas o 7 – 10dB. Zastosowanie nawierzchni porowatej dodatkowo obniża koszty budowy infrastruktury i pozytywnie wpływa na architekturę otoczenia.

Prace badawcze potrwać 2,5 roku (rys. 6). Po zrealizowaniu fazy badawczej projektu zostaną wykonane odcinki prototypowe, które pozwolą na weryfikację wyników badań laboratoryjnych w skali rzeczywistej. Wykonanie odcinków prototypowych będzie realizowane przez okres 2 lat. Pozytywne wyniki badań odcinków prototypowych umożliwią realizację ostatniej fazy projektu – przygotowania do wdrożenia, która potrwa 6 miesięcy.



Rys. 6. Badania hałasu nawierzchni drogowych wykonywanych w ramach projektu. Warszawa, rok 2010.  
Źródło: Mostostal Warszawa S.A.

<sup>7</sup> Projekt realizowany jest na podstawie umowy ZPB/22/64486/IT2/10 o dofinansowanie projektu w ramach przedsięwzięcia Initech, podpisanej z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju.

Projekt jest realizowany przez konsorcjum w składzie: Mostostal Warszawa – lider, Politechnika Warszawska Wydział Inżynierii Lądowej oraz Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Zakład Technologii Nawierzchni – członkowie konsorcjum. Jednostką nadzorującą realizację projektu oraz zapewniającą dofinansowanie jest Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Czas trwania projektu: maj 2010 – kwiecień 2015.

Strona internetowa projektu: [www.cidro.pl](http://www.cidro.pl)

## **9. PRZYJAZNE DLA ŚRODOWISKA MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWE NA CIEPŁO JAKO NOWOCZESNE ROZWIĄZANIE TECHNOLOGICZNE ZWIĘKSZAJĄCE WYDAJNOŚĆ BUDOWY NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH<sup>8</sup>.**

W związku z rosnącym natężeniem ruchu i potrzebą budowy coraz większej ilości dróg, ważnym zadaniem stało się umożliwienie rozkładania nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych, gdy panują niekorzystne warunki atmosferyczne (temperatura poniżej 5°C). Niska temperatura powietrza powoduje szybkie wychładzanie się mieszanki mineralno-asfaltowej w czasie jej transportu oraz w czasie jej układania. To z kolei przekłada się na niedostateczne zagęszczenie mieszanki. Złe zagęszczenie mieszanki powoduje, że wykonana nawierzchnia drogowa nie będzie w stanie przenieść obciążenia od ruchu samochodowego w zakładanym okresie eksploatacji bez przedwczesnych uszkodzeń.

Projekt MMac (Przyjazne dla środowiska mieszanki mineralno-asfaltowe na ciepło jako nowoczesne rozwiązanie technologiczne zwiększające wydajność budowy nawierzchni asfaltowych) ma na celu opracowanie rozwiązania, które w znacznym stopniu może ograniczyć problem niskiej temperatury powietrza. Będzie to możliwe dzięki technologii mieszanek mineralno-asfaltowych „na ciepło”. Polega ona na takim zmodyfikowaniu mieszanki, aby jej temperatura w końcowej fazie efektywnego wałowania mogła wynieść 80°C. Jest to 20 - 30°C mniej w porównaniu do tradycyjnych mieszanek na gorąco. Ważne jest tutaj, że mieszankę „na ciepło” – pomimo tak niskiej temperatury można – zagęścić w takim samym stopniu jak mieszankę na gorąco. Ponadto będzie możliwe także obniżenie temperatury produkcji mieszanki do 120°C, co przyczyni się do redukcji emisji gazów szkodliwych dla środowiska.

Projekt jest podzielony na dwie fazy. W pierwszej części projektu planowane jest przeprowadzenie badań asfaltów, a następnie mieszanek mineralno-asfaltowych. Modyfikacja podczas realizacji projektu polegać będzie na zastosowaniu dodatków, które w różny sposób wpłyną na obniżenie temperatur technologicznych. Można wyróżnić trzy typy dodatków: woski, które modyfikują właściwości lepko-sprężyste mieszanki, dodatki chemiczne, które mają działanie powierzchniowo-czynne oraz zeolity, które poprzez zjawisko „mikrospienienia” wpływają na obniżenie temperatury produkcji i rozkładania mieszanki. Podczas badań laboratoryjnych (rys. 7) wytypowane zostaną najskuteczniejsze dodatki oraz określona zostanie optymalna ilość modyfikatora w stosunku do masy lepischer/mieszanki.

---

<sup>8</sup> Projekt realizowany jest na podstawie umowy Nr 6 ZR6 2009 C/07290 o dofinansowanie wykonania podpisanej z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju.



Rys. 7. Badania dodatków do mieszanek na ciepło w laboratorium firmy. Warszawa, rok 2010. Źródło: Mostostal Warszawa S.A.

Odpowiednie badania zostaną przeprowadzone dla różnych rodzajów mieszanki mineralno-asfaltowej, tak by wybrany dodatek był w jak największym stopniu uniwersalny i nie ingerował w wytrzymałościowe parametry mieszanki.



Rys. 8. Badania termowizyjne przeprowadzone na jednym z prototypowych odcinków testowych wykonanych w okresie jesiennym (2011) przy obniżonej temperaturze wbudowania. Źródło: Mostostal Warszawa S.A.



Druga część projektu obejmuje wykonanie prototypu tzn. wyprodukowanie serii próbnej modyfikowanej mieszanki mineralno-asfaltowej i wykonanie z niej odcinka testowego (rys. 8). Zakres prac obejmie także projekt ewentualnej modyfikacji wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. Strona internetowa projektu: [www.mmac.waw.pl](http://www.mmac.waw.pl)

## 10. ZASTOSOWANIE NANOMATERIAŁÓW W TECHNOLOGII NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH

Nanotechnologia jest dynamicznie rozwijającym się obszarem nauki, dzięki któremu materiały modyfikowane na poziomie molekularnym mogą znaleźć szerokie zastosowanie w infrastrukturze transportowej. Projekt „Zastosowanie nanomateriałów w technologii nawierzchni asfaltowych” ma na celu ocenę wpływu aplikacji nanorurek węglowych na właściwości lepiszcza asfaltowego i mieszanek mineralno-asfaltowych (MMA). W ramach projektu wykonane zostaną badania właściwości lepiszczy i MMA modyfikowanych różnymi rodzajami nanorurek (rys. 9). Podejście to zakłada, że wpływając na strukturę molekularną poszczególnych składników mieszanki mineralno-asfaltowej można modelować jej końcowe właściwości. Zastosowanie nanomateriałów w MMA może potencjalnie poprawiać ich odporność na działanie wody i mrozu, a także wytrzymałość i trwałość.



Rys. 9. Badanie wolnych przestrzeni nawierzchni do przygotowania której użyto nanorurek. Warszawa, rok 2012.  
Źródło: Mostostal Warszawa S.A.

## 11. WNIOSKI

Zaangażowanie się w działalność badawczo–rozwojową jest dziś już nie tylko kwestią prestiżu przedsiębiorstwa lub działaniem marketingowym. W dzisiejszych czasach to bardzo istotne działanie biznesowe oraz możliwość stania się bardziej konkurencyjnym w bardzo trudnej branży budowlanej. Przykłady projektów badawczo–rozwojowych jakie, zostały przedstawione w niniejszym referacie pokazują, że poprzez właśnie takie działania można rozwiązać bardzo dużo istotnych problemów. Nowe modele realizowania projektów w budownictwie infrastrukturalnym typu „zaprojektuj i zbuduj” umożliwiają generalnemu wykonawcy szersze pole do wdrażanie nowych technologii. Generalny wykonawca nie jest już tylko jednostką w całym procesie, który na podstawie wykonanego wcześniej projektu i specyfikacji ma wykonać obiekt. Kolejnym krokiem w modelu realizacji obiektów budowlanych będzie „zaprojektuj – zbuduj – sfinansuj – eksploatuj” co jest ogromną szansą na wdrażanie nowych innowacyjnych technologii.

Bardzo ważne jest tu przede wszystkim nawiązanie szerokiej opartej na zaufaniu i dobrych relacjach współpracy pomiędzy firmą a jednostkami badawczymi (instytutami, politechnikami). Firma Mostostal Warszawa jest dobrym przykładem owocnej współpracy przemysł – nauka, która to skutkuje podejmowaniem coraz to nowszych wspólnych inicjatyw, z których tylko część została przedstawiona w niniejszym opracowaniu.

### **INNOVATIVE R&D PROJECTS IN THE FIELD OF ROAD, RAILWAY AND BRIDGE ENGINEERING CARRIED OUT BY MOSTOSTAL WARSZAWA**

#### **Summary**

Innovation, new technologies, research and development have become in recent times a very trendy catch words. At the same time market trends show that only new technologies can make the Polish and European economy counterbalance the developing countries such as China and India. Unfortunately, construction industry is still considered to be less innovative and thus also less competitive. There is still not much research done in joint initiatives between research partners and industry despite the fact that Polish universities and institutes have a great potential and willingness to cooperate. Mostostal Warszawa can be shown as a good example of the main contractor investing in research and development. In the paper some of the projects are briefly described together with the research and development department of Mostostal Warszawa S.A.



Wojciech RADOMSKI<sup>1</sup>  
Politechnika Warszawska

## **ROLA NAUKI W ROZWOJU MOSTOWNICTWA**

### **STRESZCZENIE**

Krótko nawiązano do historii mostownictwa. Wykazano, także na podstawie współczesnych przykładów, że sztuka budowania mostów nie zawsze zależy od osiągnięć nauki. Przedstawiono klasyfikację podstawowych zdaniami autora czynników technicznych i pozatechnicznych wpływających na rozwój mostownictwa. Główną uwagę zwrócono na jego współczesne osiągnięcia i uzależnienie ich od stanu nauki z jednej strony i oddziaływanie tych osiągnięć na rozwój nauki z drugiej strony. Podkreślono, że relacje te są bardzo silne, ale trudne do jednoznacznego zdefiniowania. Przedstawiono przykłady niewystarczalności obecnego stanu rozwiązań naukowych stosowanych w projektowaniu i budowie mostów. Wskazano na wpływ awarii i katastrof mostów na rozwój wiedzy budowlanej. Zaprezentowano rolę nauki także w szeroko rozumianym utrzymaniu i modernizacji istniejącej infrastruktury mostowej. Ogólne tendencje rozwoju mostownictwa na świecie odniesiono do sytuacji Polsce i udziału polskich badaczy w postępie tego działu budownictwa w naszym kraju. Zakreślono perspektywy rozwojowe mostownictwa na świecie i w Polsce z uwzględnieniem potrzebnych kierunków dalszych dociekań naukowych. Wszystkie prezentowane kwestie poparto konkretnymi przykładami światowymi i krajowymi.

**SŁOWA KLUCZOWE:** nauka, technika, mostownictwo, uwarunkowania rozwoju

### **1. UWAGI WSTĘPNE**

Temat zasygnalizowany w tytule niniejszego opracowania jest bardzo obszerny i wielowątkowy. Dlatego trzeba było dokonać subiektywnego (podkreślam to słowo!) wyboru w jego przedstawianiu, koncentrując się na zagadnieniach uznanych za najbardziej istotne. Dodatkową trudność tego wyboru stanowiło to, że podobna tematyka była już przez piszącego te słowa przedstawiana w jego kilku poprzednich publikacjach [1], [2], [3], [4], [5]. Dlatego w tej pracy starano się unikać myśli poprzednio już wyrażanych, nawiązując do nich tylko sporadycznie i w niezbędnych przypadkach, natomiast na sprawę roli nauki w rozwoju mostownictwa spojrzeć nieco inaczej niż dotychczas, niejako na nowo. W jaki stopniu spojrzenie to okaże się interesujące dla czytelników, to ocena tego nie należy już do autora.

Współczesne mostownictwo podzielić można na dwa zasadnicze obszary. Pierwszy – to projektowanie i budowanie nowych obiektów, drugi – to szeroko rozumiane utrzymywanie i modernizacja istniejącej infrastruktury, często dość starej, eksploatowanej przez wiele lat.

---

<sup>1</sup> w.radomski@il.pw.edu.pl

W obu tych obszarach, w ich funkcjonowaniu i rozwoju zauważyć można znaczną rolę nauki, co zostanie uzasadnione w dalszym tekście. Zwykle kładziony jest jednak nacisk na tę rolę w pierwszym z wymienionych. Postaramy się wykazać, że ograniczenie to nie jest słuszne.

Niniejsze opracowanie nie jest wolne od stwierdzeń zapewne kontrowersyjnych lub – łagodniej rzecz ujmując – dyskusyjnych. Taka jest jednak natura przedstawianej w nim problematyki, która może być bardzo różnie ujmowana w zależności od indywidualnych obserwacji, wiedzy i przemysłów.

## 2. TROCĘ HISTORII I TROCĘ WSPÓŁCZESNOŚCI

Jest rzeczą powszechnie wiadomą, że historia mostownictwa jest niemal tak długa jak historia cywilizacji – ludzie od zawsze przemieszczali się w przestrzeni, pokonując przy tym najrozmaitsze przeszkody terenowe. Najpierw korzystali z mostów stworzonych przez naturę, potem – naśladując ją – poczęli je budować. Budowanie to było oparte na wiedzy, zaczerpniętej głównie z obserwacji przede wszystkim przyrody, co syntetycznie zilustrowano na rys. 1.

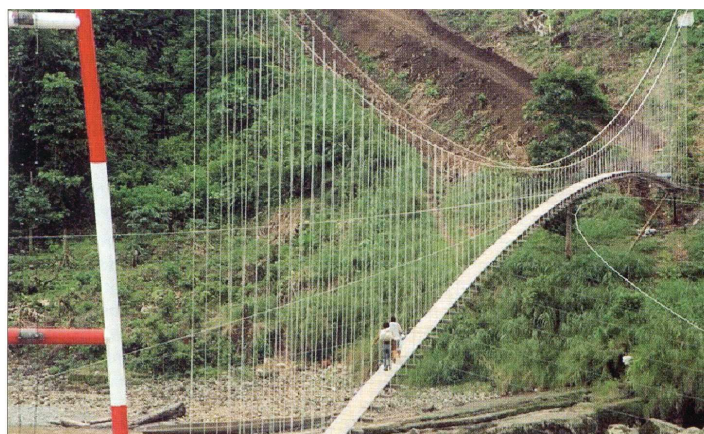


Rys. 1. Od natury po struktury budowane przez człowieka

Zapewne dawnym budowniczym mostów, zwłaszcza starożytnym Rzymianom, znane były jakieś reguły wznoszenia tych budowli, wywiedzione raczej z wiedzy praktycznej i intuicji niż z dociekań teoretycznych. Nie jest intencją autora przedstawianie tego, skądinąd bardzo pasjonującego tematu. Należy go zostawić historykom techniki, szczególnie budownictwa. Niemniej stwierdzić należy, ograniczając się do samego tylko mostownictwa, że praktyka znacznie wyprzedzała w tej dziedzinie ujęcia teoretyczne, a co więcej to ona właśnie – przez doświadczenia płynące ze zrealizowanych obiektów, a także ich awarii i katastrof [8] – inspirowała nowe kierunki badań naukowych [2], [5].



Jest rzeczą niezwykle interesującą, że umiejętność projektowania i budowania mostów bez udziału usankcjonowanej wiedzy teoretycznej i bez żadnych ujęć normowych, nie jest sprawą jak by się mogło wydawać przebrzmiałą. O dziwo, jest nadal aktualna, na co wskazuje choćby publikacja [6]. Wynika z niej, że dwaj formalnie nie przygotowani profesjonalnie trzydziestoletni panowie: Szwajcar *Toni Rüttimann* oraz Ekwadorczyk *Walter Yanéz* z pomocą miejscowej, „nieuczonyj” ludności, wybudowali w latach 1990-tych w Ekwadorze i Hondurasie ponad 160 kładek dla pieszych. Największa z nich, o konstrukcji wiszącej, wybudowana ponad rzeką Aguarico, ma 264 m rozpiętości (rys. 2). Pomost jej jest z drewna, natomiast stalowe pylony oraz olinowanie wykonano z materiałów pozostawionych przez przedsiębiorstwa naftowe – można zatem budować „ze wszystkiego” (rozwiniecie tego stwierdzenia można znaleźć w pracy [7]). Uznano, że wybudowanie tej kładki jest niezbędne i po prostu zrobiono to w myśl zasady formułowanej po hiszpańsku *peor as nada (lepiej niż nic)*. Jej wykonanie poprawiło byt lokalnej, bardzo licznej społeczności. Na most „z prawdziwego zdarzenia” pewno szybko by się ona nie doczekała. Warto jednak zwrócić uwagę, że ze względów konstrukcyjnych niczego temu o obiekto wi wzniesionemu z tego „co było pod ręką” nie można zarzucić – proszę np. dostrzec poprzeczne stężenia linowe, głównie przeciwwiatrowe.



Rys. 2. Kładka dla pieszych o rozpiętości 264m na rzeką Aguarico w Ekwadorze, lata 1990. [6].

Podobnych przykładów można by podać znacznie więcej, także dotyczących naszego kraju (np. most kamienny w Znamierowicach nad Jeziorem Rożnowskim, wybudowany w latach 1970-tych własnoręcznie przez Jana Stacha). Potrzeby indywidualne i społeczne, a zatem i gospodarcze, komunikacyjne i kulturowe, warunkują w każdej sytuacji konieczność wszelkiego budowania, oczywiście także i obiektów mostowych. Potrzeby te bywają niekiedy tak silne, że podejmowane są inicjatywy budowania „na własną rękę”. W takich okolicznościach to, że mosty mogą nie być wybudowane w pełni racjonalnie pod względem konstrukcyjnym, że mogą być zbyt mało bezpieczne, że ich trwałość i komfort użytkowania nie spełniają współczesnych standardów, że formalnie może nikt za nie odpowiadać, staje się mało ważne, ważny jest natomiast fakt - mówiąc potocznie - ułatwienia życia, wynikający z użytkowania mostu.

W świetle przedstawionych wyżej stwierdzeń można więc sformułować kontrowersyjną zapewne, ale w odczuciu piszącego te słowa, prawdziwą tezę, że zarówno w historii, jak i współcześnie, były i bywają sytuacje, że rola nauki w budowaniu mostów jest żadna lub prawie żadna, natomiast wiodącą rolę odgrywają wiedza i umiejętności praktyczne. Uważa się wtedy zwykle, iż wystarcza to tylko do budowy prymitywnych mostów. Ale czy rzeczywiście zawsze one bywają prymitywne?



### 3. NAUKA I TECHNIKA

Po tych zapewne wysoce dyskusyjnych stwierdzeniach przedstawionych w poprzednim punkcie tego opracowania, przejdziemy teraz do bardziej systematycznie ujętych rozważań na temat roli nauki w mostownictwie. Do tego celu niezbędne jest wprowadzenie odróżnienia między działalnością naukową i działalnością techniczną. Na własną odpowiedzialność własny użytek autor zdefiniował kiedyś zwięźle oba te obszary w sposób urągający zapewne „uczonym” określeniom, ale oddający w jego mniemaniu istotę tych działań [1], [2]. Jest następującą definicją służącą umiejętności ich odróżniania.

*Odkrywanie nieznanego to działalność naukowa. Stosowani, udoskonalanie lub zwiększanie skali i zakresu zastosowań już znanego – to działalność techniczna.*

Owo *odkrywanie nieznanego* może być dokonywane w niewielkim nawet zakresie i może nie być bezpośrednio aplikowane, ale musi jednak nosić cechy nowości, rozszerzającej choćby o małą cząstkę zakres poznania, bo nauka jest w swej istocie polega właśnie na rozwoju zakresu poznania. Jeśli na przykład - odnosząc sprawę do materiałów budowlanych – mrozoodporność betonu badana jest z zastosowaniem sztucznych sieci neuronowych, ale nie uzyskujemy dzięki temu nowej wiedzy o samej mrozoodporności, to nie jest według przyjętych tu kryteriów działalność naukowa, bo zakres poznania tej cechy betonu będącej przedmiotem badań nie ulega poszerzeniu. Dzięki owym sieciom badania można przeprowadzić szybciej i być może taniej, co jest oczywiście postropem, ale w sferze techniki, nie nauki. W tym stwierdzeniu nie ma niczego pejoratywnego chodzi wyłącznie o uściślenie pojęć. Między *działalnością naukową* oraz *działalnością techniczną* występują wzajemne powiązania – pierwsza uwarunkowana bywa często rozwojem drugiej i odwrotnie, nie ma tu sztywnego, jednoznaczne podziału, przynajmniej - jak się dalej przekonamy – w mostownictwie. Trudno na przykład wyobrazić sobie *udoskonalanie znanego* bez stosowania naukowych metod badawczych. Często *udoskonalając znane* dokonujemy mniej lub bardziej przypadkowo *odkrywania nieznanego*, także w sensie innego zakresu zastosowań. Historia nauki i techniki zna wiele takich przypadków. Klasycznym przykładem z zakresu budownictwa jest żelbet, którego źródłem są przecież donice ogrodnika Josepha Moniera (1823-1906).

Innym ważnym odróżnieniem działalności naukowej i działalności technicznej jest rola ekonomii. Otóż działalność naukowa może w wielu przypadkach nie mieć żadnych odniesień ekonomicznych, mimo iż z jej osiągnięć korzysta w szerokim zakresie technika, w której owe odniesienia ekonomiczne występują zawsze. Historia nauki i techniki to potwierdza. Przykłady tego można znaleźć choćby w publikacji [2], nie będziemy więc ich tu przytaczać. Natomiast warto jest podkreślenia, że motywacja do poszukiwań naukowych, owego *odkrywania nowego*, ma (albo przynajmniej powinna mieć) swe źródła w postawach intelektualnych i psychicznych badaczy, uświadomieniu przez nich niewystarczalności dotychczasowych ujęć lub metod doświadczalnych.

Ale i powiązania techniki z ekonomią znów nie zawsze są jednoznaczne. Dobrze to wyjaśnia różnica między *wynalazkiem technicznym* i *postępem technicznym*. Pierwszy może być (i często bywa !) produktem indywidualnym, nie zawsze uzasadnionym ekonomicznie, to jest nie prowadzącym do wytwarzania owego *wynalazku* w większej skali i nie przynoszącym korzyści w wymiarze społecznym. Drugi musi mieć swoje konsekwencje ekonomiczne i społeczne, częściej rzecz jasna pozytywne (np. oszczędności czasu, energii, etc.) niż negatywne (np. zagrożenia dla naturalnego środowiska), ale zawsze odczuwalne w wymiarze ponadindywidualnym. Oczywiście *wynalazek* jest na ogół elementem postępu technicznego, ale nie musi nim być (wystarczy przejrzeć choćby rejestry patentów nigdy nie zastosowanych w praktyce).

I jedna jeszcze uwaga. Czynnikiem odróżniającym *działalność naukową* od

*działalności technicznej* jest funkcją czasu. *Odkrywanie nowego* jest nieprzewidywalne w czasie. Można wprawdzie (i tak się współcześnie dzieje) stawiać wymagania formalne dotyczące terminu zakończenia badań nad jakimś tematem, zakwalifikowanym mniej lub bardziej słusznie do tematów naukowych, ale to nie gwarantuje, że to *nowe*, rozszerzające zakres poznania zostanie rzeczywiście odkryte. Natomiast czas trwania zadań technicznych (tj. głównie *udoskonalanie lub zwiększanie skali zastosowań znanego*), jest zdecydowanie bardziej przewidywalny. Tu można stawiać określone terminy, pod warunkiem odpowiedniego finansowania prac, także (a może przede wszystkim !) badawczych, potrzebnych do realizacji tych zadań. Współczesne przykłady takich zadań, to choćby programy wdrażania rozmaitych nowych technologii.

Występując jeszcze inne czynniki pozwalające na bardziej jeszcze wyraźne scharakteryzowanie *działalności naukowej* i *działalności technicznej*, ale nie będziemy ich tu przedstawiać. Powołamy się tylko raz jeszcze na prace [1], [2] i [3].

#### 4. Z JAKICH NAUK KORZYSTA MOSTOWNICTWO

Po zagadnieniach natury ogólnej, przedstawionych w punkcie 3. tego opracowania, dalsza jego treść ograniczymy do mostownictwa. Jest to dział techniki, ściślej – budownictwa, dość skomplikowany i niejednoznaczny jeśli sprawę rozważać w kontekście wpływu nauki na jego rozwój. Często bowiem – jak już zasygnalizowano poprzednio – praktyka wyprzedza w mostownictwie osiągnięcia naukowe, a co więcej to obserwacje zachowania zrealizowanych obiektów w czasie ich eksploatacji stanowią źródło nowych kierunków badawczych, a nawet gałęzi nauk technicznych (tak było np. z powstaniem *reologii betonu*). Zanim jednak to poddamy bardziej szczegółowej analizie, warto najpierw zastanowić się z jakich nauk, bardziej lub mniej świadomie, korzysta mostownictwo. Ich ogólną klasyfikację przedstawiono w tablicy 1.

Nauki wymienione w tablicy 1 nie wyczerpują wszystkich, z których osiągnięć korzysta mostownictwo, podano je tytułem najbardziej podstawowych przykładów. Część z tych nauk ma bezpośrednio w nim zastosowania, część pośrednio, ale nie oznacza to, że mniej ważne. Czy na przykład opracowując projekt renowacji starego, zabytkowego mostu można nie korzystać z historii sztuki? A czy lokalizacja nowego mostu nie jest oparta na planowaniu przestrzennym? Projektanta zwykle nie interesuje dlaczego dany most ma być zlokalizowany w określonym, a nie innym miejscu, ale przecież lokalizacja ta z czegoś wynika. Natomiast w projektowaniu czynniki estetyczne i społeczne (także ochrona przed hałasem - ekologia) muszą być brane pod uwagę. Wątku rodzaju nauk (tab. 1) w ich zastosowaniu do mostownictwa nie warto dalej rozwijać, bo jest oczywisty. Na niektóre tylko aspekty tych zastosowań zwrócimy uwagę dalej.

W tym miejscu zwrócimy tylko uwagę, że szeroki krąg nauk, z których korzysta mostownictwo, wynika nie tylko z tego, że obiekty mostowe są produktami techniki (przedmiotami technicznymi), mającymi spełniać określone funkcje komunikacyjne i zapewnić dostatecznie wysoki poziom trwałości i bezpieczeństwa ich użytkowania, ale również z ich cech pozatechnicznych, a więc z tego, że są elementami silnie kształtującymi krajobraz, że wpływają na doznania estetyczne użytkowników i obserwatorów, że zawierają w sobie wiele odniesień symbolicznych i historycznych, wpływających również na świadomość narodową i obywatelską. Z tego też sobie trzeba zdawać sprawę. Mosty to i technika i humanistyka.

Tablica 1. Ogólna klasyfikacja nauk, z których korzysta mostownictwo

Nauki przyrodnicze		Nauki społeczne	
Rozwijane poza techniką	Rozwijane w obrębie techniki	Rozwijane poza techniką	Rozwijane w obrębie techniki
Np.: Matematyka, Fizyka, Chemia, Geologia, Logika, Teoria poznania, Teoria systemów.	Np.: Wytrzymałość materiałów, Teoria sprężystości i plastyczności, Mechanika konstrukcji i materiałów, Geotechnika, Hydrologia, Hydromechanika, Akustyka, Architektura, Inżynieria komunikacyjn, Inżynieria materiałowa, Informatyka stosowana, Elektronika, Elektrotechnika, Eksploatacja maszyn.	Np.: Ekonomia, Planowanie przestrzenne, Historia, Historia sztuki, Estetyka, Psychologia, Socjologia, Ekologia, Prawo	Np.: Organizacja i zarządzanie, Ekonomika produkcji, Mechanizacja pracy, Ergonomia, Analiza użytkowa działań i przedmiotów technicznych.

## 5. CZYNNIKI WPŁYWAJĄCE NA ROZWÓJ MOSTOWNICTWA

Warto rozpocząć od własnego podwórka. W Europejskim Instytucie Rozwoju Regionalnego i Lokalnego Uniwersytetu Warszawskiego, w początkach lat 2000-nych, przeprowadzono studia na temat sytuacji materialnej gmin na terenie całej Polski w kontekście przygotowania kraju do wejścia do Unii Europejskiej. W raporcie z tego studium, ogłoszonym w artykule [9] napisano: „*pokazano gminy o najniższych dochodach własnych i udziałach w podatkach państwowych w przeliczeniu na mieszkańca. Wyraźnie widać jeszcze rozbiorowe granice Kongresówki i Galicji... Niewielka liczba mostów przez Wisłę jest jednym z powodów odseparowania gospodarczego najbardziej wschodnich rejonów Polski. Na odcinku Góra Kalwaria - Tarnobrzeg jest ich zaledwie sześć*”. A jeden z dosłownych cytatów tego raportu brzmi: „*Należy dążyć do możliwie szybkiego rozwoju infrastruktury transportowej łączącej polskie regiony z centrami gospodarczymi Europy. O szansach polskiego Wschodu w znacznym stopniu decyduje liczba mostów na Wiśle*”. Po około dziesięciu latach sytuacja zmieniła się o tyle, że na wymienionym odcinku rzeki przybył jeden nowy most w Puławach; jest więc ich teraz siedem.

We wspomnianym studium nie uczestniczył żaden mostowiec. Ale czy nie jest to miód na serce mostowców, że o zintensyfikowanie budowy mostów przez Wisłę dopominają się naukowcy w ogóle nie związani z tą dziedziną budownictwa?

We wspomnianym studium nie uczestniczył żaden mostowiec. Ale czy nie jest to miód na serce mostowców, że o zintensyfikowanie budowy mostów przez Wisłę dopominali się naukowcy, socjologowie i ekonomiści, w ogóle nie związani zawodowo z tą dziedziną budownictwa?

Rozwój mostownictwa jest oczywiście częścią rozwoju sieci transportowej – drogowej, kolejowej, a nawet wodnej (co w warunkach polskich ma mniejsze znaczenie). Sieć ta od dawna i słusznie nazywana jest *nerwem gospodarki*. Wraz z jej rozwojem następuje aktywizacja ekonomiczna i społeczna nawet zaniedbanych poprzednio regionów. W krajach zasobnych i zaawansowanych technologicznie rozbudowa sieci transportowej może następować ze świadomym wyprzedzeniem w czasie. Tak jest na przykład obecnie w Korei Południowej, w której realizowany jest ogromny program łączenia długimi przeprawami mostowymi przybrzeżnych wysp w celu ich ożywienia gospodarczego [10].

Potrzeby rozwijania sieci transportowej wynika wprost z potrzeb gospodarczych, społecznych i kulturowych. Stopień i sposób rozeznania i zaspokojenia tych potrzeb są wyznacznikiem sytuacji ekonomicznej danego regionu lub wręcz całego państwa i jego pozycji w globalnym świecie biznesu. Trudniej o ściąganie obcego kapitału i zagranicznych inwestorów, gdy sieć transportowa jest słabo rozbudowana i niesprawna. Są to sprawy wprawdzie znane, ale warto przypomnienia.

Potrzeba sprawnej sieci transportowej została stymulatorem nowej funkcji obiektów mostowych. O ile w klasycznym ujęciu mosty to budowle służące przeprowadzeniu komunikacji nad różnego rodzaju przeszkodami terenowymi, to wobec burzliwego rozwoju transportu obiekty mostowe zaczęły służyć i służą oczywiście nadal także poprawie płynności i podniesieniu bezpieczeństwa ruchu. Najprostszymi tego dowodami są na przykład bezkolizyjne skrzyżowania dróg z torami kolejowymi (nie są one przecież przeszkodami terenowymi nie do pokonania w jednym poziomie) lub bezkolizyjne węzły autostradowe.

Nie wdając się w dalsze wywody trzeba stwierdzić, że główne czynniki rozwoju mostownictwa nie są czynnikami technicznymi – są natury gospodarczej, społecznej i kulturowej. Natomiast domeną nauki i techniki jest sposób realizowania obiektów mostowych, a także ich eksploatacji oraz sposób szeroko rozumianego utrzymania i modernizacji istniejącej infrastruktury mostowej. We wszystkich wymienionych obszarach sposób ten zależy właśnie od poziomu nauki i techniki w danym czasie i w danym regionie kraju, a także od jego zasobności. Jak wykazano w punkcie 2., zaspokojenie owych potrzeb gospodarczych, społecznych i kulturowych może przybierać formy tzw. mostów prymitywnych. W zależności jednak od stanu cywilizacji i związanych z nią oczekiwań społecznych, zaspokojenie to może prowadzić do bardzo zaawansowanych form konstrukcyjnych i architektonicznych obiektów mostowych. Łatwo się o tym przekonać, obserwując współczesne tendencje rozwojowe mostownictwa [4].

W naszym kraju poziom mostownictwa nie ustępuje obecnie poziomowi światowemu, przynajmniej w zakresie budowy nowych obiektów mostowych i w zakresie rozpiętości przęsłowych odpowiadających naszym potrzebom; Polska z oczywistych względów nie może pretendować do bicia rekordów światowych ze względu na naturalne warunki terenowe – brak wysp, cieśnin, wielkich rzek. Ale jest obecnie bodaj największym rynkiem budownictwa mostowego we Europie – rocznie budujemy około 500 obiektów mostowych. Jednym z przykładów najnowszych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych jest budowany obecnie most typu „extradosed” przez Wisłę w Kwidzynie o najdłuższych przęsłach w Europie (rys. 3).



Rys. 3. Most extradosed przez Wisłę w Kwidzynie: 70+130+204+204+130+70m (wizualizacja)

## 6. DWA GŁÓWNE OBSZARY WSPÓŁCZESNEGO MOSTOWNICTWA

Zasygnalizowano już poprzednio, że we współczesnym mostownictwie (czy jak wolą niektórzy w *inżynierii mostowej*) wyodrębnić można na dwa główne obszary:

- obszar A - budowanie nowych obiektów mostowych, co wynika wprost z potrzeb przedstawionych syntetycznie w punkcie 5. niniejszego opracowania;
- obszar B – utrzymanie, remonty i modernizacja istniejącej infrastruktury mostowej, co wynika z konieczności zapewnienia sprawnego i bezpiecznego użytkowania tej infrastruktury, zgodnej w bieżącymi lub przewidywanymi w najbliższej przyszłości wymaganiami funkcjonalnymi, dotyczącymi przede wszystkim odpowiedniej nośności i parametrów geometrycznych obiektów mostowych.

Oba te obszary mają równie ważne znaczenie techniczne, ekonomiczne i społeczne i rozwój obu uzależniony jest od poziomu i wzajemnych powiązań *działań technicznych* i *działań naukowych*. W zależności jednak od rodzaju owych obszarów powiązania te mają swą specyfikę.

