

# Bezстыkowa nawierzchnia betonowa

## 1. Wpływ zmian temperatury na nawierzchnie

Zarówno nawierzchnie szynowe jak i drogowe poddane są tym samym obciążeniu wynikającym z wpływów atmosferycznych i zmian temperatury zewnętrznej. Ten ostatni czynnik ma decydujące znaczenie dla konstrukcji nawierzchni, gdyż musi ona uwzględniać odkształcalność termiczną elementów nawierzchni. Do niedawna dla przeciwdziałania szkodliwym skutkom zmian temperatury stosowano w obu typach nawierzchni podział na oddzielne fragmenty, zapewniając każdemu z nich swobodę odkształceń termicznych. W klasycznej nawierzchni szynowej tor składa się z połączonych przesuwnie odcinków o długości około 25 m, oddzielonych od siebie szczeliną dylatacyjną. W betonowych nawierzchniach drogowych stosuje się identyczną metodę, z tą różnicą, że ze względu na inne własności betonu niż stali konieczny jest podział nawierzchni na odcinki znacznie krótsze – szczeliny dylatacyjne muszą być co kilka metrów. Konieczność stosowania szczelin dylatacyjnych jest przyczyną obniżonego komfortu jazdy oraz negatywnie wpływa na trwałość nawierzchni. Każda przerwa w ciągłości nawierzchni jest źródłem pojawienia się obciążeń dynamicznych i destrukcji całej konstrukcji, tym większej, im większa jest prędkość jazdy. Wzrost prędkości jazdy na liniach kolejowych i pojawienie się szybkiej kolei, tzn. kolei o prędkości powyżej 200 km/godz., spowodowały konieczność odejścia od klasycznej nawierzchni szynowej na rzecz nawierzchni bezстыkowej. Nawierzchnia taka pozbawiona jest przerw dylatacyjnych, a zabezpieczenie toru przed wybozeniem uzyskuje się przez taką konstrukcję i metodę budowy, które pozwalają znieść siły podłużne w torze bez obawy o jego deformację [1].

Konstrukcja nawierzchni bezстыkowej nie odbiega od konstrukcji toru klasycznego poza starannym wypełnieniem podsypką okienek między podkładami i ułożenie podsypki na zewnątrz podkładów dla zwiększenia odporności na wybożenie. Nie mniej ważna jest metoda budowy, która ma ograniczyć wielkość siły podłużnej powstającej w szynie. Ponieważ temperatura szyn zmienia się w warunkach polskich od -30 do +60°C, instrukcja techniczna PKP [2] nakazuje, aby przytwierdzenie szyn toru bezстыkowego wykonywać w taki sposób, aby temperatura neutralna, przy której zeruje się siła podłużna, wynosiła  $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  (dopuszcza się przytwierdzenie do podkładów w temperaturze od  $+15^{\circ}\text{C}$  do  $+30^{\circ}\text{C}$ ). Zmiana temperatury szyny w stosunku do temperatury neutralnej o  $1^{\circ}\text{C}$  wywołuje w niej naprężenie  $\sigma$  o wielkości

$$\sigma = \alpha E$$

gdzie:

$\alpha$  – współczynnik rozszerzalności termicznej; dla stali  $\alpha = 1,15 \cdot 10^{-5} [1/^{\circ}\text{C}]$ ,

$E$  – moduł sprężystości podłużnej; dla stali  $E = 2,1 \cdot 10^5 [\text{MPa}]$ ,

co daje 2,415 MPa. Przy spadku temperatury z  $23^{\circ}\text{C}$  do  $-30^{\circ}\text{C}$  powoduje to naprężenie rozciągające o wielkości 128,0 MPa, a przy wzroście naprężeń do  $+60^{\circ}\text{C}$  naprężenie ściskające o wielkości 89,4 MPa. Dla stosowanych w torze bezстыkowym szyn UIC60 o przekroju poprzecznym  $76,87 \text{ cm}^2$  odpowiada to sile ściskającej 687 kN i sile rozciągającej

984 kN. Praktyka pokazuje, że przestrzeganie temperatury przytwierdzenia szyn we wskazanych granicach pozwala na bezpieczną eksploatację nawierzchni bezстыkowej. Siły, jakie powstają w torze przy zmianach temperatury, są wcześniej przewidziane w technologii układania torów i wykorzystuje się tu fakt, że stal znosi równie dobrze rozciąganie jak i ściskanie. Dopuszcza się więc w szynach zarówno siły ściskające jak i rozciągające.

Rodzi się w sposób naturalny pytanie, czy metody stosowanej przy budowie toru bezстыkowego nie da się przenieść do konstrukcji nawierzchni drogowych.

