

OCENA ZMIAN TEMPERATURY W NAWIERZCHNIACH BETONOWYCH¹

Łukasz RUDZIŃSKI*, Mieczysław SŁOWIK**

*Autostrada Wielkopolska II SA, Słuchacz studiów doktoranckich, Politechnika
Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

**Politechnika Poznańska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

W ostatnich latach liczba projektów drogowych realizowanych przy wykorzystaniu technologii nawierzchni z betonu cementowego systematycznie się zwiększa i dotyczy wielu kluczowych odcinków dróg szybkiego ruchu zlokalizowanych w różnych rejonach Polski o zróżnicowanym klimacie. Dlatego w referacie podjęto problematykę związaną z analizą zmian temperatury w nawierzchniach betonowych, która stanowi jeden z głównych czynników zewnętrznych oddziałujących na płyty, oprócz obciążenia wywieranego na ich powierzchni przez koła pojazdów. Zwrócono uwagę na wybrane problemy związane z naturalnymi zmianami temperatury otoczenia poprzez zaprezentowanie danych z przykładowych miesięcy, w których określono rzeczywisty gradient temperatury pomiędzy górną i dolną powierzchnią płyty betonowej. W dalszej części opisano również niebezpieczeństwa związane ze znacznymi wahaniami temperatury w okresie doby.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach liczba projektów drogowych realizowanych przy wykorzystaniu technologii nawierzchni z betonu cementowego (sztywnych) systematycznie się zwiększa. Technologia ta została zastosowana na wielu odcinkach dróg szybkiego ruchu (autostrad i dróg ekspresowych) zlokalizowanych w różnych częściach Polski, gdzie warunki atmosferyczne wykazują znaczne zróżnicowanie. Klimat w Polsce charakteryzuje się znacznymi wahaniami temperatury, czego efektem są różniące się od siebie pory roku. Do najchłodniejszych miesięcy należy styczeń natomiast do najcieplejszych należy zaliczyć miesiące letnie tj. lipiec oraz sierpień.

Podstawowym problemem nawierzchni betonowych jest uzyskanie ich dostatecznej trwałości, co jest możliwe do osiągnięcia dzięki uzyskaniu odpowiedniej odporności na oddziaływanie obciążeń mechanicznych wywołanych ruchem pojazdów oraz odporności na działanie czynników atmosferycznych. Jedną z metod zwiększenia trwałości nawierzchni sztywnych jest zwiększanie ich gru-

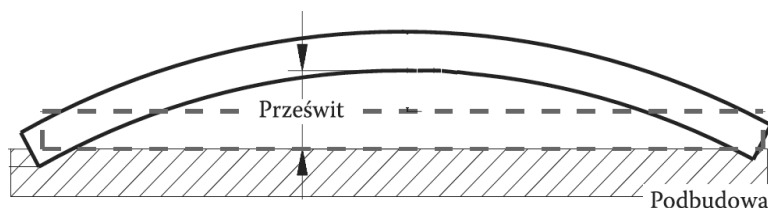
¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2018.27.11

bości, co jednocześnie skutkuje zmniejszeniem efektywności ekonomicznej w stosunku do nawierzchni asfaltowych.

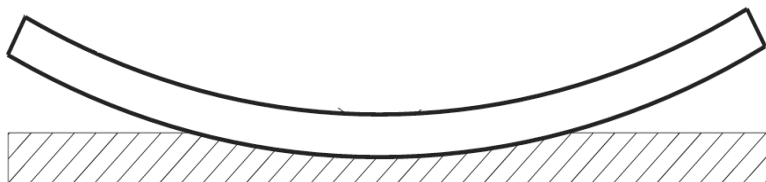
2. WPŁYW WARUNKÓW TERMICZNYCH NA PRACĘ NAWIERZCHNI BETONOWEJ

Płyty betonowe zastosowane w warstwie nawierzchniowej jezdni drogowych muszą być odporne na obciążenia statyczne i dynamiczne od poruszających się po niej pojazdów oraz obciążenia termiczne będące wynikiem zmian warunków atmosferycznych – podlegające oddziaływaniom o charakterze cyklicznym (zmiany dobowe i roczne). Można wyróżnić dwie przyczyny powstawania naprężeń w płycie betonowej indukowanych termicznie: spowodowane różnicą temperatury w górnej i dolnej części płyty, powodujące jej zginanie oraz wywołane zmianą średniej temperatury płyty, mające wpływ jedynie na zmianę wymiarów płyty w planie (rys. 1).