W *obszarze A* mostownictwo korzysta z osiągnięć tych nauk, które dotyczą najogólniej rzecz ujmując planowania przestrzennego sieci komunikacyjnej i lokalizacji na niej obiektów mostowych, ich projektowania i technologii wykonania oraz analizy ekonomiczności

i trwałości, a także rozwiązań materiałowych. Można zatem tytułem przykładu wymienić tu taką problematykę szczegółową jak efektywność użytkową inwestycji mostowych, ekologię, optymalizację układów komunikacyjnych, mechanikę konstrukcji i materiałów, informatykę stosowaną, komputerowe metody obliczania konstrukcji i jej wymiarowania, technologię budowy i inżynierię materiałów budowlanych, czy też inżynierię przedsięwzięć budowlanych z uwzględnieniem analizy ryzyka, wreszcie niezwykle istotną estetykę mostów.

W *obszarze B* mostownictwo korzysta z osiągnięć tych nauk, które związane są przede wszystkim z diagnostyką stanu technicznego obiektów mostowych, ich monitoringiem, ekonomią działań technicznych, inżynierią finansową. Poza tym korzysta oczywiście także z niektórych nauk, które wymieniono w odniesieniu do obszaru A, bo przecież remonty lub modernizacja obiektów (np. poszerzenie pomostów, [11]) też wymaga projektowania i wykonania odpowiednich robót i stosowania określonych rozwiązań materiałowych. (W nawiasie dodajmy, że kapitalne remonty lub modernizacje istniejących obiektów mostowych są często trudniejsze od budowania nowych.)

Ujmując sprawę w najbardziej syntetyczny sposób, podstawowa różnica między *obszarem A* i *obszarem B* polega na tym, że wszelkie analizy dokonywane w pierwszym z wymienionych mają dać odpowiedź na pytania jakie w zależności od lokalizacji obiektu oraz przyjętych rozwiązań konstrukcyjnych, architektonicznych, technologicznych i materiałowych będą efekty użytkowe tego obiektu w porównaniu z poniesionymi kosztami inwestycyjnymi i eksploatacyjnymi, odniesionymi do całego przewidywanego okresu jego użytkowania. W drugim natomiast obszarze, zawsze trzeba odpowiedzieć na podstawowe pytanie, czy ze względów technicznych, ekonomicznych i społecznych (a niekiedy także i kulturowych – np. w przypadku mostów zabytkowych) lepiej jest obiekt remontować lub modernizować, czy też rozebrać istniejący i w jego miejsce wybudować nowy, spełniający wszelkie stawiane warunki eksploatacji. W analizach zmierzających do odpowiedzi na to pytanie koniecznie trzeba uwzględniać tzw. koszty społeczne. Rozwinięcie tej problematyki można znaleźć w jednej z poprzednich prac autora [12].

Ponieważ wszelkie działania planistyczne i techniczne związane z *obszarami A* i *B* mają swój wymiar ekonomiczny, to właśnie rola szeroko rozumianej ekonomii jako nauki, z uwzględnieniem jej społecznych aspektów, jest (lub powinna być) w mostownictwie wiodąca, co często nie jest dostatecznie dostrzegane, mamy bowiem tendencję do

postrzegania problematyki mostowej raczej w sposób, który można nazwać *mechanycystyczno-kosztorysowym*, a więc ograniczonym do sfery konstruowania, obliczania i technologii wykonania i ponoszonych z tymi działaniami kosztów bezpośrednich. To też ważne, ale nie jedynie ważne. Sprawdzanie na przykład zagadnień ekonomicznych tylko do sprawy kosztów budowy obiektów mostowych jest wyraźnym ograniczeniem zakresu rozpatrywań, prowadzącym nawet do przyjmowania błędnych rozwiązań. W mostownictwie powinno obowiązywać to, co w nauce nazywane jest *holistycznym* czyli *całościowym* analizowaniem jego celów i zadań, a więc także tych poza czysto technicznych. Ale to materiał na oddzielne, obszerne opracowanie. Tu przypomnijmy tylko, że główną zasadą *holistyki* jest, że całość rozpatrywanego zagadnienia nie jest sumą jego podzagadnień częściowych. Pasuje to do mostownictwa jak ulał, że użyjemy tu tego mało naukowego sformułowania.

## 7. POWIĄZANIA ROZWOJU MOSTOWNICTWA I ROZWOJU NAUKI

Wprawdzie tytuł tego opracowania sugeruje, że rola nauki w rozwoju mostownictwa jest wiodąca, ale w istocie rzeczy bywało (i nadal bywa) odwrotnie – to praktyka mostowa wpływała i nadal wpływa na rozwój nauki, generując nowe kierunki badawcze. Jest na to wiele przykładów zarówno historycznych, jak i współczesnych. Były one już przytaczane w poprzednich pracach autora, np. [2], [3], [8], więc nie ma powodu ich tu powtarzać. Natomiast jeden z najnowszych przykładów zainspirowania nowych poszukiwań naukowych przez obserwację zachowania istniejących konstrukcji mostowych będzie stosunkowo obszernie przedstawiony w punkcie 8.

Wzajemne, współczesne relacje między rozwojem mostownictwa i rolą nauki w tym rozwoju najlepiej jest zanalizować na podstawie tendencji występujących w tym dziale budownictwa. Według subiektywnej opinii autora, są to następujące podstawowe tendencje:

- I – wzrost granicznych rozpiętości przęseł;
- II – wprowadzanie nowych, niekonwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych zarówno do budowy nowych obiektów (por. p.6 - *obszar A*), jak i wzmocnienia, napraw i remontów eksploatowanych już obiektów (*obszar B*);
- III – indywidualizacja form architektonicznych;
- IV – dążenie do zwiększenia trwałości konstrukcji – projektowanie na trwałość;
- V – rozwijanie metod diagnostyki konstrukcji, łącznie z ich monitoringiem;
- VI – analizowanie zagadnień technicznych i ekonomicznych w szerokim kontekście społecznym i kulturowym, obejmującym cały okres spodziewanego użytkowania obiektów, a także w nawiązaniu do strategii zrównoważonego rozwoju.

Wymienione tendencje są tendencjami światowymi, ale można je zaobserwować również i w naszym kraju, choć stosunkowo najsłabiej „przebija się” tendencja VI.

Tendencje te, zwłaszcza I, II i III były szczegółowo rozpatrywane w kontekście mechaniki konstrukcji i materiałów w pracy [3]. Warto do niej zajrzeć, bo nadal zachowuje aktualność. Tu przypomnijmy tylko, że tendencje I, II i III pojawiły się w dużym stopniu dzięki inżynierii materiałowej (choć nie działa ona na rzecz mostownictwa; ono tylko absorbuje jej osiągnięcia i zwiększa zakres ich zastosowań – przykład: wyroby kompozytowe typu FRP) oraz dzięki zaawansowanej mechanice konstrukcji i materiałów, wspomaganą techniką komputerową. To dzięki tej technice właśnie uważamy, że „wszystko już potrafimy policzyć”, choć często nam się tylko tak wydaje, by przywołać choćby dwa znane już dobrze przypadki z lat ostatnich: Kładkę Milenijną w Londynie (rys. 4), zamkniętej w dniu otwarcia, i Most Normandii we Francji (rys. 5), zamykany w pewnych warunkach pogodowych ze względu na odczuwanie przez użytkowników dyskomfortu spowodowanego nadmiernymi



przemieszczeniami. Faktem jest jednak, że zaawansowane komputerowe programy obliczeniowe ośmielają do projektowania konstrukcji mostowych znacznie odbiegających od



Rys. 4. Kładka Milenijna w Londynie: pierwsze otwarcie 10.06.2000; drugie otwarcie: 22.02.2002. (<http://www.panoramio.com>)



Rys. 5. Most Normandie, przęsło główne 856 m, 1995 rok (<http://en.wikipedia.org>)

form klasycznych. Nowe materiały, na przykład wysokowartościowe betony lekkie, umożliwiają realizację obiektów o rozpiętościach przęsłowych dawniej nieosiągalnych.

Komputerowe metody obliczania konstrukcji mostowych wymagają odpowiedniego ich modelowania. To sprawa niezwykle odpowiedzialna i wymagająca niemałych kwalifikacji. O błędy tu nie jest trudno. Odpowiednie modelowanie powinno być jednak

skorelowane z ekonomiką obliczeń; inaczej rzecz ujmując trzeba wiedzieć jakie uproszczenia w modelu konstrukcji są dopuszczalne bez szkody dla wystarczającej dokładności obliczeń. Dlatego w mostownictwie szczególnego znaczenia nabierają weryfikacja i walidacja modeli obliczeniowych. To stosunkowo nowa dziedzina badań doświadczalnych i analiz numerycznych, intensywnie obecnie rozwijana, również i w naszym kraju.

Projektowanie na trwałość, najnowsza tendencja w projektowaniu mostów (tendencja IV), do końca nawet jeszcze oficjalnie nie znormalizowana, oparta jest na ujęciach probabilistycznych, a więc ma swe podstawy naukowe. Podstawy takie można też wskazać w wielu innych zakresach mostownictwa [5]. O praktycznych natomiast aspektach normalizacji obszernie traktuje artykuł [13].

Warto zauważyć, że wymienione tendencje rozwojowe mostownictwa występują właściwie wbrew obowiązującym normom, które „całkują” zastaną wiedzę naukową i techniczną. Szczegółowo to uzasadniono w pracy [5]. Ograniczając się do własnego podwórka, można tu podać przykłady pierwszego krajowego zastosowania taśm kompozytowych typu CFRP do wzmocnienia mostu [14] lub pierwszego konstrukcyjnego użycia betonu samozagęszczanego do budowy mostu [15]. Zastosowania te nie wynikały przecież z żadnych postanowień normowych; były pokłosiem dociekań i badań naukowych.

Śmiałość i nowatorskość konstrukcyjna i materiałowa oraz skala nowych obiektów mostowych, wobec dążenia do pełnego bezpieczeństwa i komfortu ich użytkowania, skłania także do obserwacji i rejestracji ich zachowania w czasie eksploatacji (tendencja V). Stąd rozwój metod diagnozowania i bieżącego monitorowania zachowania obiektów. Jest to bardzo wyraźna obecnie tendencja, także w Polsce. Oczywiście chodzi tu o mosty mające wyjątkowe znaczenie. W tym zakresie mostownictwo korzysta z osiągnięć technicznych elektroniki i informatyki, ale zebrane i przetworzone dzięki nim dane pomiarowe mają duże znaczenie poznawcze, a więc naukowe.

Powiązania rozwoju mostownictwa i rozwoju nauki są tematem bardzo obszernym. Tu tylko zasygnalizowano niektóre z nich. Nie można jednak pominąć faktu, że w Polsce bardzo wyraźny wkład w rozwój mostownictwa mają ludzie nauki związani z tym działem budownictwa. Dowodów na to jest aż nadto i są (lub powinny) być powszechnie znane. Związki świata nauki i świata praktyki mostowej są u nas bardzo silne. To także pozytywnie oddziałuje na kształcenie kadr dla mostownictwa.

## **8. MOSTOWNICTWO INSPIRACJĄ NOWYCH KIERUNKÓW BADAWCZYCH**

Wspomniano już kilkakrotnie, że mostownictwo wielokrotnie w swej długiej historii było źródłem podejmowania i rozwoju nowych kierunków badawczych. Nie będziemy tu podawać owych historycznych przykładów. Aby zilustrować to zjawisko oddziaływania mostownictwa na naukę posłużymy się jednym tylko, ale bardzo wymownym i bardzo aktualnym przykładem. Dotyczy on efektów reologii betonu w mostach o przęsłach wykonywanych za pomocą metody betonowania nawisowego. Bardziej obszerne ujęcie tego tematu znaleźć można w publikacji [16]. Bezpośrednią inspiracją do jej napisania była publikacja [17] oraz własne doświadczenia z doradztwa naukowego podczas budowy nowego mostu przez Wisłę w Sandomierzu, oddanego do użytku w 2011 roku (rys. 6).

W wymienionej publikacji [17] zebrano dane dotyczące pionowych przemieszczeń środka rozpiętości głównych przęseł 56 obiektów mostowych, wykonywanych w różnych latach za pomocą metody betonowania nawisowego (rys. 7 i 8). Przemieszczenia te są przedstawione w funkcji czasu liczonego od chwili zwarcia konstrukcji przęseł. W podpisie rys. 8 umieszczono wszystkie potrzebne objaśnienia wykresów.

Na podstawie wykresów pokazanych na rys. 7 można sformułować co najmniej dwie ważne dla praktyki projektowania uwagi.



Po pierwsze, widoczne jest, że w początkowym okresie 1000 dni od zwarcia konstrukcji przęseł, przemieszczenia narastają w sposób liniowy w czasie wyrażonym w skali logarytmicznej. Pozostaje to w sprzeczności z wynikami obliczeń opartych na standardowych



Rys. 6. Nowy most przez Wisłę w Sandomierzu, 85,80 + 3 x 95.40 + 84,80 m, 2011 rok



Rys. 7. Przemieszczenia pionowe środka rozpiętości przęseł 56 mostów (dodatkowy opis – rys. 5) [17].



Rys. 8. Powiększony wykres dotyczący jednego z mostów spośród pokazanych na rys. 7.

Oś pozioma - czas liczony od zwarcia konstrukcji i wyrażony w skali logarytmicznej;

Oś pionowa - stosunek przemieszczenia przęsła do jego rozpiętości, wyrażony w [%];

Pozioma linia przerywana –  $h/l = 1/800$  (wartość dopuszczalna);

Dwie krótkie pionowe kreski na linii przerywanej – 40 lat i 100 lat po zwarcie konstrukcji przęsła.

lub rekomendowanych modelach pełzania opartych na założeniu, że zjawisko pełzania betonu dąży asymptotycznie do pewnej skończonej, granicznej wartości. Dane zebrane na rys. 7 wskazują, że takiej wyraźnej asymptoty nie ma i że krzywa narastania przemieszczeń od pełzania betonu po około 1000 dniach staje się krzywą logarytmiczną. To stwarza możliwość realistycznego przewidywania zachowania konstrukcji po wielu latach przez stosowanie ekstrapolacji liniowej.

Po drugie, pomierzone wartości przemieszczeń lub wartości otrzymane na podstawie liniowej ekstrapolacji wskazują, że spośród 56 przedstawionych na rys. 7 przypadków, przemieszczenia 43 przęsła przekroczą w ciągu mniej niż 100 lat dopuszczalną wartość  $1/800$ . A trzeba pamiętać, że to 100 lat właśnie uważane jest za okres użytkowania obiektów mostowych rozpatrywanego tu rodzaju. Ponadto, przemieszczenia 33 przęsła spośród 56 przekroczą wymienioną granicę w okresie krótszym od 40 lat, a przemieszczenia 20 przęsła – w okresie 25 lat.

Według autorów publikacji [17], dane zebrane i pokazane na rys. 7, ewidentnie wskazują, że modele pełzania betonu przyjmowane do projektowania mostów o znacznych rozpiętościach przęsła, wykonywanych metodami wspornikowymi (tj. przede wszystkim za pomocą betonowania nawisowego), nie wystarczają do przewidywania wieloletnich efektów tego zjawiska w konstrukcji. Tego rodzaju obiekty są, jak się okazuje, bardzo wrażliwe na pełzanie betonu. Dlatego konieczne jest ich zdaniem opracowanie i stosowanie w projektowaniu nowych, bardziej realistycznych modeli pełzania. Potrzeba ta wynika też z przesłanek ekonomicznych, ponieważ straty spowodowane nieodzownymi pracami przywracającymi żądaną niweletę przęsła, bądź straty spowodowane przedwczesnym wyłączeniem mostu z ruchu i wynikające w obu tych sytuacjach z niewłaściwego modelu pełzania betonu, mogą być bardzo duże.

Warto również zwrócić uwagę, że znane obecnie powszechnie wyniki badań laboratoryjnych pełzania betonu są ograniczone do czasu ich wykonywania, nie przekraczającego co najwyżej kilku lat. Jak wynika z przytoczonych tu obserwacji konstrukcji mostowych, jest to czas zbyt krótki do weryfikacji i kalibracji efektów pełzania w okresach obejmujących dziesięciolecia. To stanowi jeszcze jeden argument za

opracowaniem nowego modelu bardzo długotrwałego pełzania betonu, który mógłby stanowić podstawę do ujęć normowych przydatnych do przewidywania w projektowaniu efektów takiego właśnie pełzania. Jak wynika z publikacji [17], działania takie zostały już na świecie podjęte.

Warto także podkreślić, że obserwacje zrelacjonowane w publikacji [17] znajdują pełne potwierdzenie w innych źródłach, zarówno polskich [18], jak i zagranicznych, na przykład dotyczących dużych mostów norweskich [19]. Do obu tych publikacji nawiązano szczegółowo w cytowanym już artykule [16], w którym podjęto również próbę wyjaśnienia przyczyn nadmiernego, tj. większego od przewidzianego obliczeniowo, pełzania betonu w konstrukcjach mostowych. Praktyczne i formalne aspekty reologicznych przemieszczeń przęsał są przedmiotem najnowszej pracy [20].

Opisane przypadki, zaczerpnięte z obserwacji zachowania rzeczywistych konstrukcji mostowych, wskazują na niewystarczalność dotychczasowych ujęć efektów pełzania; przyjmowane do projekty modele nie opisują dobrze rzeczywistości. Jest to jedno z najnowszych przykładów, że mostownictwo generuje nowe obszary poszukiwań badawczych.

Ogólne i szczegółowe postulaty badawcze, wynikające z obserwacji i rejestrowania zachowania rzeczywistych konstrukcji mostowych pod różnego rodzaju obciążeniami (także wiatrowymi), a także wynikające z badań stanu technicznego obiektów, sformułowano w cytowanym już opracowaniu [3]. Postulaty te dotyczą przede wszystkim mechaniki konstrukcji i materiałów (por. tablica 1), w tym także materiałów niekonwencjonalnych. Dlatego nie będziemy postulatów tych powtarzać, natomiast zwrócimy uwagę w syntetycznym skrócie na niektóre tylko sprawy, które można ująć następująco.

Wobec wyspecjalizowanych, zaawansowanych obliczeniowych systemów komputerowych, statyka konstrukcji jest już zasadzie problematyką przebrzmiałą naukowo. Uściślonych i przydatnych do praktyki rozwiązań mogą jeszcze wymagać co najwyżej niektóre zagadnienia szczegółowe, na przykład stateczność lokalna w mostowych elementach powłokowych. Wzrasta natomiast znaczenie właściwego modelowania konstrukcji, co powinno mieć odzwierciedlenie także w dydaktyce na wyższych uczelniach technicznych.

Do najbardziej nośnych poznawczo należy dynamika i aerodynamika złożonych układów konstrukcyjnych, które zgodnie z tendencją do indywidualizowania form architektonicznych i konstrukcyjnych mostów, są coraz częściej projektowane i budowane.

Zagadnienia cieplne nabierają w mostownictwie coraz większego znaczenia i to zarówno w fazie ich wznoszenia, jak i eksploatacji. Konsekwencje przemieszczeń konstrukcji oraz stanu naprężeń w jej elementach spowodowane dobowymi i sezonowymi zmianami temperatury mogą być w niektórych przypadkach bardzo poważne. Trzeba pamiętać, że na przykład wprowadzenie do mostownictwa konstrukcji o ograniczonym lub częściowym sprężeniu miało swe źródło w uszkodzeniach licznych mostów w Niemczech. Konstrukcje o pełnym sprężeniu mają małą zdolność do adaptacji pod wpływem nieprzewidzianych (lub przewidzianych niedostatecznie dokładnie) w projekcie pól odkształceń, w tym przypadku termicznych.

Najbardziej nośne poznawczo są zagadnienia dotyczące zastosowań w mostownictwie materiałów niekonwencjonalnych, głównie kompozytów polimerowych typu FRP. Jak zwrócono już uwagę w punkcie 7. tego opracowania, zastosowania te są obecnie jedną z najsilniejszych tendencji rozwojowych tego działu budownictwa. Praktyka wyprzedza tu znacznie teorię, nie mówiąc już o oficjalnych ujęciach normowych. Określanie trwałości obiektów z FRP lub budowanych na przykład z użyciem niemetalicznego zbrojenia biernego lub sprężającego, to ogromne jeszcze pole badawcze.

Dużym wyzwaniem badawczym jest w technologii betonu taki świadomy dobór jego składników i struktury wewnętrznej, aby uzyskać żądane cechy materiałowe

i odpowiednią trwałość w skali makro, czyli w zastosowaniu konstrukcyjnym (ang. *internal curing*). Jest to jeden z najnowszych obecnie kierunków badawczych rozwijanych na świecie z myślą o zastosowaniach konstrukcyjnych.

Postulaty badawcze wynikające z praktyki mostownictwa można by kierować także pod adresem innych nauk rozwijanych w obrębie techniki i wymienionych w tablicy 1. Wymagałoby to jednak opracowania znacznie szerszego od przedstawianego tutaj.

## 9. KILKA UWAG KOŃCOWYCH

W niniejszym opracowaniu starano się wykazać, że chociaż wpływ nauki na rozwój mostownictwa jako działu techniki jest niezaprzeczalny, to jednak i sama nauka ma wiele mostownictwu do zawdzięczenia – pewne jej kierunki powstały w wyniku obserwacji konstrukcji. Potrzeba budowy mostów była pierwotna w stosunku do powstania i rozwoju nauki. Tak było w historii i – jak na to wskazuje choćby przedstawiony tu przykład efektów pełzania – tak może być obecnie, gdy dotychczasowe ujęcia okazują się niewystarczające lub (co też się zdarza) błędne.

Podobnie inwencja i wyobraźnia projektantów i wykonawców obiektów mostowych wyprzedza przepisy projektowania i budowy; nie one są motorem postępu. Ale owa inwencja i wyobraźnia prowadzące do powstawania coraz śmielszych i wyrafinowanych konstrukcji oparta jest na solidnej wiedzy płynącej – przynajmniej współcześnie – z nauki, z jej najnowszych osiągnięć. Bez jej udziału nowatorskie rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe nie byłyby współcześnie możliwe.

Nauka ma także duży wpływ na szeroko rozumianą gospodarkę mostową, co nie zawsze jest dostrzegane. Mamy tego liczne dowody, także w Polsce.

Generalnie wszystkie tendencje rozwojowe występujące w światowym mostownictwie można zaobserwować i w naszym kraju. Postęp w naszym mostownictwie jest widoczny, a znaczny w nim udział mają ludzie nauki, umiejętnie łączący – skrótowo i hasłowo rzecz ujmując – teorię z praktyką. To budzi uzasadniony optymizm, także w aspekcie kształcenia kadr dla mostownictwa otwartych na osiągnięcia badawcze.

## Piśmiennictwo

- [1] W. Radomski, „Rozwój nauki w obszarze inżynierii lądowej a rola Instytutu Techniki Budowlanej”, Sympozjum „Instytuty badawcze budownictwa w Unii Europejskiej”, Warszawa, 24 maja 2005, Wydawnictwa ITB, 2005, s. 9-21.
- [2] W. Radomski, „Naukowe uwarunkowania rozwoju inżynierii lądowej. Artykuł dyskusyjny”, Drogi i Mosty, Nr 3, 2005, s. 77-91.
- [3] W. Radomski i K. Furtak, „O zagadnieniach mechaniki w rozwiązaniach materiałowych i konstrukcyjnych w mostownictwie”, Zeszyty Naukowe Politechniki Gdańskiej, Nr 601, 2005, Budownictwo Lądowe LVIII, LII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Gdańsk – Krynica, 11-16 września 2006, s. 209-222.
- [4] W. Radomski, „Przyszłość mostownictwa w świetle obserwowanych kierunków jego rozwoju”, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej 276, Budownictwo i Inżynieria Środowiska, z. 58, nr 1/2011, s. 283-298.
- [5] W. Radomski i T. Siwowski, „Mosty betonowe – podstawy naukowe projektowania i konstruowania, a normalizacja”, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej 276, z. 58, nr 3/2011/1, s. 215-234.
- [6] Bridges Making a Difference (an Interview). Structural Engineering International, 1, 2000, pp. 66-69.



- [7] Radomski W.: Materiał a konstrukcja – refleksje mostowca. IV Konferencja Naukowo-Techniczna „Zagadnienia Materiałowe w Inżynierii Lądowej”, Kraków 2003, s. 15-39.
- [8] Radomski, „Katastrofy i awarie mostów a rozwój wiedzy budowlanej”, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie budowlane”, Międzyzdroje 24-27 maja 2011, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, tom I, s. 153-174.
- [9] Gorzelak G.: Wschodnia ściana płaczu, Polityka, Nr 2 (2383), 2003, s.27-29.
- [10] Radomski W. i Łagoda M.: Budowa przeprawy mostowej Incheon w Korei Południowej, Inżynieria i Budownictwo, Nr1-2, 2009, s. 64-68.
- [11] Borończyk-Płaska G. and Radomski W.: Bridge widening – technical, economical and aesthetical aspects. Proceedings of the International Conference on Bridge Maintenance, Health Monitoring and Informatics, Seoul, 13-17 July 2008, ed. by Koh & Frangopol, 2008, Taylor & Francis Group, London, 2008, p. 557 + CD.
- [12] Radomski W.: Społecznej skutki awarii mostów – przykład warszawski. XXI Konferencja naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Międzyzdroje, 20-23 maja 2003, s. 109-235.
- [13] Siwowski T.: Czy w Polsce można projektować mosty drogowe według Eurokodów? Drogownictwo, 2, 2012, s. 39-47.
- [14] Siwowski T. I Radomski W.: Pierwsze krajowe zastosowanie taśm kompozytowych do wzmocnienia mostu”. Inżynieria i Budownictwo, Nr 7, 1998, s. 382-388.
- [15] Radomski W.: Pierwsze w Polsce zastosowanie betonu samozagęszczonego w konstrukcji mostu Inżynieria i Budownictwo, Nr 2, 2003, s. 103-107.
- [16] Radomski W.: Kilka uwag o efektach pełzania w konstrukcjach mostowych z betonu sprężonego. Obiekty inżynierskie – Mosty, Wiadukty, Tunele, Nr 2, 2012, s.15-25.
- [17] Bažant S.P., Hubler M. H., and Qiang Y.: Excessive Creep Deflections: An Awakening. Concrete International, Vol. 33, No. 8, 2011, pp. 44-46.
- [18] Biliszczuk J. et. al.: Stan dużych mostów z betonu sprężonego wybudowanych w latach 1954-1975. Inżynieria i Budownictwo, Nr 9, 1996, s.516-519.
- [19] Takács P. F., Deformations in Concrete Cantilever Bridges: Observations and Theoretical Modelling, Doctoral Thesis, Department of Structural Engineering, The Norway University of Science and Technology, Trondheim, Norway, March 2002.
- [20] Żółtowski K.: Niweleta na obiektach mostowych. Wybrane problemy przy realizacji mostów w Polsce. VI Ogólnopolska Konferencja Mostowców – Konstrukcja i Wyposażeniem Mostów, Wisła 2012, s. 275-281.

## **PROGRESS IN BRIDGE ENGINEERING VERSUS ENGINEERING SCIENCE**

### **Summary**

Some historical and contemporary cases illustrating the fact that bridge construction cannot be dependent on engineering science are presented. However, the greatest part of the paper is focused on mutual relations between practical achievements of contemporary bridge engineering and modern engineering science. It is shown that progress in bridge construction, maintenance and modernization is in general strongly dependent on research. On the other hand, it is also shown that observation of bridge behaviour can generate needs of new scientific investigations. This is illustrated by long-time creep effects in prestressed concrete bridges erected using cast-in-place cantilever method. Some concluding remarks concerning development of research in bridge engineering are also formulated too.

Leszek RAFALSKI<sup>1</sup>  
Instytut Badawczy Dróg i Mostów

## **INNOWACYJNOŚĆ W ROZWOJU INFRASTRUKTURY DROGOWEJ W POLSCE**

### **STRESZCZENIE**

W rozwoju transportu drogowego i infrastruktury drogowej wprowadzane są innowacje produktowe, procesowe, marketingowe i organizacyjne. Międzynarodowe i krajowe prognozy rozwoju transportu są optymistyczne, co powinno sprzyjać wprowadzaniu innowacji w infrastrukturze drogowej. Producenci pojazdów ciężarowych i ich użytkownicy dążą do zwiększenia całkowitych ciężarów i nacisków pojazdów na oś. Organizacje międzynarodowe: Połączony Komitet Badawczy Transportu (JTRC) i Forum Europejskich Drogowych Instytutów Badawczych (FEHRL) w swoich programach badają wpływ zwiększonych obciążeń na infrastrukturę drogową oraz definiują kierunki działań proinnowacyjnych w rozwiązaniach technicznych samochodów ciężarowych i infrastrukturze drogowej. W Polsce realizowany program rozwoju dróg krajowych i samorządowych jest okazją do wdrożenia innowacyjnych rozwiązań. Pomimo barier w rozwoju innowacyjności w Polsce prowadzone są badania i realizowane wdrożenia nowych rozwiązań stosowanych w infrastrukturze drogowej.

**SŁOWA KLUCZOWE:** innowacja, pojazd, droga, transport drogowy, infrastruktura drogowa

### **1. WSTĘP**

Często za innowację uważa się wyłącznie wdrożenie nowych dotychczas nie stosowanych rozwiązań, a zwłaszcza wynalazków. Należy zauważyć, że pojęcie innowacji jest znacznie szersze i według [1] obejmuje

- innowację produktową mającą na celu wprowadzenie na rynek nowego towaru lub usługi, albo wprowadzenie na rynek ulepszonych towarów lub usług,
- innowację procesową polegającą na wprowadzeniu do praktyki nowych lub ulepszonych metod produkcji lub dostaw,
- innowację marketingową oznaczającą zastosowanie nowej metody marketingowej obejmującej istotne zmiany w szczególności w zakresie opakowania, pozycjonowania, promocji, polityki cenowej produktu lub usługi, wynikające z nowej strategii marketingowej,

---

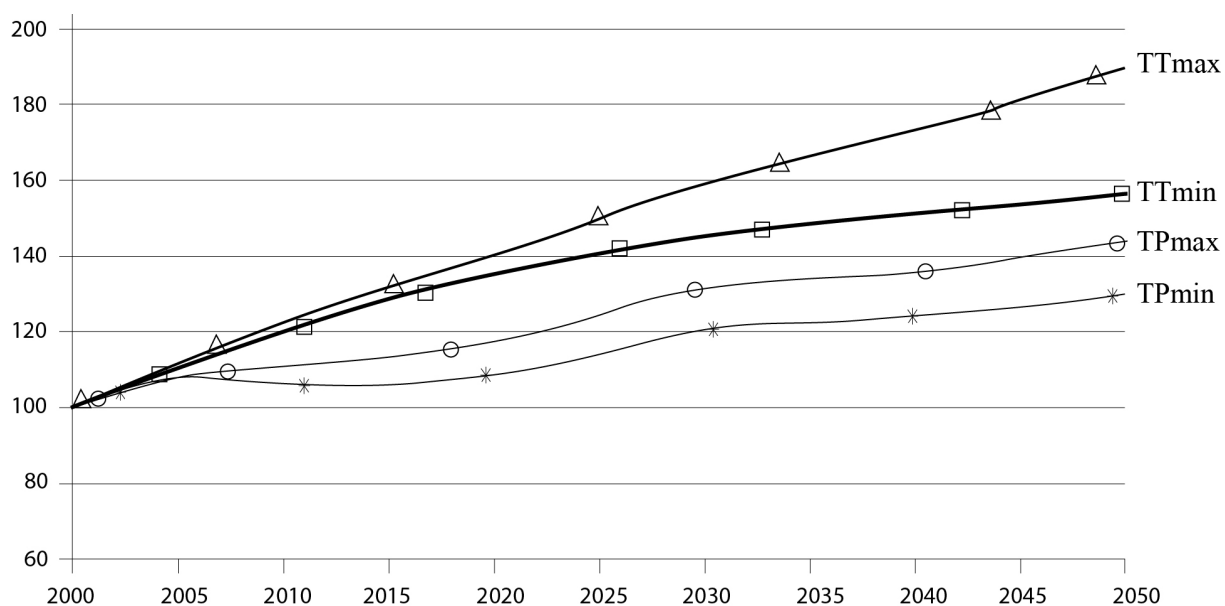
<sup>1</sup> lralfalski@ibdim.edu.pl

- innowacja organizacyjna polegająca na zastosowaniu nowej metody organizacji działalności, nowej organizacji miejsc pracy lub nowej organizacji relacji zewnętrznych.

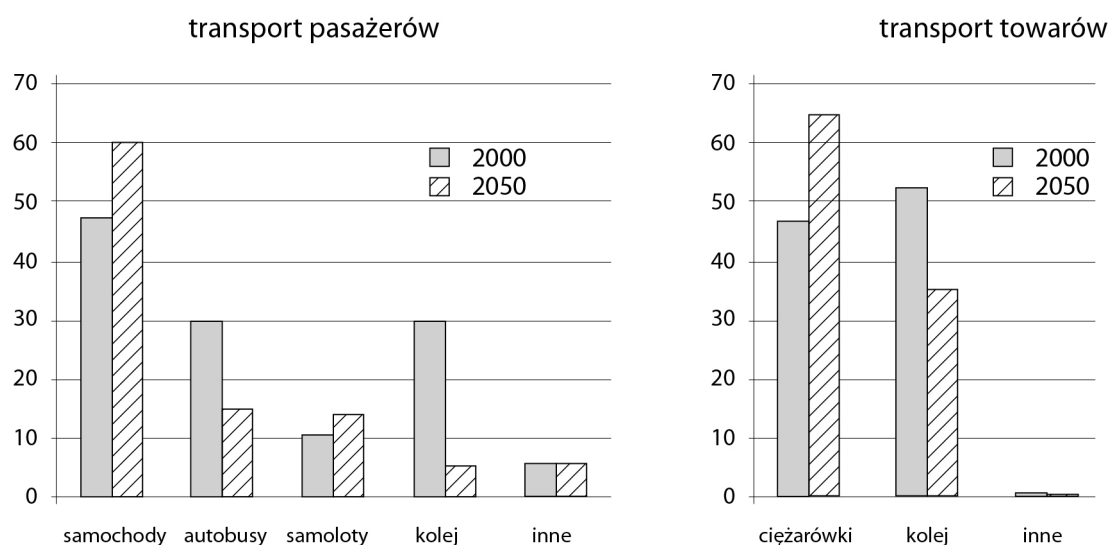
W rozwoju transportu drogowego i infrastruktury drogowej wprowadzane są także powyższe rodzaje innowacji, przy czym na ogół przedsiębiorstwa przemysłowe i budowlane częściej wprowadzają innowacje procesowe i produktowe, a przedsiębiorstwa usługowe – innowacje marketingowe i organizacyjne. Innowacyjne rozwiązania wdrożone do praktyki pozwalają przedsiębiorstwom na oferowanie towarów i usług o konkurencyjnej jakości. Często ceny nowych produktów i usług charakteryzują się porównywalnymi, a niekiedy nawet niższymi cenami.

