

Fot. 1. Budowa nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – układ zbrojenia



fot. Michał Błaszczyszki

# Polskie doświadczenia z betonowymi nawierzchniami bez szczelin poprzecznych

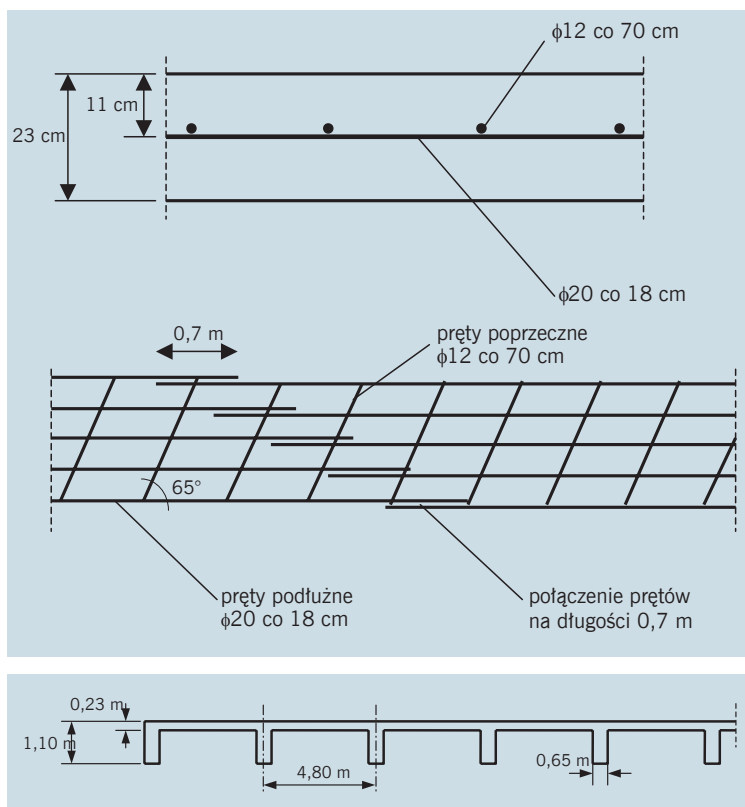
## 1. Wprowadzenie

Po prawie 100 latach eksploatacji drogowych nawierzchni betonowych współcześnie można wyróżnić następujące rodzaje nawierzchni:

- nawierzchnie niezbrojone i niedyblowane
- nawierzchnie niezbrojone, ale dyblowane i z kotwami

- nawierzchnie zbrojone ze szczelinami dyblowanymi
- nawierzchnie ze zbrojeniem ciągłym bez szczelin poprzecznych
- nawierzchnie z betonu sprężonego
- nawierzchnie prefabrykowane
- nawierzchnie złożone (mieszane), tj. podbudowa betonowa, na której ułożona jest cienka warstwa z mieszanki mineralno-asfaltowej lub warstwa betonowa ułożona na istniejącej nawierzchni asfaltowej (whitetopping).

Rys. 1. Schemat lokalizacji zbrojenia w płycie



Rys. 2. Schemat rozmieszczenia bloków kotwiących nawierzchnię

Praktyczne zastosowanie w światowej technice drogowej znalazły nawierzchnie: dyblowane i kotwione, niezbrojone i niedyblowane, ze zbrojeniem ciągłym oraz nawierzchnie złożone (mieszane).

Poszczególne rodzaje nawierzchni są stosowane w różnych krajach. Można powiedzieć, że każdy kraj posiada swoją specyfikę. Przykładowo Niemcy stosują nawierzchnie dyblowane i kotwione, Belgowie nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu. Francuzi stosują dyblowane i kotwione oraz o ciągłym zbrojeniu, jak również stosują grube płyty niedyblowane. Anglicy preferują typ nawierzchni złożonych (mieszanych). Różne też stosowane są podbudowy tych nawierzchni. Najczęściej stosowanymi rodzajami podbudów są podbudowy z chudych betonów (zabezpieczonych przed erozją geowłókniną), z mieszanek mineralno-asfaltowych, a także z kruszywa rozdrobnionego.

Są wady i zalety poszczególnych rodzajów nawierzchni, zależne m.in. od specyfiki ruchu, utrzymania, warunków klimatycznych itp.