a)



b)

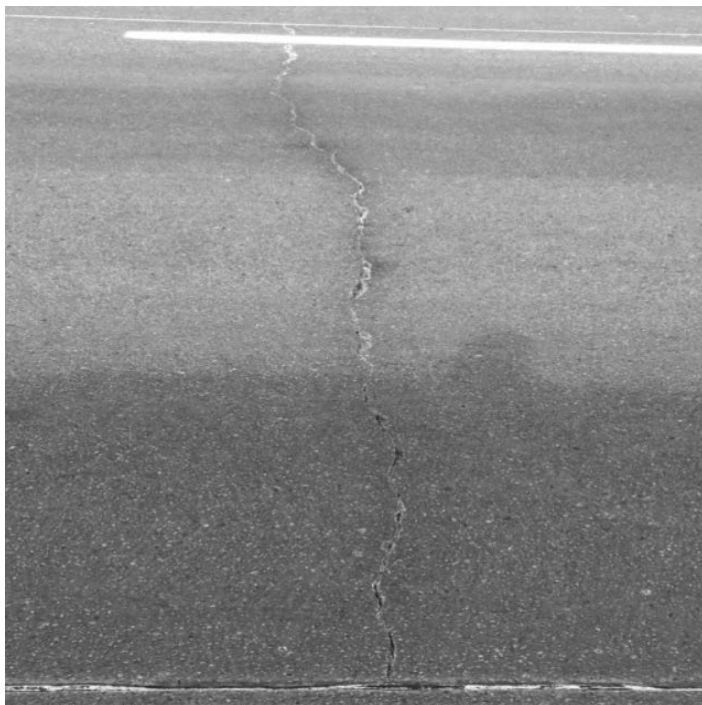


Rys. 1. Schemat deformacji swobodnej płyty betonowej w wyniku oddziaływania termicznego: a) gradient dodatni (ΔT^+); b) gradient ujemny (ΔT^-) [1]

Naprężenia wywołane zmianami temperatury mogą osiągać bardzo znaczne wartości i zależą w głównej mierze od: wymiarów geometrycznych płyt, ciężaru własnego płyt, wartości gradientu termicznego oraz wartości sił pochodzących od więzów podłoża. Należy przy tym zauważyć, że równomierna zmiana temperatury na całej grubości płyty ma wpływ jedynie na zmianę jej wymiarów w planie, zaś zmiana temperatury na górnej lub dolnej powierzchni płyty powoduje jej deformację przestrzenną [1].

Przy znacznych wahaniami dobowych temperatury powietrza może dochodzić do nakładania się niekorzystnych warunków, a w konsekwencji do nieod-

wracalnego wypaczenia i deformacji płyt oraz powstawania pęknięć o dużej szkodliwości (rys. 2).



Rys. 2. Przykład spękania płyty betonowej o dużej szkodliwości powstałe tuż po etapie wykonania nawierzchni w wyniku nieodpowiedniej pielęgnacji w czasie występowania wysokiej temperatury otoczenia (fot. Ł. Rudziński)

Zasadniczy wpływ na zjawiska termiczne zachodzące w betonie nawierzchniowym ma warstwa powietrza zalegająca tuż nad powierzchnią płyty [3]. Dlatego poprzez wykorzystanie danych ze stacji meteorologicznych tzn. wartości temperatury powietrza rejestrowanych w odstępach 1 h w miesiącach letnich można ustalić rzeczywisty gradient temperatury (różnica temperatury pomiędzy dolną i górną częścią płyty).