## 2. Nawierzchnie drogowe

Nawierzchnie drogowe poddane są tym samym warunkom atmosferycznym, co nawierzchnie szynowe, a ze względu na podobny do stali współczynnik odkształcalności termicznej wykazują podobne odkształcenia przy zmianach temperatury. Spośród trzech rodzajów nawierzchni (podatnych, półsztywnych i sztywnych), jakie przewidują polskie katalogi nawierzchni typowych, wszystkie typy nawierzchni podatnych i półsztywnych [3] mają najwyżej położoną warstwę, tj. warstwę ścieralną, wykonaną z mieszanki mineralno-asfaltowej i nazywane są w skrócie nawierzchniami asfaltowymi [4]. Natomiast wszystkie typy nawierzchni sztywnych [5] mają najwyżej położoną warstwę, tj. warstwę nawierzchniową, wykonaną z betonu cementowego i nazywane są w skrócie nawierzchniami betonowymi [6]. Warto zaznaczyć, że warstwa ścieralna nawierzchni asfaltowych w istocie wykonana jest też z betonu – takiego, w którym spoiwem jest asfalt, tj. z betonu asfaltowego. Pamiętaj też trzeba, że wewnętrzne warstwy dla nawierzchni betonowych mogą być wykonane z mieszanki mineralno-asfaltowej, a nawierzchnie asfaltowe mogą zawierać wewnętrzne warstwy z betonu cementowego.

W nawierzchni betonowej warstwa nawierzchniowa pełni zarazem funkcje warstwy ścieralnej i zasadniczej warstwy konstrukcyjnej. Według polskiego katalogu nawierzchni sztywnych [5] warstwa ta w zależności od kategorii ruchu drogi i od rodzaju podbudowy powinna mieć grubość mieszczącą się w granicach od 18 cm dla kategorii KR1 do 32 cm dla KR7. Oznacza to, że warstwa nawierzchniowa stanowi konstrukcję betonową o średniej masywności i przy jej układaniu i pielęgnacji należy brać pod uwagę naprężenia termiczne wywołane ciepłem hydratacji.

Zewnętrzna warstwa nawierzchni asfaltowych jest wykonana z materiału stosunkowo elastycznego i o dużej odkształcalności granicznej (przy wysokich temperaturach staje się to przyczyną deformacji zwanej koleinowaniem). Toteż stosunkowo łatwo znosi odkształcenia termiczne wywołane zmianami temperatury zewnętrznej i nie zachodzi konieczność ich dylatowania. Inaczej jest z nawierzchniami betonowymi. Ze względu na małą odkształcalność graniczną betonu przy rozciąganiu, wymagają one szczelin dylatacyjnych, gdyż w niskich temperaturach tworzą się w nich spęka-

nia wywołane odkształceniem termicznym – „skurczem termicznym”- por. rys. 1.

Do niedawna panowało przekonanie, że wykonanie nawierzchni betonowej jest droższe niż porównywalnej nawierzchni asfaltowej, ale utrzymanie nawierzchni betonowej jest tańsze niż asfaltowej. Jednakże analiza kosztów przeprowadzona przez zespół z Politechniki Wrocławskiej pod kierunkiem prof. Antoniego Szydło wykazała, że przy współczesnych cenach i obecnie stosowanych technologiach wykonanie 1 km drogi z nawierzchnią betonową jest od 28,8% do 33% tańsze niż odpowiadającej jej drogi z nawierzchnią asfaltową, a uwzględniając koszt eksploatacji (*life cycle cost*) po 30 latach eksploatacji droga betonowa jest od 54,5 % do 57 % tańsza w stosunku do nawierzchni asfaltowej [8, 9]. Przy takiej relacji kosztów nawierzchnie betonowe zyskują dodatkowe preferencje do ich stosowania i przewidywać należy, że w ramach programu budowy autostrad i dróg ekspresowych długość nawierzchni betonowych zwiększy się w stosunku do uprzednich przewidywań. Sprawa jest o tyle istotna, że Rozporządzenie Rady Ministrów z roku 2016 [10] wprowadza w stosunku do rozporządzenia z roku 2004 następującą poprawkę: „Określa się sieć autostrad i dróg ekspresowych w Rzeczypospolitej Polskiej o łącznej długości około 7650 km, w tym około 2000 km autostrad”. Oznacza to zwiększenie planowanej długości dróg ekspresowych w stosunku do pierwotnych planów o 450 km. Zwiększenie programu stawia sprawę kosztów jednostkowych nawierzchni w centrum uwagi.