W Polsce jak dotąd budowano nawierzchnie dyblowane i kotwione. Ogółem począwszy od połowy lat 90. ubiegłego wieku wybudowano w Polsce na drogach krajowych i autostradach ok. 190 km nawierzchni betonowych w technologii tradycyjnej, tj. z dyblami



Fot. 2. Budowa nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – układanie betonu

i kotwami. Na autostradzie A4 w pobliżu Wrocławia w ramach modernizacji nawierzchni tej autostrady został ułożony doświadczalny odcinek z betonu o ciągłym zbrojeniu, bez szczelin poprzecznych.

Podobny odcinek nawierzchni bez szczelin poprzecznych o ciągłym zbrojeniu został ułożony na lotnisku w Lublinku koło Łodzi.

W artykule przedstawione zostaną polskie doświadczenia w budowie pierwszych odcinków eksperymentalnych nawierzchni betonowej bez szczelin poprzecznych.

## 2. Technologia modernizacji nawierzchni autostrady A4

W 2002 roku rozpoczęto modernizację autostrady A4 z Wrocławia do Krzywej (w kierunku zachodnim do granicy z Niemcami – długości ok. 100 km), na której układana jest nawierzchnia betonowa. Stara nawierzchnia autostrady wybudowana w latach 30. ubiegłego wieku składała się z płyt betonowych o grubości 20 cm, ułożonych na podłożu gruntowym. Płyty te wyburzono i poddano recyklingowi, a uzyskane kruszywo wbudowano do warstwy mrozochronnej oraz podbudowy z chudego betonu.

Projektowana konstrukcja nawierzchni przedmiotowej autostrady jest następująca:

- beton cementowy, B40, grubości 27 cm, płyta betonowa dyblowana i kotwiona
- geowłóknina
- podbudowa, chudy beton,  $R = 6 - 9$  MPa, grubości 20 cm
- warstwa mrozochronna, grubości 30 cm
- grunt stabilizowany cementem,  $R = 1,5 - 2,5$  MPa, grubości 15 cm.

Na poziomie warstwy mrozochronnej wtórny moduł powinien wynosić 150 MPa.

Powyższa konstrukcja zaprojektowana jest na trwałość zmęczeniową wynoszącą 30.000.000 osi 115 kN.

Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu betonu cementowego wynosiła 5,5 MPa. Długości płyt wynoszą 5 m. W szczelinach poprzecznych zastosowano dyble o średnicy 25 mm, długości 60 cm i rozstawie co 25 cm. Natomiast kotwy zastosowano w szczelinach podłużnych. Były one wykonane ze stali żebrowanej i umiejscawiane co 1 m, ich

średnica wynosiła 20 mm, długość 80 cm. Szczeliny cięto piłami mechanicznymi w takim okresie, kiedy wytrzymałość betonu nie osiągnęła jeszcze 15 MPa. Szczeliny poprzeczne wypełniono elastycznymi profilami, natomiast podłużne wypełniono asfaltową masą zalewową.

## 3. Pierwsze eksperymentalne odcinki o nawierzchni bez szczelin poprzecznych

Przedstawiona w p. 2 technologia modernizacji autostrady A4 od Wrocławia do Krzywej jest typową stosowaną w światowej technice drogowej. Charakterystycznym elementem tej technologii są szczeliny poprzeczne, które są najstarszym elementem nawierzchni. Obliczanie stanu naprężeń w płycie realizuje się dla przypadku jej obciążenia kołem samochodu zlokalizowanym na krawędzi. Na modernizowanym odcinku autostrady A4 wybudowano pierwszą w Polsce eksperymentalną nawierzchnię bez szczelin poprzecznych z zastosowaniem ciągłego zbrojenia.

Nawierzchnię o ciągłym zbrojeniu zastosowano pomiędzy dwoma obiektami mostowymi na długości ok. 1100 m. Konstrukcja tej nawierzchni jest następująca:

- beton cementowy, B40, 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.  $65^\circ$ )
- 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 rys. 1 pokazano przekrój poprzeczny płyty z lokalizacją zbrojenia.

