

# Wpływ temperatury na ugięcia płyt betonowych wbudowanych w nawierzchnię autostrady A4

Antoni Szydło, Igor Ruttmar



Prof. dr hab. inż. Antoni Szydło

Zakład Dróg i Lotnisk,  
Politechnika Wrocławska

antoni.szydlo@pwr.edu.pl



dr inż. Igor Ruttmar

TPA, Polska

igor.ruttmar@tpaqi.com

W latach 2006 – 2007 Katedra Dróg i Lotnisk Politechniki Wrocławskiej wspólnie z laboratorium TPA Polska realizowała zadanie badawcze zleczone przez Unię Europejską a dotyczące oceny nośności i trwałości zmęczeniowej wybudowanej nawierzchni betonowej na autostradzie A4 na odcinku Wrocław – Krzyżowa (ok. 90 km). W ramach prac badawczych prowadzone były na całym ciągu autostrady pomiary ugięć płyt za pomocą ugięciomierzy typu FWD, pomiary rozkładu temperatur w płytach po grubości, badania wytrzymałościowe (nieniszczące). Celem prac było określenie trwałości zmęczeniowej nowo wybudowanej nawierzchni betonowej. Był to pierwszy wybudowany w Polsce o znacznej długości odcinek nawierzchni betonowej na autostradzie A4. Celem było zebranie materiału doświadczalnego dla przyszłej sieci autostrad na której będą budowane nawierzchnie betonowe oraz monitorowanie założeń projektowych. Badania prowadzono w roku 2006 tj. rok po oddaniu nawierzchni do eksploatacji oraz powtórzono je w roku 2007. W następnych latach po zakończeniu grantu prowadzono badania wyrwykowe. W artykule przedstawiono wybrane wyniki badań przedstawiające wpływ temperatury na uzyskiwane wyniki pomiarów ugięć płyt betonowych pod obciążeniem realizowanym za pomocą ugięciomierza dynamicznego FWD.

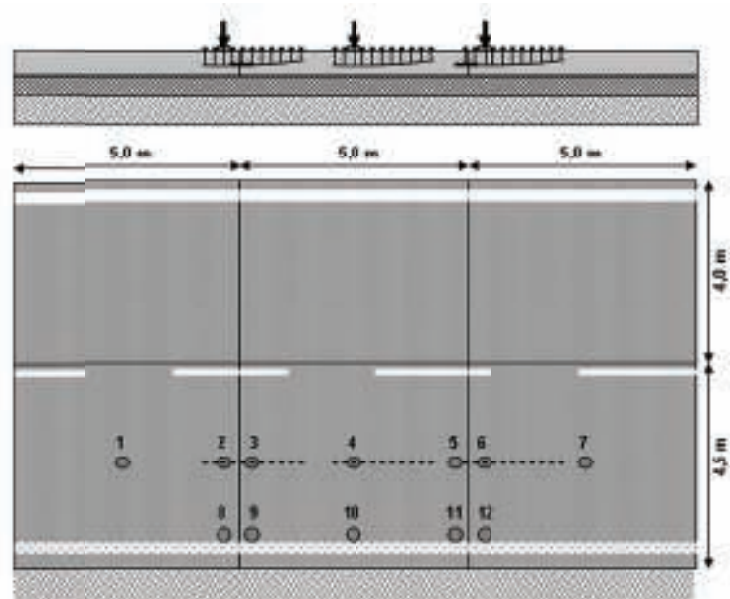
## Opis programu badawczego

Program badawczy zakładał pomiary ugięć za pomocą urządzenia FWD na trzech wybranych odcinkach wykonanych w różnych technologiach. Pierwszy odcinek