### 3. Program budowy dróg krajowych

W lipcu br. Rada Ministrów podjęła kluczową uchwałę dotyczącą programu budowy dróg krajowych na lata 2014-2025 [11]. Załącznik do tej uchwały zatytułowany „PROGRAM BUDOWY DRÓG KRAJOWYCH NA LATA 2014–2023 (z perspektywą do 2025 r.) Aktualizacja 2017 w związku ze Strategią na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju” zawiera zestawienie zarówno dotychczasowych realizacji jak i zamierzeń na najbliższe lata. W szczególności wynika z niego, że do roku 2017 zbudowano w ramach Programu Budowy Dróg Krajowych 1631 km autostrad i 1531 km dróg ekspresowych – por. rys. 2. Oznacza to, że w ramach programu konieczne będzie jeszcze wy-



Rys. 1. Nieregularne rysy termiczne powstałe na nawierzchni betonowej pozbawionej dylatacji [7]

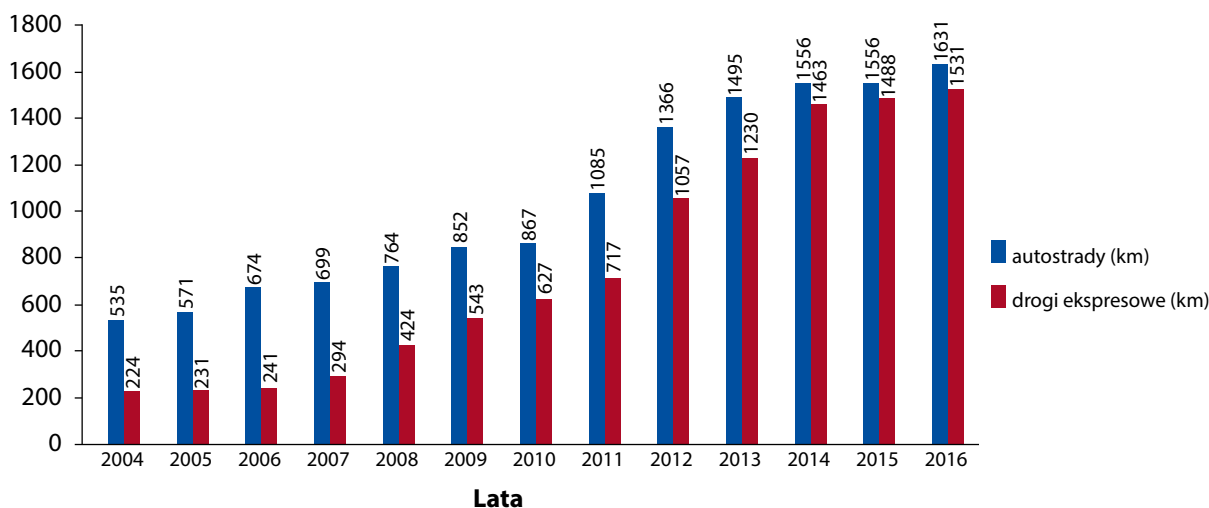
budowanie 469 km autostrad i 4019 km dróg ekspresowych.

Podstawowym problemem w realizacji programu jest jego koszt. Wybudowanie w okresie od 2004 do 2016 r. 3162 km autostrad i dróg ekspresowych kosztowało łącznie 176 965 147,04 zł [11], a czeka nas program wybudowania do roku 2023 łącznie 4488 km autostrad i dróg ekspresowych. Według wspomnianego programu przewiduje się, że koszt realizacji tych zadań wyniesie ok. 196 mld zł. Jednakże przy zachowaniu średnich cen z lat 2004-2016 koszt ten można oszacować na 251 mld zł. Liczby te wskazują na kluczowe znaczenie kosztu budowy 1 km nawierzchni. Korzyści finansowe może przynieść zwiększenie w programie udziału nawierzchni betonowych, ale tym większego znaczenia nabiera możliwość obniżenia kosztu budowy 1 km takiej nawierzchni. Korzyści takie może przynieść technologia eliminująca konieczność stosowania dylatacji w takich nawierzchniach.