Innowacyjne rozwiązania powstają najczęściej w wyniku badań i prac rozwojowych prowadzonych w przedsiębiorstwie lub realizowanych w jednostkach naukowych albo innych ośrodkach. Innym sposobem jest zakup wiedzy w postaci niematerialnej, na przykład patentów, licencji, know-how, oprogramowania, lub materialnej, na przykład nowoczesnych maszyn i innych urządzeń o wysokich parametrach produkcyjnych [2].

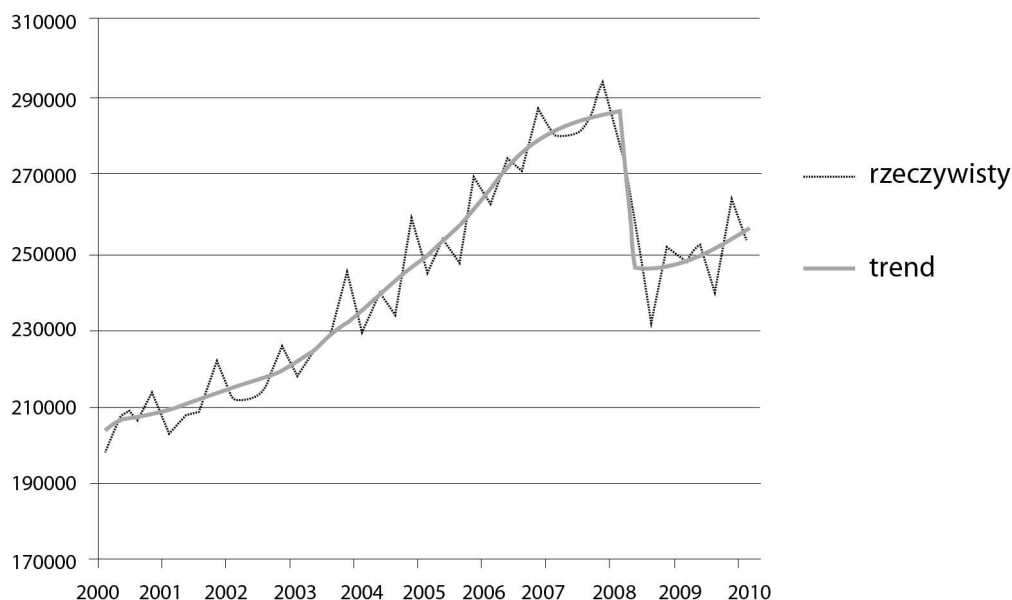
W ocenie popytu na innowacje w transporcie drogowym i infrastrukturze drogowej istotne znaczenie mają prognozy rozwoju transportu. Prognozy takie przygotowują różne ośrodki. Na rys. 1 i 2 przedstawiono prognozę wskaźnika rozwoju transportu pasażerskiego i towarowego w latach 2000÷2050 opracowaną w 2011 roku przez Międzynarodowe Forum Transportu (ang. *International Transport Forum – ITF*), utworzone przez kraje zrzeszone w Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (ang. *Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD*) i ściśle współpracujące z tą organizacją. Za podstawę przyjęto rzeczywistą wielkość transportu w 2000 roku jako 100. Przedstawiona prognoza zakłada istotne zwiększenie pasażerokilometrów w transporcie pasażerskim i tonokilometrów w transporcie towarowym w latach 2000÷2050. Podobne, optymistyczne prognozy rozwoju transportu są publikowane przez inne organizacje i stowarzyszenia. Należy jednak zauważyć, że nawet w nieodległej przeszłości optymistyczne prognozy były zakłócone na przykład skutkami kryzysu, który nastąpił w 2008 r. (rys. 3). Z takimi sytuacjami kryzysowymi należy także liczyć się w przyszłości.



Rys. 1. Prognoza wskaźnika rozwoju transportu pasażerskiego i towarowego w latach 2000÷2050 (TTmax – maksymalny transport towarowy, TTmin – minimalny transport towarowy, TPmax – maksymalny transport pasażerski, TPmin – minimalny transport pasażerski) [3]



Rys. 2. Progniza uśrednionego wskaźnika rozwoju różnych rodzajów transportu pasażerskiego i towarowego w latach 2000÷2050 [3]



Rys. 3. Transport drogowy towarowy w Unii Europejskiej w latach 2000÷2010 w mln tonokilometrów [4]

W niniejszym artykule przedstawiono działania proinnowacyjne definiowane w programach wybranych organizacji międzynarodowych zajmujących się transportem i infrastrukturą drogową oraz oddziaływanie tych programów w Polsce. Omówiono problemy wdrażania innowacji drogowych w Polsce oraz podano przykłady wdrożonych innowacji w Polsce z udziałem Instytutu Badawczego Dróg i Mostów.

## 2. DZIAŁANIA PROINNOWACYJNE W PROGRAMACH WYBRANYCH ORGANIZACJI MIĘDZYNARODOWYCH

Bardzo istotną rolę w kreowaniu polityki transportowej, a w tym polityki dotyczącej innowacji w transporcie drogowym i infrastrukturze drogowej odgrywają: Międzynarodowe Forum Transportu (ITF) i Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD).

W 2004 roku utworzyły one Połączony Komitet Badawczy Transportu (ang. *Joint OECD/ITF Transport Research Committee – JTRC*). W JTRC działają eksperci, przedstawiciele ministrów transportu poszczególnych krajów. Polska aktywnie uczestniczy w pracach JTRC. JTRC zajmuje się wszystkimi rodzajami transportu i od 2007 roku prowadzi prace w następujących obszarach strategicznych:

- infrastruktura,
- eksploatacja transportu,
- bezpieczeństwo transportu,
- koszty środowiska i zrównoważenia transportu,
- globalizacja, rynek i przestrzenne oddziaływanie transportu.

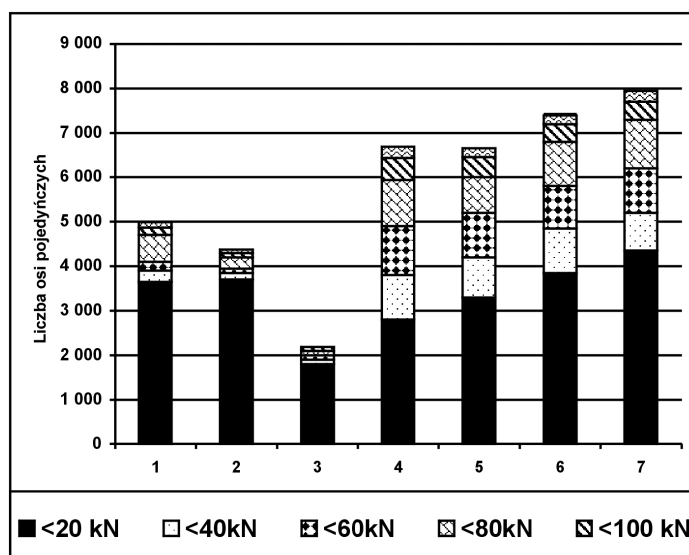
Natomiast ITF organizuje corocznie konferencje tematyczne z udziałem ministrów transportu. Dotychczasowe tematy konferencji były następujące:

- energia i zmiany klimatu (2008 r.),
- globalizacja (2009 r.),
- innowacje (2010 r.),
- transport dla społeczeństwa (2011 r.),
- transport bez przeszkód (2012 r.).

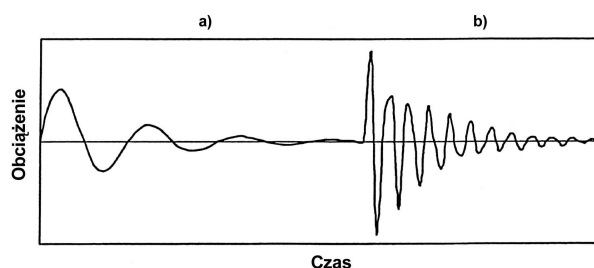
Ponieważ na nawierzchnie drogowe i drogowe obiekty inżynierskie istotnie działają pojazdy ciężkie, JTRC zrealizowało kilka programów dotyczących oceny skutków oddziaływania tych pojazdów na infrastrukturę drogową. Oddziaływanie pojazdów na nawierzchnie drogowe jest złożonym zagadnieniem. W rzeczywistości podczas ruchu pojazdów dynamiczne naciski na nawierzchnie są znacznie większe od statycznych (rys. 4), a dynamiczne oddziaływanie pojazdu na infrastrukturę powoduje wzajemne oddziaływanie nawierzchni na pojazd. Potwierdziły to badania prowadzone w ramach wcześniejszego programu OECD pt. *DIVINE* (ang. *Dynamic Interaction between Vehicles and Infrastructure Experiment*) [5]. Również w ramach tego programu oceniono innowacyjne rozwiązania dotyczące zawieszonych pojazdów na infrastrukturę drogową. Wprowadzone zawieszenia pneumatyczne, mające na celu poprawę komfortu jazdy kierowców okazały się znacznie bardziej korzystne od tradycyjnych zawieszonych sprężystych z uwagi na mniejsze skutki oddziaływania dynamicznego na nawierzchnie (rys. 5). Udowodniły to badania powtarzalnego obciążania konstrukcji nawierzchni pojazdami z różnymi zawieszzeniami.

Obciążenie dynamiczne powstaje w wyniku przyspieszeń lub opóźnień pojazdów oraz przyspieszeń pionowych, które są skutkiem nierówności drogi i powodują powstawanie sił pionowych i poziomych działających na nawierzchnię. Dawniej oddziaływanie na nawierzchnie drogowe pojazdów ciężkich do pojazdów lekkich porównywano stosując tzw. prawo czwartej potęgi, czyli przyjmowano wykładnik  $\alpha = 4$ . Oznaczało to, że przejazd jednego samochodu ciężarowego o obciążeniu 100 kN/oś odpowiadał 160 000 przejazdów samochodu osobowego o obciążeniu 5 kN/oś.

W ostatnich latach przeprowadzono badania mające na celu zweryfikowanie oddziaływania ciężkich pojazdów na nawierzchnie. Wyniki tych badań przedstawiono w raportach opracowanych przez *OECD/ECMT – Joint OECD/ITF Transport Research Committee*, [7] oraz *European Long - Life Pavement Group ELLPAG* [8], opublikowanych w 2009 roku. Z badań podanych w tych raportach wynika, że oddziaływanie pojazdów ciężkich na nawierzchnie jest większe niż przyjmowane na podstawie wcześniejszych badań, a wykładnik  $\alpha$ , którego wartość dotychczas przyjmowano 4, wynosi w przypadku nawierzchni asfaltowych - 5, a nawierzchni betonowych -12. Oznacza to, że przejazd jednego samochodu ciężarowego o obciążeniu 100 kN/oś po nawierzchniach asfaltowych odpowiada 3 200 000 przejazdów samochodu osobowego o obciążeniu 5 kN/oś. Natomiast w przypadku nawierzchni betonowych przejazd jednego samochodu ciężarowego o obciążeniu 100 kN/oś odpowiada  $20^{12}$  przejazdów samochodu osobowego o obciążeniu 5 kN/oś.



Rys. 4 Przykład widma obciążeń [6]



Rys. 5. Dynamiczne oddziaływanie zawiesznień pneumatycznych (a) i sprężystych (b) na nawierzchnię [5]

Szeroko badanym i analizowanym zagadnieniem jest zwiększenie efektywności transportu drogowego. Producenci pojazdów ciężarowych i ich użytkownicy dążą do zwiększenia całkowitych ciężarów i nacisków pojazdów na oś. Uzyskują wówczas mniejsze jednostkowe koszty transportu. Powstaje jednak poważny problem skutków oddziaływania zwiększonych obciążeń na infrastrukturę drogową. Zwiększenie obciążeń może być przyczyną przyspieszonych deformacji i zniszczenia nawierzchni drogowych, a także zużycia obiektów inżynierskich.

W [9] przeanalizowano wpływ zwiększonych obciążeń na infrastrukturę drogową oraz zdefiniowano kierunki działań proinnowacyjnych w rozwiązaniach technicznych samochodów ciężarowych. Proponowane kierunki prac innowacyjnych dotyczyły głównie silników samochodowych i technologii produkcji pojazdów. Przy ich określeniu przyjęto następujące założenia:

- zwiększenie wydajności paliwa i zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub>,
- poprawienie wydajności pojazdu poprzez zwiększenie ładowności,
- zapewnienie zgodności z obowiązującymi przepisami,
- poprawienie bezpieczeństwa i eksploatacji ciężarówek poprzez nowoczesne systemy wspomaganie kierowcy oraz odpowiednie systemy komunikacji.

W ramach zwiększenia wydajności paliwa i zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub> stwierdzono, że oprócz tradycyjnych silników diesla, które dominują obecnie w pojazdach ciężarowych istotną rolę mogą w przyszłości odgrywać silniki na gaz, zwłaszcza do transportu na obszarach wrażliwych pod względem środowiskowym. W przypadku tradycyjnych silników zwrócono uwagę, że w ciągu ostatnich 30 lat zużycie paliwa zmniejszyło się z około 50 l/100



km do około 30-35 l/100 km. Możliwe jest dalsze zmniejszenie tego wskaźnika do około 25 l/100 km poprzez m.in. zmniejszenie oporu aerodynamicznego, obniżenie oporu tarcia opon o nawierzchnię, unowocześnienia niektórych części silnika (alternatora, kompresora, pompy wspomagania, pompy paliwa itp.). Zwrócono uwagę na konieczność badań paliw alternatywnych np. biodiesla lub Fischera-Tropscha (paliwa pozyskiwanego z syntezy gazu węglowego, gazu naturalnego i biomasy), które mogą zastąpić tradycyjne paliwo bez konieczności wprowadzania zmian w konstrukcji dotychczasowych silników.

W zakresie zwiększenia ładowności pojazdu zauważono, że celowe jest zróżnicowanie pojazdów pod względem pojemności, odpowiednio do zróżnicowanej gęstości objętościowej transportowanych produktów. Oznacza to celowość dopasowywania typów pojazdów o zróżnicowanych rozmiarach i różnym układzie przestrzeni do przewozu towarów odpowiednio do gęstości objętościowej towarów.

Zapewnienie zgodności z obowiązującymi przepisami uznano za bardzo ważny warunek, z którego wynikały kierunki badań i wdrożeń. Poruszające się ciężarówki nie powinny przekraczać ustalonych w danym kraju obciążeń całkowitych i na oś. Tradycyjne (statyczne) metody ważenia pojazdów są jednak nieefektywne i niewydajne z uwagi na zatłoczenie sieci drogowych w wielu krajach. Ważone pojazdy wybierane są przypadkowo, a wiele pojazdów przeciążonych nie podlega sprawdzeniu. Z tych powodów powinny być wprowadzane systemy ważenia pojazdów w ruchu. Wymaga to odpowiedniego przygotowania miejsca, w którym będzie ważony pojazd (równa nawierzchnia), udoskonalenia czujników ważenia i oprogramowania weryfikującego wyniki pomiarów. Ważenie pojazdów w ruchu pozwala także na ocenę rzeczywistych obciążeń działających na nawierzchnię, co umożliwi zweryfikowanie zasad projektowania konstrukcji nawierzchni drogowych i drogowych obiektów inżynierskich. Oprócz tego wprowadzane mogą być systemy rozpoznawania rodzajów pojazdów, systemy satelitarne pozycjonowania pojazdów, a także systemy pomiaru prędkości. Natomiast w pojazdach mogą być wbudowane systemy ograniczające prędkość. Ponieważ z pomiarów uzyskuje się dużą liczbę danych konieczne jest posiadanie nowoczesnych baz danych pozwalających na gromadzenie, przechowywanie, analizowanie i prezentowanie wyników pomiarów.

Również poprawienie bezpieczeństwa i eksploatacji ciężarówek poprzez nowoczesne systemy wspomagania kierowcy oraz odpowiednie systemy komunikacji otwiera możliwości opracowania i wdrożenia nowoczesnych rozwiązań. Można wprowadzać systemy kontroli stabilności pojazdów, pozwalające na sprawdzanie położenia ładunków w pojazdach i poprawności obciążenia poszczególnych części pojazdu. Innym nowoczesnym rozwiązaniem jest system monitorujący jazdę pojazdu i przestrzeń przed pojazdem. W przypadku przeszkody następuje automatyczne hamowanie pojazdu. Mogą być także wprowadzane innowacyjne systemy monitorowania ciśnienia powietrza w kołach i inne rozwiązania wspomagające jazdę.

W swoich pracach JTRC zajmował się zagadnieniami innowacji w transporcie i infrastrukturze drogowej [10,11]. W 2012 roku JTRC zdefiniował obszary badań na lata 2012÷2014 [12]. Ustalono następujące obszary badawcze dotyczące transportu drogowego i infrastruktury drogowej:

- partnerstwo publiczno-prywatne,
- finansowanie zrównoważonej infrastruktury,
- transport publiczny,
- zmęczenie i roztargnienie kierowców,
- opodatkowanie dróg.

Dążenie do zwiększania całkowitego ciężaru pojazdu i obciążenia na oś ma istotny wpływ na infrastrukturę drogową. Nawierzchnie drogowe i drogowe obiekty inżynierskie były projektowane w przeszłości różnymi metodami. Jednakże niezależnie od metod

projektowania można przyjąć, że zwiększanie obciążeń może spowodować skrócenie czasu trwałości infrastruktury. Oznacza to, że korzyści z tytułu transportu mogą spowodować straty w infrastrukturze drogowej. Dlatego wprowadzenie do ruchu pojazdów o większych niż dotychczas obciążeniach całkowitych lub na oś jest ryzykowne bez wcześniejszego przygotowania i wzmocnienia infrastruktury drogowej. Natomiast należy zauważyć, że w ostatnich latach obserwuje się tendencję do zwiększania tzw. czasu życia (ang. *life-time*) nawierzchni drogowych do 40-50 lat. Dotychczas nawierzchnie asfaltowe najczęściej projektowano na 20 lat, a betonowe – na 30 lat. Wydłużenie trwałości nawierzchni wiąże się z nowymi innowacyjnymi rozwiązaniami materiałowymi i konstrukcyjnymi, mającymi na celu umiarkowane zwiększenie kosztu długowiecznych nawierzchni drogowych.

Forum Europejskich Drogowych Instytutów Badawczych (ang. *Forum of National European Highway Research Laboratories - FEHRL*) zrzesza czołowe instytuty drogowe z poszczególnych krajów europejskich. FEHRL jest międzynarodowym stowarzyszeniem utworzonym w 1989 roku, a jednym z jego celów jest zwiększenie innowacyjności w budowie i eksploatacji sieci europejskich dróg. W ciągu swojej ponad 20-letniej działalności obszary badawcze FEHRL były definiowane w kolejnych Strategicznych Drogowych Programach Badawczych (ang. *Strategic Road Research Programme – SERRP*). W latach 2002÷2006 i 2006÷2011 opracowane zostały programy SERRP III i SERRP IV. Główne obszary badawcze zdefiniowane w tych programach ilustruje tablica 1. Należy zwrócić uwagę, że obszary badawcze i działania proinnowacyjne zdefiniowane w SERRP III i SERRP IV w niewielkim stopniu obejmowały zagadnienia związane z budową nowych dróg. Wynikało to z różnic w rozwoju sieci drogowej w krajach wysokorozwiniętych w porównaniu do Polski. W większości tych krajów (np. Niemcy, Francja, Hiszpania) sieć dróg została już zbudowana i dlatego bardziej istotne w tych krajach są problemy eksploatacji dróg. Z tego względu w programie SERRP III postanowiono wprowadzić „obszary badawcze specyficzne dla nowych krajów UE”, pozwalające na realizowanie projektów badawczych odpowiednich dla krajów nowo przyjętych do Unii Europejskiej, takich jak Polska. Umożliwiło to na przykład realizację projektu ARCHES – Ocena stanu i metody napraw drogowych obiektów inżynierskich w Europie Centralnej (ang. *Assessment and Rehabilitation of Central European Highway Structures*), koordynowanego przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów.

Tablica 1. Główne obszary badawcze zdefiniowane w programach SERRP III i SERRP IV [13]

SERRP III	SERRP IV
Mobilność	Mobilność, transport i infrastruktura
Bezpieczeństwo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• optymalizowanie przepustowości</li> <li>• wydajny transport towarów</li> <li>• mobilność w miastach</li> </ul>
Środowisko	Bezpieczeństwo
Zarządzanie majątkiem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• działania prewencyjne</li> <li>• zmniejszenie skutków zderzeń</li> <li>• system bezpieczeństwa transportu drogowego</li> </ul>
Innowacje w budowie i utrzymaniu dróg	Energia, środowisko, zasoby
Drogowy i kolejowy transport towarowy	<ul style="list-style-type: none"> <li>• zużycie energii</li> <li>• ograniczanie zanieczyszczenia środowiska</li> <li>• dokuczliwości i ich wpływ na społeczeństwo</li> <li>• zrównoważone budownictwo</li> </ul>
Obszary badawcze specyficzne dla nowych krajów UE	Projektowanie i produkcja
Badania podstawowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wdrażanie innowacji</li> <li>• elastyczność produkcji i utrzymania</li> <li>• wykorzystanie zasobów</li> </ul>

W 2011 roku opracowany został program SERRP V, zaplanowany na lata 2011÷2016. Jego najważniejszym składnikiem jest program definiujący transport drogowy w XXI wieku, pt. Droga zawsze otwarta (ang. *Forever Open Road*). Program ten ma na celu opracowanie i wdrożenie nowych rozwiązań tzw. inteligentnych dróg, które będą odpowiednie dla użytkowników, zautomatyzowane i dostosowane do zmian klimatycznych. Przewiduje się, że *Forever Open Road* będzie zrealizowany w wyniku badań i wdrożeń prowadzonych w poszczególnych krajach oraz projektów międzynarodowych z udziałem wielu partnerów z sektora publicznego i prywatnego. W programie *Forever Open Road* zdefiniowano obszary i tematy innowacyjne. Wybrane obszary i tematy podano w tablicy 2.

W obu organizacjach: JTRC i FEHRL od wielu lat przewija się problematyka bezpieczeństwa ruchu drogowego i innowacji związanych z poprawą bezpieczeństwa. W ostatnich latach analizowano zagadnienia dotyczących bezpieczeństwa, na przykład

- bezpieczeństwo pieszych, przestrzeń miejska i zdrowie,
- mobilność i bezpieczeństwo motocyklistów,
- bezpieczeństwo rowerzystów w mieście,
- ubezpieczenie i ryzyko wypadków.

Tablica 2. Wybrane obszary i tematy innowacyjne zdefiniowane w programie *Forever Open Road* [13]

Obszar innowacyjny	Temat innowacyjny
Trwałe i zintegrowane nawierzchnie, mosty, tunele i inne obiekty	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Długowieczne nakładki na nawierzchnie</li> <li>• Konstrukcje samoreperujące uszkodzenia</li> <li>• Trwałość nawierzchni i urządzeń dylatacyjnych</li> <li>• Stabilność konstrukcji geotechnicznych i system wczesnego ostrzegania</li> </ul>
Nawierzchnie, tunele i mosty bez śniegu, lodu i powodzi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• System odwodnienia i odporność na powódź</li> <li>• Ulepszone zbiorniki retencyjne przy nawierzchniach</li> <li>• Usuwanie szkód wysadzinowych</li> <li>• Usuwanie śniegu i lodu</li> <li>• Systemy poprawy pogody</li> </ul>
Inteligentne systemy zarządzania ruchem	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Systemy współdziałania i automatyki transportu</li> <li>• Optymalizacja wykorzystania sieci drogowej</li> <li>• Zarządzanie ruchem i utrzymanie dróg w ekstremalnych warunkach pogodowych</li> <li>• Zarządzanie podczas wypadków i klęsk żywiołowych</li> <li>• Programy do zdalnego zarządzania</li> <li>• Przyjazny dla użytkowników system ruchu multimodalnego i informacji dla podróżnych</li> </ul>

Ostatnio szczególnie intensywnie badane są zagadnienia bezpieczeństwa pieszych i rowerzystów. Analizowane są przyczyny wypadków z udziałem tych uczestników ruchu i proponowane rozwiązania poprawy ich bezpieczeństwa. Bezpośrednim przełożeniem jest wprowadzanie innowacji z tym związanych, na przykład sygnalizatory, azyle dla pieszych, znaki o zmiennej treści, wdrażane również w naszym kraju.

Przedstawiciele Polski aktywnie uczestniczą w projektach lub grupach roboczych prowadzących badania, a uzyskaną wiedzę wykorzystują w badaniach prowadzonych w kraju. Na przykład wyniki badań uzyskane w projekcie *European Long - Life Pavement Group ELLPAG* [8] zostały wykorzystane do analizy i oceny nośności nawierzchni wielowarstwowych w krajowych warunkach klimatycznych [14].

### 3. PROBLEMY WDRAŻANIA INNOWACJI W INFRASTRUKTURZE DROGOWEJ W POLSCE

W Polsce systematycznie, co pięć lat, wykonywane są generalne pomiary ruchu na sieci dróg krajowych. Pomiary te mają istotne znaczenie, ponieważ umożliwiają ocenę ruchu na drogach krajowych, niezbędną do prognozowania ruchu przy projektowaniu nowych dróg i przebudowie dróg istniejących. Dotyczy to geometrii dróg i konstrukcji nawierzchni drogowych. Taki pomiar ruchu został przeprowadzony również w 2010 roku przez Biuro Projektowo-Badawcze Transprojekt – Warszawa. W porównaniu do roku 2005, ruch pojazdów silnikowych na drogach krajowych w 2010 roku zwiększył się o 22% [15]. Oznacza to, że wyniki badań rozwoju ruchu w Polsce są zbieżne z prognozami opracowanymi przez OECD]. Tak znaczący rozwój ruchu jest czynnikiem korzystnie wpływającym na możliwości wprowadzania innowacji. Drugim takim czynnikiem jest szeroki program inwestycyjny realizowany na drogach krajowych i samorządowych.

Polska niestety nie jest liderem innowacyjności i rozwoju nowoczesnych technologii. Dotyczy to także wyrobów i technologii niezbędnych do budowy oraz eksploatacji infrastruktury drogowej. Od początku transformacji z gospodarki planowej do rynkowej do Polski przeniosły produkcję innowacyjnych wyrobów lub wprowadziły nowe usługi oraz miejsca pracy przedsiębiorstwa zagraniczne. Dotyczyło to także sektora przedsiębiorstw drogowych, które w wyniku prywatyzacji w większości przeszły w ręce firm zagranicznych. Można stwierdzić, że sprzyjało to rozwojowi innowacyjności w drogownictwie ponieważ przedsiębiorstwa działające na rynku międzynarodowym są zmuszone do konkurencji i wprowadzania innowacyjnych rozwiązań. Oznacza to, że Polska gospodarka próbuje dognać kraje wysoko rozwinięte korzystając w dużym zakresie z transferu technologii. Strategia doganiania nie wyklucza możliwości bycia w przyszłości liderem, pod warunkiem wyboru odpowiednich obszarów niszowych. Wzrost efektywności innowacyjności wymaga koncentracji sił i środków przeznaczonych na rozwój infrastruktury badawczej z równoczesnym monitorowaniem ich ekonomicznej efektywności. Trzeba pamiętać, że innowacje często wymagają dużych nakładów finansowych i pracy na niezbędne badania przemysłowe i prace rozwojowe oraz wdrożenie. Obecnie działania proinnowacyjne w Polsce są adresowane w dużej części do małych i średnich przedsiębiorstw, które mogą być aktywnym podmiotem innowacyjności i tworzenia innowacji.

Istotne zmiany materiałów i technologii stosowanych w budowie dróg nastąpiły po 1989 roku. Otwarcie Polski i wejście na rynek polski firm zagranicznych ułatwiło wdrożenie tych rozwiązań. Jednak bardzo często zagraniczne innowacje wymagały zmian mających na celu ich dostosowanie do krajowych surowców i warunków klimatycznych. Prowadzone badania umożliwiały aplikację rozwiązań zagranicznych, a często je wzbogacały o nowe innowacje. Poniżej przedstawiono przykłady innowacji wdrożonych w budowie dróg.

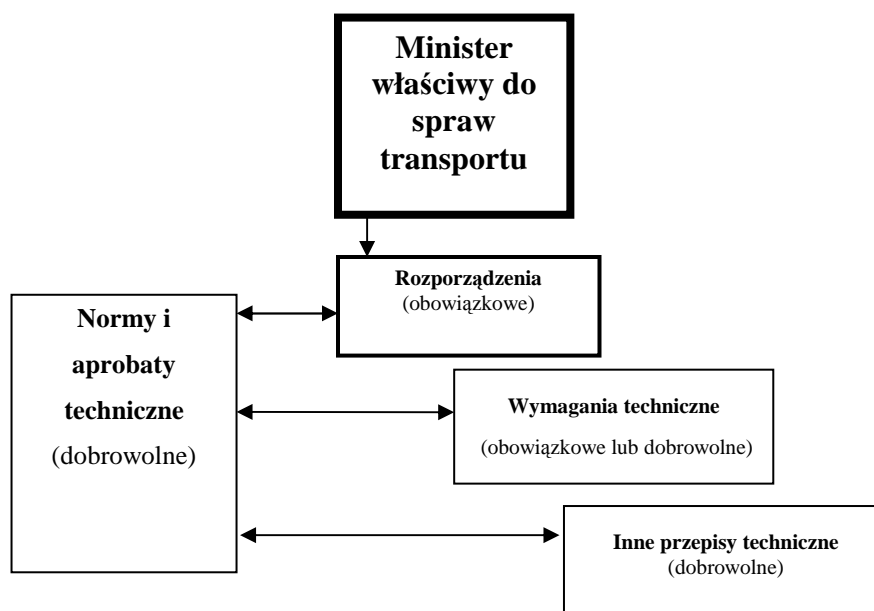
- mastyks grysowy (1991 r.),
- środki adhezyjne do mieszanek mineralno-asfaltowych (1993 r.),
- betony asfaltowe o wysokim module sztywności (2002 r.),
- nawierzchnie betonowe na drogach szybkiego ruchu (2003 r.),
- bazszczelinowe nawierzchnie betonowe ze zbrojeniem ciągłym (2005 r.),
- kompaktowa warstwa asfaltowa (2005 r.).

W budowie mostów uzyskano doświadczenia projektowania i wykonywania mostów podwieszonych oraz innych nietypowych obiektów mostowych wcześniej nie budowanych w Polsce. W ostatnich latach można zauważyć także istotny postęp we wdrażaniu nowoczesnych rozwiązań obejmujących problematykę wyposażenia dróg. Wynika to z bardzo niekorzystnych wskaźników charakteryzujących bezpieczeństwo ruchu drogowego. Nowoczesne rozwiązania dotyczą oznakowania dróg, urządzeń bezpieczeństwa ruchu

drogowego, urządzeń sterowania ruchem, systemów identyfikacji i ważenia pojazdów, ekranów przeciwhałasowych, osłon przeciwołnieniowych, urządzeń do optycznego prowadzenia ruchu i wielu innych wyrobów. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań związanych z eksploatacją dróg pozwala na poprawienie płynności ruchu i bezpieczeństwa użytkowników, a czasem umożliwia uniknąć kosztownych inwestycji w zakresie przebudowy dróg.

Opracowywanie i wdrażanie nowych rozwiązań napotykało i nadal napotyka na wiele barier, do których należą:

- skomplikowany system przepisów prawnych i technicznych (rys. 6),
- przestarzałe przepisy techniczne dotyczące dróg, drogowych obiektów inżynierskich i autostrad płatnych,
- system zamówień publicznych zachęcający do rozstrzygnięć na podstawie tylko ceny,
- zapisy w specyfikacjach technicznych nie pozwalające na zmiany technologii,
- rozproszenie nakładów na badania naukowe,
- brak mechanizmów podatkowych zachęcających przedsiębiorców do finansowania ryzykownych badań (np. ulg podatkowych).



Rys. 6. System przepisów dotyczących dróg i drogowych obiektów inżynierskich w Polsce [16]

Pomimo przedstawionych barier w rozwoju innowacyjności w Polsce prowadzone są badania i wdrożenia nowych rozwiązań stosowanych w infrastrukturze drogowej. Poniżej przedstawiono wybrane innowacje opracowane i wdrożone z udziałem Instytutu Badawczego Dróg i Mostów.

**Iniekcyjne wzmocnienie podłoża pod podstawami pali.** Po wywierceniu pala, przed jego zabetonowaniem do zbrojenia pala mocuje się instalację iniekcyjną z rurki w kształcie litery „U”. W poziomej części rurki wykonane są otwory osłonięte opaskami gumowymi. Iniekcja zaczynu cementowego pod ciśnieniem powoduje wypełnienie podłoża pod palem. Uzyskuje się zwiększenie nośności nawet do 50% nośności pala.

**Most w 3 miesiące.** Opracowano nowe konstrukcje i technologie budowy obiektów mostowych z przęsłami o małej i średniej rozpiętości. Konsorcjum biur projektowych, firm wykonawczych i jednostek naukowych opracowało nowy rodzaj prefabrykatów do budowy obiektów mostowych: przęseł, podpór oraz konstrukcji oporowych, pozwalających na szybszą realizację inwestycji komunikacyjnych.

**Ciche nawierzchnie z granulatem gumowo-asfaltowym.** Opracowano i wdrożono nowe rodzaje mieszanek przeznaczonych do warstw ścieralnych, charakteryzujących się obniżoną emisją hałasu pod wpływem ruchu pojazdów.

**Inteligentny system kompleksowej identyfikacji pojazdów.** System umożliwia automatyczne rozpoznawanie i identyfikację pojazdów na podstawie numeru rejestracyjnego, typu, marki, modelu i koloru pojazdu. Zastosowano w nim rozwiązania związane z pozyskiwaniem i przetwarzaniem danych z baz krajowych i europejskich metodą sieci neuronowych. We współpracy z wagą przejazdową precyzyjnie rozpoznaje wszystkie parametry pojazdu przeciążonego, w tym masę całkowitą oraz naciski na poszczególne osie.