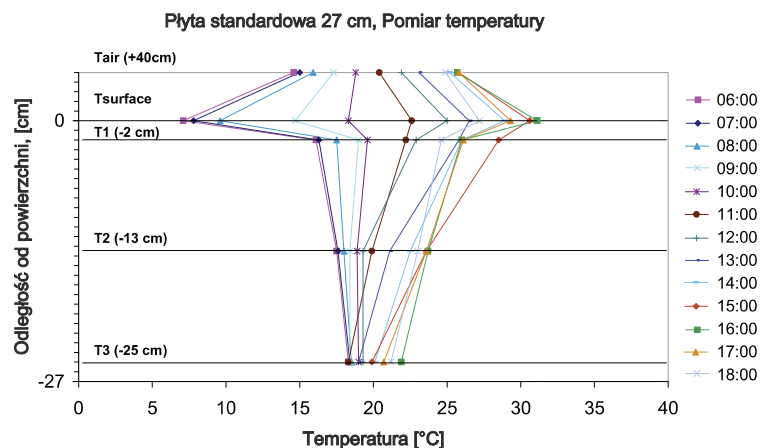
to płyta standardowa o grubości 27 cm z dyblami w szczelinach poprzecznych ułożona na podbudowie związanej hydraulicznie o grubości 20 cm z geowłókniną pomiędzy nimi. Większość nawierzchni betonowych w Polsce wykonanych jest w tej technologii. Drugi odcinek to płyta gruba o grubości 30 cm z dyblami w szczelinach poprzecznych ułożona na warstwie z kruszywa niezwiązanego, stabilizowanego mechanicznie o grubości 30 cm. Trzeci odcinek wykonano z płyty w technologii betonu o ciągłym zbrojeniu o grubości 23 cm bez szczelin poprzecznych ułożony na podbudowie związanej hydraulicznie o grubości 20 cm. Odcinki opisano szczegółowo w [1].

Pomiary ugięć wykonywano zawsze dwoma skalibrowanymi urządzeniami FWD (Dynatest), będącymi na wyposa-

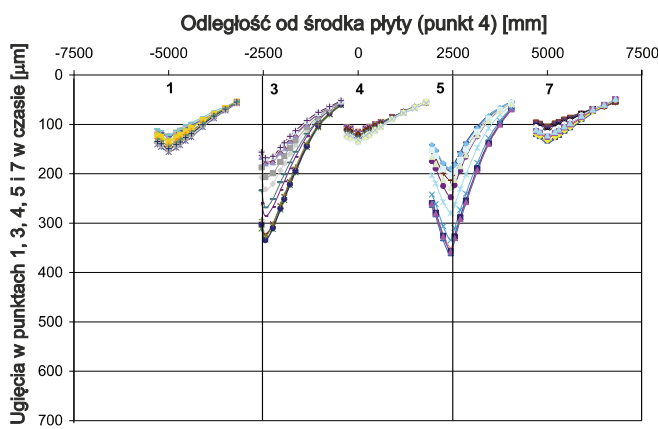
żeniu Katedry Dróg i Lotnisk oraz laboratorium TPA, w tych samych punktach pomiarowych wg schematu przedstawionego na rysunku 1, na środku oraz na krawędziach sąsiednich płyt, w godzinach od 6-ej do 18-tej w odstępach czasowych co godzinę. Urządzenie wyposażono w 11 czujników pomiarów ugięć (geofony) oznaczonych dalej od D1 do D11. Rozstaw czujników był następujący: D1 = 0,0, D2 = 0,20, D3 = 0,30, D4 = 0,45, D5 = 0,60, D6 = 0,90, D7 = 1,20, D8 = 1,50, D9 = 1,80 m oraz D10 = - 0,20 i D11 = - 0,30 m. Obciążenie płyty FWD o średnicy 300 mm ustawiono podczas badań na 120 kN. Czujniki D10 i D11 umieszczono symetrycznie do czujników D2 i D3. Czujnik oznaczony jako D1 rejestrował ugięcie centralne pod płytą obciążeniową. Przy pomiarach ugięć na krawędzi ustawiono urządzenie tak, aże-