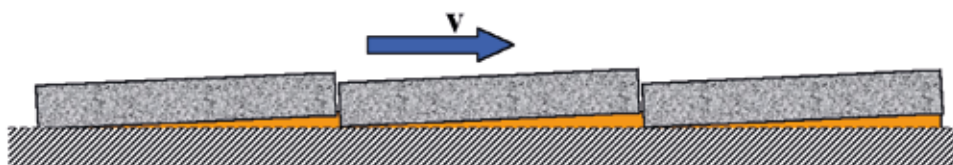
### 4. Klasyczna nawierzchnia betonowa

Nawierzchnie betonowe zewnętrznie różnią się od asfaltowych nie tylko rodzajem betonu, lecz również istnieniem dylatacji przecinających pionowo co kilka metrów warstwę betonu, skutkiem czego cała nawierzchnia stanowi konstrukcję złożoną z oddzielnych, ułożonych obok siebie płyt. Podział nawierzchni betonowej dylatacjami na oddzielne płyty podyktowany jest koniecznością dostosowania nawierzchni do przenoszenia obciążeń termicznych wynikających z zmiany temperatury i obciążeń wynikających z odkształceń skurczowych betonu. Odkształcenia określane jako „skurczowe” są istotne jedynie w początkowym okresie dojrzewania betonu i w dużej mierze są wynikiem

Rys. 2. Długość dróg ekspresowych i autostrad w Polsce w latach 2004-2016 (km) [11]



Rys. 3. Schemat niszczenia nawierzchni betonowej w wyniku mechanizmu pompowania. Koło pojazdu, zjeżdżając z kolejnej płyty, powoduje odciążenie jej krawędzi i tendencję do poderwania do góry, a najeżdżając na następną płytę wbiła jej krawędź w grunt, co powoduje mechanizm przesuwania cząstek podłoża pod wcześniej obciążoną płytę i stopniowo przekształca nawierzchnię w konstrukcję przypominającą schody



zmian temperatury betonu wynikających z ciepła hydratacji cementu. W wyniku wydzielania się tego ciepła w pierwszych godzinach w świeżym (miękkim) betonie następuje wzrost temperatury, a po stwardnieniu betonu jej spadek wynikający z wymiany ciepła z otoczeniem. Powoduje to wystąpienie ujemnych odkształceń termicznych sprawiających wrażenie skurczu. W przypadku dojrzalego betonu zjawisko skurczu wynika jedynie ze zmian wilgotności i jest zjawiskiem odwracalnym.

Odształcenia termiczne są jednak istotne w całym okresie eksploatacji nawierzchni. Ze względu na konieczność procesu hydratacji nawierzchnia betonowa może być wykonana jedynie w temperaturze dodatniej, natomiast musi pracować w całym zakresie temperatur występujących w lokalnych warunkach geograficznych i poza strefą równikową musi być dostosowana również do pracy w temperaturach ujemnych. W warunkach polskich oznacza to, że nawierzchnia musi zapewniać pracę w temperaturach spadających do  $-30^{\circ}\text{C}$ . Jeśli przyjąć, że przeciętna temperatura, w której następuje stwardnienie betonu wynosi  $+20^{\circ}\text{C}$ , nawierzchnia betonowa musi znieść spadek temperatury w zakresie  $50^{\circ}\text{C}$ . Ponieważ współczynnik odkształcalności termicznej betonu wynosi

$$\alpha_T = 10^{-5}$$

oznacza to, że przy założeniu braku poślizgu warstwy betonowej po podłożu beton nawierzchni dozna ujemnego odkształcenia termicznego o wartości

$$\epsilon_T = \Delta T \alpha_T = -50 \cdot 10^{-5} = -5 \cdot 10^{-4}$$

Jest to wielkość 5-krotnie większa od granicznej wydłużalności betonu przy rozciąganiu, która wynosi jedynie

$$\epsilon_{gr} = -1 \cdot 10^{-4}$$

i jest to wartość co do modułu 10-krotnie mniejsza od granicznej odkształcalności przy ściskaniu. Z analizy tej wynika, że w przypadku braku swobody odkształceń nawierzchni betonowej jej wydłużalność graniczna wyczerpuje się już przy spadku temperatury o  $10^{\circ}\text{C}$ , a ponieważ w warunkach europejskich trzeba się liczyć ze spadkami temperatury kilkakrotnie większymi, monolityczne nawierzchnie wykonane ze zwykłego betonu muszą pękać, a spękania te powstaną w miejscach, których nie sposób przewidzieć. Spękania takie stają się źródłem destrukcji całej nawierzchni, gdyż inicjują tzw. mechanizm pompowania prowa-

dzący do przekształcenia płaskiej płyty w strukturę schodkową i coraz drobniejszy jej podział nowymi spękaniami – por. rys. 3, rys. 4.