**Diodowe znaki drogowe.** Konsorcjum jednostek naukowych i firmy wykonawczej opracowało i wdrożyło nowe rozwiązanie dotyczące elektronicznie sterowanych znaków i tablic informacyjnych o zmiennej treści.

#### 4. PODSUMOWANIE

Wdrażaniu innowacji w infrastrukturze drogowej sprzyjają optymistyczne prognozy rozwoju transportu drogowego. Zarówno krajowe jak i międzynarodowe badania transportu i jego prognozy są optymistyczne, przy czym należy liczyć się z wahaniem intensywności transportu na skutek nieoczekiwanych zdarzeń.

Na nawierzchnie drogowe i drogowe obiekty inżynierskie istotnie działają pojazdy ciężkie. Producenci pojazdów ciężarowych i ich użytkownicy dążą do zwiększenia całkowitych ciężarów i nacisków pojazdów na oś z uwagi na możliwość zmniejszenia jednostkowych kosztów transportu. W pojazdach ciężarowych wprowadzane są innowacyjne rozwiązania mające na celu poprawę efektywności, komfortu i bezpieczeństwa. Niektóre z nich, np. rodzaje zawiesznień lub opon mają także wpływ na infrastrukturę drogową. Zwiększenie obciążenia ma istotny wpływ na infrastrukturę drogową i może spowodować skrócenie czasu trwałości infrastruktury. W ostatnich latach obserwuje się tendencję do zwiększania tzw. czasu życia nawierzchni drogowych do 40-50 lat. Wydłużenie trwałości nawierzchni wiąże się z nowymi innowacyjnymi rozwiązaniami materiałowymi i konstrukcyjnymi, mającymi na celu umiarkowane zwiększenie kosztu długowiecznych nawierzchni drogowych. Innym ważnym obszarem badań są zagadnienia poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego, których rezultatem są nowe rozwiązania wdrażane podczas budowy i utrzymania infrastruktury drogowej.

Polska nie jest liderem innowacyjności w zakresie nowoczesnych technologii i wyrobów niezbędnych do budowy oraz eksploatacji infrastruktury drogowej. Po 1989 roku do praktyki drogowej wprowadzono wiele nowoczesnych rozwiązań zagranicznych, lecz często ulepszanych i dostosowanych do warunków krajowych. Uzyskano doświadczenia projektowania i wykonywania mostów podwieszonych oraz innych nietypowych obiektów mostowych wcześniej nie budowanych w Polsce. W ostatnich latach można zauważyć także istotny postęp we wdrażaniu nowoczesnych rozwiązań obejmujących problematykę wyposażenia dróg, w celu poprawy płynności i bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Sprzyjającym czynnikiem proinnowacyjnym jest szeroki program inwestycyjny realizowany na drogach krajowych i samorządowych. Jednak opracowywanie i wdrażanie nowych rozwiązań napotyka na wiele barier, zwłaszcza formalno-prawnych utrudniających zwiększenie innowacyjności. Pomimo przedstawionych barier w rozwoju innowacyjności w Polsce prowadzone są badania i wdrożenia nowych rozwiązań stosowanych w infrastrukturze drogowej, których przykłady przedstawiono w niniejszym artykule.



**Piśmiennictwo**

- [1] Praca zbiorowa: The measurement of Scientific and Technological Activities, proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technical Innovation Data. Wydanie polskie, Komitet Badań Naukowych, Warszawa 1999.
- [2] Daszkiewicz M.: Jednostki badawczo-rozwojowe jako źródło innowacyjności w gospodarce i pomoc dla małych i średnich przedsiębiorstw. Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2008.
- [3] Transport Outlook Meeting the Needs of 9 Billion People. International Transport Forum , Paris 2011.
- [4] Statistics Brief. Global Trade and Transport. International Transport Forum, Paris 2011.
- [5] DIVINE Final Report. OECD, September 1997.
- [6] Rafalski L.: Podbudowy drogowe. Seria Studia i materiały, zeszyt 59. Wydawnictwo IBDiM, Warszawa, 2007.
- [7] Moving Freight with better Trucks improving Safety, Productivity and Sustainability. Joint OECD/ITF Transport Research Committee, 2009.
- [8] A Guide to the use of Long-life Semi Rigid Pavements. European Long - Life Pavement Group Report ELLPAG, FEHRL, Brussels 2009.
- [9] Christensen J., Glaeser P.K., Shelton T., Moore B., Aarts L.: Innovations in Truck technologies. OECD/ITF Transport Research Committee, 2010.
- [10] Policy mix for innovation – key issues and recommendation. Report prepared by OECD, 2007.
- [11] Transport and innovation. Towards a view on the role of public policy. OECD/ITF Transport Research Committee, 2010.
- [12] 15<sup>th</sup> Session of the Joint Transport Research Committee. Research Centre program of work 2012-2014. OECD/ITF Transport Research Committee, 2012.
- [13] Strategic European Road Research Programme V (SERRP V). FEHRL, Brussels, 2011.
- [14] Graczyk M.: Nośność konstrukcji nawierzchni wielowarstwowych w krajowych warunkach klimatycznych. Seria Studia i materiały, zeszyt 63. Wydawnictwo IBDiM, Warszawa, 2010.
- [15] Maśkiewicz J.: Generalny pomiar ruchu w 2010 r. Materiały na LIV Techniczne Dni Drogowe, Ossa, 2011.
- [16] Praca zbiorowa pod red. L. Rafalskiego: Eksploatacja dróg. Seria Studia i materiały, zeszyt 65. Wydawnictwo IBDiM, Warszawa, 2010.

**INNOVATIVENESS IN THE DEVELOPMENT OF ROAD INFRASTRUCTURE  
IN POLAND****Summary**

In the development of road transportation and road infrastructure innovations in manufacture, process, marketing and organization can be implemented. International and national prognoses of transportation development are optimistic, and they should promote implementation of innovations in road infrastructure. The producers of heavy vehicles and their users aim to increase total vehicle weights and axle loads. International organizations: the Joint Transport Research Committee (JTRC) and the Forum of National Highway Research Laboratories (FEHRL) study the influence of increased loads on road infrastructure as well as they define directions of the innovative solutions of trucks and road infrastructure. In Poland the programme of development of national and district roads creates an opportunity to implement innovative solutions. In spite of obstacles in the development of innovations, new solutions are investigated and implemented in road infrastructure.

Dariusz SYBILSKI<sup>1</sup>  
Politechnika Lubelska, Instytut Badawczy Dróg i Mostów  
Antoni SZYDŁO<sup>2</sup>  
Politechnika Wrocławska

## **ROLA NAUKI W ROZWOJU KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI I MATERIAŁÓW DROGOWYCH**

### **STRESZCZENIE**

Artykuł prezentuje postęp w budownictwie drogowym w ostatnich latach z podkreśleniem udziału środowiska naukowego w Polsce. Autorzy przedstawiają zmiany w projektowaniu konstrukcji nawierzchni, technologii i materiałach stosowanych w budowie dróg, w metodach badań materiałów i nawierzchni. Przedstawiono także problemy do rozwiązania w najbliższym czasie wymagające współpracy środowisk naukowych, administracji drogowej i firm wykonawczych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** projektowanie konstrukcji nawierzchni, nowe materiały, metody badań materiałów, nieniszczące metody badań nawierzchni, nawierzchnie drogowe asfaltowe i betonowe

### **1. WPROWADZENIE**

W ostatnim dwudziestolecu nastąpiły istotne zmiany w projektowaniu konstrukcji nawierzchni drogowych asfaltowych i betonowych, doborze materiałów, technologiach, metodach badań materiałów i nawierzchni. Przyczyną były zmiany w ruchu drogowym w Polsce po przemianach politycznych i gospodarczych. Wskutek upadku systemu centralnego sterowania i gwałtownego boomu prywatyzacji gospodarki znacznie wzrosło natężenie ruchu drogowego – transport towarów przeniesiono z torów na drogi. Transport drogowy jest bowiem bardziej efektywny dla małych i średnich przedsiębiorstw – dostawa od „drzwi do drzwi”. Jednocześnie brak było systemu kontroli pojazdów ciężarowych, czego efektem było powszechne przekroczenie dopuszczalnego obciążenia pojazdów, a w efekcie nawierzchni drogowych. Te przyczyny w połączeniu z gorącym latem 1994 r. („lato stulecia”) spowodowały destrukcję niemal całej sieci dróg krajowych, a także ulic miejskich w postaci deformacji trwałych.

---

<sup>1</sup> d.sybilski@pollub.pl

<sup>2</sup> antoni.szydlo@pwr.wroc.pl



Fot. 1. Przykład zdeformowanej (skoleinowanej nawierzchni asfaltowej w 1994 r.

Stosowane wówczas metody projektowania, badania nawierzchni i mieszanek mineralno-asfaltowych oraz doboru materiałów nie były dostosowane do zwiększonego obciążenia i warunków klimatycznych. Analiza wykonana na zlecenie GDDP [1] wykazała, jak znaczne mogą być uszkodzenia nawierzchni dróg w konsekwencji zwiększenia obciążenia osi pojazdu. Dodatkowa szkoda wynosi: na drodze krajowej ze 100 kN/oś do 115 kN/oś - 1,33 zł/km, na drodze wojewódzkiej z 80 kN/oś do 115 kN/oś - 12 zł/km, na drodze powiatowej lub gminnej z 80 kN/oś do 115 kN/oś - 40 zł/km. Nienormatywne obciążenie pojazdów przynosi roczne dodatkowe koszty zniszczenia sieci dróg krajowych i wojewódzkich zarządzanych przez ówczesną GDDP szacowane na 3 356 mln zł, podczas gdy zyski przewoźników szacuje się na 409 mln zł.

Opracowana wówczas w IBDiM metoda pomiarowa i zalecenia doboru materiałów zwiększających odporność betonu asfaltowego na deformacje trwałe [2]. Zalecenia te i metodyka badawcza zostały zaakceptowane przez GDDP i szybko upowszechniły się, stając się standardem w specyfikacjach kontraktowych. Metoda ta jednak nie spełniła wszystkich wymagań projektowania nawierzchni i mieszanek mineralno-asfaltowych. Ograniczała się bowiem wyłącznie do zwiększenia odporności na deformacje (koleinowanie) nawierzchni z betonu asfaltowego. Wskutek braku odpowiednich ku temu narzędzi nie zawierała oceny innych ważnych właściwości funkcjonalnych mieszanki: zmęczenia i odporności niskotemperaturowej.

Równolegle wdrażano nową technologię mieszanki mastyksowo-grysowej SMA, powstałej w Niemczech jako alternatywa betonu asfaltowego, w celu zwiększenia odporności na deformacje nawierzchni asfaltowej (Polska była drugim krajem, w którym tę technologię wdrożono).

W polskich ośrodkach badawczych podjęto prace nad nowymi rozwiązaniami technologicznymi i nowymi zaleceniami doboru materiałów i projektowania konstrukcji nawierzchni w celu zwiększenia trwałości nawierzchni, uwzględniając odporność na deformacje, zmęczenie, pękanie niskotemperaturowe i wodoodporność.

## 2. NOWE METODY BADAŃ MATERIAŁÓW DROGOWYCH NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH

### 2.1. Lepiszcza asfaltowe

Jakość funkcjonalna asfaltu wymaga pełnej oceny właściwości asfaltu. Obejmuje ona podstawowe oraz funkcjonalne właściwości asfaltu. Właściwości podstawowe są ujęte w normach europejskich, natomiast właściwości funkcjonalne opracowane w ramach programu badawczego SHRP są przyjęte w normach w USA. Podstawowymi właściwościami są: penetracja, temperatura mięknięcia, temperatura łamliwości, ciągliwość oraz ciągliwość z pomiarem siły, starzenie RTFOT. Jako funkcjonalne określa się właściwości asfaltu badane metodami, które pozwalają na charakterystykę materiału, która zapewnia możliwie wierną symulację w laboratorium rzeczywistych warunków pracy w nawierzchni drogowej oraz przyspieszenie długotrwałych procesów, takich jak starzenie asfaltu w ciągu kilkunastu lat lub zmęczenie nawierzchni asfaltowej po kilku milionach obciążeń. Stosowane metody funkcjonalne badania asfaltów to: właściwości reologiczne (moduł zespolony ścinania  $G^*$ , kąt przesunięcia fazowego  $\delta$ , lepkość), odporność niskotemperaturowa BBR (Bending Beam Rheometer), symulacja starzenia technologicznego RTFOT (Rotating Thin Film Oven Test) i eksploatacyjnego PAV (Pressure Aging Vessel).

Przykłady stosowanej aparatury badań funkcjonalnych pokazano na fotografiach 2-5.



Fot. 2. Lepkościomierz Brookfielda



Fot. 3. Reometr dynamicznego ścinania DSR



Fot. 4. Aparat BBR (Bending Beam Rheometer) - odporność niskotemperaturowa





Fot. 5. Aparat PAV (Pressure Aging Vessel) – symulacja starzenia asfaltu w ok. 10 lat

## 2.2. Mieszanki mineralno-asfaltowe

Zmiany nastąpiły w badaniach mieszanek mineralno-asfaltowych. Poprzednie, empiryczne metody, jak badanie Marshalla, zastąpiono i uzupełniono nowymi badaniami funkcjonalnymi takimi jak: odporność na deformacje trwałe (koleinowanie) w małym lub dużym aparacie, odporność na niską temperaturę metodą TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Tensile Strength), wodoodporność, moduł sztywności, odporność na zmęczenie.



Fot. 6. Pierwszy w Polsce duży aparat do koleinowania LCPC





Fot. 7. Maszyna wytrzymałościowa MTS i próbka mma do badania TSRST

Pierwszym uniwersalnym aparatem do badań mieszanek mineralno-asfaltowych w Polsce, w IBDiM (1993 r.), był Nottingham Asphalt Tester (NAT), służący do wykonywania kilku rodzajów testów: badanie modułu sztywności mieszanki mineralno-bitumicznej, test pełzania pod obciążeniem statycznym, test pełzania pod obciążeniem powtarzalnym, test zmęczeniowy. W późniejszych latach powiększono bazę sprzętu badawczego o maszyny wytrzymałościowe MTS, co pozwoliło na znaczne powiększenie zakresu badań funkcjonalnych mieszanek mineralno-asfaltowych.

### 3. PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

Obok stosowania typowych konstrukcji nawierzchni na podstawie Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych w coraz większym stopniu stosuje się mechaniczną metodę projektowania, zwłaszcza na drogach wyższej klasy (autostrady, drogi krajowe). W modelu nawierzchni z warstwami sprężystymi charakteryzowane są one grubością ( $h_i$ ), modułem sprężystości (sztywności) ( $E_i$ ) i współczynnikiem Poissona ( $\nu_i$ ). Kryteriami oceny trwałości konstrukcji nawierzchni asfaltowej podatnej są:

- odkształcenie pionowe strukturalne w podłożu gruntowym
- uszkodzenia (spękania) zmęczeniowe warstw asfaltowych.

W analizie nawierzchni asfaltowej półsztywnej uwzględnia się ponadto kryterium uszkodzeń zmęczeniowych (spękań) warstwy podbudowy związanej spoiwem hydraulicznym. Przyjmuje się, że podbudowa ta pracuje w dwóch etapach, w których charakteryzuje się innym modułem sprężystości  $E$  oraz współczynnikiem Poissona  $\nu$ : etap I, warstwa związana, przed spękaniami zmęczeniowymi, konstrukcja półsztywna, etap II, warstwa spękana, konstrukcja podatna.

### 4. NIENISZCZĄCE METODY DIAGNOSTYKI STANU NAWIERZCHNI DROGOWYCH

Laboratoria ośrodków badawczych i administracji drogowej wzbogaciły się w ostatnich latach w nowy, zaawansowany sprzęt do badań nieniszczących nawierzchni drogowych. Pozwala on na wszechstronną ocenę stanu nawierzchni bez konieczności ingerencji w jej konstrukcję. Obszerny zestaw sprzętu dostępny jest w IBDiM:

- ugięciomierze laserowy i udarowy (pomiar ugięć, ocena nośności, wyznaczenie modułów sprężystości warstw) (Fot. 8)
- penetroradar (prześwietlanie nawierzchni, określanie grubości warstw) (Fot. 9)
- MFV (pomiar równości i rejestracji uszkodzeń nawierzchni)
- SPDE (system rejestracji uszkodzeń nawierzchni i cech geometrycznych drogi)
- SRT-3 (pomiar współczynnika tarcia).

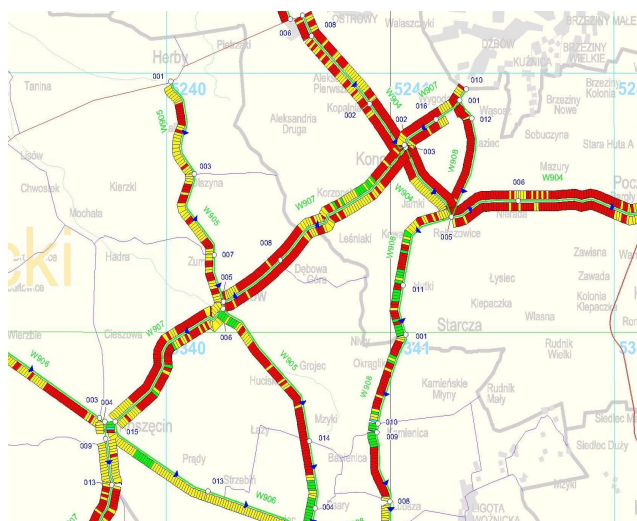


Fot. 8. Ugięciomierz laserowy TSD oraz ugięciomierz FWD



Fot. 9. Penetroradar oraz obraz wyników i interpretacji danych

Nieniszczące badania pozwalają na ocenę uszkodzeń nawierzchni: współczynnik tarcia, spadki, pochylenia, nierówności podłużne i poprzeczne, łuki, spękania, uszkodzenia powierzchniowe, tekstura nawierzchni, nośność, grubość warstw. Na podstawie wykonanych pomiarów opracowywana jest mapa stanu sieci drogowej (Rys. 1).



Rys. 1. Przykład mapy sieci drogowej z oceną stanu nawierzchni

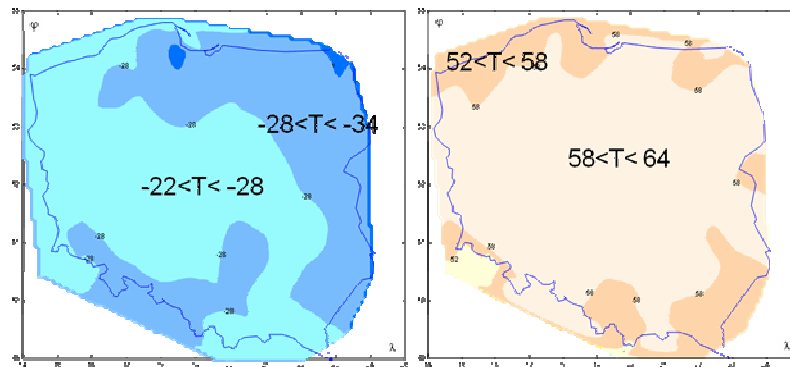
## 5. NOWE TECHNOLOGIE BUDOWY DROGOWYCH NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH

Wymagania, jakie stawia się nawierzchniom obejmują:

- cechy mechaniczne: odporność na deformacje, odporność na pękanie niskotemperaturowe, nośność - odporność na zmęczenie
- komfort i bezpieczeństwo użytkownika: równość, szorstkość
- wpływ na otoczenie: hałaśliwość.

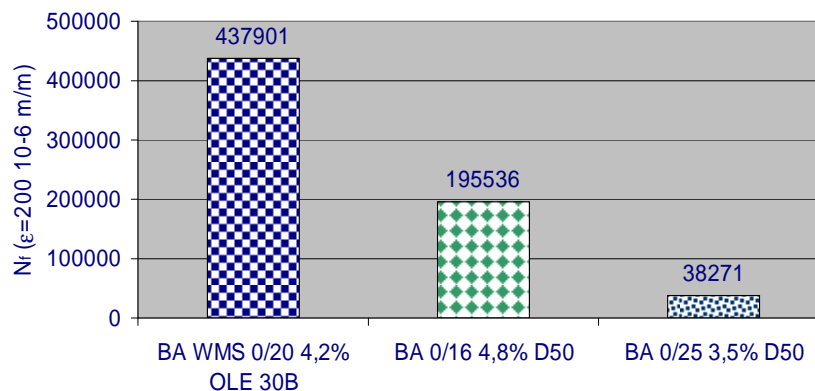
Postęp techniczny w mieszankach mineralno-asfaltowych warunkowany jest w znacznej mierze stosowaniem modyfikatorów lepiszczy i dodatków do mieszanek [3], doskonaleniem metod projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych, a także wdrażaniem nowych mieszanek m-a i technologii ich produkcji i wbudowania.

W 1999 r. przeprowadzono analizę doboru lepiszcza do warunków klimatycznych i obciążenia ruchem [4], korzystając z metod SHRP oraz późniejszych wzorów opracowanych w ramach programu LTPP w USA, a też uwag z innych ośrodków badawczych. Przeanalizowano warunki temperaturowe w Polsce w ostatnim 30-stoletniu i opracowano strefy terytorialne Polski ze względu na dobór lepiszcza do poszczególnych warstw nawierzchni. Na rys. 2 przedstawiono jako przykład regiony Polski ze względu na przedziały minimalnej i maksymalnej temperatury według klasyfikacji Superpave lepiszczy asfaltowych do warstwy ścieralnej.

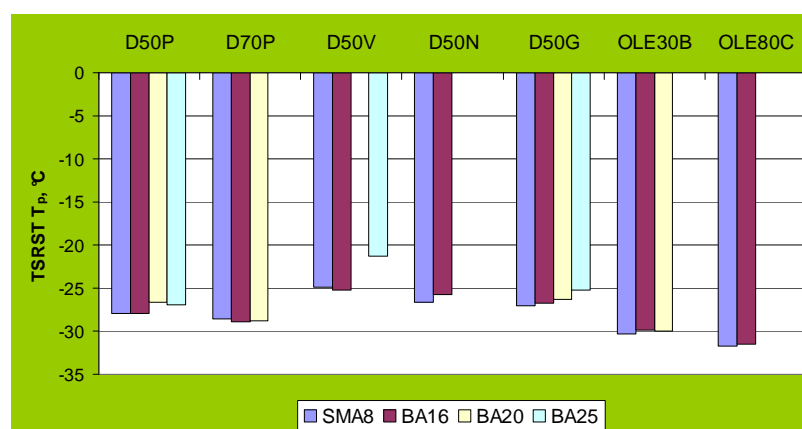


Rys. 2. Minimalna i maksymalna temperatura regionów Polski według klasyfikacji Superpave lepiszczy asfaltowych do warstwy ścieralnej

Przedział temperatury najwyższej i najniższej na większości terytorium Polski wynosi powyżej 90 °C (a przy tym należy uwzględnić trudniejsze warunki obciążenia ruchem - ruch ciężki i/lub powolny), co wskazuje na konieczność stosowania asfaltów modyfikowanych polimerami w warstwie ścieralnej. Wczesne doświadczenia w początku lat 90-tych wykazały skuteczność stosowania modyfikacji mieszanki mineralno-asfaltowej polimerami. Przykłady zwiększenia trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych dzięki modyfikacji polimerem ilustrują rys. 3 i 4, przedstawiające odporność na zmęczenie i na pękanie niskotemperaturowe.



Rys. 3. Trwałość zmęczeniowa betonu asfaltowego ze zwykłym asfaltem (D50) i asfaltem modyfikowanym polimerem (OLE 30B)



Rys. 4. Temperatura pęknięcia niskotemperaturowego mieszanek mineralno-asfaltowych SMA i betonu asfaltowego ze zwykłymi asfaltami (D50 i D70) i asfaltami modyfikowanymi polimerami (OLE30B i OLE30C)

Zwiększające się systematycznie natężenie ruchu drogowego i obciążenia dróg w wielu krajach wymaga od zarządców dróg minimalizacji utrudnień w ruchu drogowym. Dąży się zatem do *nawierzchni długowiecznych*, które projektowane są na ponad 40 lat, a w tym okresie wymagają jedynie wymiany warstwy ścieralnej. Warstwy nośne (wiąząca i podbudowa) zachowują długoletnią trwałość dzięki dużej odporności na zmęczenie i deformacje trwałe.

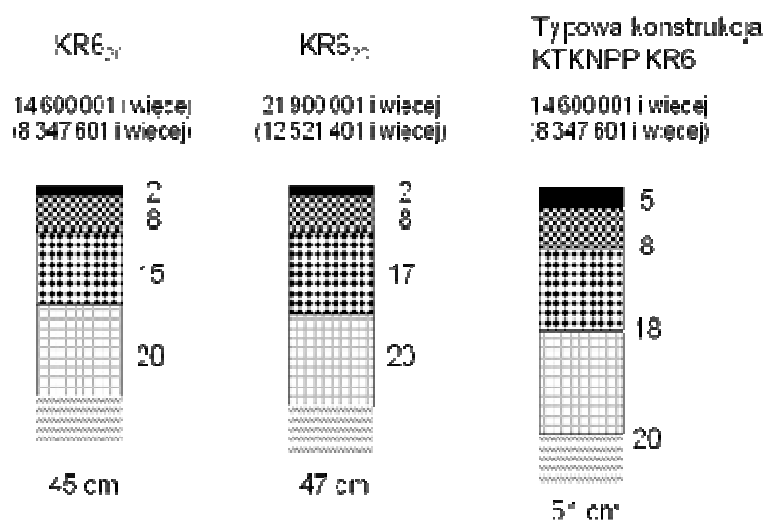
Koncepcja trwałych nawierzchni pojawiła się już w 1984 r. w Wielkiej Brytanii [5]. Na podstawie wyników przeglądu projektów i stanu nawierzchni dróg w końcu lat 1990 [6,7], stwierdzono, że: *poprawnie zaprojektowana i wybudowana nawierzchnia asfaltowa wykazująca rezerwę nośności (przewymiarowana) wykazuje bardzo długą trwałość, przy spełnieniu warunku, że uszkodzenia w postaci pęknięć i deformacji pojawiające się na powierzchni jezdni są systematycznie naprawiane, uprzedzając ich wpływ na strukturalną integralność nawierzchni*. Taką nawierzchnię określa się mianem *nawierzchni długowiecznej (long life pavement)*.

Podobna koncepcja nawierzchni asfaltowych o przedłużonej trwałości pojawiła się w USA. Nawierzchnię taką określono jako *wieczną nawierzchnię asfaltową (perpetual asphalt road pavement)* [8,9].

Najbogatsze doświadczenia stosowania konstrukcji nawierzchni, która może być uznana za długowieczną, zgromadzono we Francji od lat 1980-tych, gdy wdrożono stosowanie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności BBME i EME. Jako lepiszcze



w mieszankach o wysokim module stosowany jest bardzo twardy asfalt o penetracji 10-20x0,1mm, asfalt z dodatkiem asfaltytów lub twardy polimeroasfalt [10].



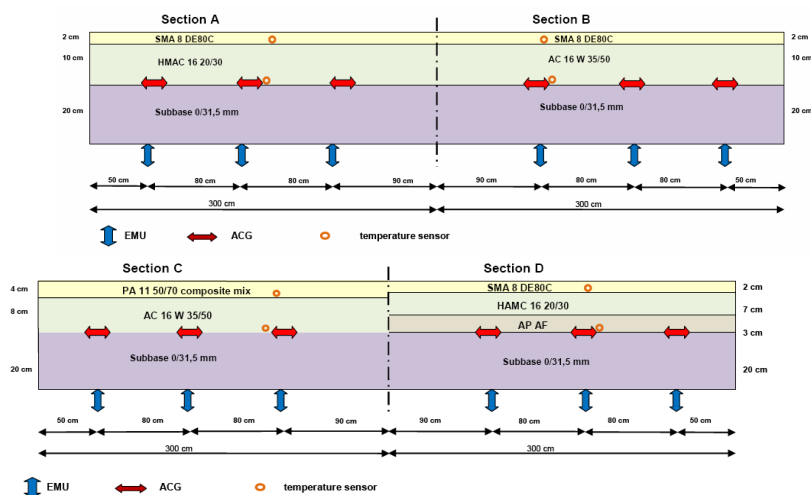
Rys. 5. Porównanie konstrukcji nawierzchni asfaltowej z ACWMS projektowanej na 20 lub 30 lat z typową konstrukcją KTKNPP (dolny próg liczby osi obliczeniowych 100 kN lub 115 kN - w nawiasach)

W Polsce prace nad nawierzchniami o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie rozpoczęto w IBDiM w 1997 r. [11] i kontynuowano w kolejnych latach [12,13,14]. Prace badawcze laboratoryjne i doświadczenia w wykonaniu odcinków testowych wykazały znacznie zwiększoną trwałość nawierzchni z betonem asfaltowym o wysokim module sztywności (ACWMS) w porównaniu z typową nawierzchnią asfaltową. W końcowym opracowaniu [15] uwzględniono projektowanie konstrukcji nawierzchni na 20 lat oraz na 30 lat (jako nawierzchni długowiecznej) (Rys. 5).

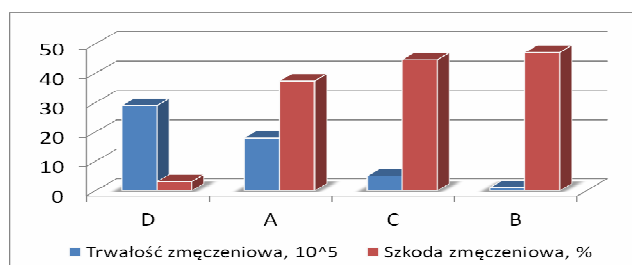
Nawierzchnia długowieczna stała się jednym z elementów projektu międzynarodowego SPENS, w ramach którego przeprowadzono w Polsce przyspieszone badania konstrukcji nawierzchni pod obciążeniem symulatorem obciążenia HVS (Heavy Vehicle Simulator) (Fot. 11).



Fot. 11. Symulator obciążenia HVS na odcinkach testowych, Pruszków, 2008



Rys. 6. Schemat konstrukcji nawierzchni 4 odcinków testowych i oprzyrządowanie



Rys. 7. Trwałość zmęczeniowa i szkoda zmęczeniowa nawierzchni odcinków testowych według badań HVS

Doświadczenia pokazały, że konstrukcje nawierzchni z mieszankami typu ACWMS mają wyraźnie większą trwałość zmęczeniową w porównaniu z tradycyjnymi mieszankami, a najtrwalszą okazała się konstrukcja z warstwą przeciwmęczeniową (rys. 6 i 7).

## 6. CHARAKTERYSTYKA DROGOWYCH NAWIERZCHNI BETONOWYCH

Drogowe nawierzchnie betonowe nie mają w Polsce ugruntowanej tradycji. Rozwój technologii nawierzchni drogowych do końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku koncentrował się głównie na nawierzchniach asfaltowych. Nawierzchnie betonowe realizowane były przede wszystkim na lotniskach, placach postojowych, drogach zakładowych.

Pojawienie się kryzysu energetycznego w gospodarce światowej w tym również i polskiej w połowie lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku spowodowało zainteresowanie administracji drogowej nawierzchniami betonowymi. Zainteresowanie to zostało spotęgowane zwłaszcza wtedy, gdy w połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku zaobserwowano nagminne zjawisko powstawania kolein w nawierzchniach asfaltowych, spowodowane m.in. zwiększającym się obciążeniem osi pojazdów jak i wzrostem intensywności ruchu.

W 1995 roku wybudowano 17 km dwujezdniowej drogi A-18 o nawierzchni z betonu cementowego wykorzystując materiał pochodzący ze starych recyklowanych płyt betonowych. Konstrukcja nawierzchni przedmiotowej drogi była następująca:

- płyta betonowa o grubości 26 cm, dyblowana i kotwiona, beton klasy B35,
  - grunt stabilizowany cementem o wytrzymałości  $R = 5$  MPa, grubości 20 cm.
- Płyta betonowa górna układana była dwuwarstwowo, w jednym ciągu



technologicznym: warstwa górna o grubości 7 cm i dolna o grubości 19 cm. Przy czym do warstwy dolnej dodawano kruszywo pochodzące z recyklowanej starej nawierzchni betonowej. Natomiast górną 7 cm warstwę wykonano w całości z kruszywa nowego.

W okresie czerwiec 2002 – listopad 2003 roku wybudowano pierwszą nawierzchnię w technologii whitetoppingu na drodze nr 8 na odcinku Wolbórz – Polichno. Na istniejącą nawierzchnię asfaltową ułożono płytę betonową grubości 0,27 m, kotwioną i dyblowaną.

W 2002 roku rozpoczęto modernizację autostrady A-4 na odcinku Krzywa – Wrocław długości 92 km dwóch jezdni na której układana jest nawierzchnia betonowa o następującej konstrukcji: płyty betonowe o grubości 0,27 m dyblowane i kotwione o wymiarach w planie 5x4,25 m, pod nimi geowłóknina pełniąca funkcje drenażową, jako podbudowę zastosowano chudy beton o grubości 0,20 m a pod nim warstwę mrozochronną grubości 0,3 m i wzmocnione podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.

W ostatnich latach wybudowano dalsze odcinki autostrad o nawierzchni betonowej: A18 – odcinek Golnice – Olszyna (65 km), A4 - Krzywa – Jędrzychowice (50 km), Nowy Tomyśl – Świecko (105 km).

W 2001 roku opracowano katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych.

## **7. NOWE TECHNOLOGIE BUDOWY DROGOWYCH NAWIERZCHNI BETONOWYCH**

W związku z tym, że brak było w kraju własnych doświadczeń w zakresie projektowania i budowy nawierzchni betonowych w pierwszych realizacjach skorzystano z doświadczeń niemieckich. Konstrukcja nawierzchni betonowej składała się z płyt betonowych o wymiarach 5 x 4,25 m połączonych ze sobą za pomocą dybli i kotew. Płyty te ułożone były na geowłókninie ułożonej na podbudowie z chudego betonu. Powierzchnia płyt była wykańczana tradycyjnie za pomocą szczotek lub płat jutowych. Co było podstawową do kwestionowania realizacji tego typu nawierzchni ze względu na znaczną głośność.

Przy realizacji modernizacji odcinka autostrady A4 na odcinku Wrocław – Legnica zaprojektowano i wykonano dwa eksperymentalne odcinki nawierzchni betonowej. Na jednym z nich ułożono nawierzchnię betonową o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych. Na drugim nawierzchnię betonową ułożono na podbudowie z kruszywa o tak dobranym składzie, ażeby zapewniony był drenaż wody przedostającej się przez szczeliny w płycie.