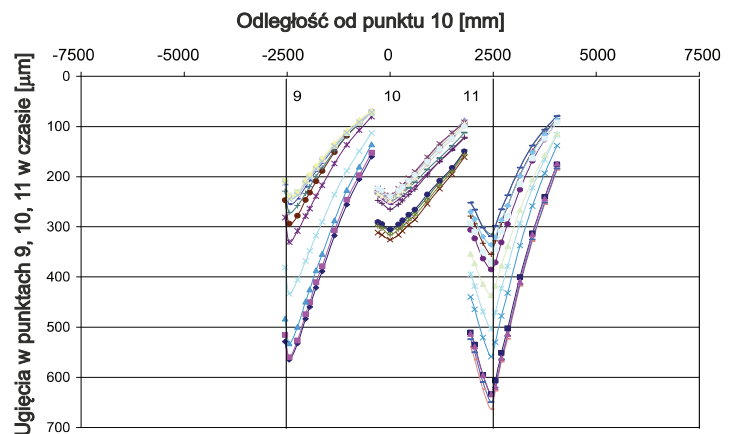
1. Schemat punktów pomiarowych FWD na płycie standardowej



2. Rozkład temperatury w standardowej płycie o grubości 27 cm podczas pomiarów ugięć za pomocą FWD



3. Przykładowa zmiana ugięć w środku płyt i na krawędzi spowodowana zmianą różnicy temperatur  $\Delta T$  w ciągu jednego dnia mierzona w tych samych punktach



4. Przykładowa zmiana ugięć w pobliżu zewnętrznej krawędzi płyty (jezdni) spowodowana zmianą różnicy temperatur  $\Delta T$  w ciągu jednego dnia mierzona w tych samych punktach

by krawędź znajdowała się raz pomiędzy czujnikami D2 oraz D3 i raz pomiędzy czujnikami D10 oraz D11.

Podczas pomiarów ugięć rejestrowano również co godzinę temperaturę powietrza  $T_{air}$  i temperaturę powierzchni jezdni  $T_{surf}$  za pomocą termometrów na urządzeniu FWD oraz rozkład temperatury w płycie betonowej w trzech punktach: 2 cm od powierzchni, w środku płyty oraz 2 cm od spodu płyty, oznaczonych  $T1$ ,  $T2$  oraz  $T3$ . Rozkład temperatur podczas pomiarów przedstawia rysunek 2. Temperaturę powietrza  $T_{air}$  mierzono 0,4 m nad powierzchnią płyty.

## Wyniki badań

Przykładowe zmiany czaszy ugięć na środku płyty (punkty 1, 4, 7) oraz na krawędziach płyt (punkty 3,5) spowodowane wybrzuszeniem się płyt w wyniku zmiany różnic temperatur w płycie standardowej przedstawiono na rysunku 3. Przy pomiarach na środku płyty zaobserwowane, że w porannych godzinach do godziny około 10-tej, kiedy różnica temperatur  $\Delta T$  jest ujemna, czasza ugięć praktycznie zmienia się nieznacznie. Jednak między godziną 10-tą i 15-tą następuje skutek wzrostu różnic temperatury w płycie znaczny wzrost ugięcia centralnego D1

przy praktycznie niezmiennym ugięciu na końcowym geofonie D9. Po godzinie 15-tej następuje zjawisko odwrotne i ugięcia wracają do swoich porannych wartości. Przy pomiarach na krawędzi sytuacja jest odwrotna, przy wzroście temperatury wartości ugięć w pobliżu krawędzi zmniejszają się. Rejestrowane wartości ugięć na krawędzi zmieniają się nawet kilkakrotnie w ciągu jednego dnia. To może mieć również znaczący wpływ również na określaniu wartości współczynnika przenoszenia obciążeń  $k$ .

Na rysunku 4 przedstawiono zmianę czaszy ugięć (punkty 9,10,11) w pobliżu zewnętrznej krawędzi płyty (jezdni). W tym przypadku zaobserwowano przemieszczanie się całej czaszy ugięć na wszystkich geofonach. Kolory oznaczone na rys. 3, 4 oznaczają godziny wg oznaczeń na rys. 2.

Rysunek 5 przedstawia zmianę centralnego ugięcia D1 zarejestrowanego w środku płyty (punkt 4) oraz na krawędziach (punkty 3,5).