Dla uniknięcia spękań termicznych w drogownictwie od dawna stosowano sposób podobny do rozwiązania z nawierzchni szynowych, tj. podział nawierzchni szczelinami dylatacyjnymi, w wyniku czego cała nawierzchnia przekształca się w konstrukcję złożoną z oddzielnych ułożonych obok siebie prostokątnych płyt. Aby dylatacje nie stały się przyczyną mechanizmu pompowania, szczeliny dylatacyjne podłużne (wzdłuż osi drogi) są kotwione, natomiast dylatacje poprzeczne muszą być dyblowane dla umożliwienia zmiany szerokości szczeliny dylatacyjnej przy zmianach temperatury i jednoczesnego zabezpieczenia przed klawiszowaniem nawierzchni – por. rys. 5.

Szczeliny dylatacyjne tworzy się intencjonalnie w trakcie budowy nawierzchni. Mogą być one wykonywane w różny sposób, lecz najczęściej wykonuje się je przez nacinanie świeżego betonu piłami tarczowymi w z góry wyznaczonych miejscach i o określonej szerokości. Pozwala to na uszczelnienie szczelin dostosowanymi do ich szerokości uszczelnkami, co zapobiega przenikaniu wód opadowych do podłoża i powstawaniu mechanizmu pompowania. Dla skutecznego działania dylatacji odległość między sąsiednimi dylatacjami poprzecznymi powinna się mieścić w zakresie od 4 do 6 m. Koszt dyblowania wszystkich dylatacji byłby zbyt duży, więc w praktyce dybluje się tylko część dylatacji, ryzykując zainicjowanie mechanizmu pompowania w przypadku nieskuteczności założonego uszczelnienia.

Inne metody zapobiegania pęknięciom nawierzchni polegają na wykonaniu nawierzchni z betonu zbrojonego. Najczęściej stosowane jest wówczas zwykłe zbrojenie ze stali żebrowanej, co prowadzi do wykonania klasycznej płyty żelbetowej. Ponieważ stal nie może zmienić odkształcalności granicznej betonu, rozwiązanie takie nie zapobiega spękanom, lecz jedynie rozprasza je na drobne rysy. Rzadziej w miejsce prętów zbrojeniowych stosowane jest zbrojenie rozproszone, czyli zastosowanie włóknobetonu. Niekiedy w przypadku odpowiedzialnych konstrukcji stosuje się też zbrojenie sprężające, zarówno w postaci strunbetonu jak i kablobetonu. Jeśli jednak samo wykonanie i uszczelnienie dylatacji jest już kosztowne, to zastosowanie płyty zbrojonej pociąga za sobą znacznie większy koszt.

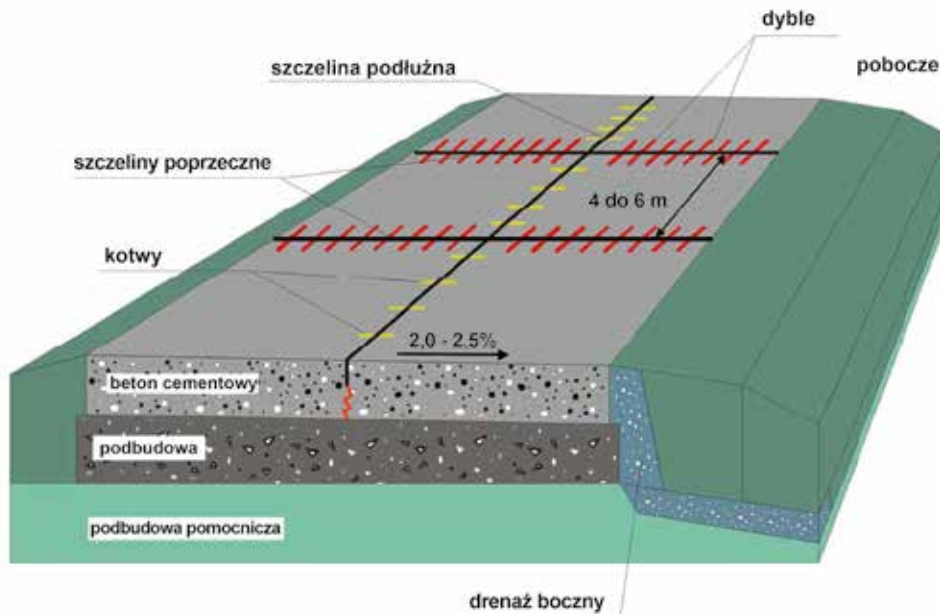
## 5. Bezstykowa nawierzchnia betonowa

Zastosowanie w budowie nawierzchni betonowej szczelin dylatacyjnych jest podyktowane tą samą filozofią, jaka przyświecała koncepcji klasycznej nawierzchni szynowej. Nawierzchnię należy podzielić na niewielkie fragmenty i każdemu z nich umożliwić swobodę odkształceń termicznych, aby uniknąć sił wewnętrznych. W przypadku nawierzchni szynowej zagrożeniem jest wyboczenie przy wysokich temperaturach, a w przypadku nawierzchni betonowej zagrożeniem jest możliwość pęknięcia w niskich tem-