Nawierzchnię o ciągłym zbrojeniu zastosowano pomiędzy dwoma obiektami mostowymi na długości ok. 1100 m [16]. Konstrukcja tej nawierzchni jest następująca:

- beton cementowy, B 40, grubości 23 cm, (do zbrojenia zastosowano pręty podłużne o średnicy 20 mm w rozstawie co 18 cm oraz pręty poprzeczne o średnicy 12 mm i rozstawie co 70 cm, ułożone pod kątem ok. 65°),
- podbudowa, chudy beton, R = 6 – 9 MPa, grubości 20 cm,
- warstwa mrozochronna, grubości 35 cm,
- grunt stabilizowany cementem, R = 1,5 – 2,5 MPa, grubości 15 cm.

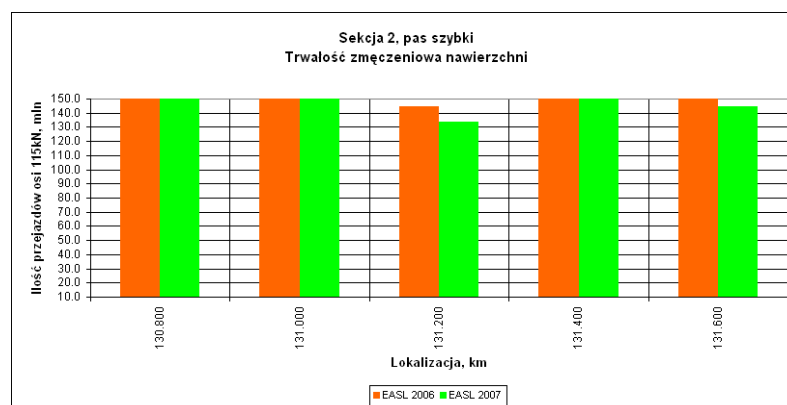
Na fot. 11 pokazano układ zbrojenia w nawierzchni.



Fot. 11. Układ zbrojenia w nawierzchni

Zastosowano zbrojenie podłużne ciągłe. Poszczególne pręty łączono na zakładkę w taki sposób, ażeby łączenie nie wystąpiło w jednej linii poprzecznej. Pręty poprzeczne układano pod kątem ok.  $65^{\circ}$  w rozstawie co 0,7 m.

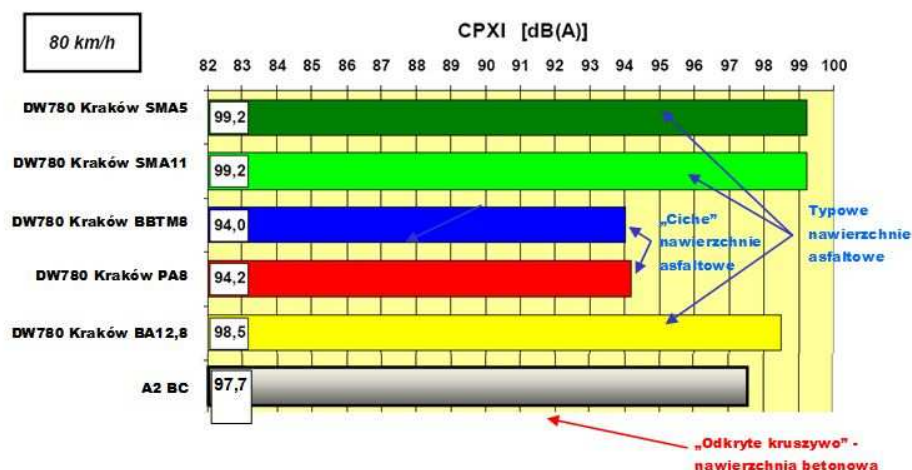
Przedmiotowy odcinek jest poddawany diagnostyce. Prowadzone są pomiary nośności, równości oraz inwentaryzacja mikropęknięć. Na rys. 8 zestawiono trwałość zmęczeniową nawierzchni. Jest ona większa od 100 000 000 osi 115kN dla projektowanej 30 000 000 osi 115 kN.



Rys. 8. Trwałość zmęczeniowa nawierzchni betonowej o ciągłym zbrojeniu

Podobny odcinek zaprojektowano i wybudowano na autostradzie A2 Nowy Tomyśl – Świecko. Z tym, że tam nawierzchnię o ciągłym zbrojeniu ułożono na istniejącej nawierzchni z mieszanki mineralno-asfaltowej. Długość odcinka wynosi ok. 1 km. Odcinek ułożono na jednej jezdni. Na sąsiedniej jezdni ułożono odcinek w tradycyjnej technologii a więc płyty dyblowane i kotwione. Oba odcinki poddawane są badaniom diagnostycznym i będą analizowane koszty utrzymania tych odcinków.

Przy budowie autostrady A2 na odcinku Nowy Tomyśl – Świecko (105 km) zastosowano tzw. technologię odkrytego kruszywa. Jest to technologia pozwalająca obniżyć hałas emitowany na styku koło nawierzchnia. Beton w tej technologii układany jest dwuwarstwowo „mokre na mokre” przy czym górna warstwa o grubości 5 cm ma specjalnie dobrane kruszywo i wytrzymałość celem redukcji hałasu [17].



Rys. 9. Porównanie wyników badań hałasu nawierzchni betonowej z odkrytym kruszywem z nawierzchniami asfaltowymi

Na rys. 9 pokazano porównanie hałasu nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych i betonowych z tzw. odkrytym kruszywem. Analizując zestawione wyniki badań widać, że nawierzchni betonowe z odkrytym kruszywem emitują mniejszy poziom hałasu w porównaniu z tradycyjnymi nawierzchniami asfaltowymi typu SMA, czy beton asfaltowy.

## 8. PROBLEMY DO ROZWIĄZANIA I PERSPEKTYWY ROZWOJU

Administracja drogowa we współpracy z ośrodkami badawczymi powinny aktywnie kontynuować lub podjąć pracę nad rozwiązaniem problemów projektowania i budowy nawierzchni dróg, takich jak:

- redukcja hałasu drogowego poprzez stosowanie cichych nawierzchni, w tym nawierzchni modyfikowanych gumą z przeróbki opon samochodowych
- recykling nawierzchni asfaltowych – skuteczne przetwarzanie destruktu asfaltowego w granulaty i jego zastosowanie w mieszankach mineralno-asfaltowych
- stosowanie materiałów alternatywnych (odpadów przemysłowych)
- technologie produkcji i wbudowania mieszanek mineralno-asfaltowych o obniżonej temperaturze „na ciepło” i „na pół-ciepło” – zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, obniżenie kosztów produkcji mieszanek (mniejsze zużycie energii)
- doskonalenie technologii budowy nawierzchni betonowych w zakresie redukcji hałasu
- rozwój nawierzchni betonowych w zakresie whitetoppingu (wzmacniania nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych płytami betonowymi),
- prace nad technologią nawierzchni długowiecznych mieszanych (betonowych i z mieszanek mineralno - asfaltowych).

## 9. PODSUMOWANIE

Analizując rozwój technologii nawierzchni drogowych w Polsce na przestrzeni ostatnich dwudziestu lat, daje się zauważyć istotny postęp w zakresie prowadzonych prac badawczych jak i wdrożonych technologii. W drogownictwie sukcesem, jeżeli chodzi o wdrożenie nowych technologii, jest ich weryfikacja na eksploatowanej drodze. Znaczna liczba nowych rozwiązań technologicznych przedstawionych w referacie została pozytywnie zweryfikowana. Obserwując i diagnozując nowe nawierzchnie, należy stwierdzić, że

poprawiła się zdecydowanie jakość budowanych nawierzchni. Wdrożenie nowych technik diagnostyki nawierzchni pozwala na szczegółową analizę jakości i trwałości budowanych i eksploatowanych nawierzchni. Budowa nawierzchni z mieszanek mineralno-asfaltowych oraz betonowych wyzwała pozytywną konkurencję, rozwój technologii i prac badawczych.

### Piśmiennictwo

- [1] Sybilski D., Szrajber J., Mechowski T., Giergowicz A.: Ocena skutków ruchu pojazdów o masie, naciskach osi lub wymiarach przekraczających dopuszczalne wielkości parametrów określone w przepisach o ruchu drogowym. Sprawozdanie IBDiM, 2000 (praca niepublikowana)
- [2] Zasady projektowania betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe. Wytyczne oznaczenia odkształcenia i modułu sztywności mieszanek mineralno-bitumicznych metodą pełzania pod obciążeniem statycznym. Wyd. II uzupełnione. Zeszyt 48, Informacje, Instrukcje. IBDiM. 1995
- [3] Sybilski D.: Modyfikatory i dodatki do asfaltów drogowych. Część 1: Modyfikatory lepiszcza. Drogownictwo 2, 2000, 55, s. 35-42, Część 2: Modyfikatory i dodatki do mieszanek. Drogownictwo 3, 2000, 55, s. 67-72
- [4] Sybilski D., Mirski K.: Zalecane lepiszcza asfaltowe w warstwach nawierzchni w Polsce z uwzględnieniem warunków klimatycznych i obciążenia ruchem. Prace IBDiM, 1-2, 2000, s. 103-157
- [5] Powell W.D., Potter J.F., Mayhew H.C., Nunn M.E.: The structural design of bituminous roads. TRRL LR 1132, 1984. HMSO, London
- [6] Leech D., Nunn M.E.: Deterioration mechanisms in flexible pavements. Second European Conference on the durability and performance of bituminous materials, University of Leeds, Leeds, UK, 1997
- [7] Nunn M.E.: Long-life flexible roads. Proceedings of the Eighth International Conference on Asphalt Pavements, 3-16, 1997
- [8] Huddleston P.E., Buncher M., Newcomb D.: Perpetual Pavements. Asphalt Pavement Alliance, <http://www.asphaltalliance.com>
- [9] Słotwiński D.: Asfaltowe nawierzchnie typu „perpetual” – czy w Polsce jest to możliwe? VIII Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 7-8 maja 2002
- [10] Véhée F., Delorme J.-L.: Enrobés classiques et á module élevé. Bilan de comportement des enrobés á module élevé. Bull. de liaison des LCPC, 172, 1991
- [11] Sybilski D., Bańkowski W.: Zastosowanie wyników badania zmęczenia mieszanek mineralno-asfaltowych w mechanistycznym projektowaniu konstrukcji nawierzchni. VII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce maj 2001
- [12] Sybilski D., Mularzuk R., Pałys M., Kaczycka J.: Pierwsze w Polsce zastosowanie asfaltu drogowego wielorodzajowego (multigrade). VI Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 9-10 maja 2000
- [13] Sybilski D., Bańkowski W., Pałys M., Mularzuk R.: Wdrożenie w Polsce konstrukcji nawierzchni asfaltowej odpornej na koleinowanie i zmęczenie. VIII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 6-7 maja 2002
- [14] Sybilski D., Pałys M., Mularzuk R., Bańkowski W.: Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW–WMS 2002). Zeszyt 63, Seria I IBDiM

- [15] Sybilski D., Bańkowski W., Mularzuk R.: Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie (ZW-WMS 2006) Wydanie II uzupełnione. Informacje, instrukcje, zeszyt 70, IBDiM, Warszawa 2006.
- [16] Szydło A.: Doświadczalne nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu na autostradzie A4 i na lotnisku w Lublinku. Drogownictwo 11, 2006
- [17] Szydło A.: Technologia budowy autostrady A2 o nawierzchni betonowej. Budownictwo, Technologie, Architektura nr 2, 2010

## **THE ROLE OF SCIENCE IN THE DEVELOPMENT OF THE PAVEMENT DESIGN AND ROAD MATERIALS**

### **Summary**

The article presents progress in road construction in recent years, with emphasis on the participation of the scientific community in Poland. The authors show the changes in pavement design, technologies and materials used in road construction, test methods of materials and pavements. Furthermore, the problems to be solved in the nearest future in the near future, in cooperation of academic and research institutions, road administration, and contractors.

Tomasz SZUBA  
TINES S.A.

## **WŁAŚCIWOŚCI INNOWACYJNYCH SYSTEMÓW I MATERIAŁÓW STOSOWANYCH W KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DRÓG SZYNOWYCH**

### **STRESZCZENIE**

Zwiększenie trwałości eksploatacyjnej nawierzchni, ograniczenie niekorzystnych oddziaływań na środowisko w postaci drgań, hałasu wtórnego i prądów błądzących, skrócenie czasu realizacji robót oraz obniżenie kosztów eksploatacyjnych, a także zwiększenie bezpieczeństwa ruchu - to główne kierunki rozwoju i jednocześnie najważniejsze cechy bezpodсыpkowych rozwiązań konstrukcji nawierzchni torowej w drogach szynowych.

**SŁOWA KLUCZOWE:** drgania, hałas, drogi szynowe

### **1. ZWIĘKSZENIE TRWAŁOŚCI EKSPLOATACYJNEJ NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ**

Cechą podсыpkowych konstrukcji nawierzchni w drogach szynowych, powodującą konieczność okresowej regulacji położenia toru, jest narastanie jego nierówności, a co za tym idzie wzrost kosztów utrzymania oraz zakłócenia w prowadzeniu ruchu, spowodowane koniecznością zamknięć toru na czas robót. Wyeliminowanie tych niedogodności eksploatacyjnych skłania coraz częściej Inwestorów do stosowania bezpodсыpkowych konstrukcji nawierzchni, które w dużym stopniu ograniczają narastanie nierówności toru. Tym samym nakłady na utrzymanie nawierzchni bezpodсыpkowych są znacząco niższe od kosztów ponoszonych przy zastosowaniu konstrukcji podсыpkowej. Pomimo, że znacznie bardziej zaawansowane technologicznie i materiałowo nawierzchnie bezpodсыpkowe mają nieco wyższe koszty budowy w porównaniu do konstrukcji podсыpkowych, to łączne koszty ich wykonania i eksploatacji odniesione do całego tzw. cyklu życia są korzystniejsze w porównaniu z tradycyjnymi konstrukcjami podсыpkowymi.

Na trwałość konstrukcji bezpodсыpkowych wpływa przede wszystkim wysoka jakość stosowanych materiałów i wyrobów, jak również duża wytrzymałość podbudowy betonowej zastępującej warstwę podсыпки. Rozwiązania te są odporne na wpływ czynników atmosferycznych, a także substancji chemicznych. Szczelność nawierzchni bezpodсыpkowej – zwłaszcza w torowiskach tramwajowych - eliminuje destrukcyjny wpływ wód opadowych, zapewniając wysoką stabilność i wymaganą nośność podłoża gruntowego, a tym samym trwałość całej konstrukcji drogi szynowej. Cecha ta jest szczególnie istotna zwłaszcza przy eksploatacji przejazdów kolejowych poddawanych intensywnym obciążeniom od ruchu



samochodowego i ruchu pojazdów szynowych. Zastosowanie na przejazdach rozwiązań bezpodsydkowych daje możliwość osiągnięcia pełnej integracji konstrukcyjnej nawierzchni kolejowej i drogowej, rozwiązując nie tylko problem szczelności, ale także ich zróżnicowanych osiadań prowadzących w tradycyjnych rozwiązaniach do nierówności nawierzchni drogowej. Stabilność i niezmienność położenia toru w konstrukcji bezpodsydkowej znacząco ogranicza narastanie oddziaływań dynamicznych pomiędzy torem i pojazdem szynowym, dzięki czemu zarówno komfort jazdy, jak i zużycie szyn i kół pojazdów szynowych są ograniczone.

## **2. OGRANICZENIE ODDZIAŁYWAŃ W POSTACI DRGAŃ I HAŁASU**

Poruszający się tabor kolejowy, zwłaszcza z dużymi prędkościami, wywołuje drgania powietrzne i materiałowe niekorzystne dla środowiska otaczającego trasy komunikacyjne. Drgania te są transmitowane poprzez grunt i fundamenty na konstrukcję budynków, a także na ludzi przebywających w tych budynkach, zaś oddziaływania dynamiczne wpływają bezpośrednio na wzrost odkształceń w nawierzchni szynowej oraz degradację obiektów infrastruktury torowej.

Niekorzystne oddziaływania ruchu pojazdów szynowych na otoczenie ich tras, występujące w postaci wibracji i hałasu stanowią problem szczególnie uciążliwy w obszarach zurbanizowanych. Ograniczenie tych oddziaływań jest możliwe dzięki zastosowaniu nowoczesnych rozwiązań wibroizolacyjnych w zakresie infrastruktury torowej. Sprężyste posadowienie szyn ogranicza wzbudzenie drgań części składowych pojazdu, zwłaszcza tarczy koła, które jako masa niesprężynowana stanowi jedno z głównych źródeł emisji wibracji i hałasu.

Na obiektach wymagających szczególnej wibroizolacji, takich jak mosty, wiadukty czy tunele, skutecznym rozwiązaniem jest wprowadzenie do konstrukcji drogi szynowej podtorowych mat wibroizolacyjnych, które stanowią ciągłe, sprężyste podłoże nawierzchni torowej o wymaganej charakterystyce dostosowanej do warunków wibroizolacji konkretnych budynków. Sprężysta warstwa w postaci wibroizolacyjnej maty podtorowej stanowi barierę na drodze transmisji drgań od nawierzchni do podtorza i dalej poprzez grunt do zabudowań w pobliżu trasy. Maty wibroizolacyjne mogą być stosowane zarówno w podsydkowych, jak i bezpodsydkowych konstrukcjach nawierzchni szynowych. Zastosowanie ich ma na celu tłumienie drgań materiałowych transmitowanych od toru do otoczenia trasy. Obowiązujące obecnie wymagania dotyczące ochrony środowiska spowodowały, że maty wibroizolacyjne coraz częściej stosuje się nie tylko w konstrukcji torowisk tramwajowych i metra, lecz również na liniach kolejowych.

## **3. OCHRONA PRZED PRĄDAMI BŁĄDZĄCYMI**

Stosowane w Polsce zasilanie trakcji elektrycznej prądem stałym 3 kV wymaga skutecznej ochrony środowiska przed prądami błędzącymi. Z tego powodu nawierzchnia szynowa musi charakteryzować się niską rezystancją, która jest miarą oporu czynnego z jakim nawierzchnia szynowa przeciwstawia się przepływowi prądu elektrycznego, ale także niską konduktancją pomiędzy szyną i podłożem, stanowiącą miarę upływności prądu do otoczenia trasy. Przy dużej rezystancji sieci powrotnej, na końcach odcinków zasilania, występuje znaczna różnica napięcia między szynami, a podłożem oraz upływ prądu do ziemi. Skuteczna izolacja elektryczna szyn eliminuje powstawanie prądów błędzących, a tym samym korozję elektrochemiczną elementów stalowych znajdujących się w pobliżu toru (sieć wodociągowa, zbrojenie konstrukcji betonowych), jak i w samej konstrukcji nawierzchni (korozja szyn).

#### 4. SKRÓCENIE CZASU BUDOWY, MODERNIZACJI LUB REMONTU NAWIERZCHNI DRÓG SZYNOWYCH

Remont lub modernizacja drogi szynowej z zasady powoduje zakłócenia w prowadzeniu przewozów. Skrócenie czasu ich realizacji przekłada się wprost na obniżenie strat finansowych spowodowanych zamknięciami toru. Efekt ten można uzyskać stosując powtarzalne rozwiązania, jakimi są elementy prefabrykowane.

Skrócenie czasu robót nabiera szczególnego znaczenia na przejazdach, gdzie proces budowy wywołuje zakłócenia ruchu zarówno po stronie transportu szynowego, jak i drogowego. Zintegrowana nawierzchnia kolejowo–drogowa stosowana w systemach konstrukcyjnych przejazdów oferowanych przez firmę TINES S.A. wymaga maksymalnie kilkudobowych zamknięć toru i jezdni związanych z wykonaniem przejazdu lub remontem toru w drodze szynowej.

W przypadku zastosowania systemu szyny w otulinie na mostach stalowych, istnieje możliwość wykonania całego przęsła poza placem budowy jako prefabrykowane segmenty z ukształtowanymi kanałami szynowymi, a następnie zabudowania w formie gotowego elementu na przyczółkach.



Fot. 1. Linia kolejowa nr 161  
Katowice - Szopienice, km 1,075 – prefabrykowane przęsło mostu z nawierzchnią w systemie szyny w otulinie



Fot. 2. Linia kolejowa nr 403, Szydłowo –  
prefabrykowane przęsło mostu z nawierzchnią w systemie szyny w otulinie

#### 5. DOSTĘPNOŚĆ TORU DLA POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH W SYTUACJACH AWARYJNYCH

Powszechnie stosowane w drogach szynowych konstrukcje nawierzchni (podsypkowe i bezpodsypkowe) uniemożliwiają poruszanie się po niej pojazdów samochodowych m.in. wskutek konieczności stosowania punktowych przytwierdzeń szyn do odkrytych podpór szynowych. Umożliwienie poruszania się pojazdów drogowych po nawierzchni torowej zintegrowanej z nawierzchnią drogową ma szczególne znaczenie w tunelach i na stacjach podziemnych. Rozwiązania takie jak system szyny w otulinie, w którym szyna jest zakryta w sposób ciągły do poziomu powierzchni tocznej główek szyn, umożliwiają w obszarze toru przejazd pojazdów samochodowych, co jest bardzo istotne zwłaszcza dla prowadzenia akcji

ratowniczych w tych obiektach. System szyny w otulinie spełnia te wymagania, co potwierdzają liczne jego zastosowania w całej Europie.



Fot. 3. Stacja podziemna kolejowa w Madrycie z bezpodsypkową konstrukcją nawierzchni według systemu szyny w otulinie.

## **6. ZWIĘKSZENIE BEZPIECZEŃSTWA W PROWADZENIU RUCHU**

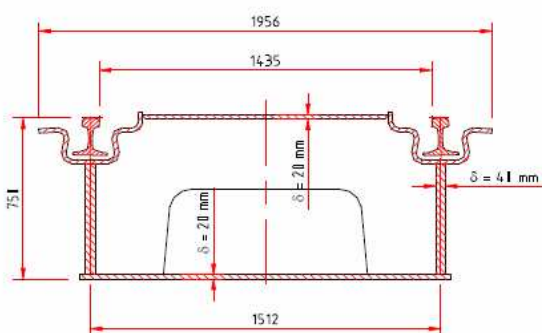
Bezpieczeństwo ruchu w transporcie szynowym ma zawsze charakter priorytetowy. Kluczowym czynnikiem decydującym o bezpieczeństwie, szczególnie przy dużych prędkościach pociągów, jest trwałość i wytrzymałość konstrukcji nawierzchni oraz niezmiennosc układu geometrycznego toru. Wysoka wytrzymałość elementów betonowych – płyt żelbetowych wylewanych na mokro lub prefabrykowanych, szynowych podpór blokowych, jak również zastosowanych w tych rozwiązaniach różnej postaci elastomerów spełnia te wymagania. Bepodsypkowe konstrukcje zapewniają niezmiennosc położenie względem siebie szyn w trakcie eksploatacji, zapewniając tym samym stałą szerokość toru, jak również eliminując poziome i pionowe nierówności toru. Zwiększenie trwałości i zapewnienie niezmienności układu geometrycznego toru nie tylko ogranicza dynamiczne oddziaływania między torem a taborem, ale przede wszystkim zapewnia bezpieczne poruszanie się po nim pojazdów szynowych. Skutki w przypadku wystąpienia pęknięcia szyny w torze w systemie szyny w otulinie nie stanowią zagrożenia dla bezpiecznego prowadzenia ruchu, ponieważ przytwierdzenie szyny poprzez poliuretanową żywicę do betonowej płyty zapobiega jej przemieszczeniu zachowując ciągłość toku niezbędną do przeprowadzenia zestawu kołowego.

## **7. ZMNIJSZENIE WYSOKOŚCI KONSTRUKCYJNEJ OBIEKTÓW INŻYNIERYJNYCH**

Wysokość konstrukcji mostowych i gabarytów tuneli ma istotne znaczenie zarówno podczas ich budowy, jak i późniejszej eksploatacji. Dlatego coraz częściej są stosowane konstrukcje nawierzchni szynowych dające możliwość zmniejszenia wysokości konstrukcyjnej obiektów inżynierskich czy przekrojów poprzecznych tuneli. Skutkuje to skróceniem czasu budowy, zmniejszeniem kosztów wykonania danego obiektu oraz wysokości konstrukcji nawierzchni przy zachowaniu skrajni. Bepodsypkowe rozwiązania konstrukcji nawierzchni torowej – zwłaszcza konstrukcji w systemie szyny w otulinie (ERS) - spełniają te wymagania i z powodzeniem są stosowane na wielu obiektach inżynierskich oraz w tunelach.



Fot. 4. Obiekt inżynierski z nawierzchnią wykonaną w systemie szyny w otulinie ERS – Szydłowo, linia nr 403



Fot. 5. Przykład modułowej konstrukcji nawierzchni w systemie ERS na obiekcie inżynierskim - Holandia

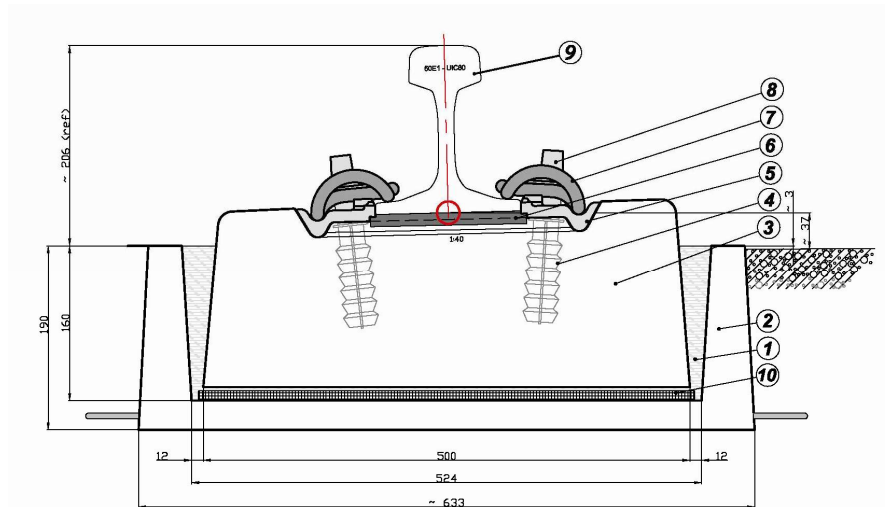
## 8. BEZPODSYPKOWE KONSTRUKCJE NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ NA PRZYKŁADACH ZREALIZOWANYCH INWESTYCJI TINES W POLSCE ORAZ W KRAJACH EUROPY ŚRODKOWO-WSCHODNIEJ

### 8.1. Blokowe podpory szynowe w otulinie – system EBS (EMBEDDED BLOCK SYSTEM)

Blokowe podpory szynowe w otulinie - system EBS, są bezpodsytkowym rozwiązaniem konstrukcji nawierzchni szynowej. Zapewniają one sprężyste przenoszenie obciążeń od pojazdów szynowych i tłumienie drgań wywołanych ich przejazdem. W systemie tym szyny o dowolnym profilu nie są przytwierdzone do podkładów belkowych, lecz do pojedynczych betonowych bloków podporowych zabudowanych w prefabrykowanych gniazdach betonowych, lub stalowych przy użyciu sprężystej masy zalewowej. Betonowy blok podporowy, na którym jest zabudowany system sprężystego przytwierdzenia szyn, spełnia wymagania wytrzymałościowe stawiane podporze szynowej. Masa zalewowa z żywicy poliuretanowej, stanowiąca sprężystą otulinę betonowego bloku podporowego zapewnia małą wartość współczynnika przesztywnienia dynamicznego tej podpory, co wpływa korzystnie na przenoszenia pionowych i poziomych obciążeń od kół i tłumienie drgań wywołanych ruchem taboru. Na dnie gniazda pod betonowym blokiem podporowym jest umieszczona sprężysta podkładka wibroizolacyjna. W oferowanym systemie istnieje możliwość dostosowania sztywności statycznej i dynamicznej podpory blokowej, do

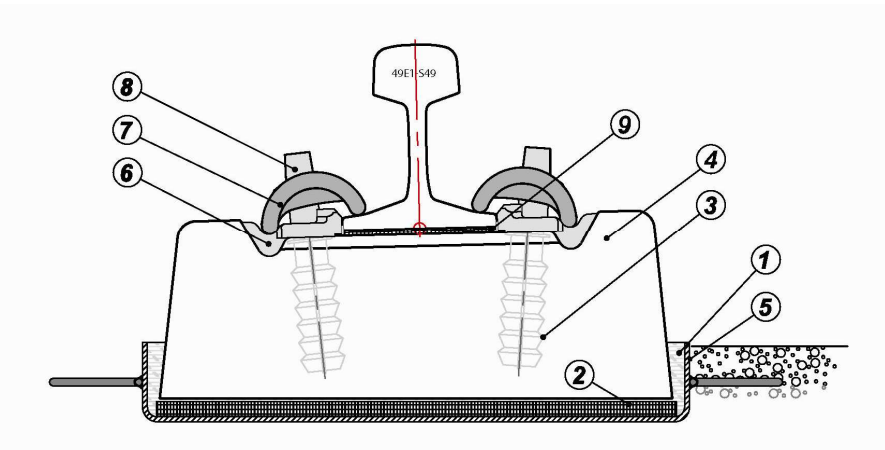


lokalnych warunków eksploatacyjnych, poprzez dobór cech materiałowych sprężystej otuliny bloku i podkładki znajdującej się pod blokiem.



Rys.1. System EBS - wariant z prefabrykowanym gniazdem betonowym

1. otulina bloku podporowego - masa zalewowa Edilon Corkelast®, 2. prefabrykowane gniazdo betonowe, 3. betonowy blok podporowy, 4. dybel śrubowy, 5. prowadnica kątowna, 6. przekładka podszywna, 7. łapka sprężysta, 8. śruba, 9. szyna, 10. sprężysta podkładka wibroizolacyjna Edilon Resilient Strip.



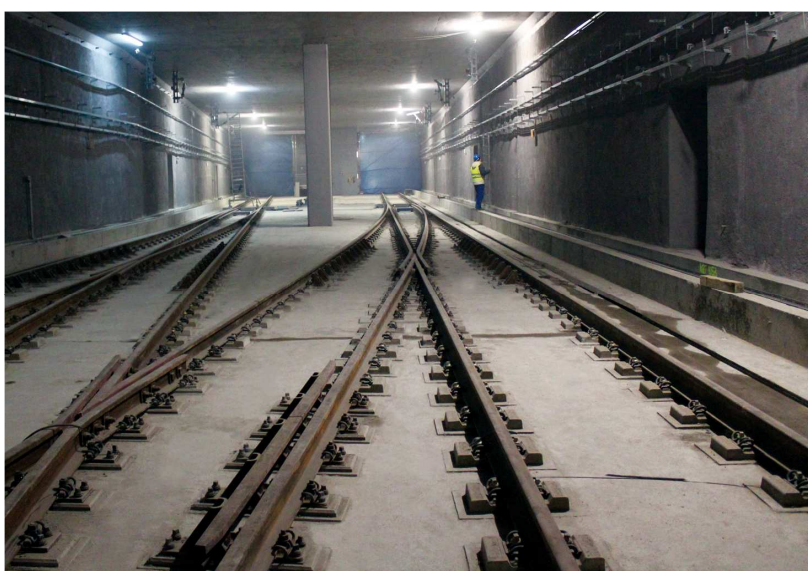
Rys. 2. System EBS - wariant z gniazdem stalowym

1. otulina bloku podporowego - masa zalewowa Edilon Corkelast® w prefabrykowanym gnieździe stalowym, 2. dybel śrubowy, 3. betonowy blok podporowy, 4. gniazdo stalowe, 5. prowadnica kątowna, 6. łapka sprężysta, 7. śruba, 8. przekładka podszywna

Mosty, wiadukty, tunele, tory szlakowe i stacyjne, rozjazdy i skrzyżowania, a także tory na odcinkach prostych i w łukach o promieniu  $R > 160$  m, to obiekty, na których system ten może być stosowany. Konstrukcja nawierzchni bezpodsypankowej w systemie blokowych podpór szynowych w otulinie EBS umożliwia montaż urządzeń specjalnych takich jak odbojnice, czy prowadnice, jak również rozjazdów i skrzyżowań torów.



Fot. 6. Nawierzchnia bezpodsytkowa w systemie EBS na stacji kolejowej – Tunel na lotnisko Okęcie



Fot. 7. Podwójne połączenie torów na dojeździe do stacji Warszawa lotnisko Chopina wykonane w systemie EBS

Blokowe podpory szynowe zostały zastosowane w Polsce na kilku dużych i ważnych dla infrastruktury kolejowej realizacjach. Wśród najważniejszych należy wskazać wymianę nawierzchni podsytkowej na bezpodsytkową w systemie EBS w tunelu średnicowym w Warszawie, przebudowę nawierzchni na wszystkich torach peronów Dworca Wrocław Główny, budowę łącznicy kolejowej z portem lotniczym Okęcie w Warszawie, czy 3 kilometry toru na odcinku bielańskim I linii Metra Warszawskiego. W przyszłym roku zostanie rozpoczęta budowa nawierzchni torowej w systemie EBS na odcinku centralnym II linii metra.

Blokowe podpory szynowe w otulinie - system EBS - spełniają wszystkie wymagania stawiane systemom przytwierdzeń stosowanych w nawierzchniach bezpodsytkowych co potwierdziły badania wykonane przez laboratorium Uniwersytetu Technicznego w Monachium [9] uznawanego w Europie za wiodącą jednostkę w zakresie badań systemów i wyrobów stosowanych w drogach szynowych.

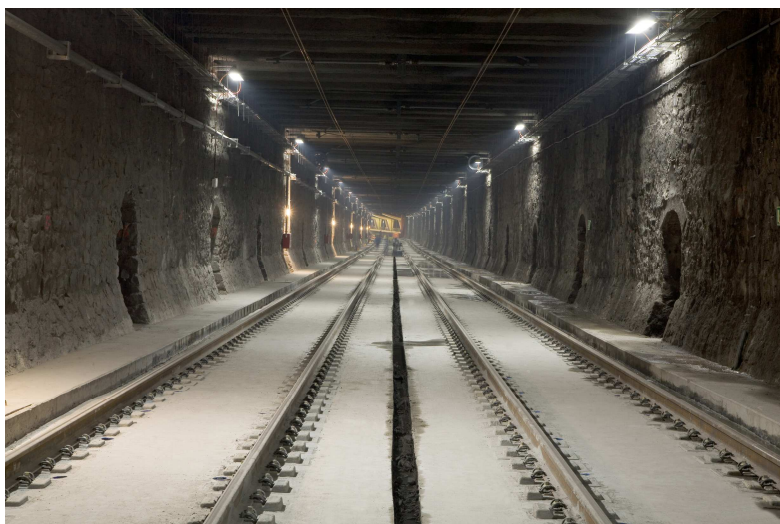


Wrocławski Dworzec Główny jest pierwszym polskim dworcem kolejowym, w torach którego zastosowano bezpodсыpkowe systemy nawierzchni szynowej TINES SA. Specyfika położenia torów w obrębie dworca na 60 obiektach inżynieryjnych, w tym na różnego rodzaju przęsłach stalowych i betonowych, sprawiła, że celowe okazało się zastosowanie systemów bezpodсыpkowych. System EBS obniży koszty eksploatacyjne oraz ograniczy oddziaływania dynamiczne. Dzięki przeznaczaniu znacznych środków na modernizację infrastruktury kolejowej z wykorzystaniem nowoczesnych technologii poprawi się estetyka torów, a także ułatwi ich utrzymanie.