Wartości temperatury zostały uzyskane na podstawie danych z drogowych stacji meteorologicznych (rys. 3), które zakresem monitorowania obejmują następujące parametry:

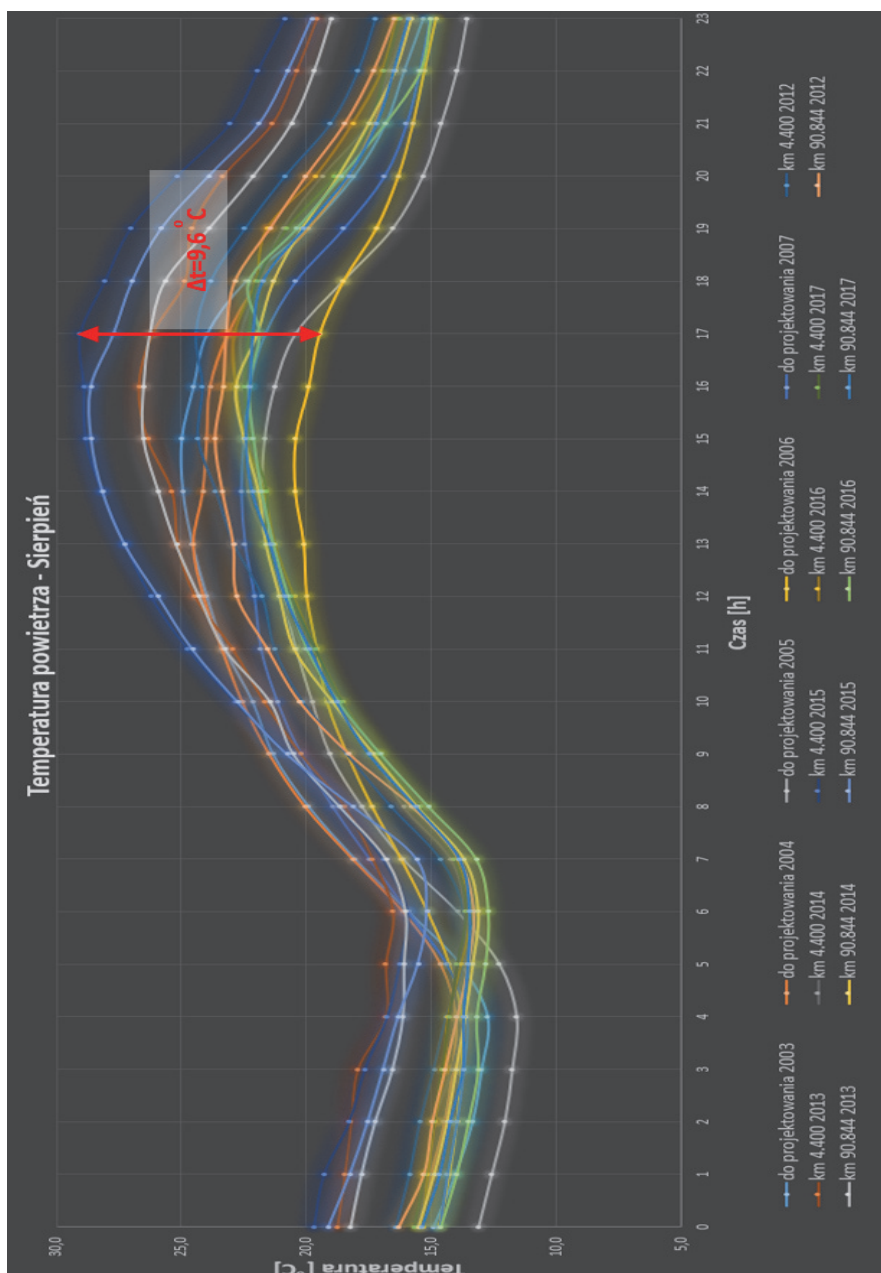
- temperatura powietrza;
- temperatura na powierzchni jezdni – t_1
- temperatura nawierzchni (na głębokości 6 cm) – t_2
- temperatura nawierzchni (na głębokości 30 cm) – t_3
- wilgotność względna powietrza

- temperatura punktu rosy
- temperatura zamarzania
- trend zmian temperatury powietrza
- trend zmian temperatury nawierzchni
- stan nawierzchni (sucha, wilgotna, mokra itd.)
- prędkość i kierunek wiatru
- rodzaj opadu (mżawka, deszcz, śnieg itd.).