Rys. 4. Nawierzchnia betonowa zniszczona wskutek mechanizmu pompowania



Rys. 5. Betonowa nawierzchnia niezbrojona dyblowana i kotwiona [12]



peraturach. Rozwiązaniem problemu przy nawierzchniach szynowych stała się nawierzchnia bezstykowa, przy której w szynach dopuszcza się siły wewnętrzne, lecz technologia wykonania zapewnia, że przy wszystkich temperaturach eksploatacji siły te utrzymują się w dopuszczalnych granicach. Identyczne założenie można przyjąć przy technologii wykonania nawierzchni betonowej – świadomie dopuścić występowanie sił wewnętrznych, lecz zadbać o to, aby przy każdej temperaturze mieściły się one w dopuszczalnych granicach. Rozwiązanie takie usuwa konieczność stosowania dylatacji i na wzór nawierzchni szynowych słusznie jest nazywać je betonową nawierzchnią bezstykową. Nawierzchnia taka jest przedmiotem patentu zatytułowanego „Nawierzchnia betonowa i sposób jej wykonania” wydanego przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej [13].

Idea nawierzchni bezstykowej sprowadza się do tego, aby temperatura neutralna, tj. temperatura w której zerują się wewnętrzne naprężenia, była tak dobrana, aby odstępstwa od niej obserwowane w czasie eksploatacji powodowały naprężenia mieszczące się w dopuszczalnym dla danego materiału zakresie. Dla stalowych szyn zakres temperatur eksploatacyjnych mieści się w granicach od  $-30$  do  $+60^{\circ}\text{C}$ . Instrukcja PKP [2] nakazuje montaż toru wykonywać tak, aby temperatura neutralna wynosiła  $+23^{\circ}\text{C}$ . Ze względu na własności stali dopuszcza się w niej rozciąganie - gdy temperatura spada poniżej neutralnej - oraz ściskanie - gdy temperatura wzrasta powyżej neutralnej. Jeśli w nawierzchni betonowej ma nigdy nie wystąpić rozciąganie, jej temperatura neutralna powinna wynosić  $-30^{\circ}\text{C}$ . Podczas eksploatacji temperatura nawierzchni będzie nie niższa od  $-30^{\circ}\text{C}$  i tym samym beton w nawierzchni zawsze byłby ścispany. Ponieważ odkształcalność graniczna betonu przy rozciąganiu pozwala znieść spadek temperatury o  $10^{\circ}\text{C}$ , można złagodzić wymaganie co do temperatury neutralnej i przyjąć ją w wysokości  $-20^{\circ}\text{C}$ . Porównanie naprężeń, jakie powstają wówczas w nawierzchni szynowej i nawierzchni betonowej, ilustruje rys. 6. W porównaniu tym przyjęto, że nawierzchnia betonowa jest wykonana z betonu kla-

sy C35/45, a jego moduł zgodnie z Eurokodem 2 [14] wynosi  $E = 34 \text{ GPa}$ .

Porównanie przedstawione na rys. 6 dotyczy nawierzchni wykonanej z betonu klasy C35/45, lecz ilustruje podstawowy fakt, że przy wzroście temperatury nawierzchni nawet o  $80^{\circ}\text{C}$  w stosunku do temperatury neutralnej naprężenia zawsze są mniejsze niż wytrzymałość na ściskanie niezależnie do klasy betonu.

Odrębną sprawą jest technologia wykonania nawierzchni bezstykowej, która ma gwarantować wymaganą temperaturę neutralną. Jest oczywiste, że nawierzchnia betonowa musi być wykonana w temperaturze powyżej zera, aby umożliwić związanie i dojrzewanie betonu. Doprowadzenie jej do stanu, w którym temperatura neutralna wynosi  $-20^{\circ}\text{C}$  wymaga wprowadzenia w niej naprężeń wewnętrznych odpowiadających aktualnej temperaturze. Przykładowo, jeśli operacja będzie wykonywana w temperaturze  $+20^{\circ}\text{C}$ , niezbędne jest wprowadzenie do nawierzchni naprężeń w wysokości  $13,6 \text{ MPa}$ , przy temperaturze  $0^{\circ}\text{C}$  – naprężeń w wysokości  $6,8 \text{ MPa}$ , a przy temperaturze  $-10^{\circ}\text{C}$  – naprężeń jedynie w wysokości  $3,4 \text{ MPa}$ . Po sprężeniu do stanu odpowiadającego temperaturze sprężania konieczne jest zablokowanie jej ruchu, aby utrwalił stan sprężenia i zapobiec jej odprężeniu. Cała ta technologia jest dobrze opanowana przy wykonywaniu bezstykowej nawierzchni szynowej, a do wprowadzenia właściwej siły wewnętrznej w szynach podczas regulacji toru stosuje się hydrauliczne naprężacze. Umożliwiają one wprowadzenie do szyny rozciągającej lub ściskającej siły o wielkości do  $70 \text{ t}$ . Hydrauliczne siłowniki mogą być poruszane pompą ręczną lub za pomocą agregatu [15].