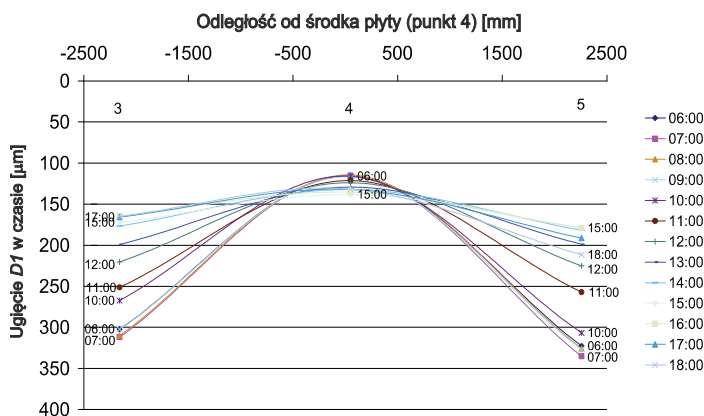
Z analiz przebiegów rejestrowanych temperatur wynika, że w określonych warunkach dla płyty standardowej istnieje zależność liniowa pomiędzy temperaturą na powierzchni jezdni  $T_{surf}$  i różnicą temperatur na powierzchni  $T_{surf}$  i na spodzie płyty betonowej  $T3$  ( $\Delta T$ ). Zależność tą przedstawia rysunek 6.

Przebieg zmiany ugięcia centralnego D1 na środku płyty w zależności od temperatury powierzchni jezdni  $T_{surf}$  w ciągu dnia przedstawia rysunek 7, przykładowo dla punktu 1.

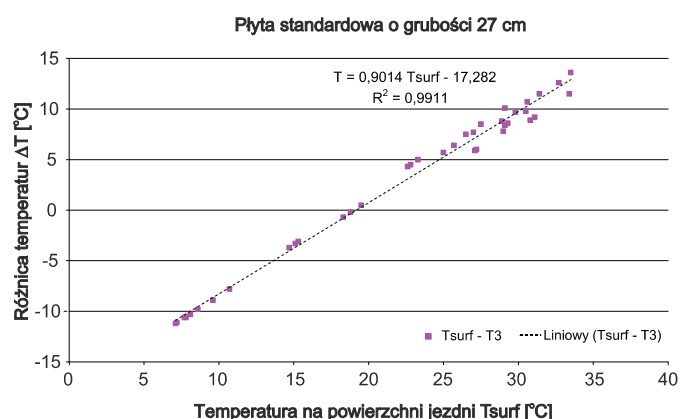
Z rysunku wynika, że do pewnej temperatury powierzchni jezdni, t.j. około 18-19<sup>o</sup> C, ugięcie centralne D1 praktycznie nie zmienia się. W temperaturach powyżej 19<sup>o</sup> C następuje zmiana o charakterze zależności liniowej, ze wzrostem temperatury rośnie ugięcie centralne z powodu wybrzuszenia płyty i utraty kontaktu z podłożem w części centralnej.

Po przedstawieniu obu zależności z rysunków 6 i 7 na jednym wykresie – rysunek 8 – widać, że kiedy różnica temperatur  $\Delta T = T_{surf} - T3$  jest ujemna lub równa zero to wielkość centralnego ugięcia D1 praktycznie nie zmienia się. W przypadku kiedy  $\Delta T$  jest większa od zera lub temperatura powierzchni  $T_{surf}$  większa od 19<sup>o</sup> C to ugięcie centralne rośnie proporcjonalnie do wzrostu temperatury powierzchni. Kiedy temperatura powierzchni spada to ugięcie wraca do swoich wartości praktycznie w tej samej zależności (po tym samym torze). Rysunek 8 przedstawia zaobserwowaną zależność przykładowo dla punktu 1 na środku płyty.