Fot. 3. Widok czujników do pomiarów odształceń







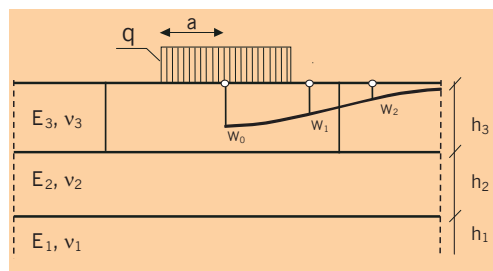
Źródło: Michał Braszczynski

Fot. 4. Budowa nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – beton po ułożeniu

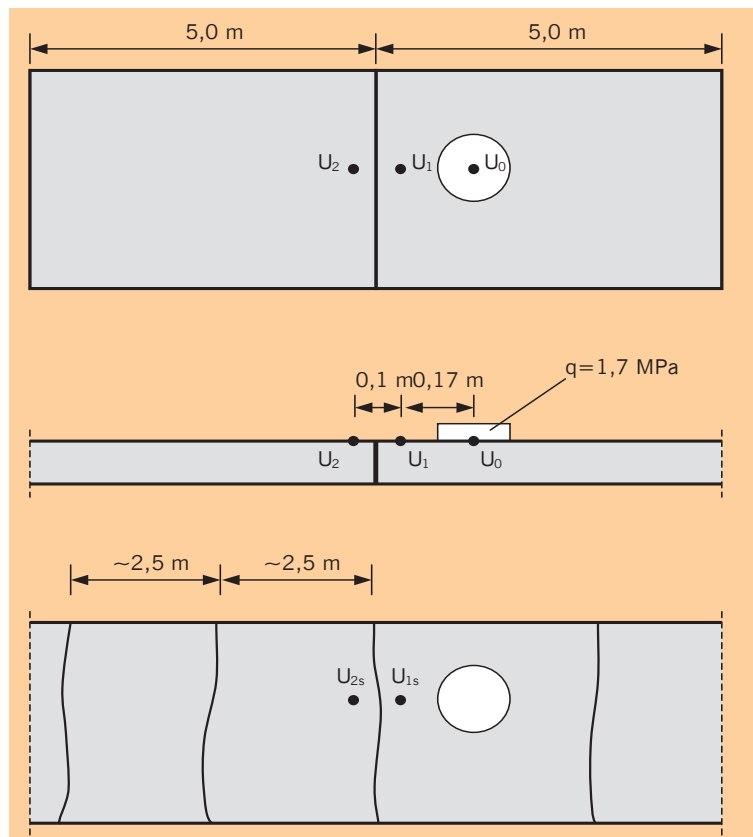
Zastosowano zbrojenie podłużne ciągłe. Poszczególne pręty łączono na zakładkę w taki sposób, aby łączenie nie wystąpiło w jednej linii poprzecznej. Pręty poprzeczne układano pod kątem ok. 65° w rozstawie co 0,7 m.

Szerokość jezdni wraz z pasem awaryjnym oraz opaskami wodzącymi wynosi 11 m. Zastosowano dwie szczeliny podłużne, które wypełniono masą zalewową.

Rys. 3. Model badanych nawierzchni wraz z czaszą przemieszczeń



Rys. 4. Schemat pomiaru ugięć na nawierzchniach przy krawędziach i pęknięciach



Na obu końcach odcinka na długości ok. 30 m zastosowano w rozstawie co ok. 4,8 m bloki żelbetowe o wysokości ok. 0,90 m (nie licząc grubości płyty) i szerokości 0,65 m.

Schemat rozmieszczenia bloków pokazano na rys. 2.

Wymienioną powyżej konstrukcję eksperymentalną zdecydowano się wybudować w celu zebrania doświadczeń jak będą się zachowywały te konstrukcje w polskich warunkach klimatycznych oraz utrzymaniowych. Prace budowlane prowadzono w październiku 2005 r. Po miesiącu na nawierzchni pojawiły się włoskowate pęknięcia poprzeczne, przebiegające przez całą szerokość nawierzchni w odstępach ok. 2-2,5 m.

Na fot. 1, 2, 4 i 5 pokazano widok zbrojenia oraz sposób układania nawierzchni.

Podobną nawierzchnię o ciągłym zbrojeniu zastosowano na płycie postojowej lotniska w Lublinku koło Łodzi.