Rys. 6. Zestawienie naprężeń w bezstykowej nawierzchni szynowej – temperatura neutralna =  $+23^{\circ}\text{C}$  - i w bezstykowej nawierzchni betonowej – temperatura neutralna =  $-20^{\circ}\text{C}$ . Zgodnie z tradycją naprężenia ściskające dla betonu oznaczono jako dodatnie, a rozciągające jako ujemne

	$-30^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}$	$23^{\circ}\text{C}$	$60^{\circ}\text{C}$
Temperatura					
Naprężenia w szynie toru bezstykowego	$128,0 \text{ MPa}$			$0 \text{ MPa}$	$-89,4 \text{ MPa}$
Naprężenia w bezstykowej nawierzchni betonowej	$-3,4 \text{ MPa}$	$0 \text{ MPa}$			$27,2 \text{ MPa}$
			rozciąganie	ściskanie	
			ściskanie		

Analogiczna technologia może być zastosowana przy regulacji temperatury neutralnej w bezстыkowej nawierzchni betonowej. Zbyteczne jednak jest wymaganie możliwości rozciągania nawierzchni. Umożliwia to zastosowanie w charakterze naprężacza nawierzchni wielu powszechnie dostępnych siłowników hydraulicznych.

Bezстыkowa nawierzchnia betonowa, która jest przedmiotem wynalazku [13], ma konstrukcję odpowiadającą zwykłej nawierzchni sztywnej. Na warstwie mrozoodpornej i podbudowie ułożona jest konstrukcyjna warstwa niezbrojonego betonu. W trakcie wykonywania jest ona wstępnie podzielona pionowymi szczelinami na oddzielne segmenty o długości podobnej do długości klasycznych szyn. W dalszym etapie wykonywania każdy z tych segmentów spręża się naprężaczami (siłownikami hydraulicznymi) do naprężenia odpowiadającego aktualnej temperaturze, tak aby kolejny segment uzyskał stan odpowiadający temperaturze neutralnej nie wyższej niż  $-20^{\circ}\text{C}$ . Kolejny sprężony segment unieruchamia się poprzez scalenie go z segmentami już sprężonymi wyłącznie przez wzajemne przekazywanie sobie sił między segmentami bez stosowania jakichkolwiek cięgien stosowanych w konstrukcjach sprężonych, np. kabli, strun lub cięgien zewnętrznych. Powstała w ten sposób nawierzchnia pozostaje nawierzchnią czysto betonową. Jej praca przypomina pracę szynowych nawierzchni o torze bezстыkowym, z tą różnicą, że w szynach stan naprężenia kształtuje się tak, aby temperatura neutralna odpowiadająca stanowi beznaprężeniowemu wynosiła  $+23^{\circ}\text{C}$ , natomiast przy bezстыkowej nawierzchni betonowej temperatura neutralna musi być nie wyższa niż  $10^{\circ}\text{C}$  od najniższej temperatury pracy nawierzchni, a więc w warunkach polskich powinna być nie wyższa niż  $-20^{\circ}\text{C}$ .

## 6. Zakończenie

Drogownictwo i kolejnictwo przez wszystkie lata rozwijały się w całkowitym oderwaniu od siebie. Wykształciły się całkowicie odrębne kadry, doświadczenia, technologie, przepisy i normy. Dziedziny transportu drogowego i szynowego nawet na uczelniach są wykładane oddzielnie, a w życiu gospodarczym zajmują się nimi całkowicie różne instytucje. Nie ma wzajemnego przenikania się idei i rozwiązań technicznych. Obie te gałęzie transportu również w planowaniu i życiu politycznym traktowane są nie komplementarnie, lecz konkurencyjnie. Instytucje zajmujące się rozwojem i eksploatacją dróg kołowych i szynowych konkurują ze sobą w dostępie do finansowania i priorytetu u decydentów życia politycznego. Niniejszy szkic ukazuje korzyści z kompleksowego traktowania transportu lądowego. Wiele rozwiązań wypracowanych w świecie kolei może znaleźć zastosowanie w drogownictwie. Lecz i z drugiej strony technologie wypracowane przy budowie dróg kołowych są wręcz niezbędne przy budowie nowoczesnych nawierzchni bezpodsypkowych w transporcie szynowym. Sprawa ta powinna stać się przedmiotem szerszej dyskusji w świecie nauki i techniki.