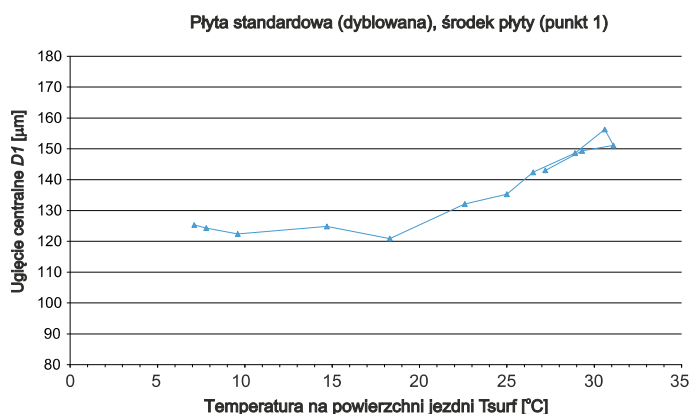
Z powyższego wynikałoby, że w przypadku kiedy  $T_{surf} > 19^{\circ}C$  dla płyty standar-



5. Zmiana centralnego ugięcia D1 w środku płyty i na krawędziach w ciągu dnia spowodowana zmianą różnic temperatury w płycie



6. Zależność pomiędzy temperaturą powierzchni jezdni  $T_{surf}$  i różnicą temperatur na powierzchni  $T_{surf}$  i na spodzie płyty betonowej  $T3$  ( $\Delta T$ )



7. Przykładowy przebieg zmiany ugięcia centralnego  $D1$  na środku płyty w zależności od temperatury powierzchni jezdni  $T_{surf}$  w ciągu dnia w punkcie 1

dowej, przy pomiarze ugięć a środku płyty, w celu sprowadzenia do stanu, kiedy płyta w środkowej części spoczywa na podkładzie, należałoby stosować korektę ugięcia centralnego.

Przeprowadzone analizy statystyczne dla dużej liczby pomiarów wykazały, że korektę ugięcia centralnego dla płyty standardowej na podbudowie związanej hydraulicznie obciążonej w środku należy wykonywać posługując się zależnością (1):

$$D1_{kor} = D1_{pom} / (0,0219\Delta T + 1) \quad (1)$$

gdzie:

$D1_{kor}$  – skorygowane ugięcie pod geofoną centralną do  $\Delta T = 0$ ,

$D1_{pom}$  – pomierzone ugięcie pod geofoną centralną dla  $\Delta T > 0$ ,

$\Delta T$  – różnica temperatur pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty oraz zależna od temperatury powierzchni  $\Delta T = 0,9014T_{surf} - 17,282$ .

Dla płyty grubej ułożonej na kruszywie obciążonej w środku zależność ugięcia centralnego mierzonego przy  $\Delta T = 0$ , od ugięcia mierzonego przy  $\Delta T \neq 0$  jest opisana zależnością (2),

$$D1_{kor} = D1_{pom} / (0,0435\Delta T + 1) \quad (2)$$

Oznaczenia jak wyżej. Analizując zależności (1,2) widać, że na podbudowie poddatnej (na kruszywie) należy stosować większe (prawie dwukrotnie) wartości współczynników korygujących. Wynika to najprawdopodobniej z faktu większej odkształcalności podbudowy, pomimo grubszej płyty. W przypadku gdy  $\Delta T > 0$  współczynnik korygujący jest mniejszy od 1, natomiast w przypadku  $\Delta T < 1$  współczynnik korygujący jest większy od 1.

Dla obciążonej krawędzi korelacja pomiędzy ugięciem pomierzonym pod geofoną centralną przy temperaturze  $\Delta T = 0$  i  $\Delta T \neq 0$  dla płyty standardowej opisana jest zależnością (3) a dla płyty grubej zależnością (4).

$$D1_{kor} = D1_{pom} / (-0,0448\Delta T + 1) \quad (3)$$

$$D1_{kor} = D1_{pom} / (-0,0552\Delta T + 1) \quad (4)$$

W przypadku obciążenia na krawędzi różnica pomiędzy współczynnikami korygującymi nie jest tak duża w zależności od rodzaju podbudowy jak w przypadku obciążenia środka płyty.

Dla  $\Delta T > 0$  współczynnik korygujący jest większy od 1, natomiast dla  $\Delta T < 0$  współczynnik korygujący jest mniejszy od 1.