Rys. 3. Przykładowa drogowa stacja meteorologiczna (fot. Ł. Rudziński)

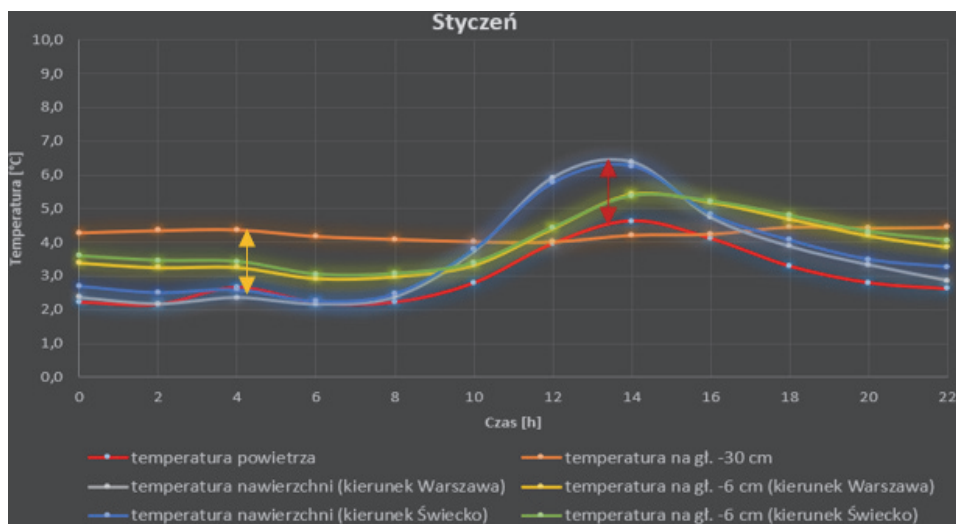
Należy zaznaczyć, że administracje drogowe na całym świecie poddają opracowane kryteria zmęczeniowe nawierzchni drogowych ciągłej rewizji (w okresach kilku-kilkunastoletnich), w wyniku zmieniających się warunków lokalnych. Słuszność takiego postępowania została potwierdzona na podstawie analizy średniej temperatury powietrza w sierpniu, w latach z których dane uzyskane ze stacji pogodowej zlokalizowanej w Nowym Tomyślu przyjęto do projektowania nawierzchni (2003 – 2007), oraz wartości zarejestrowanych w okresie jej eksploatacji (2012 – 2017), uzyskanych z drogowych stacji meteorologicznych w km 4+400 oraz km 90+844 autostrady A2 (rys. 4).



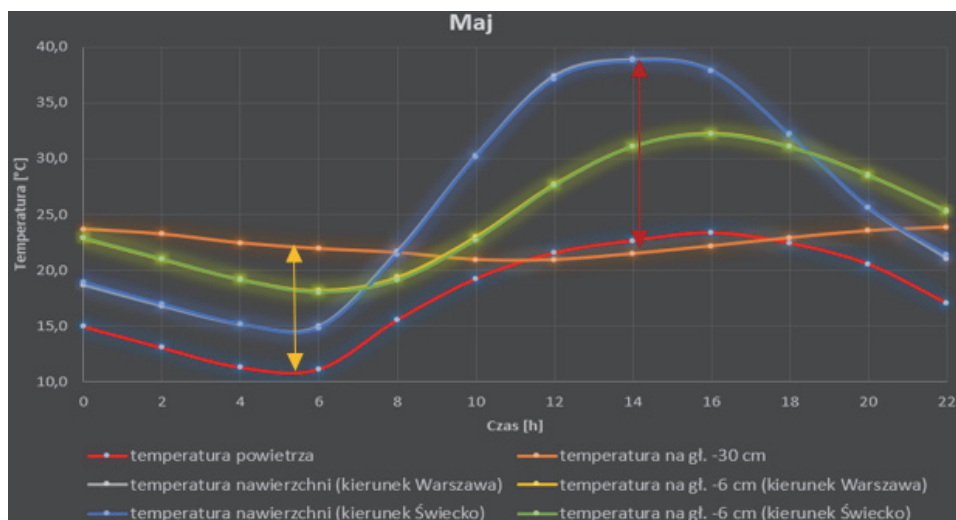
Rys. 4. Zestawienie porównawcze średnich wartości temperatury powietrza w sierpniu w latach 2003 – 2007 oraz 2012 – 2017