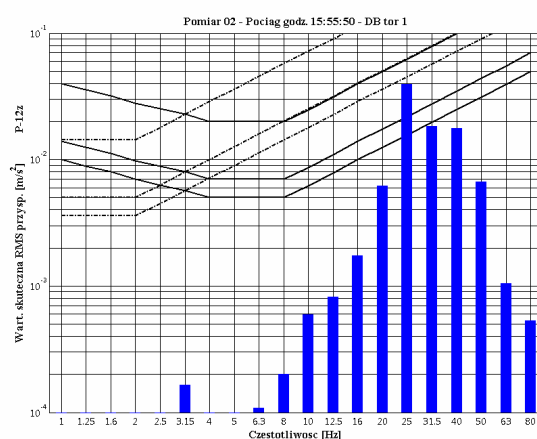
Fot. 8. Zastosowanie nawierzchni bezpodсыpkowej w systemie EBS w modernizacji Dworca Wrocław Główny

W przypadku Tunelu Średnicowego w Warszawie po wieloletnim użytkowaniu jego nawierzchnia uległa degradacji i wymagała remontu, a prędkość pociągów poruszających się w tunelu została ograniczona do 20 km/h. Ze względu na specyficzne warunki i konieczność zastosowania wibroizolacji zdecydowano o wyborze konstrukcji nawierzchni bezpodсыpkowej z zastosowaniem blokowych podpór szynowych w otulinie.

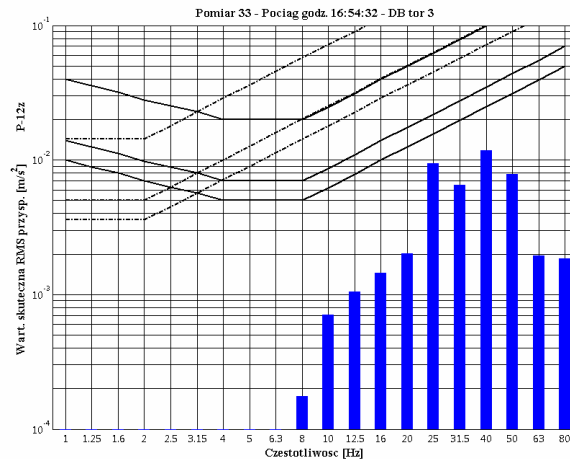


Fot. 9. Zastosowanie nawierzchni bezpodsypkowej w systemie EBS w tunelu Średnicowym w Warszawie

Po przeprowadzeniu analizy propagacji drgań i jego wpływu na ludzi w sąsiednich budynkach wyniknęła konieczność zastosowania dodatkowej wibroizolacji. Problem ten rozwiązano poprzez zastosowanie mat wibroizolacyjnych oraz nawierzchni bezpodsypkowej w systemie EBS. W rezultacie po modernizacji prędkość poruszającego się taboru w połączeniu trzech głównych dworców kolejowych w Warszawie: Zachodniego, Śródmieście oraz dworca Wschodniego, została podwyższona do 60 km/h. Pomiary kontrolne drgań [2] przeprowadzone po modernizacji tunelu, w którym zastosowano system EBS w powiązaniu z systemem masy odsprężynowanej, wykazały dużą skuteczność zastosowanego rozwiązania. Analiza porównawcza drgań w budynkach położonych nad tunelem wykazała, że w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 40 Hz poziom drgań zmniejszył się po modernizacji nawierzchni do poziomu poniżej granicznych wartości dopuszczalnych, które były przekroczone przed modernizacją.



Rys.3. Wykres poziomu drgań wywołanych przejazdem pociągu w budynku przy ul Smolnej 9 – przed modernizacją nawierzchni (nawierzchnia podsypkowa)



Rys. 4. Wykres poziomu drgań wywołanych przejazdem pociągu w budynku przy ul Smolnej 9 – po modernizacji nawierzchni (nawierzchnia bezpodsypkowa w systemie Edilon Corkelast EBS)

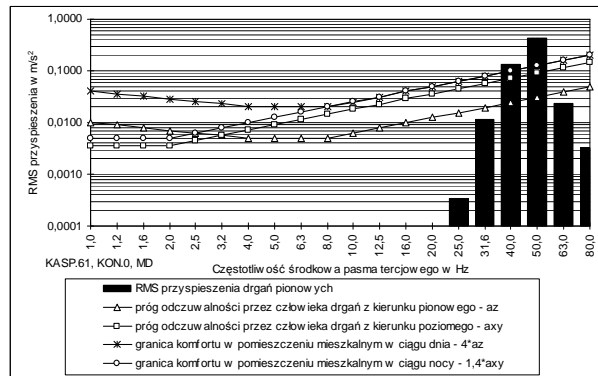
Stosowany w Metrze Warszawskim system przytwierdzenia szyn w postaci węzłów kotwiących okazał się nie w pełni skutecznym rozwiązaniem w zakresie wibroizolacyjnej ochrony budynków niektórych odcinków I linii metra znajdujących się w sąsiedztwie tunelu.



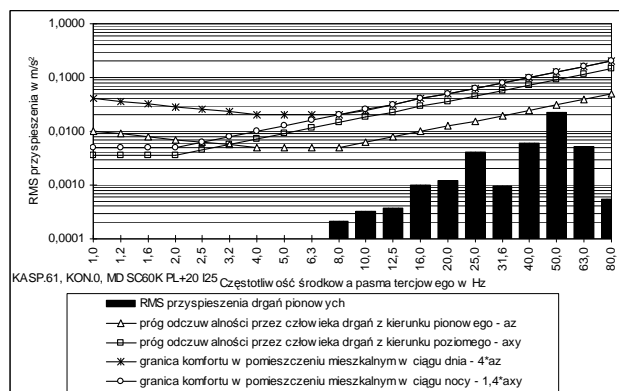
Fot. 10. Zastosowanie nawierzchni bezpodsypkowej w systemie EBS w odcinku bielańskim Metra Warszawskiego

Mając na uwadze niekorzystne oddziaływanie taboru kolejowego w postaci drgań na otoczenie trasy, jak również fakt płytkiego położenia tunelu na odcinku bielańskim, a także wiekową infrastrukturę kubaturową oraz jej wrażliwość na drgania - na podstawie przeprowadzonych analiz i prognozy redukcji wibracji na odcinku tym zdecydowano

o wdrożeniu rozwiązań firmy TINES w postaci węzłów wibroizolacyjnych. Stanowią one adaptację systemu szyny w otulinie (ERS). Przeprowadzone przez Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej analizy prognostyczne, oraz badania po ukończeniu realizacji [3] potwierdziły zasadność przyjętej konstrukcji nawierzchni szynowej w systemie EBS wraz z matami wibroizolacyjnymi oraz wykazały, że we wszystkich budynkach, które były objęte badaniami, poziom drgań został obniżony do wartości poniżej granicznych wartości dopuszczalnych.



Rys. 5. Tunel szlakowy - prognoza drgań do otoczenia trasy



Rys. 6. Tunel szlakowy - wykres poziomu drgań wywołanych przejazdem pociągu metra. Zastosowanie w nawierzchni systemu EBS i mat wibroizolacyjnych

Potwierdzona wynikami badań skuteczność ograniczenia transmisji drgań do otoczenia tunelu na odcinku bielańskim, zdecydowała o zastosowaniu blokowych podpór szynowych w otulinie na centralnym odcinku nowo budowanej II linii metra w Warszawie. W miejscach, gdzie analizy prognostyczne wykazały potrzebę zwiększonej wibroizolacji zaproponowano dodatkowo zastosowanie mat wibroizolacyjnych TRACKELAST RPU Blue. Ponad 40 tysięcy sztuk blokowych podpór szynowych w otulinie do torów szlakowych, rozjazdów i skrzyżowań oraz urządzeń specjalnych, a także przeszło 55 tysięcy m<sup>2</sup> mat wibroizolacyjnych TRACKELAST znajdzie zastosowanie przy jego budowie.

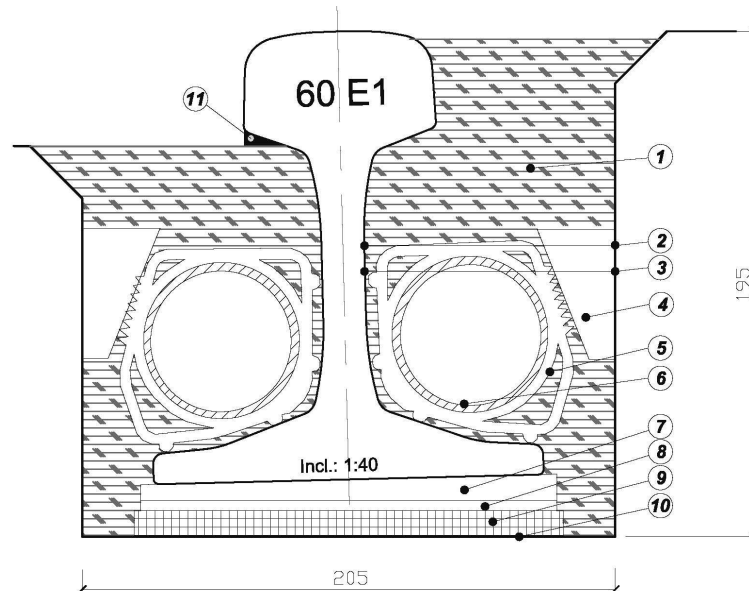
## 8.2. System szyny w otulinie ERS (EMBEDDED RAIL SYSTEM)

System szyny w otulinie ERS to rozwiązanie mocowania szyn w konstrukcji bezpodsytkowej, które zastępuje klasyczne systemy ich mocowania. Prefabrykowana bądź wylewana na mokro płyta żelbetowa z ukształtowanymi kanałami szynowymi lub konstrukcja podbudowy z wyodrębnionymi stalowymi kanałami szynowymi zastępuje warstwę podsytki

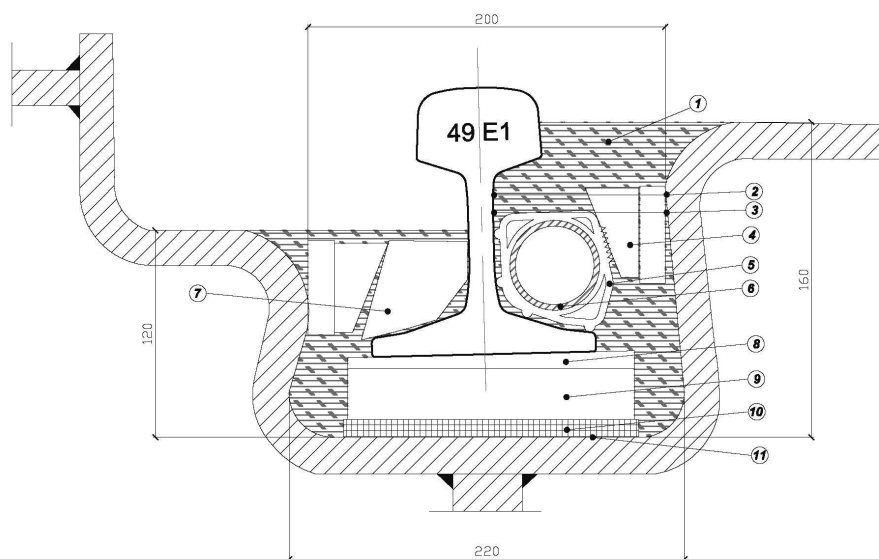


z tłuczni kamiennego, podkłady oraz elementy przytwierdzające szyny. Szyny są mocowane w systemie ERS w kanałach szynowych za pomocą masy zalewowej na bazie żywicy poliuretanowej, a ciągłe sprężyste podparcie szyny zapewnia przedkładka podszynowa umieszczona pod jej stopką.

Dzięki wysokiej przyczepności masy zalewowej do betonu i stali zbędne jest bezpośrednie przytwierdzenie szyn do płyty lub konstrukcji stalowej. System ten zapewnia sprężyste przenoszenie obciążeń od pojazdów szynowych i tłumienie wibracji oraz hałasu wtórnego wywołanych ich przejazdem. Poprzez dobór sztywności ciągłej przedkładki podszynowej i masy zalewowej uzyskuje się wymaganą do warunków lokalnych sztywność podparcia szyn i związane z tym ich pionowe ugięcie. Trwałość, łatwa technologia montażu, znaczne zmniejszenie wysokości konstrukcyjnej nawierzchni i kosztów jej utrzymania sprawiły, że system szyny w otulinie jest sprawdzonym i stosowanym od kilkadziesiąt lat w Europie i na świecie rozwiązaniem. System szyny w otulinie ERS został również przebadany i zaaprobowany przez Uniwersytet Techniczny w Monachium [6], [7].



Rys.7.: 1. sprężysta otulina szyny – masa zalewowa Edilon Corkelast<sup>®</sup>, 2. powierzchnie zagruntowane materiałem Edilon Primer U90WB, 3. powierzchnie pokryte materiałem Edilon Primer 21 zwiększającym przyczepność masy zalewowej, 4. klin Edilon Wedge do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie poziomej, 5. element mocujący rurę PCV – Edilon Spacer, 6. rura PCV - zmniejszająca zużycie masy zalewowej, może służyć również do przeprowadzenia kabli teletechnicznych, 7. podkładka klinowa Edilon Inclination Shim zapewniająca pochylenie szyny (1:20 lub 1:40), 8. podkładki podszynowe Edilon Shim do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie pionowej, 9. ciągła, sprężysta przedkładka podszynowa Edilon Resilient Strip, 10. klej Edilon Dex<sup>®</sup>-G do wklejenia przedkładki podszynowej, 11. materiał uszczelniający Edilon Ediseal<sup>®</sup> VA-25



Rys.8.: 1. sprężysta otulina szyny – masa zalewowa Edilon Corkelast<sup>®</sup>, 2. powierzchnie zagruntowane materiałem Edilon Primer U90WB, 3. powierzchnie pokryte materiałem Edilon Primer 21 zwiększającym przyczepność masy zalewowej, 4. klin Edilon Wedge do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie poziomej, 5. element mocujący rurę z PCV – Edilon Spacer, 6. rura PCV - zmniejszająca zużycie masy zalewowej, może służyć również do przeprowadzenia kabli teletechnicznych, 7. dodatkowy klin do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie poziomej, 8. podkładka klinowa Edilon Inclination Shim zapewniająca pochylenie szyny (1:20 lub 1:40), 9. podkładki podszytowe Edilon Shim do regulacji położenia szyny w płaszczyźnie pionowej, 10. ciągła, sprężysta przekładka podszytowa Edilon Resilient Strip, 11. klej Edilon Dex<sup>®</sup>-G do wklejenia przekładki podszytowej

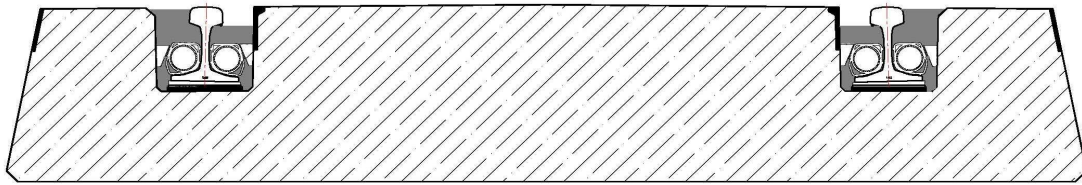


Fot. 11. Zastosowanie systemu szyny w otulinie ERS na obiektach inżynierskich

### 8.3. Zintegrowana nawierzchnia kolejowo-drogowa LC-L

Zintegrowana nawierzchnia kolejowo–drogowa typu LC-L to bezpodsypkowa konstrukcja stosowana na przejazdach i przejściach dla pieszych. Jej podstawowym elementem jest prefabrykowana płyta żelbetowa. W płycie są ukształtowane kanały szynowe, w których zabudowane są szyny w systemie ERS.





Rys. 9.: 1. Prefabrykowana płyta żelbetowa, 2. Mocowanie szyny - system szyny w otulinie ERS

LC-L dzięki zintegrowaniu nawierzchni torowej z drogową jest skutecznym rozwiązaniem problemu nierównomiernego osiadania toru i jezdni oraz uciążliwego klawiszowania płyt, występującego przy zabudowie przejazdu z wykorzystaniem tradycyjnych płyt typu CBP. Zintegrowana nawierzchnia typu LC-L spełnia wszystkie wymagania stawiane nowoczesnym konstrukcjom nawierzchni układanym na przejazdach. Charakteryzuje się ona dużą odpornością na obciążenia od coraz cięższych pojazdów samochodowych, odpornością na działania czynników atmosferycznych, dużą trwałością, a także zmniejszeniem oddziaływań dynamicznych na konstrukcję drogi szynowej i otoczenie, wywołanych przez przejeżdżającego pojazdy szynowe. Wyróżniającą cechą tej nawierzchni jest krótki czas jej wbudowania. Wynika to m.in. z częściowej prefabrykacji elementów przejazdu i zastosowania płyt o długościach dostosowanych do szerokości pasów ruchu na jezdni. Nawierzchnia LC-L eliminuje także destrukcyjne działanie wody dzięki szczelności pomiędzy główką szyny i podbudową oraz w miejscach łączenia płyt. Górna powierzchnia płyt z ukształtowanym spadkiem, a także możliwość zastosowania systemowych rynienek odwadniających montowanych na czołach płyt, ułatwia odprowadzenie wód opadowych z rejonu przejazdu. Rozwiązanie to zapewnia bezpieczeństwo ruchu, wymagające minimalnego utrzymania oraz wydłużające żywotność nawierzchni w rejonie przejazdu przy jednoczesnym zachowaniu jej wysokich parametrów eksploatacyjnych.



Fot. 12. Zastosowanie zintegrowanej nawierzchni kolejowo – drogowa LC-L

#### 8.4. Maty wibroizolacyjne TRACKELAST

Obecne wymagania dotyczące ochrony środowiska, w miejscach gdzie jest potrzebna szczególna wibroizolacja wymagają zastosowania na obszarach zurbanizowanych dodatkowych zabezpieczeń od drgań i hałasu wtórnego. Skutecznym rozwiązaniem ochrony

otoczenia przed niekorzystnym oddziaływaniem pojazdów szynowych w postaci drgań jest zastosowanie w konstrukcji drogi szynowej mat wibroizolacyjnych stanowiących barierę na drodze transmisji drgań od nawierzchni do podtorza i dalej poprzez grunt do zabudowań w pobliżu trasy. W zależności od konstrukcji nawierzchni szynowej stosuje się różne rodzaje mat.

W konstrukcjach podsypkowych stosuje się maty TRACKELAST SBM, zespolone z dwóch stron ze specjalną elastyczną warstwą ochronną o grubości 3 mm, wytrzymałej oraz odpornej na przebicie geowłókniny, która chroni matę przed uszkodzeniami od podsypki oraz ostrych elementów występujących w podłożu. Maty wibroizolacyjne znajdują zastosowanie również w konstrukcjach bezpodsypkowych – tj. maty TRACKELAST STM, gdzie geowłókninę zastąpiono cienką warstwą elastycznego geosyntetyku. Właściwości sprężyste mat dobierane są w taki sposób by tłumić krótkie, intensywne obciążenia dynamiczne w warunkach stałego nacisku przenoszonego od warstwy podsypki lub płyty podbudowy. Maty TRACKELAST zachowują swoje właściwości w czasie, przy dużej częstotliwości długotrwałych obciążeń w zróżnicowanych warunkach klimatycznych. Odporność na działanie agresywnego środowiska, trwałe i sprężyste podparcie toru gwarantujące tłumienie wibracji, a także dobra izolacja elektryczna zapewniająca ochronę przed prądami błędzającymi to cechy wyróżniające maty typu TRACKELAST. Właściwości te zostały potwierdzone badaniami wykonanymi przez laboratorium Uniwersytetu Technicznego w Monachium [1], [4], [5], [8], uznawanego w Europie za wiodącą jednostkę w zakresie badań systemów i wyrobów stosowanych w nawierzchniach szynowych. Oferowane przez firmę TINES maty zostały również zaaprobowane do stosowania w budownictwie przez Instytut Kolejnictwa i Instytut Badawczy Dróg i Mostów.

Jednym z najważniejszych oraz największych projektów kolejowych, gdzie są wbudowane duże ilości mat wibroizolacyjnych jest linia kolejowa E65/CE 65 na odcinku Warszawa – Gdynia – obszar LCS Gdańsk i LCS Gdynia, stacja Sopot, stacja Gdańsk Wrzeszcz, a także odcinki Gdańsk Główny – Gdańsk Wrzeszcz oraz Gdańsk Wrzeszcz – Granica LCS. Położenie modernizowanej infrastruktury kolejowej na terenie trójmiejskiej aglomeracji wymusiło, zgodnie z decyzją środowiskową, zastosowanie mat wibroizolacyjnych.



Fot. 13. Zastosowanie mat wibroizolacyjnych TRACKELAST w nawierzchni peronów Dworca Głównego w Katowicach

Maty wibroizolacyjne TRACKELAST SBM RPU Blue zostały również zastosowane na Dworcu Głównym we Wrocławiu i w Krakowie, a także na Dworcu w Katowicach. O ich wyborze zdecydowały wykonane przez niezależne Instytuty Naukowo-Badawcze prognozy dotyczące analizy drgań wywołanych przez ruch pojazdów szynowych.



Fot. 14. Zastosowanie mat wibroizolacyjnych TRACKELAST w nawierzchni Dworca Kraków Główny oraz Centralnej Magistrali Kolejowej

## 9. BADANIA ZMNIEJSZENIA DYNAMICZNYCH ODDZIAŁYWAŃ TABORU METRA WARSZAWSKIEGO PO MODERNIZACJI NAWIERZCHNI SZYNOWEJ NA DOŚWIADCZALNYM ODCINKU SZLAKU B-19

W dużych metropoliach, rolę głównego środka transportu miejskiego odgrywa metro, które zarazem generuje niekorzystne oddziaływania na środowisko w postaci drgań i hałasu. Na odcinku B-19 I linii Metra w Warszawie (pomiędzy stacjami A-18 Plac Wilsona i A-19 Marymont) na wysokości budynku przy ul. Słowackiego wykonano doświadczalny odcinek, na którym dotychczasowa konstrukcja nawierzchni szynowej została uzupełniona o dodatkowe węzły wibroizolacyjne. Ich zadaniem było ograniczenie transmisji drgań do budynku i zmniejszenie niekorzystnych oddziaływań na ludzi w nim przebywających. Wykonane pomiary drgań w budynku przed zabudową węzłów wibroizolacyjnych, a także po ich zabudowie wraz z przeprowadzoną analizą porównawczą otrzymanych wyników, wykazały skuteczność zaproponowanego rozwiązania. Pomiary wykonane zostały zgodnie z normą PN-B-02171:1988, polegającą na ocenie wartości skutecznej RMS (Root Mean Square) w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości i porównania jej z wartościami odpowiadającymi progowi odczuwalności drgań przez ludzi oraz wartościami odpowiadającymi zapewnianiu ludziom niezbędnego komfortu.

W punkcie pomiarowym P-12z (na posadzce IV piętra budynku) redukcja wartości skutecznych RMS drgań pionowych wyniosła od 40,36 % do 78,77%, natomiast w punkcie pomiarowym P-15z (na stropie piwnicy) od 24,16% do 89,51%. Wykonane analizy potwierdziły wcześniejsze prognozy, w efekcie których przy zastosowaniu węzłów wibroizolacyjnych powinno wystąpić wyraźne zmniejszenie niekorzystnych oddziaływań na budynek i ludzi w nim przebywających.

Działania mające na celu ograniczenie niekorzystnego wpływu w postaci drgań to jedno z najważniejszych zadań, które jest stawiane nowoczesnym nawierzchniom szynowym. Zastosowanie w istniejącym torowisku warszawskiego metra dodatkowych węzłów wibroizolacyjnych powinno zapewnić komfort użytkownikom obiektów znajdujących się w sąsiedztwie linii warszawskiego metra.

### Piśmiennictwo

- [1] Approval tests on sub ballast mats TRACKELAST SBM/RPU/Blue according to DIN 45673-5. Report nr 2612 z 03.12.2008 - Techniczny Uniwersytet w Monachium
- [2] Badania kontrolne drgań powodowanych przejazdami pociągów po kompleksowej naprawie tunelu średnicowego w Warszawie ze szczególnym uwzględnieniem

- budynków przy ul. Smolnej 9 i Al. Jerozolimskich 28. Politechnika Krakowska. Instytut Mechaniki Budowli, Kraków marzec 2007
- [3] Badania kontrolne wpływu na budynki i ludzi przebywających w budynkach drgań powodowanych przejazdami metra po nowej nawierzchni torowej tuneli szlakowych B21 I B22 oraz stacji A21 „Stare Bielany” i stacji A22 „Wawrzyszew”. Politechnika Krakowska. Instytut Mechaniki Budowli, Kraków marzec 2009
- [4] Determination of horizontal bedding modulus of TRACKELAST STM/RPU/Blue according to DIN 45673-7. Report nr 2619 z 19.03.2010 - Techniczny Uniwersytet w Monachium
- [5] Frost\_thaw tests on sub ballast mats of product family TRACKELAST SBM/RPU/Blue according to DIN 45673-5. Report nr 2808 z 26.10.2011 - Techniczny Uniwersytet w Monachium
- [6] Prüfung des F.F.-Systems INFUNDO mit kontinuierlich eingebetteter Schiene. Report nr 1645 z 01.10.1996 - Techniczny Uniwersytet w Monachium
- [7] Prüfung des F.F.-Systems EDILON ERS UIC 60 für –AG mit kontinuierlich eingebetteter Schiene. Report nr 1974 z 18.09.2002 - Techniczny Uniwersytet w Monachium
- [8] Test on resilient mats TRACKELAST STM/RPU/Blue for mass-spring-systems according to DIN 45673-7. Report nr 2490 z 03.12.2008 - Techniczny Uniwersytet w Monachium
- [9] Testing of EBS PLUS HR 60E1-MS according do DIN EN 13481-5. Report nr 2439 z 16.06.2008 - Techniczny Uniwersytet w Monachium

## **INNOVATIVE TECHNOLOGIES AND MATERIALS USED IN RAILWAYS INFRASTRUCTURE**

### **Summary**

The main development trends, which are the essential characteristics of non-ballasted rail superstructure at the same time, include increasing rail superstructure service life, mitigating adverse impacts of vibrations, secondary noise and stray currents on the environment, reduction of maintenance works duration and operating costs as well as increasing rail traffic safety.



Antoni SZYDŁO<sup>1</sup>  
Katedra Dróg i Lotnisk  
Politechnika Wrocławska

## **WKŁAD INŻYNIERÓW W ROZWÓJ INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ W POLSCE**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono rolę i zadania inżynierów w kształtowaniu infrastruktury transportowej w Polsce. Podano etapy przygotowania inwestycji począwszy od studiów projektowych poprzez nadzór aż do realizacji. Zwrócono uwagę na rolę Inżyniera – Konsultanta oraz Inżyniera Kontraktu. Zaprezentowano najważniejsze inwestycje infrastrukturalne realizowane w Polsce w ostatnich latach podając nowatorski wkład polskich inżynierów w rozwiązania projektowe, materiałowe i konstrukcyjne.

**SŁOWA KLUCZOWE:** zadania inżynierów, infrastruktura transportowa, rozwój

### **1. WPROWADZENIE**

Znaczne dotacje Unii Europejskiej w ostatnich latach spowodowały przyśpieszony rozwój infrastruktury transportowej w Polsce. Powstało lub powstaje wiele nowych kilometrów autostrad, dróg ekspresowych, obwodnic miast. Modernizuje się linie kolejowe, unowocześnia się sterowanie ruchem na kolei. Powstają nowe dworce lotniskowe oraz infrastruktura naziemnego ruchu samolotów (drogi startowe, kołowania, płyty postoju samolotów). Zmieniło się podejście do kształtowania polityki transportowej w miastach od rozbudowy infrastruktury ulicznej (którą w dalszym ciągu się rozwija) do problemów zarządzania ruchem. We wszystkich tych zamierzeniach uczestniczyli lub uczestniczą polscy inżynierowie, najczęściej absolwenci polskich Uczelni Technicznych. Wszystkie projekty pomocowe infrastrukturalne realizowane były zgodnie z procedurami FIDIC w związku z tym zadania inżynierów były dostosowane do wymagań tych procedur. Zadania inżynierów na różnych etapach realizacji inwestycji były różne i wiązało się to z przystosowaniem do tych zadań. Wprowadzono wiele innowacji nowatorskich w zakresie rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych. W referacie zostaną przedstawione zakresy zadań inżynierów na różnych etapach realizacji inwestycji infrastrukturalnych jak również opis najważniejszych inwestycji infrastrukturalnych realizowanych w kraju w ostatnich latach wraz z opisem nowych technologii i konstrukcji wprowadzonych do tych inwestycji w zakresie budownictwa drogowego, mostowego, kolejowego, lotniskowego oraz transporcie miejskim.

---

<sup>1</sup> antoni.szydlo@pwr.wroc.pl



## 2. ZADANIA INŻYNIERA W TRAKCIE REALIZACJI INWESTYCJI INFRASTRUKTURALNYCH

Inwestycje infrastrukturalne realizowane są zgodnie z prawem polskim i z procedurami FIDIC (Federation Internationale des Ingenieurs-Conseils - Międzynarodowa Organizacja Inżynierów Konsultantów). FIDIC publikuje różne informacje dla inżynierów konsultantów, inwestorów i banków, znormalizowane formularze przetargowe, wzory dokumentów kontraktowych oraz wzór umowy między klientem a konsultantem. Do chwili obecnej ukazały się cztery wydania warunków kontraktowych FIDIC. Pierwsze wydano w 1957 roku, a ostatnie, obecnie stosowane, jest reprintem wydania z 1992 roku. Procedury regulujące postępowanie, które ma na celu wyłonienie wykonawcy kontraktu opisywane są na podstawie regulacji prawnych obowiązujących w kraju Zamawiającego. Warunki Kontraktowe FIDIC są wykorzystywane przy zawieraniu wszelkiego rodzaju kontraktów budowlanych oraz umów o specjalistyczne usługi inżynierów - zarówno w kontraktach międzynarodowych, jak i krajowych. Stronami kontraktu w ramach FIDIC są: zamawiający i wykonawca. Ponadto, kluczową rolę odgrywa osoba pełniąca funkcje inżyniera. Podstawą realizacji kontraktu jest współpraca i zespołowe działanie zamawiającego, wykonawcy i inżyniera. Wprowadzono w Polsce pojęcie używane w krajach anglosaskich Inżynier Konsultant oraz dodatkowo (nieużywane w FIDIC) Inżynier Kontraktu. Inżynierowi Konsultantowi przypisano funkcje m.in. projektanta. Natomiast Inżynierowi Kontraktu funkcje inwestora zastępczego. Do zadań Inżyniera Konsultanta należało wykonanie opracowań: przedprojektowych, projektowych oraz uzgodnień i decyzji. Inżynier-Konsultant przygotowywał koncepcję techniczną, zawierającą wariantowość zakładanych rozwiązań projektowych wraz z wstępną analizą ekonomiczną. Jednocześnie ujęte w tejsze koncepcji warianty były przedmiotem zaopiniowania przez odpowiednie podmioty w aspekcie możliwości realizacji a wariant, który został przyjęty do realizacji na dalszym etapie wykonywania dokumentacji projektowej musiał być zaakceptowany przez Zamawiającego. Inżynier-Konsultant uzyskiwał w imieniu Zamawiającego, na podstawie upoważnienia udzielonego przez Zamawiającego, wszystkie wymagane opinie i decyzje, składał odpowiednie wnioski oraz przeprowadzał wszelkie konieczne działania niezbędne w celu uzyskania przedmiotowych decyzji. Inżynier zobowiązany był również do czynnego udziału w procesie uzyskania decyzji poprzez udzielanie wyjaśnień i dokonywanie potrzebnych zmian i uzupełnień w opracowaniu projektowym. Najważniejsze materiały do uzyskania decyzji to:

- materiały do wniosku o wydanie decyzji o ustaleniu lokalizacji inwestycji,
- materiały do wniosku o uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach,
- materiały do wniosku o uzyskanie pozwolenia wodno-prawnego,
- materiały do wniosku o uzyskanie pozwolenia na budowę (zezwoenie na realizację inwestycji),
- materiały do wniosku o uzyskanie pozwolenia na wycinkę drzew.

Dane ilościowe dotyczące ilości działek oraz powierzchni niezbędnych do wywłaszczenia lub czasowego zajęcia określał Inżynier-Konsultant, gdyż informacje te zależały w pełni od rozwiązań projektowych, zatwierdzonych do realizacji przez Zamawiającego. Najważniejsze działania to:

- aktualizacja podziału własnościowego gruntów
- mapy do celów projektowych,
- dokumentacja geodezyjna i kartograficzna związana z nabywaniem nieruchomości i z czasowym korzystaniem z nieruchomości.

W zakresie opracowań geologicznych i hydrologicznych niezbędny zakres ilościowy koniecznych badań określał Inżynier-Konsultant z zastrzeżeniem, że wymagał on zatwierdzenia przez Zamawiającego. Najważniejsze opracowania to:

- projekt prac geologicznych,
- program badań parametrów geotechnicznych podłoża w odniesieniu zarówno do obiektów istniejących, jak i nowo projektowanych,
- dokumentacja badań podłoża i geotechniczne warunki posadowienia obiektów budowlanych,
- badania jakościowe cech fizyko-mechanicznych materiałów konstrukcyjnych obiektów i budowli wraz z oceną stanu technicznego.