Współczynnik przenoszenia obciążeń dla krawędzi  $K = D3/D2$  w funkcji  $\Delta T$  opisuje zależność (5) dla płyty standardowej na podbudowie związanej hydraulicznie i zależność (6) dla płyty grubej na podbudowie z kruszywa.

$$K = -0,0013\Delta T + 0,9294 \quad (5)$$

$$K = -0,0028\Delta T + 0,9110 \quad (6)$$

Współczynnik ten nie zmienia się w zależności od rodzaju podbudowy oraz różnicy temperatur.

Dla płyty o ciągłym zbrojeniu zależność ugięcia centralnego mierzonego przy  $\Delta T = 0$ ,

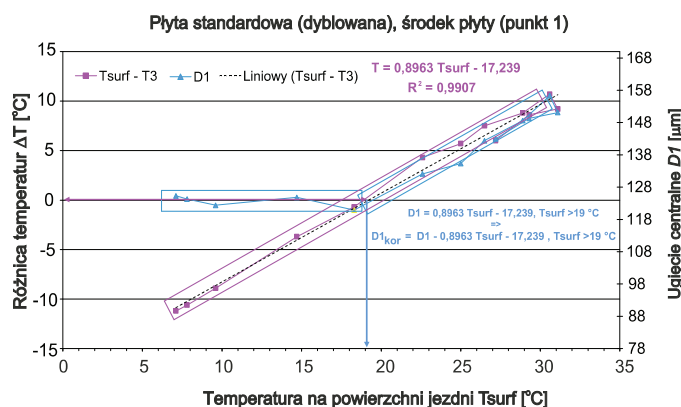
od ugięcia mierzonego przy  $\Delta T \neq 0$  jest opisana zależnością (7),

$$D1_{kor} = D1_{pom} / (0,0069\Delta T + 1) \quad (7)$$

Dla płyty o ciągłym zbrojeniu obciążonej na krawędzi mikrospeknięcia zależność ugięcia mierzonego przy  $\Delta T \leq 0$ , od ugięcia mierzonego przy  $\Delta T > 0$  jest opisana zależnością (8),

$$D1_{kor} = D1_{pom} / (0,0045\Delta T + 1) \quad (8)$$

Analizując wartości współczynników korygujących widać, że nie zależą one znacząco od miejsca przyłożenia obciążenia oraz wartości  $\Delta T$ .



8. Zależność zmiany centralnego ugięcia  $D1$  oraz różnicy temperatur  $\Delta T$  w płycie w zależności od temperatury powierzchni jezdni  $T_{surf}$  z pomiarów FWD, w środku płyty, przykładowo dla punktu 1

## Podsumowanie

Przeprowadzone badania testujące na nawierzchniach betonowych składających się z płyt ułożonych na różnych podbudowach wykazały, że temperatura ma istotny wpływ na uzyskiwane wartości ugięć płyt pod obciążeniem pomiarowym FWD. Temperatura może powodować znaczne rozrzuty wyników pomiarów ugięć. Efektem tego mogą być błędnie zidentyfikowane moduły płyt i podłoża co może powodować złe oszacowanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni. W artykule podano wartości współczynników korygujących pomierzone ugięcia w środku płyty na jej krawędzi oraz przy określaniu współczynnika przenoszenia obciążeń na krawędzi płyt. Korekta jest wymagana ze względu na to, że pod wpływem różnicy temperatur płyty odkształcają się i odrywają od podłoża. Najlepszym rozwiązaniem jest pomiar ugięć płyt przy zerowej lub zbliżonej do zerowej wartości różnicy temperatur pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty. W przeciwnym przypadku należy stosować współczynniki korekcyjne zaproponowane w niniejszym artykule. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] SZYDŁO, Antoni; RUTTMAR, Igor (2006): "Experience from Construction of Concrete motorways in Poland". 10th International Symposium on Concrete Roads, Brussels, Belgium, September 18-22, 2006.
- [2] SZYDŁO, Antoni; RUTTMAR, Igor (2008): "Monitoring of concrete pavement of A4 Motorway in Poland at early phase of exploitation". 13th Seminar of Ivan Poljacek, Bratislava, Slovakia, November 20-21, 2008, Pages 44-57.