Na rysunku 4 zaznaczono maksymalną wartość gradientu temperatury, która wynosi $9,6^{\circ}\text{C}$.

Na rysunkach 5 i 6 przedstawiono zmiany temperatury zaobserwowane w nawierzchni betonowej w okresach dobowych w styczniu oraz w maju dla płyt dyblowanych o grubości 29 i 27 cm na podstawie danych z drogowych stacji meteorologicznych wyposażonych w odpowiednio zainstalowane czujniki zlokalizowane w trzech różnych miejscach ich przekroju (na głębokości 0, 6 oraz 30 cm).

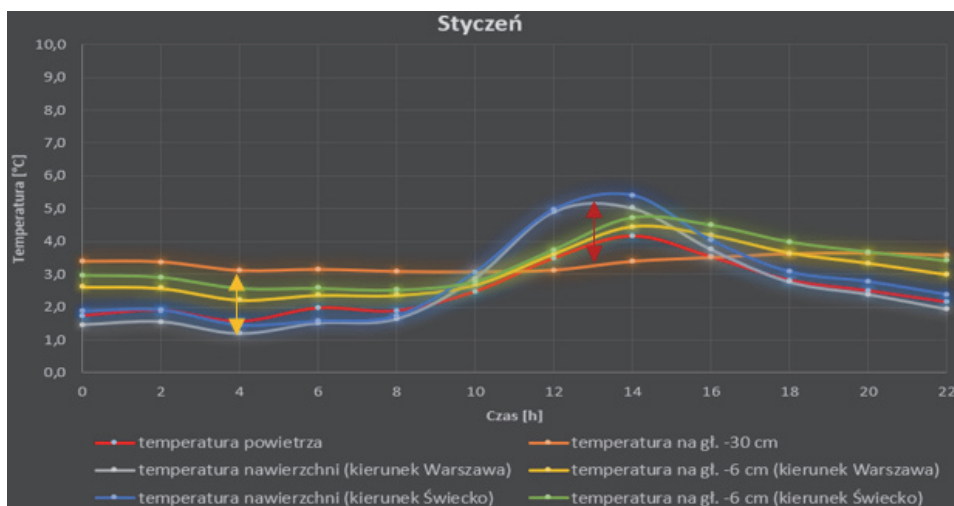


a) gradient ujemny $\Delta T^- = 2,2^\circ\text{C}$ / gradient dodatni $\Delta T^+ = 2,2^\circ\text{C}$