Szczegółowy zakres pomiarów, badań i analiz koniecznych do wykonania opracowań z zakresu ochrony środowiska określał Inżynier-Konsultant po uprzednim określeniu zakresu przyjętych rozwiązań projektowych w ramach realizowanego opracowania projektowego. Chodzi tu o następujące opracowania:

- wstępne analizy przyrodnicze (waloryzacja przyrodnicza terenu przewidzianego pod inwestycję),
- raport o oddziaływaniu planowanego przedsięwzięcia na środowisko, ewentualnie powtórny Raport
- operat dendrologiczny,
- operat wodnoprawny.

Inżynier-Konsultant był odpowiedzialny za zorganizowanie procesu wykonywania opracowań projektowych, w taki sposób, aby założone cele projektu zostały osiągnięte zgodnie z postanowieniami Umowy.

Inżynier-Konsultant zobowiązany był znać wszystkie przepisy wydane przez władze europejskie i polskie (centralne i lokalne) oraz inne przepisy, regulaminy i wytyczne, które są w jakikolwiek sposób związane z wykonywanymi opracowaniami projektowymi i był w pełni odpowiedzialny za przestrzeganie ich postanowień podczas wykonywania tychże opracowań. Podstawowe opracowania projektowe to:

- projekt budowlany,
- projekt wykonawczy,
- dokumentacja przetargowa na potrzeby wyłonienia wykonawcy robót budowlano-montażowych.

Szczegółowy zakres i forma projektu budowlanego spełniały wymagania określone w ustawie Prawo Budowlane.

Podstawą dla opracowania projektu wykonawczego był projekt budowlany. Projekt wykonawczy zawierał rozszerzenia projektu budowlanego o zagadnienia istotne z punktu widzenia:

- możliwości jednoznacznej oceny i wyceny przedmiotu zamówienia przez oferentów ubiegających się o zamówienie na wykonanie robót budowlanych,
- potrzeb przyszłego procesu wykonawstwa robót budowlanych.

Dokumentacja przetargowa była sporządzana zgodnie z wymaganiami prawa zamówień publicznych oraz prawa polskiego i europejskiego.

Bieżący nadzór nad zgodnością przebiegu procesu projektowego z wymaganiami Umowy wykonywany był przez Zamawiającego podczas spotkań z Inżynierem-Konsultantem. Podczas trwania procesu projektowego występowały następujące rodzaje spotkań w sprawie dokumentacji projektowej:

- a) Przegląd opracowań projektowych, przy udziale Zamawiającego i Inżyniera-Konsultanta oraz ew. innych zaproszonych stron, którego głównymi celami była:
  - ocena bieżącego postępu prac projektowych,
  - bieżąca ocena zgodności opracowań projektowych z wymaganiami Umowy dokonywana przez Zamawiającego,
  - omówienie i ewentualne rozstrzygnięcie bieżących problemów.
- b) Rada projektu - spotkanie przy udziale Inżyniera-Konsultanta i Zamawiającego oraz ew. innych zaproszonych stron, której głównymi celami była:

- prezentacja przez Inżyniera-Konsultanta sprawozdania z bieżącego postępu wykonywania dokumentacji projektowej,
  - prezentacja przez Zamawiającego wniosków z przeglądów opracowań projektowych,
  - omówienie i ewentualne rozstrzygnięcie problemów.
- c) Wizyta robocza - spotkanie przy udziale Zamawiającego i Inżyniera-Konsultanta oraz innych zainteresowanych stron, której celem było dokonanie wyjaśnień i ustaleń roboczych; połączone z wizytą na miejscu, którego dotyczyły opracowania projektowe lub z wizytą w siedzibie strony. Zamawiający i Inżynier-Konsultant mogli od siebie wzajemnie zażądać uczestniczenia w spotkaniach osób mających wpływ na terminowość i prawidłowość wykonania opracowań objętych Umową.

Inżynier-Konsultant udzielał Zamawiającemu niezbędnej pomocy przy wykonywaniu roboczych przeglądów opracowań projektowych. Podczas przeglądów Zamawiający miał zapewnioną możliwość łatwego dostępu do wykonywanych opracowań projektowych. Podczas przeglądów były obecne osoby odpowiedzialne za zarządzanie projektem oraz odpowiedni projektanci, sprawdzający i autorzy opracowań projektowych. Zamawiający, mógł oceniać zgodność wykonywania opracowań projektowych z wymaganiami Umowy na podstawie wyników własnych kontroli, jak i wyników kontroli wewnętrznej dostarczonych przez Inżyniera-Konsultanta. Jeżeli wyniki kontroli wykazywały, że sprawozdania Inżyniera-Konsultanta są niewiarygodne, to Zamawiający opierał się wyłącznie na własnych wynikach kontroli. Zamawiający mógł zlecać, przeprowadzenie powtórnych lub dodatkowych kontroli niezależnemu wykonawcy. Zamawiający przekazywał Inżynierowi-Konsultantowi pisemne informacje o stwierdzonych niedociągnięciach. Jeżeli niedociągnięcia te uznano za tak poważne, że mogły wpłynąć ujemnie na jakość lub terminowość opracowań Zamawiający był upoważniony do natychmiastowego wstrzymania prac Inżyniera-Konsultanta aż do usunięcia stwierdzonych błędów. Inżynier-Konsultant był odpowiedzialny za zorganizowanie systemu nadzoru i kontroli własnej wykonywania opracowań projektowych. W czasie wykonywania usług Inżynier Konsultant był zobowiązany do udzielania pomocy technicznej dla Zamawiającego. W zakresie weryfikacji prawidłowości posiadanych decyzji środowiskowych, pozyskiwaniu decyzji i monitorowaniu kwestii środowiskowych. Najważniejsze elementy takiej pomocy to:

- a) Zweryfikowanie czy postępowanie zmierzające do wydania wszystkich decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach odbyło się zgodnie z prawem polskim i UE oraz wymaganiami i wytycznymi instytucji finansujących projekt.
- b) Zweryfikowanie zapisów zawartych we wszystkich wydanych decyzjach środowiskowych uwarunkowaniach pod kątem wymagań i wytycznych instytucji finansujących projekt
- c) Zdobycie wszystkich brakujących decyzji oraz uzgodnień niezbędnych do wydania brakujących decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, zgodnie z obowiązującym prawem polskim i UE oraz wymaganiami i wytycznymi instytucji finansujących projekt. W razie konieczności (jeśli w jakimś przypadku stwierdzono nieprawidłowości w procedurze lub zapisach decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach) ponowne przeprowadzenie postępowania OOS w celu uzyskania ważnej w świetle obowiązujących przepisów prawa polskiego i UE oraz uznawanej przez instytucje finansujące projekt decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach.
- d) Przeprowadzenie postępowania OOS oraz uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla zadań, które jej nie posiadają (zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa polskiego i UE oraz uznawanej przez instytucje finansujące projekt). Przeprowadzanie konsultacji społecznych oraz informowanie społeczności objętej obszarem oddziaływania inwestycji na możliwie jak najwcześniejszym etapie procesu inwestycyjnego, celem uniknięcia lub złagodzenia możliwych konfliktów. Ustalanie

prawidłowości działań w sferze zagadnień środowiskowych Zamawiającego pod względem zgodności z prawodawstwem polskim, UE oraz z wymogami Banku Światowego.

e) Wczesne identyfikowanie problemów powstających (oraz przewidywanych) podczas przeprowadzania procedury OOS i bieżące informowanie o nich Zamawiającego,

Pomoc w zakresie przygotowania i przeprowadzenia postępowań przetargowych obejmowała:

- ustalenie podstawowych założeń dotyczących przedmiotu zamówienia,
- opracowanie warunków udziału w postępowaniu jakie muszą spełniać wykonawcy
- ubiegający się o udzielenie zamówienia i przedłożenie ich do zatwierdzenia zamawiającemu,
- ustalenie właściwego trybu postępowania przetargowego,
- ustalenie wartości zamówienia,
- przygotowywanie całościowej dokumentacji dotyczącej postępowania przetargowego, niezbędnej do wszczęcia i przeprowadzenia procedur,
- analizę i ocenę ofert wykonawców ubiegających się o udzielenie zamówienia, m.in.: sprawdzanie zgodności ofert z wymaganiami dokumentacji przetargowej;
- ewentualne wskazanie przyczyn odrzucenia ofert,
- ewentualne wskazanie przyczyn wykluczenia oferentów,
- wskazanie oferty najkorzystniejszej lub wnioskowanie o ewentualne unieważnienie postępowania,
- wykonywanie czynności w toku prowadzonego postępowania w tym uczestniczenie w pracach Komisji Przetargowych w charakterze członków komisji przetargowej lub biegłych. Przygotowanie kompletnego protokołu/raportu z przeprowadzonego i zakończonego postępowania.

Podstawowe zadania Inżyniera Kontraktu podczas realizacji inwestycji wymieniono poniżej:

- weryfikacja ubezpieczeń Kontraktu;
- zatwierdzenie i przejęcie od Wykonawcy harmonogramu rzeczowo-finansowego realizacji inwestycji;
- przejęcie od Wykonawcy planu płatności po uprzednim jego uzgodnieniu z Zamawiającym;
- przejęcie od Wykonawcy Planu Zarządzania Jakością oraz Programu bezpieczeństwa i ochrony zdrowia na budowie;
- nadzór nad realizacją robót i ich finansowaniem zgodnie z harmonogramem;
- stałe uczestnictwo w naradach technicznych problemowych i innych organizowanych przez wszystkie strony procesu inwestycyjnego;
- organizowanie narad wynikających z bieżących potrzeb realizacji zadania;
- wydawanie zgody na wykonanie robót dodatkowych i zamiennych oraz zmian materiałów po uprzedniej konsultacji z Zamawiającym;
- podejmowanie wszelkich racjonalnych działań umożliwiających prawidłową realizację harmonogramu i informowanie Zamawiającego o ewentualnym zagrożeniu w realizacji;
- prowadzenie nadzoru technicznego nad realizacją robót, zgodnie z prawem budowlanym;
- konsultacje i doradztwo na rzecz Zamawiającego;
- współpraca z nadzorem autorskim;
- współdziałanie z władzami terenowymi, organami nadzoru budowlanego;
- odbiór wykonanych odcinków robót;
- sprawdzanie okresowych zestawień Wykonawcy i potwierdzanie kwot do wypłaty;
- prowadzenie rozliczeń związanych z realizacją programu;
- pomoc przy prowadzeniu rozliczeń z Funduszami pomocowymi;

- opracowanie raportów okresowych i raportu końcowego;
- przygotowanie odbioru końcowego;
- udział w czynnościach odbiorów ostatecznych i pogwarancyjnych robót objętych kontraktem.

Po drugiej stronie procesu inwestycyjnego mamy przede wszystkim zgodnie z prawem polskim (po stronie wykonawcy robót), uprawnionego odpowiednio inżyniera, który pełni obowiązki kierownika budowy i który jest przede wszystkim odpowiedzialny za zapewnienie geodezyjnego wytyczenia obiektu oraz zorganizowanie budowy i kierowanie nią w sposób zgodny z projektem i pozwoleniem na budowę, przepisami, w tym techniczno-budowlanymi, oraz przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy. Do podstawowych obowiązków kierownika budowy należy:

- przejęcie od Zamawiającego terenu budowy,
- zabezpieczenie terenu budowy,
- prowadzenie dokumentacji budowy,
- zapewnienie geodezyjnego wytyczenia obiektu,
- zorganizowanie budowy pod kontem logistycznym,
- kierowanie budową zgodnie z projektem, pozwoleniem na budowę oraz przepisami prawa polskiego i stosowanie dobrych praktyk zawodowych oraz co najważniejsze postępowanie zgodnie z kontraktem (umową zawartą przez Wykonawcę z Zamawiającym,
- koordynacja realizacji zadań BHP,
- koordynowanie działań zapewniających przestrzeganie w trakcie robót budowlanych zasad bezpieczeństwa i ochrony zdrowia,
- podejmowanie niezbędnych działań uniemożliwiających wstęp na budowę osobom nieupoważnionym,
- wstrzymanie robót budowlanych w przypadku stwierdzenia możliwości powstania zagrożenia oraz bezzwłoczne zawiadomienie o tym właściwego organu,
- zawiadomienie Zamawiającego o wpisie do dziennika budowy dotyczącym wstrzymania robót budowlanych z powodu wykonywania ich niezgodnie z projektem,
- realizacja zaleceń wpisanych do dziennika budowy oraz instrukcji wydanych przez przedstawicieli Zamawiającego tj. Inżyniera Kontraktu i uprawniony przez niego personel,
- zgłaszanie Zamawiającemu do kontroli lub odbioru wykonanych robót ulegających zakryciu bądź zanikających,
- zapewnienie dokonania prób i sprawdzeń instalacji, urządzeń technicznych przed zgłoszeniem obiektu budowlanego do odbioru,
- przygotowanie dokumentacji powykonawczej obiektu budowlanego,
- zgłoszenie obiektu budowlanego do odbioru odpowiednim wpisem do dziennika budowy,
- uczestniczenie w czynnościach odbioru i zapewnienie usunięcia stwierdzonych wad,
- przekazanie inwestorowi wymaganych prawem budowlanym oświadczeń.

Wszystkie wymienione wyżej czynności były ujęte w różne fazy projektowe:

- faza projektowania wstępnego (studia sieciowe),
- faza uzyskania decyzji administracyjnych (decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach,
- studium techniczno-ekonomiczno-środowiskowe, opracowanie projektowe w celu uzyskania
- decyzji o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej),
- faza projektowania uzupełniającego ( audyt bezpieczeństwa ruchu drogowego,
- dokumentacja przetargowa, dokumentacja przetargowa dla systemu projektuj buduj),
- faza pozyskania środków ze źródeł zewnętrznych ( studium wykonalności).

### 3. REALIZACJA PROJEKTÓW INFRASTRUKTURALNYCH

Aktualnie w Polsce realizowany jest program budowy autostrad i dróg ekspresowych. Na koniec maja 2012 roku stan wybudowanych autostrad wynosił ok. 1200 km oraz 540 km dróg ekspresowych dwujezdniowych i 325 km jednojezdniowych. Wszystkie projekty były wykonane w polskich biurach projektowych przez polskich inżynierów. Na rys. 1 pokazano widok węzła Sośnica na przecięciu dwóch autostrad A1 oraz A4. Na rys. 2 pokazano sieć autostrad z podziałem na nawierzchnie asfaltowe i z betonu cementowego. W zakresie nawierzchni asfaltowych wprowadzono nowe mieszanki mineralno-asfaltowe typu AC WMS są to mieszanki odporne na koleinowanie oraz spękania zmęczeniowe. Na warstwy ściernalne zastosowano mieszanki SMA. Recepty na te mieszanki były opracowane w laboratoriach drogowych firm wykonawczych, zweryfikowane w laboratoriach jednostek naukowo-badawczych. Na większą skalę zaczęto wprowadzać nawierzchnie betonowe. Początkowo korzystano z doświadczeń niemieckich, stosując technologie i konstrukcje niemieckie. Zaprojektowano dwa odcinki eksperymentalne z betonu o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych na autostradach A2 i A4, długości ok. 1 km każdy. Wprowadzono nową technologię przy budowie nawierzchni betonowej na autostradzie A2, stosując tzw. „odkryte kruszywo”, które powoduje obniżenie poziomu hałasu.



Rys. 1. Węzeł Sośnica – przecięcie A1 z A4 [1].

Zaprojektowano i wybudowano eksperymentalną konstrukcję z nawierzchnią betonową i podbudowie drenującej z kruszywa na autostradzie A4. Wprowadzono nowe technologie wzmocnienia podłoża na gruntach słabonośnych poprzez stosowanie technologii pali z kruszywa jak również poprzez mikrowybuchy. Zastosowano na szeroką skalę technologie wzmocnienia skarp za pomocą geosyntetyków oraz technologii gwoździowania. Wszystkie konstrukcje nawierzchni na autostradach zaprojektowano indywidualnie określając trwałość zmęczeniową wyrażoną dopuszczalną liczbą osi obliczeniowych. Ciekawe i interesujące rozwiązania zastosowano przy wzmocnianiu nasypów na szkodach górniczych. Dzięki budowie autostrad rozwinęło się polskie mostownictwo. Powstało w Polsce kilka mostów o najnowocześniejszej współcześnie konstrukcji, tzw. mosty podwieszane. Polscy projektanci tylko przy budowie pierwszego z nich korzystali z niewielkiej pomocy zachodnich konsultantów. Wszystkie kolejne powstały już w polskich biurach projektów, i zostały zaprojektowane i zbudowane przez polskich inżynierów. Niektóre z nich są znaczącymi obiektami europejskimi w swojej klasie, jak chociażby oddany niedawno



betonowy most podwieszony w ciągu Autostradowej Obwodnicy Wrocławia. Równoległe z rozwojem światowym obserwujemy także wdrażanie w Polsce kolejnego nowoczesnego typu mostów, tzw. mosty extradosed, sprężone kablami na dużym mimośrodku. Na Pomorzu powstaje obecnie największy most typu extradosed w Europie i jeden z największych na świecie. Będzie miał długość 808,5 m. W końcu współczesne mosty łukowe, budowane obecnie w Polsce, należą także do znaczących osiągnięć w swojej klasie. Budowany aktualnie w Toruniu nowy most przez Wisłę to konstrukcja stalowa, dwuprzęsłowa, z jedną podporą na wyspie centralnej w nurcie rzeki, o długości całkowitej 540 m (dwa przęsła po 270 m) i wysokości łuku 50 m. Most ten będzie największym w Polsce i jednym z największych w Europie mostów łukowych. Został zaprojektowany i jest budowany w całości przez polskich inżynierów, pracujących dla austriackiej korporacji Strabag.



Rys. 2. Rodzaje nawierzchni na autostradach w Polsce



Rys. 3. Widok mostu Rędziańskiego we Wrocławiu

W ostatnich kilkunastu latach polscy inżynierowie mostowi opanowali dwie najtrudniejsze metody budowy mostów, kiedyś zarezerwowane wyłącznie dla wysoko rozwiniętych firm zachodnich: metodę wspornikową (nawisową) oraz nasuwanie podłużne. Tą pierwszą budowany jest most przez Wisłę w Grudziądzu, którego główne przęsła będą miały rozpiętość 180,0 m i a most będzie najdłuższym betonowym mostem belkowym w Polsce. Most pod Grudziądzem jest wykonany metodą nawisową, a estakady dojazdowe do mostu - metodą nasuwania podłużnego. W ciągu autostrady A-4 niedaleko Rzeszowa powstał niedawno most autostradowy MA 161 o długości około 550 m (dwie niezależne konstrukcje), który został w całości nasunięty nad dwoma rzekami, nad istniejącą drogą krajową nr 19 oraz nad dwoma drogami powiatowymi i przejściem dla zwierząt. Technologia budowy tego mostu została opracowana i przeprowadzona w całości przez polskich inżynierów mostowych, pracujących dla hiszpańskiej korporacji Mostostal Warszawa S.A.

Pod koniec lat 90-tych w Polsce, prawie równoległe z pierwszymi w świecie zastosowaniami szwajcarskimi, wdrożono z powodzeniem materiały kompozytowe CFRP do wzmacniania istniejących mostów. Obiekty w Przemyślu czy w Augustowie należały wówczas do nielicznych na świecie, wzmocnionych tą nowatorską technologią. Podobnie było z wdrożeniem betonu samozagęszczalnego w mostownictwie, a most Zamkowy w Rzeszowie był jednym z pierwszych w Europie obiektów, wykonanych z takiego betonu. W końcu kładka przez Dunajec w Sromowcach należy do największych na świecie obiektów mostowych, wybudowanych z nowoczesnego drewna klejonego. Inspiratorami, projektantami oraz pierwszymi wdrażającymi te nowoczesne materiały do mostownictwa byli polscy inżynierowie mostowi, wsparci niejednokrotnie przez przedstawicieli świata nauki, który w dziedzinie budownictwa mostowego pozostaje z nimi w ścisłej symbiozie.



Rys. 4. Most zamkowy w Rzeszowie

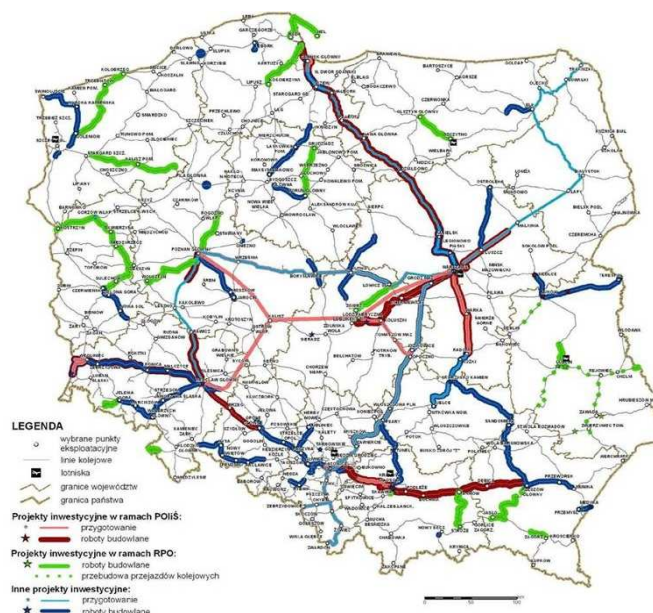
W budownictwie kolejowym obserwuje się również rozwój inwestycji infrastrukturalnych. Na rys. 5 przedstawiono sieć kolejową i realizowane inwestycje.

Wieloletni Program Inwestycji Kolejowych do roku 2013 z perspektywą do roku 2015 przyjęty Uchwałą RM 7 listopada 2011 roku obejmuje 118 projektów w tym:

- 20 projektów to prace przygotowawcze obejmujące 1798 km linii,
- 98 zadań to prace budowlane na 2308 km linii.

Również w dziedzinie kolejnictwa przy modernizacji linii kolejowych wdrożono nowe technologie, zarówno przy budowie i utrzymaniu nawierzchni i podtorzy, jak i w sterowaniu

ruchem kolejowym. Zastosowano wysokowydajne maszyny torowe, dzięki którym możliwa jest potokowa wymiana nawierzchni albo poprawa właściwości podtorza bez usuwania rusztu torowego. Odpowiednie moduły tych maszyn pozwalają również na wprowadzanie geosyntetyków pomiędzy wbudowywane warstwy.



Rys. 5. Mapa inwestycji na sieci dróg kolejowych [2].

Samo stosowanie geotekstyliów w budownictwie kolejowym również nabiera coraz większego znaczenia – traktuje je się jako wygodny sposób na poprawienie nośności podłoża czy podtorza, stabilizację poszczególnych warstw wbudowywanych gruntów czy też zapewnienie stateczności skarp.

Oprócz technik i technologii aplikowanych w kolejnictwie z innych branż budownictwa, postępuje też istotny rozwój konstrukcji typowych wyłącznie dla dróg szynowych. Badane i wdrażane są nowe rodzaje nawierzchni, takie jak nawierzchnia bezpodsypkowa na podporach blokowych (EBS), w podlewie ciągłym (ERS) czy zintegrowanych nawierzchni kolejowo – drogowych na przejazdach. Badane są też inne rodzaje usprawnień klasycznego rusztu torowego: na Centralnej Magistrali Kolejowej znajduje się odcinek doświadczalny obejmujący nowe typy podkładów, chemiczną stabilizację podsypki i inne modyfikacje testowane z myślą o zastosowaniu w kolejach dużych prędkości. Na torze testowym Instytutu Kolejnictwa trwają również badania podkładów betonowych z warstwą wibroizolacji na ich spodzie, co ma spowodować istotną redukcję drgań i hałasu.

Kolejnym istotnym aspektem wdrażania nowoczesnych technologii w kolejnictwie jest rezygnacja z klasycznego modelu zarządzania ruchem kolejowym i organizowanie lokalnych centrów sterowania (LCS), co postępuje zwłaszcza na modernizowanych liniach magistralnych. Wdrażany jest również europejski system sterowania pociągiem (ETCS). Testowanie przekazywania komunikatów o warunkach ruchu na odcinkach Centralnej Magistrali Kolejowej miało miejsce już jesienią 2011 (ETCS poziom 1), natomiast do roku 2014 ma zostać wdrożony system ETCS poziomu 2 na szlaku Legnica – Węgliniec – Bielawa Dolna linii E30.

Bardzo intensywnie rozwinęła się w ostatnich latach infrastruktura lotniskowa. Obok powstających dworców lotniczych powstało wiele płaszczyzn postoju samolotów, dróg kołowania oraz dróg startowych. Zmodernizowano lotniska w Warszawie, Gdańsku,



Krakowie, Poznaniu, Wrocławiu, Szczecinie, Katowicach, Rzeszowie, Łodzi, Modlinie. Powstało nowe w Lublinie. Wprowadzono nowe technologie. W nawierzchniach asfaltowych mieszanki mineralno-asfaltowe typu AC WMS. W przypadku nawierzchni betonowych wprowadzono dyblowanie i kotwienie płyt. Na lotnisku w Łodzi zastosowano na płaszczyźnie postoju samolotów nawierzchnię betonową o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych.

W zakresie transportu miejskiego myśl inżynierska przeszła w ostatnich latach ewolucję od promocji rozbudowy układów transportowych, głównie dla ruchu samochodów, do działań z zakresu zarządzania ruchem, w tym jego ograniczaniu. Postuluje się w dalszym ciągu modernizację miejskich układów drogowych, ale głównie w kierunku likwidacji wąskich gardeł, czy przebudowy skrzyżowań z uwzględnieniem wymogów bezpieczeństwa ruchu. Wprowadza się jednak także idee uspokajania ruchu, wyprowadzania tranzytu, w tym międzydzielnicowego, z obszarów centralnych, ograniczeń w parkowaniu, rozbudowy infrastruktury dla użytkowników alternatywnych względem samochodu (transport zbiorowy, piesi, rowerzyści). Podstawą tych działań są zapisy „Polityki Transportowej”. Takie dokumenty powstały dla największych polskich miast na przełomie wieków, a obecnie są aktualizowane. Głównym ich celem jest sformułowanie działań mających zapewnić bezpieczne, sprawne i efektywne poruszanie się w obszarach miejskich, z uwzględnieniem wymogów środowiska, w tym ograniczeń dostępnej przestrzeni. Postuluje się zrównoważenie systemu transportu. Stąd zalecane i wdrażane ograniczenia dla ruchu samochodów, promocja transportu zbiorowego i innych alternatyw. Zalecane są także rozwiązania z zakresu współpracy różnych środków transportu, jak parkingi w systemie „Parkuj i Jedź” (Park and Ride). Wdrożenie w praktyce idei formułowanych w środowiskach inżynierskich jest w różnym stopniu zaawansowania w zależności od ośrodka miejskiego. Trudnością jest przełożenie ogólnych zasad na konkretne działania. Trwają prace nad metodologią oceny poszczególnych inwestycji i rozwiązań infrastrukturalnych pod kątem celów i zasad Polityk Transportowych. Często na przeszkodzie efektywnego wdrażania zrównoważonego systemu transportu stoi brak precyzyjnych strategii rozwoju miasta, a czasami nawet brak świadomości zasadności określonych działań wśród środowisk zarządzających transportem, czy szerzej miastem. Mimo powyższych utrudnień obserwujemy przekształcenia miejskiej infrastruktury transportowej. Wielopasowe ulice, tunele, rozległe przestrzennie węzły ustępują miejsca (szczególnie w obszarach centralnych) skrzyżowaniom i placom formowanym według potrzeb pieszych, czasami jako zintegrowane węzły przesiadkowe dla pojazdów transportu zbiorowego. Ulice wzbogacają się w infrastrukturę dla rowerzystów (ścieżki, wydzielane pasy, miejsca parkowania). Obserwuje się rozbudowę, a nawet budowę od podstaw, tras tramwajowych, wprowadzanie pasów autobusowych, czy autobusowo-tramwajowych. Nieśmiało postępuje integracja z transportem kolejowym w sensie budowy przystanków, czy węzłów łączących transport miejski i aglomeracyjny.

Działania na styku miast i ich otoczenia napotykać na trudności legislacyjne. Obszary te są zarządzane przez odrębne jednostki, tymczasem transportowo stanowią jeden organizm. Jak dotąd nie udało się wypracować efektywnego modelu zarządzania zintegrowanym transportem w polskich aglomeracjach. Wielkim atutem jest istniejąca sieć kolejowa, która może być podstawą dla organizacji kolei miejskich i aglomeracyjnych i szerzej „szkieletem” efektywnego transportu zbiorowego. Poza nielicznymi wyjątkami, nie funkcjonują jeszcze w Polsce takie rozwiązania. Coraz większą rolę odgrywa zarządzanie ruchem za pomocą rozbudowanych systemów sterowania sygnalizacjami drogowymi. Od sygnalizacji stałoczasowych, próbujących zapewnić płynność ruchu pojazdów przy stale rosnących natężeniach ruchu, przechodzi się do obszarowych sposobów sterowania sygnalizacjami skoordynowanymi i dostosowującymi się do zmian w ruchu. Jest to narzędzie Polityki Transportowej, przy pomocy którego można preferować określone grupy użytkowników (piesi, transport zbiorowy), a nawet ograniczać „napływ” pojazdów do stref centralnych

kierując je na trasy obwodowe. Powyższe działania to przykład inwestycji „miękkich”, charakterystycznych dla XXI. wieku. W porównaniu z inwestycjami „twardymi” (budowa infrastruktury) cechuje je wysoka efektywność ekonomiczna (duże korzyści przy niedużych kosztach). Przyszłość kształtowania i zarządzania infrastrukturą transportu upatrywana jest w dalszym rozwoju działań „miękkich”. Wyprowadza się terminologię i postulaty kształtowania mobilności, jako popytowej strony transportu.

Przez „mobilność” rozumie się nie tyle „ruchliwość” w kontekście sposobu i charakteru przemieszczania się, co element codziennej aktywności człowieka związany z wyborem: czasu, celu i trasy podróży oraz środka lokomocji. Wobec tej definicji „mobilności” możliwe i zasadne jest jej kształtowanie w celu uzyskania zachowań komunikacyjnych pożądanych z uwagi na przepustowość sieci, zapewnienie odpowiednich standardów podróży, brak nadmiernych obciążeń dla środowiska. Kształtowanie mobilności może polegać na realizacji stosownej infrastruktury transportowej, ale także na odpowiednim zarządzaniu ruchem, integracji różnych form transportu, czy także na prowadzeniu działalności promocyjno- informacyjnej.

Stosowne oddziaływanie na użytkowników, przy zapewnieniu swobody wyboru środka transportu, celów, trasy i czasu podróży z pewnością pomoże w osiągnięciu celów Polityki Transportowej i przyczyni się do poprawy warunków życia i gospodarki miast i ich aglomeracji.

#### **4. PODSUMOWANIE**

Podane powyżej przykłady rozbudowy infrastruktury transportowej świadczą niezbicie o tym, że polscy inżynierowie nie pozostali w tyle za rozwojem światowych technologii. Opanowali doskonale metody projektowania i technologie budowy współczesnych, zaawansowanych konstrukcyjnie obiektów infrastruktury transportowej i stanowią zazwyczaj o sile technicznej korporacji budowlanych dla których pracują. Można mieć pewność, że po zdobyciu doświadczenia na krajowym rynku, ich wiedza i kompetencje będą wykorzystywane poza krajem, a znaczenie i sława polskich inżynierów może wkrótce dorównać czasom Rudolfa Modrzejewskiego czy Ernesta Malinowskiego, którzy z dala od rodzinnego kraju sławili imię polskiego inżyniera.

#### **Piśmiennictwo**

[1] <http://gliwice.eu/>

[2] Wieloletni Program Inwestycji Kolejowych do roku 2013 (Ministerstwo Infrastruktury)

### **CONTRIBUTION OF ENGINEERS IN THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN POLAND**

#### **Summary**

The paper presents the role and responsibilities of engineers in the development of transport infrastructure in Poland. The stages of preparing the project from design studies through supervision until the implementation are presented. Attention was drawn to the role of the Engineer - Consultant and Contract Engineer. The paper also describes the most important infrastructure investments made in Poland in recent years, providing innovative contribution of Polish engineers in design solutions, materials and construction.

Marian TRACZ<sup>1</sup>  
Politechnika Krakowska  
Janusz BOHATKIEWICZ<sup>2</sup>  
EKKOM Kraków

## **UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWE ROZWOJU INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ W POLSCE**

### **STRESZCZENIE**

W referacie przedstawiono najważniejsze bariery i uwarunkowania środowiskowe w rozwoju dróg samochodowych i kolejowych w Polsce. W ramach tej części wskazano na coraz większą rolę ochrony środowiska w przebudowie dróg po 1990 roku. Przedstawiono główne bariery środowiskowe; tj. prawne, ekonomiczne i metodologiczne oraz etapy i działania dla ich przełamywania. Szczególną uwagę zwrócono na: obszary Natura 2000, fragmentację obszarów życia fauny i flory, zanieczyszczenia wód, a zwłaszcza na hałas i ekranowanie akustyczne – przedstawiając aktualne problemy dotyczące ochrony przed hałasem. Wskazano na uwarunkowania prowadzące do nieefektywnych i niezwykle kosztownych rozwiązań jakim jest zbyt powszechne stosowanie wyłącznie ekranów akustycznych.

### **1. PRZESŁANKI ROZBUDOWY I PRZEBUDOWY INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ W POLSCE**

Rozwój gospodarczy wymaga stworzenia silnych strukturalnych podstaw sprawnego systemu transportowego, w tym sprawnej sieci dróg kołowych i kolejowych [1,2]. Wśród 10 priorytetów w Polityce Transportowej Państwa [2] na pierwszym miejscu podano radykalną poprawę stanu dróg wszystkich kategorii, rozwój sieci autostrad i dróg ekspresowych, zaś na drugim radykalną poprawę stanu infrastruktury kolejowej [3]. Jednym z założeń w przekształceń infrastruktury transportowej w Polsce powinno być zmniejszenie negatywnego oddziaływania transportu na środowisko przyrodnicze i warunki życia ludzi. Jak się okazało w praktyce warunkiem dotychczasowych działań w okresie przed i po akcesji do Unii Europejskiej, było m.in.: opracowanie niezbędnych przepisów prawnych, wykonanie wielu opracowań planistycznych, studialnych i projektowych, pozyskanie terenów pod budowę oraz pokonanie barier ekologicznych i zaopatrzenia w materiały, rozwój potencjału realizacyjnego, rozwój nowych technik i technologii. W każdym z tych pól występowały i występują poważne problemy rzutujące w istotny sposób na przebieg procesów inwestycyjnych [3].