Najpilniejszego rozwiązania wymaga jednak wykorzystanie doświadczeń zdobytych w kolejnictwie przy budowie nawierzchni bezстыkowych do budowy bezстыkowych nawierzchni betonowych. Zastosowanie takich nawierzchni będzie źródłem istotnych oszczędności finansowych. Jest to kwe-

stia kluczowa dla kosztów całego państwowego programu budowy autostrad i dróg ekspresowych - programu najbardziej kosztownego w całej historii państwa polskiego. Jednocześnie zapewni to znacznie lepsze warunki transportu drogowego – zwiększenie komfortu jazdy i znaczący wzrost trwałości nawierzchni drogowych, w których dyatacje są najbardziej istotnym źródłem degradacji drogi podczas jej eksploatacji.

**dr hab. inż. Piotr Witakowski**  
**emerytowany prof. AGH i ITB**

## Literatura cytowana

- 1 *Włodzimierz Czyczula, Tor bezстыkowy*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2002
- 2 *PKP Polskie Linie Kolejowe SA, Warunki techniczne wykonania i odbioru robót nawierzchniowo-podtorzowych Id-114, załącznik do uchwały nr 124/2016 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe SA z dnia 9 lutego 2016*
- 3 *KATALOG TYPOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI PODATNYCH i PÓŁSZTYWNYCH, załącznik do zarządzenia nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.* [https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarzadzanie-generalnego-dyrektor\\_13901/zarzadzanie%2031%20Zalacznik.pdf](https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarzadzanie-generalnego-dyrektor_13901/zarzadzanie%2031%20Zalacznik.pdf)
- 4 *Jerzy Piąt, Piotr Radziszewski, Nawierzchnie asfaltowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004
- 5 *KATALOG TYPOWYCH KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI SZTYWNYCH, załącznik do zarządzenia nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.* [https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarzadzanie-generalnego-dyrektor\\_13901/zarzadzanie%2030%20Zalacznik.pdf](https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/z/zarzadzanie-generalnego-dyrektor_13901/zarzadzanie%2030%20Zalacznik.pdf)
- 6 *Antoni Szydło, Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*, Wydawca Polski Cement, Kraków 2004
- 7 <http://www.betonowki.pl/powszechne-mity-na-temat-betonu>
- 8 *Piotr Piestrzyński, Fakt: nawierzchnie betonowe są tańsze i stabilne cenowo*, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, nr 3/2016 lipiec-wrzesień
- 9 [http://www.polskicement.pl/aktualnosci/Raport\\_Politechniki\\_Wroclawskiej\\_Badania\\_i\\_analzy\\_kosztow\\_budowy\\_i\\_utrzymania\\_nawierzchni\\_betonowych\\_i\\_asfaltowych-341](http://www.polskicement.pl/aktualnosci/Raport_Politechniki_Wroclawskiej_Badania_i_analzy_kosztow_budowy_i_utrzymania_nawierzchni_betonowych_i_asfaltowych-341)
- 10 *ROZPORZĄDZENIE RADY MINISTRÓW z dnia 19 maja 2016 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych (Dz.U. 2016 poz. 784)*
- 11 *UCHWAŁA NR -105/2017 RADY MINISTRÓW z dnia 12 lipca 2017 r. zmieniająca uchwałę w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2014-2023 (z perspektywą do 2025 r.)”;* <https://mib.gov.pl/files/0/1797877/RMUchwala1052017.pdf>
- 12 *Antoni Szydło i inni, Aktualizacja katalogu typowych nawierzchni sztywnych. Etap II, Politechnika Wroclawska, Instytut Inżynierii Lądowej, Raport serii SPR 243/2012, Wroclaw, listopad 2012;* [https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-w-trakcie\\_3434/KTKNS\\_Etap%20II\\_15-low%20v09.04.2013.pdf](https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-w-trakcie_3434/KTKNS_Etap%20II_15-low%20v09.04.2013.pdf)
- 13 *Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, Patent nr 220638 na wynalazek pt. „Nawierzchnia betonowa i sposób jej wykonania” udzielony na rzecz: Witakowski Piotr, Warszawa 2015*
- 14 <http://www.kalkulatoryec.pl/beton-wg-eurokodu>
- 15 <http://docplayer.pl/47512700-Katalog-maszyny-i-narzedzia.html>