Konstrukcja nawierzchni była następująca:

- nawierzchnia z betonu B40 o ciągłym zbrojeniu, grubości 22 cm (do zbrojenia zastosowano pręty podłużne o średnicy 18 mm, rozstawione co 15 cm oraz pręty poprzeczne o średnicy 12 mm w rozstawie co 70 cm, ułożone pod kątem 65°)
- warstwa poślizgowa z betonu asfaltowego O/8, grubości 3 cm
- podbudowa z betonu cementowego B15, grubości 26 cm
- stabilizacja gruntu cementem,  $R = 2,5$  MPa, grubości 14 cm
- warstwa odsączająca z pospółki
- podłoże naturalne.

Nawierzchnia została ułożona w sierpniu 2005 roku.

#### 4. Prace badawcze na nawierzchniach betonowych

Na budowanej autostradzie A4 o różnych konstrukcjach (płyty betonowe dyblowane i kotwione oraz nawierzchnia o ciągłym zbrojeniu) prowadzone są systematyczne badania. W tych dwóch rodzajach konstrukcji na etapie budowy zainstalowano sondy do pomiarów temperatur po grubości płyty (góra, środek i spód płyty) oraz czujniki do pomiarów odkształceń w betonie.

Na fot. 3 pokazano widok czujników do pomiarów odkształceń.

Ponadto prowadzone są systematyczne (dwa razy w roku) badania nieniszczące betonu za pomocą sklerometrów oraz fal ultradźwiękowych. Również dwa razy w roku prowadzone są pomiary ugięć za pomocą FWD (Falling Weight Deflectometer).

Pomiary ugięć wykonywane są w środku płyty (w przypadku nawierzchni tradycyjnej), pomiędzy spękaniem poprzecznymi (w przypadku nawierzchni bez szczelin poprzecznych) oraz na krawędziach płyt lub przy spękaniach poprzecznych. Pomiary na krawędziach mają dać odpowiedź dotyczącą współpracy sąsiadujących płyt.

Na rys. 3 pokazano model badanej konstrukcji nawierzchni wraz z naniesioną czaszą przemieszczeń, którą na podstawie obliczeń odwrotnych (back calculation) wykorzystuje się do identyfikacji modułów w modelu.

Warstwa  $h_3$  jest płytą betonową (o skończonych



Fot. 5. Budowa nawierzchni o ciągłym zbrojeniu – wykonana nawierzchnia

fot. Michał Braszczowski

wymiarach w planie) lub nawierzchnią bezdylatacyjną, warstwa  $h_2$  podbudową z chudego betonu, natomiast podłoże  $h_1$  stanowią tutaj warstwa mrozochronna, grunt stabilizowany cementem oraz podłoże naturalne.

Identyfikacja modułów ( $E_i$ ) w modelu odbywała się za pomocą autorskiego programu CZUG [3]. W celu uzyskania poprawnych wartości ugięć wymuszano obciążenia w FWD 118 kN na płytę o średnicy 30 cm.

Na rys. 4 pokazano schemat pomiaru ugięć na nawierzchniach przy szczelinach poprzecznych oraz spękaniach poprzecznych.

Pomiary ugięć w środku płyty oraz pomiędzy spękaniem poprzecznym wykorzystywano do identyfikacji modułów, które potem były wykorzystywane do oceny trwałości zmęczeniowej nawierzchni. Natomiast pomiary ugięć na krawędziach i pęknięciach poprzecznych wykorzystywano do oceny współpracy płyt na krawędziach. Na rys. 5 pokazano stosunek ugięć na sąsiednich płytach dla nawierzchni tradycyjnej. Średnia wartość stosunku wynosi 0,89.

Na rys. 6 pokazano stosunek ugięć na sąsiednich płytach pomiędzy spękaniem poprzecznym w nawierzchni z ciągłym zbrojeniem. Średnia wartość stosunku wynosi 0,99.

Doświadczenia angielskie [1] pokazują, że jeżeli stosunek jest w przedziale 0,8 do 1,0 – to jest pełna współpraca. Jeżeli w przedziale 0,1 do 0,2 – oznacza to brak współpracy. Natomiast dla wartości od 0,2 do 0,8 oznacza, że istnieje częściowa współpraca.