---

<sup>1</sup> mtracz@pk.edu.pl

<sup>2</sup> janusz.bohatkiewicz@ek-kom.pl



Do podstawowych przesłanek rozbudowy i przebudowy infrastruktury transportowej w Polsce należą:

- rozwój i zmiany strukturalne gospodarki kraju,
- zmiany sposobu zagospodarowania kraju,
- wzrost przewozów towarowych,
- ogromny rozwój motoryzacji, który praktycznie nie jest kontrolowany i nadzorowany,
- wzrost ruchliwości mieszkańców – związany z kilkoma czynnikami (np. zmianą charakteru pracy, rozwojem mobilności czasu wolnego, deglomeracją dużych miast),
- konieczność poprawy sprawności transportu (czasy i koszty podróży osób lub transportu towarów) oraz bezpieczeństwa ruchu,
- potrzeby ochrony środowiska człowieka i środowiska przyrodniczego wynikające ze świadomości ekologicznej społeczeństwa i przepisów UE.

## **2. DOTYCHCZASOWE I OBECNE BARIERY W ROZWOJU I PRZEKSZTAŁCE-NIACH INFRASTRUKTURY TRANSPORTOWEJ**

System rozbudowy infrastruktury transportowej w ostatnim 10-leciu opierał się głównie na założeniu, że najważniejsze jest jak największe wykorzystanie środków finansowych pochodzących z UE, a ponadto jak najszybsze wykorzystanie tych środków. Na drodze tych zamierzeń i celów stało słabe przygotowanie w zakresie z ochrony środowiska, które dotyczyło w pierwszej kolejności zgodności przepisów krajowych z przepisami UE. W okresie tworzenia się nowego procesu inwestycyjnego uwzględniającego uwarunkowania środowiskowe można wyróżnić kilka charakterystycznych etapów i uwarunkowań i okresów:

- Niektóre ustawy i rozporządzenia Rady Ministrów ukazały się przed 1990 r. (w tym ustawa „Prawo ochrony środowiska”). W latach dziewięćdziesiątych XX w. następowała ciągła zmiana przepisów, przy czym zmiany zasadnicze następowały nawet z częstotliwością co dwa lata, co znacznie utrudniało prowadzenie uruchomionych wcześniej procesów inwestycyjnych,
- Wiele istotnych ustaw i rozporządzeń Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa (MOŚZNiL) ukazało się w latach 1991-1996 – między innymi w sprawie podziału inwestycji z uwagi na ich oddziaływanie na środowisko oraz zakresu opracowań środowiskowych (OOS). Kolejne zmiany tych przepisów były nierzadko efektem upomnień Komisji Europejskiej, które groziły zatrzymaniem procedur finansowania inwestycji drogowych (np. konieczność szerszego uwzględnienia głosu społecznego w procedurach lokalizacyjnych, liczba ocen oddziaływania inwestycji na środowisko, liczba wariantów drogi, lokalizacja inwestycji na obszarach Natura 2000).
- Powstała Komisja ds. Ocen Oddziaływania na Środowisko przy MOŚZNiL, a następnie Komisje przy wojewodach. Powstały również komisje o charakterze wspomagającym procesy uzgadniania inwestycji drogowych (np. Wojewódzkie Komisje ds. Ochrony Przyrody).
- W latach 1995-2000, byli powoływani biegli do wykonywania ocen oddziaływania na środowisko (najpierw powoływani przez MOŚZNiL, później przez wojewodów). Rozwiązanie to miało głównie za zadanie podniesienie poziomu wykonywanych OOS. Niestety odstąpienie od potwierdzania uprawnień do wykonywania opracowań środowiskowych w połączeniu z ustawą o zamówieniach publicznych (główne kryterium – najniższa cena) spowodowało obniżenie poziomu ocen środowiskowych i w efekcie w wielu przypadkach znaczące opóźnienia w procesach inwestycyjnych zwłaszcza dla nowych dróg (autostrad i dróg ekspresowych).

- W latach 1995-1998 dla znacznej części autostrad i dróg ekspresowych oraz innych dróg krajowych zostały wykonane opracowania OOS. W opracowaniach tych nastąpił olbrzymi postęp metodologiczny w zakresie wykonywania OOS. Opracowania te jednak w większości nie stały się podstawą do wydania decyzji administracyjnych doprowadzających do budowy planowanej inwestycji i trzeba było je powtarzać (nawet wielokrotnie) w kolejnych latach przy opisywanej powyżej zmienności w przepisach, co spowodowało znaczne opóźnienia procesów inwestycyjnych.
- W latach dziewięćdziesiątych XXw. głównie z inicjatywy administracji drogowej wydano wiele instrukcji, wytycznych oraz innych materiałów (głównie dla dróg krajowych) analizujących oddziaływanie ruchu drogowego i dróg na środowisko, sposoby wykonywania opracowań środowiskowych [3], metody zabezpieczeń itp. Procesowi temu towarzyszyło wiele szkoleń i konferencji naukowo-technicznych. Do połowy lat dziewięćdziesiątych XX w. administracja ochrony środowiska aktywnie brała udział w przygotowaniu tych materiałów jednocześnie zalecając je do stosowania i szkoląc kadry, dzięki czemu były one nieźle przygotowane w zakresie ochrony środowiska. W chwili obecnej liczba tych opracowań istotnie zmalała przy kolejnych potrzebach metodologicznych, w sytuacji kiedy wiedza praktyczna wskazuje, że wiele założeń dotyczących zwłaszcza sposobów zabezpieczeń było zbyt ogólnych, a nawet błędnych (np. w odniesieniu do konieczności stosowania ekranów akustycznych).
- W latach 1996-1997 wykonano strategiczną ocenę OOS dla nowej sieci autostrad i dróg ekspresowych opracowanej przez zespół Prof. W. Suchorzewskiego z zastosowaniem oryginalnej metodyki, gdyż oceny strategiczne w tym czasie dopiero wprowadzano. W późniejszym okresie ocenę taką powtarzano dwukrotnie; w 2008 r. [4] oraz w 2010 r. [5].
- Do 2008r. odbyło się wiele trudnych dyskusji dotyczących m.in. wariantowania lokalizacji nowych tras, zwłaszcza w sytuacji, gdy w praktyce sporządzania MPZP uwzględniano tylko jeden korytarz przebiegu inwestycji. Dodatkowo niezwykle ważnym elementem dyskusji stał się problem lokalizacji odcinków inwestycji drogowych (nie tylko inwestycji o znaczeniu kluczowym) na obszarach Natura 2000. Efektem tych dyskusji, praktycznie w większości przypadków, były nawet kilkukrotne zmiany lokalizacji tych inwestycji, a niejednokrotnie zaniechanie postępowania w sprawie ich realizacji.

W ciągu ostatnich lat można zauważyć, że w dalszym ciągu występują lub wystąpiły w rozwoju infrastruktury charakterystyczne **bariery prawno-ekonomiczne oraz merytoryczne** z których należy wymienić:

- ograniczenia dotyczące środków budżetowych,
- restrykcje dotyczące korzystania ze środków z UE,
- ustawa o zamówieniach publicznych, gdzie głównym kryterium wyboru oferty stało się kryterium najniższej ceny,
- przepisy środowiskowe i budowlane, w tym uregulowania procesu inwestycyjnego, związane z korzystaniem ze środków UE, a wynikające z różnic w przepisach,
- brak praktycznych materiałów i instrukcji pomocnych w przygotowaniu inwestycji,
- uwarunkowania środowiskowe, w tym zauważalny szantaż ekologiczny (spowodowany nierzadko niewłaściwym przygotowaniem inwestycji w zakresie ochrony środowiska głównie przyrodniczego),
- brak planów zagospodarowania przestrzennego i bieżąca praktyka w tym zakresie,
- uczenie się i realizacja procesu konsultacji społecznych,
- skala zapotrzebowania na materiały budowlane zwłaszcza kruszywa.

Bariery te analizowano praktycznie przy okazji zmian rządu i wtedy można było zauważyć różnorodne działania mające na celu poprawę i przyspieszenie procesów inwestycyjnych. Przeszkodę stanowiły przepisy ochrony środowiska, które próbowano dostosować do tempa pozyskania i absorpcji środków UE. Praktycznie do końca roku 2008 uproszczenia procesu inwestycyjnego ciągle były przedmiotem dyskusji, a wprowadzanie obszarów Natura 2000 nawet dłużej, co powodowało opóźnienia i dodatkowy wzrost kosztów toczących się inwestycji; np. konieczność powtórnego wariantowania inwestycji już przygotowanych do realizacji w latach 2005-2006, praktyczna likwidacja zgłoszenia o wykonywaniu robót, czy problemy interpretacyjne w zakresie granic obszarów Natura 2000

Sposobem na polepszenie jakości prowadzenia procesu inwestycyjnego stały się kolejne interpretacje tworzonych przepisów (MŚ, MRR, GINB, GDOŚ) choć niektóre z nich były nieudane. Uzupełniano luki (głównie przez GDDKiA) w przygotowaniu podstawowych materiałów dla projektantów i konsultantów środowiskowych w postaci wytycznych, zaleceń i innych materiałów wspomagających wykonywanie opracowań środowiskowych.

Obecne bariery środowiskowe w rozwoju infrastruktury transportowej w Polsce wynikają z braku spójnego i jednolitego podejścia do tworzenia zasad i przepisów, które powinny wynikać z wielu doświadczeń zdobytych podczas realizacji i pierwszych lat eksploatacji obiektów drogowych. W dobrym systemie należy stosować [6]:

- uregulowania formalne – akty prawne, o charakterze ogólnym lub szczegółowym (np. ustawy, dyrektywy, rozporządzenia, polskie normy, branżowe standardy techniczne, wytyczne, zasady projektowe itp.),
- materiały o charakterze nieformalnym – zasady, reguły, procedury wypracowane na drodze teoretycznej lub empirycznej oraz opisy przypadków dobrej praktyki (case study; projektów, realizacji itp.), które weryfikowane i kwantyfikowane stają się z czasem elementami powszechnej praktyki.

Na bazie powyższych rozwiązań przy głównej inicjatywie środowiska drogowego powstało już wiele takich materiałów (narzędzi wspomagających) wspomagających wykonywanie opracowań środowiskowych. Przełomowe dla ocen środowiskowych i reakcji społecznych były znane sprawy przejścia autostradowego koło Góry św. Anny i przez dolinę Rozpudy.

Poza stroną formalną prawną, pod względem merytoryczno-finansowym najważniejszymi barierami w realizacji infrastruktury drogowej i kolejowej okazały się:

- obszary Natura 2000,
- hałas i ekranowanie akustyczne,
- fragmentacja obszarów życia fauny, flory,
- zanieczyszczenia wód,

choć w konkretnych przypadkach inne elementy środowiska i konsultacje społeczne mogą się także okazać bardzo istotne w tym problem obrony wartościami ekologicznymi. Ruch pociągów i drogi kolejowe są uznawane przez ekologów jako bardziej przyjazne środowisku człowieka i przyrodniczemu.

**Obszary Natura 2000.** Brak jednoznacznego określenia obszarów Natura 2000 w czasie przygotowania największych inwestycji drogowych przyczyniał się w znacznym stopniu do opóźnień w realizacji drogowych programów inwestycyjnych. Z kolei opóźnienie w przygotowaniu i realizacji inwestycji kolejowych w stosunku do drogowych spowodowało, że inwestycje kolejowe mają obecnie większą szansę na realizację w szybszych terminach przy założeniu posiadania przez Polskę odpowiednich środków. Realizacja inwestycji kolejowych napotyka i będzie napotykała nieco mniejszą liczbę problemów jak w przypadku inwestycji drogowych na obszarach Natura 2000. Dotyczy to: wariantowania lokalizacji nowych linii, lokalizacji znacznej liczby przejść dla zwierząt, rozwiązań dotyczących hałasu i odwodnienia. Znacznie większym problemem mogą być problemy rozwiązań

geometrycznych i wysokościowych linii kolejowych, gdyż ich trasa i niweleta są znacznie mniej „elastyczne” (duże promienie łuków poziomych i pionowych, łagodniejsze pochylenia linii, „wpisanie się” w określone punkty charakterystyczne tras – dworce, stacje przeładunkowe itd.).

**Hałas i ekranowanie akustyczne.** Problem ekranowania dróg na niespotykaną skalę jest przedstawiony w p.3. W kolejnictwie ten problem dostrzegany jest coraz częściej – większość modernizowanych linii kolejowych jest obudowywana ekranami akustycznymi. W przypadku kolei wydaje się, że stosowanie tak dużej liczby ekranów akustycznych jest, poza odcinkami przed stacjami, jeszcze większym nieporozumieniem niż w przypadku dróg kołowych również ze względów estetycznych, krajobrazowych, jak i bezpieczeństwa ruchu.

**Fragmentacja obszarów życia fauny i flory.** Fragmentacja obszarów powoduje znaczące problemy związane z ponownym powiązaniem podzielonych obszarów przejściami dla zwierząt i/lub brakiem możliwości przeprowadzenia trasy drogowej lub kolejowych w cennych obszarach występowania chronionej flory. Koszty związane z budową kosztownych (przeważnie mniejszy koszt w kolejnictwie) i niełatwych w utrzymaniu przejść dla zwierząt powodują także zmiany w przebiegu tras komunikacyjnych. Zmiany te w wielu sytuacjach powodują, że trasy (głównie drogowe) przesuwane są z obszarów cennych przyrodniczo w kierunku zabudowy mieszkalnej, co powoduje kolejne problemy związane z kolizjami zabudowa-droga (konflikty społeczne związane z utratą własności, ochrona akustyczna). Pomimo opracowania katalogu rozwiązań [7], w dalszym ciągu wiele wątpliwości dotyczy alternatywa: ekodukt czy kompensacja przyrodnicza w formie defragmentacji.

**Zanieczyszczenia wód.** Problemy zanieczyszczeń wód oraz stosowanych kosztownych zabezpieczeń i zbiorników dotyczą głównie tras drogowych. Wątpliwości budzi strona techniczna i przyszłe utrzymanie tych urządzeń. W przypadku tras kolejowych mniejszym problemem są zanieczyszczenia wód, natomiast problematyczne było do tej pory dostosowanie rozwiązań do ochrony głównie płazów (stosowanie tzw. korytek krakowskich).

Pokonywanie tych barier to nie tylko wysokie koszty, ale także konieczność rozwiązania wielu zagadnień merytorycznych i dłuższy czas realizacji. Według Autostrady Wielkopolskiej na 105,9-km odcinku autostrady A2 (do granicy z Niemcami) na ochronę środowiska ok. 1,3 mld zł, czyli 25% budżetu, budując m.in. 200 przejść i przepustów dla zwierząt, 20 tys.mb ekranów akustycznych, 250 km ogrodzeń, a koszt budowy jednego dużego przejścia dla zwierząt (o szerokości 50m) wynosił ok.20 mln. zł. Takich przejść zbudowano aż 35.

### 3. AKTUALNE PROBLEMY OCHRONY ŚRODOWISKA W ZAKRESIE HAŁASU KOMUNIKACYJNEGO

Bardzo ważne pod względem zakresu są problemy dotyczące ochrony akustycznej otoczenia, a wynika to z zagospodarowania otoczenia dróg istniejących i planowanych oraz wymogów ochrony otoczenia. Zdaniem autorów to jedno z najważniejszych uwarunkowań rozwojowych, które powinno ulec jak najszybszej modyfikacji. Z jednej strony mamy braki planów i racjonalnego zagospodarowania przestrzennego oraz prawie niekontrolowaną obudowę dróg klas Z, G i GP (bez uwarunkowań dotyczących wysokości i odległości zabudowy wrażliwej od drogi). Znikomy jest rozwój sieci dróg lokalnych przy których mogłaby być lokalizowana wrażliwa na hałas zabudowa. Z drugiej strony mamy wygórowane, rygorystyczne poziomy dopuszczalnego hałasu i monokulturę środków ochrony akustycznej (ekrany), których koszt pokrywa administracja drogowa. Tak realizowana ochrona przed hałasem drogowym tworzy równocześnie bariery rozwoju dróg, głównie

wojewódzkich, z powodu zbyt dużych kosztów zabezpieczeń akustycznych w stosunku do wartości inwestycji.

Niesprawiedliwe społecznie rozporządzenia dotyczące ochrony otoczenia dróg przed hałasem, **przy obudowie dróg nie mającej precedensu w Europie** wskutek zaniedbań w innych polach (zwłaszcza w zakresie zagospodarowania), powodują bardzo wysoki udział odcinków, które są i będą obudowywane ekranami akustycznymi, co oprócz kosztów i estetyki powoduje pogorszenie warunków bezpieczeństwa ruchu. Występują problemy lokalizacji chodników i ścieżek rowerowych. Część przepisów środowiskowych dotyczących wartości dopuszczalnych hałasu, stanowi istotne uwarunkowanie i będzie powodowała nadmierny udział w wykorzystaniu środków inwestycyjnych obecnie, a w przyszłości będzie powodowała duże koszty utrzymywania i zarządzania przebudowaną siecią dróg. Dalsze trwanie administracji ochrony środowiska przy nierealnym podejściu do problematyki ochrony przed hałasem drogowym, pomimo bardzo wielu apeli środowiska drogowego, samorządów oraz coraz częstszych protestów mieszkańców przeciwko budowie ekranów akustycznych nie przyniosło konkretnych zmian. Problem ochrony przed hałasem koncentruje się obecnie nad skądinąd słusznej dyskusji nt. zawyżonych wartości dopuszczalnych hałasu. Jest to jednak tylko element problemu, który powinien być rozwiązany kompleksowo. Problemy ochrony przed hałasem w praktyce dotyczą wszystkich rodzajów dróg i ulic oraz dróg kolejowych i należy do nich zaliczyć przede wszystkim [8]:

- a) Brak przepisów dotyczących planowania przestrzennego i często niekontrolowanego obudowywania dróg pomimo coraz lepszej znajomości problemów np. dzięki wykonywanym mapom akustycznym i programów ochrony przed hałasem dla dużych miast i odcinków zamiejskich dróg oraz linii kolejowych.
  - b) Brak w obowiązujących przepisach zróżnicowania wartości wskaźników hałasu stosowanych w przygotowaniu inwestycji i ocenie istniejących obiektów oraz stosowanych przy realizacji map akustycznych i w programach ochrony przed hałasem,
  - c) Stosowanie wartości dopuszczalnych hałasu na granicy pasa do którego zarządzający ma tytuł prawny – w praktyce mało realnych do spełnienia dla większości istniejących dróg i linii kolejowych bez zastosowania dodatkowych, często bardzo kosztownych i mało skutecznych zabezpieczeń.
  - d) Brak realnych i precyzyjnych przepisów prawa dotyczących m.in.;
- kwalifikacji terenu z punktu widzenia ochrony akustycznej (np. definicje funkcji terenu w powiązaniu z miejscowymi planami zagospodarowania terenu),
  - szczegółowości zapisów decyzji środowiskowych w uzależnieniu od stadium dokumentacji projektowej – konieczna jest możliwość uwzględniania dwuetapowego procesu wykonywania raportów o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko w zakresie ochrony akustycznej w przypadku bardziej skomplikowanych inwestycji,
  - konieczności wykonywania analiz ekonomicznych dla rozwiązań chroniących przed hałasem, a w szczególnych przypadkach wariantowania tych urządzeń,
  - stosowania zapisów o obszarach ograniczonego użytkowania przy drogach i liniach kolejowych, które w praktyce stanowią duże źródło problemów formalnych, finansowych i społecznych, a w wielu sytuacjach są nierealnym do zastosowania rozwiązaniem,
  - możliwości stosowania i wykonywania innych niż ekrany zabezpieczeń akustycznych w granicach posesji ze środków budżetowych (np. ogrodzeń i zieleni ekranującej zabezpieczających akustycznie posesję i obiekt) poza granicami pasa drogowego lub kolejowego. Dopuszczenie takich rozwiązań umożliwiłoby w wielu przypadkach efektywne i ekonomiczne rozwiązywanie problemów ochrony przed hałasem dla zabudowy indywidualnej (rozproszonej). Dodatkowo możliwość przekazania praw

- własności tego typu zabezpieczeń mogłoby spowodować również rozwiązanie problemu z ich utrzymaniem.
- dopuszczenia możliwości budowy ekranów akustycznych po zabezpieczeniu niezbędnego terenu, dopiero na etapie eksploatacji obiektu drogowego z uwagi na duży stopień niepewności prognoz (wpływ innych realizowanych inwestycji drogowych, np. przebudowa istniejącej drogi lub drogi kolejowej i jednocześnie uruchomienie w niedalekiej przyszłości innych drogi kołowej np. autostrady lub drogi ekspresowej) – z uwagi na odpowiednią skuteczność i koszty rozwiązania,
  - dopuszczenia możliwości stosowania zabezpieczeń (np. wymiana okien o zwiększonej izolacyjności akustycznej) bezpośrednio w budynkach chronionych akustycznie w przypadku braku możliwości stosowania innych zabezpieczeń – głównie w warunkach miejskich,
  - dopuszczenia możliwości planowego etapowania realizacji urządzeń ochronnych w czasie (z uwzględnieniem efektywności akustycznej i ekonomicznej rozwiązań),
  - dopuszczenia możliwości zmian w sposobie ochrony (w tym również stosowanych materiałów – np. zamiana ekranów nieprzeźroczystych na przeźroczyste w określonych warunkach) w okresie budowy i późniejszej eksploatacji – w wyniku zmian sposobu wykorzystywania terenu i/lub obiektu, protestów społecznych itp.,
  - dopuszczenia możliwości nie stosowania zabezpieczeń akustycznych w postaci ekranów akustycznych w wyniku uzasadnionych protestów społecznych – w takich przypadkach konieczne powinno być rozważenie innych sposobów i metod ochrony przed hałasem (w tym wymiany stolarki okiennej lub innych sposobów związanych bezpośrednio z chronionym obiektem).
- e) Brak jednolitej metodyki dotyczącej prognozowania hałasu i określania danych do prognoz zarówno ruchu drogowego jak i kolejowego (podział natężeń ruchu w okresie doby, udziały pojazdów ciężkich lub określonych rodzajów pociągów w różnych okresach doby itp.), oraz innych zaleceń związanych prognozami hałasu [9]– w tym zaleceń związanych ze zmianami struktury ruchu i parku samochodowego w przyszłości, związane z wprowadzeniem do ruchu pojazdów hybrydowych i elektrycznych,
- f) Brak jednolitych dla wszystkich zarządców dróg i linii kolejowych obowiązujących procedur, systemowego podejścia oraz kryteriów stosowania zabezpieczeń akustycznych (różnicujących sposób zabezpieczeń od charakteru terenu) w tym głównie ekranów akustycznych związanych z;
- efektywnością akustyczną i ekonomiczną oraz trwałością (w tym eliminacja przypadków w których wartość zabezpieczeń jest większa niż obiektów chronionych),
  - cechami konstrukcyjnymi i materiałowymi (np. w przypadku ekranów akustycznych – obciążenia, parcie wiatru, warunki gruntowo-wodne, kolizje z uzbrojeniem, materiały)
  - względami krajobrazowymi, estetycznymi i kompozycyjnymi,
  - utrzymaniem w okresie eksploatacji (w tym kosztami remontów, napraw itd.),
  - bezpieczeństwem ruchu drogowego i kolejowego oraz użytkowników zarówno w okresie budowy, jak i eksploatacji,
  - warunkami dotyczącymi użytkowników i mieszkańców przebywających w bezpośrednim sąsiedztwie drogi lub linii kolejowej oraz urządzeń ochronnych (zachowanie widoku, odpowiednia przewietrzalność terenu, nasłonecznienie itp.).

Próba rozwiązania powyższych problemów jest niemożliwa poprzez zmianę jednego przepisu dotyczącego wartości dopuszczalnych hałasu. Zmiany w podejściu możliwe są poprzez podjęcie trzech rodzajów działań związanych:



- ze zmianami przepisów, tj. działań długoterminowych do przeprowadzenia przy udziale szeregu specjalistów związanych z transportem (drogownictwem i kolejnictwem) i akustyką,
- z opracowaniem materiałów o charakterze instrukcji, wytycznych, podręczników dla najistotniejszych zagadnień – ich zadaniem powinno być ujednoczenie podejścia do problemów hałasu komunikacyjnego,
- z edukacją uczestników procesu inwestycyjnego oraz (p.3), zarządców dróg kołowych i kolejowych, administracją ochrony środowiska, a także mediów i społeczeństwa (np. w ramach konsultacji społecznych); są to działania ciągłe.

Opisane powyżej problemy dotyczące hałasu są poważnym uwarunkowaniem racjonalnej realizacji dróg kołowych i kolejowych. O skali problemu może świadczyć długość ekranów do wykonania zaleconych do stosowania w „Programach ochrony przed hałasem dla dróg krajowych” istniejących (o natężeniach ruchu powyżej 16400 P/d) w przykładowych 8 województwach (tab.1) w ramach sporządzania programów ochrony przed hałasem przez firmę EKKOM w latach 2010-2012). W większości programów podstawową stroną żądającą wykonania ekranów akustycznych była administracja ochrony środowiska, często niedopuszczająca do zastosowania innych, skutecznych rozwiązań.

Zdaniem autorów problem narasta, budowa ekranów akustycznych pochłania coraz większe środki na budowę i utrzymanie tych urządzeń.

O skali kolejnych problemów może świadczyć liczba koniecznych do wykonania obecnie map akustycznych i towarzyszących im programów ochrony przed hałasem, które będą wykonane do połowy/końca 2012 r. przez:

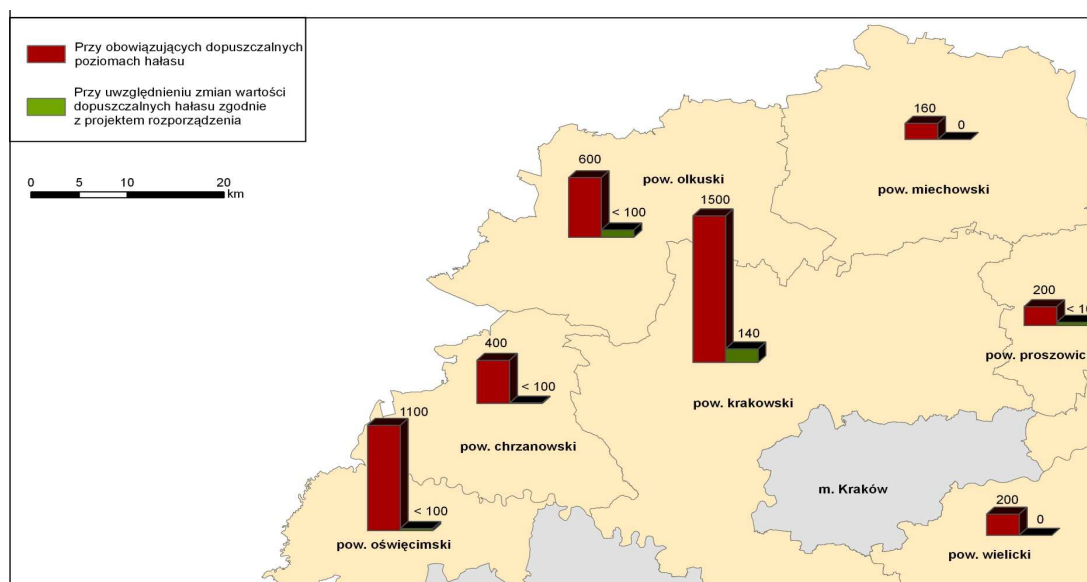
- GDDKiA na sieci dróg krajowych o długości około 7700 km.
- PLK PKP SA na liniach kolejowych o długości około 1500 km.
- zarządców dróg wojewódzkich (i niektórych dróg powiatowych) – w skali trudnej obecnie do oszacowania. W woj. małopolskim długość odcinków dróg wojewódzkich dla których konieczne było wykonanie map akustycznych wynosi 220 km [10].
- Wszystkie miasta o liczbie mieszkańców powyżej 100 000.

„W międzyczasie” trwa na wszystkich liniach komunikacyjnych intensywny proces inwestycyjny (przygotowanie i realizacja), gdzie powstaje przyszły problem związany z utrzymaniem w przyszłości ekranów akustycznych.

Tablica 1. Konieczna długość ekranów akustycznych wraz z ich szacunkowym kosztem zalecone w wybranych programach ochrony przed hałasem

Nazwa programu ochrony przed hałasem (długość odcinków objętych programem [km])	Łączna długość koniecznych do budowy ekranów akustycznych [km]	Szacunkowy koszt działań naprawczych [mln zł]
Program świętokrzyski (21)	2.05	12.3
Program małopolski (158)	82.85	497.2
Program łódzki (178)	38.05	228.3
Program dolnośląski (138)	4.65	27.9
Program śląski (265)	46.49	278.8
Program wielkopolski (111)	15.20	91.4
Program podkarpacki (44)	0	0
Program opolski (79)	0.85	5.1
<b>SUMA: (995)</b>	<b>190.80 km</b>	<b>1 141 mln zł</b>

Jak już opisano powyżej, aby podejście do spraw ochrony akustycznej przy liniach komunikacyjnych było realne konieczne jest podjęcie szeregu zmian. Na (rys. 1) pokazano przykład tego jak może zmienić się liczba budynków zagrożonych hałasem w wybranych powiatach województwa małopolskiego po złagodzeniu wartości dopuszczalnych zgodnie z jedną z ostatnich propozycji [11]. Przykład ten wskazuje, że po ewentualnej zmianie przepisów [11] może nastąpić znacząca zmiana urealnijająca problem ochrony przed hałasem przy drogach samochodowych i kolejowych.



Rys. 1. Porównanie liczby budynków znajdujących się w zasięgu przekroczeń dopuszczalnego poziomu hałasu LDWN dla przepisów obowiązujących i projektu rozporządzenia [10].

#### 4. PODSUMOWANIE

Od momentu wejścia Polski do UE obserwowany jest bardzo duży wzrost inwestycji transportowych, w tym budowy i przebudowy dróg kołowych i kolejowych. Inwestycje te stają się motorem napędowym gospodarki. Temu proces od początku realizacji napotyka na liczne uwarunkowania i bariery, zwłaszcza wynikające z jednej strony ze stagnacją inwestycyjną w latach 80-tych i 90-tych ubiegłego wieku oraz z drugiej ze słabego przygotowaniem przepisów ochrony środowiska i ich dostosowania do przepisów UE.

Powodowało to niejednokrotnie bardzo duże problemy lokalizacyjne nawet kluczowych inwestycji i spowodowało znaczące opóźnienia realizacyjne. Proces inwestycyjny dotyczący sieci drogowych nie został jednak zakończony. Poza dalszą rozbudową sieci dróg krajowych (głównie drogi ekspresowe i obwodnice) pozostaje konieczność kontynuowania przebudowy następnych dróg kolejowych. Zdaniem autorów konieczne jest podsumowanie dotychczasowych działań i racjonalizacja podejścia do niektórych problemów środowiskowych. Zdobyte dotychczas doświadczenia powinny się stać bazą do tych zmian. Jest faktem, że ochrona środowiska stała się gałęzią biznesu i dlatego wydawane na nią środki powinny być społecznie uzasadnione.

Bezwzględnie konieczne jest rozpoczęcie prac nad sprawami dotyczącymi właściwego utrzymania wybudowanej i zmodernizowanej sieci. Służyć temu muszą m.in. zmiany nierealnych przepisów dotyczących głównie ochrony środowiska przed hałasem, które narażają budżet kraju na ogromne wydatki, które niekoniecznie związane są z efektywną ochroną środowiska człowieka i przyrody. Konieczny jest monitoring, a także analizy po-realizacyjne i przeglądy ekologiczne efektywności opisanych i innych działań, podjętych

wielkim nakładem środków dla ochrony środowiska przy realizacji przebudowy sieci transportowej. Dotyczy to zwłaszcza fragmentacji terenu, zanieczyszczenia wód i hałasu.

### **Piśmiennictwo**

- [1] Biała Księga Procesów Inwestycyjnych” na polskich drogach i liniach kolejowych. I Kongres Transportu Polskiego. Warszawa, 2006.
- [2] Polityka Transportowa Państwa na lata 2006-2025. Ministerstwo Infrastruktury, 2006 r.
- [3] Tracz M., Bohatkiewicz J.: Oceny środowiskowe dróg kołowych i szynowych. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport XXI wieku”. Komitet Transportu PAN, Politechnika Warszawska, Białowieża, 09.2007 r.
- [4] Prognoza Oddziaływania na Środowisko Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2008-2012. Wyk.: EKOKONSULT, PROEKO CDM, EKKOM dla Ministerstwa Infrastruktury, Warszawa 2008 r.
- [5] Strategiczna ocena oddziaływania na środowisko dla Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2010-2015. GDDKiA. Warszawa, 2010 r.
- [6] Bohatkiewicz J.: Aktualne problemy ochrony środowiska. Konferencja Polskiego Kongresu Drogowego nt. „Rozwiązania materiałowo-technologiczne w renowacji dróg i mostów”. Kościelisko 10.2007 r.
- [7] Kurek R.T. i inni: Poradnik projektowania przejść dla zwierząt i działań ograniczających śmiertelność fauny przy drogach, GDOŚ, PnRWI i inne organizacje, Warszawa 2010
- [8] Bohatkiewicz J.: Aktualne problemy ochrony środowiska związane z hałasem komunikacyjnym. Materiały na spotkanie robocze w sprawie problemów dotyczących hałasu komunikacyjnego. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Warszawa, 15.11.2011 r.
- [9] Bohatkiewicz J.: Badania wpływu zmian parku samochodowego na poziom emisji hałasu drogowego. V Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej”. Zamość, 09.2011 r.
- [10] Mapa akustyczna dla odcinków dróg wojewódzkich woj. małopolskiego o natężeniu ruchu powyżej 3 mln pojazdów rocznie. EKKOM Kraków, 2011 r.
- [11] Projekt zmiany rozporządzenia Ministra Środowiska zmieniającego rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych hałasów w środowisku. Projekt zmiany z dnia 5.01.2012 r.

## **ENVIRONMENTAL BARRIERS AND CONDITIONS IN DEVELOPMENT OF TRANSPORTATION INFRASTRUCTURE IN POLAND**

### **Summary**

The paper presents the most important environmental barriers and conditions in development of roads and railways in Poland. The first part presents the increasing role of protection of environment in development and reconstruction of roads after 1990. Then presented are main environmental barriers, i.e. legal, economical and methodological as well as stages and ways of their overcoming. Special attention is paid to Nature 2000 program, to fragmentation of fauna and flora living areas and to water pollution. Particular attention was paid to traffic noise and its screening, particularly with use of noise barriers only. Last part presents conditions leading to non-efficient and uneconomical common use of noise barriers only for traffic noise screening.