Stosunek ugięć jest mniejszy dla przypadku, gdy analizuje się nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu. Oznacza to, że istnieje lepsza współpraca pomiędzy sąsiednimi powierzchniami nawierzchni rozdzielonymi pęknięciem.

Lepsza współpraca oznacza mniejsze naprężenia w nawierzchni oraz brak klawiszowania sąsiednich powierzchni nawierzchni pomiędzy spękaniem. Podobne badania prowadzone są na nawierzchni lotniska w Łodzi.

## 5. Podsumowanie

Nawierzchnie betonowe o ciągłym zbrojeniu bez szczelin poprzecznych posiadają szereg zalet: nie

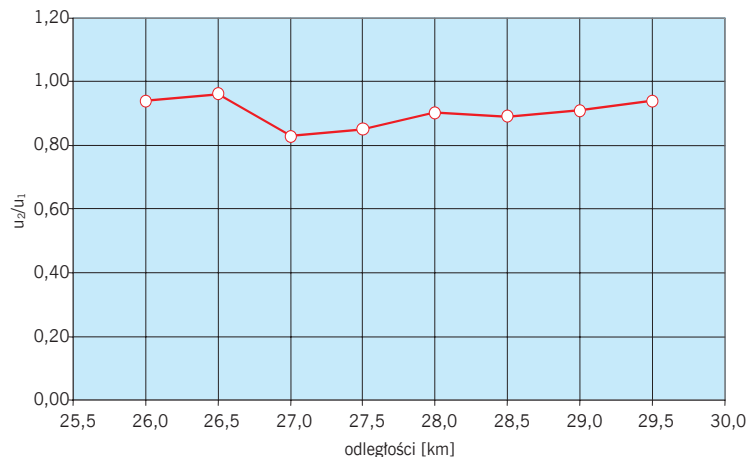
wymagają wysokich nakładów na utrzymanie, ponieważ nie mają szczelin; jedzie się bardziej komfortowo z powodu braku klawiszowania szczelin; oraz mają długi okres eksploatacji.

Przedstawione w artykule pierwsze eksperymentalne odcinki w Polsce na nawierzchni drogowej i lotniskowej są obserwowane i diagnozowane. Wyniki badań związane z pomiarem temperatury oraz odkształceń zostaną przedstawione w dalszych publikacjach.

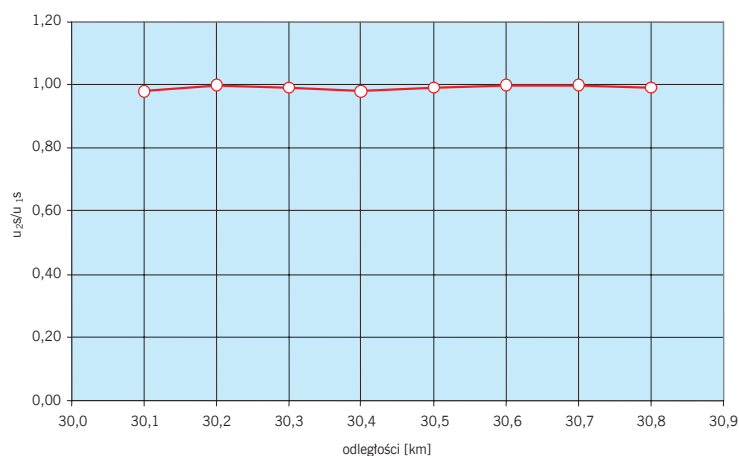
**prof. dr hab. inż. Antoni Szydło**  
Instytut Inżynierii Lądowej  
Politechniki Wrocławskiej

## Literatura

- 1 AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. AASHTO, 1993, Guide for Design of Pavement Structures. Part II. Rigid Pavement, 1998
- 2 Conception et dimensionnement des structures de chaussée. Guide technique. SETRA, LCPC, Paris 1994
- 3 A. Szydło, Statyczna identyfikacja parametrów modeli nawierzchni lotniskowych. Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Lądowej Politechniki Wrocławskiej, nr 45/1995
- 4 A. Szydło, Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Polski Cement, Kraków 2004
- 5 Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych. GDDP, Warszawa 2001



Rys. 5. Stosunek ugięć sąsiednich krawędzi płyt



Rys. 6. Stosunek ugięć krawędzi płyt między spękaniem