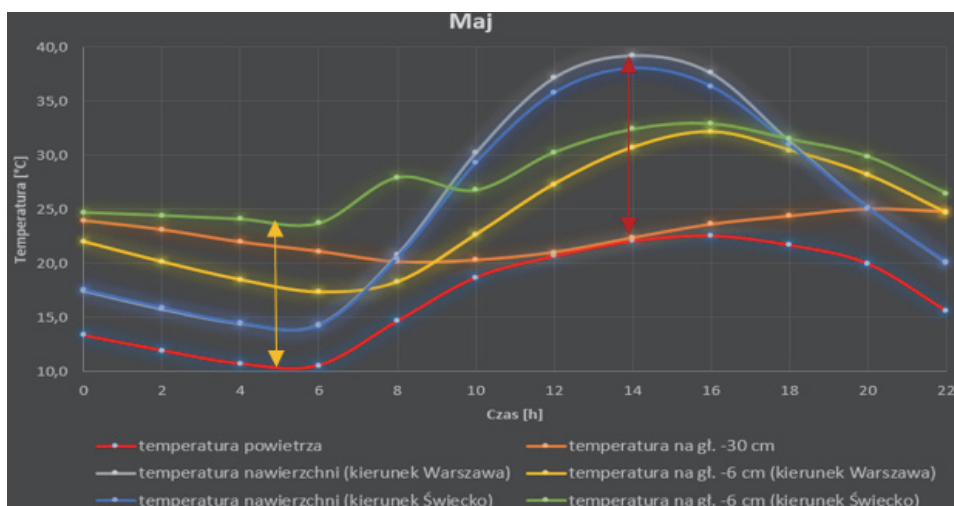


b) gradient ujemny $\Delta T^- = 7,2^\circ\text{C}$ / gradient dodatni $\Delta T^+ = 17,3^\circ\text{C}$

Rys. 5. Przykładowa zmiana temperatury w różnych miejscach płyty betonowej o grubości 29 cm w 2018 roku w miesiącach: a) styczeń, b) maj



a) gradient ujemny $\Delta T^- = 1,9^\circ\text{C}$ / gradient dodatni $\Delta T^+ = 2,0^\circ\text{C}$



b) gradient ujemny $\Delta T^- = 7,5^\circ\text{C}$ / gradient dodatni $\Delta T^+ = 16,8^\circ\text{C}$

Rys. 6. Przykładowa zmiana temperatury w różnych miejscach płyty betonowej o grubości 27 cm w 2018 roku w miesiącach: a) styczeń, b) maj

3. PODSUMOWANIE

Na podstawie zaprezentowanych przykładowych analiz danych temperaturowych dla różnych miejsc w płycie można stwierdzić, że większe znaczenie na pracę płyt betonowych ma gradient dodatni (występujący w górnej części płyty),

którego wartości zawierają się w przedziale od 16,8°C do 17,3°C (w zależności od grubości płyty), co powoduje wyginanie się płyty ku górze, ale skutek ciężaru własnego oraz skrępowania największe naprężenia rozciągające powstają w dolnej części płyty. Największa zmiana temperatury pomiędzy powierzchnią górną a spodem płyty występuje w godzinach popołudniowych. Natomiast w dolnej części płyty zmiana temperatury w ciągu doby zmieniała się w zakresie około 7,5°C.

Zauważyć należy również różnicę wartości gradientu temperatury w zależności od grubości płyt betonowych (29 cm oraz 27 cm), która związana jest z właściwościami materiałów oraz intensywnością wymiany ciepła.

Na podstawie przedstawionych rzeczywistych danych temperaturowych uzyskanych z drogowych stacji pogodowych, w kolejnych pracach badawczych przewiduje się wykonanie analiz z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES) w celu optymalizacji parametrów płyt betonowych oraz porównania ich z obecnie przyjętymi wytycznymi dotyczącymi projektowania nawierzchni betonowych w Polsce, które dotychczas bazowały na kryteriach zmęczenia określonych dla innych (zagranicznych) warunków lokalnych (w tym dotyczących temperatury otoczenia).

LITERATURA

- [1] Dacko M., Brodzik R., *Numeryczna analiza wpływu obciążeń termicznych na stan przemieszczeń i naprężeń betonowych płyt lotniskowych*, Wojskowa Akademia Techniczna, Biuletyn WAT Vol. LVII, Nr 2, 2008.
- [2] Praca Zbiorowa: *Analiza katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, Etap III*, Politechnika Wrocławska, Instytut Inżynierii Lądowej, Wrocław, 2013.
- [3] Linek M., Nita P., *Odporność termiczna i trwałość betonowych nawierzchni lotniskowych*, Logistyka 6/2014.
- [4] Szydło A., *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja*, Polski Cement, 2004.
- [5] Praca Zbiorowa: *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych*, Załącznik do zarządzenia Nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.

ASSESSMENT OF CHANGES IN TEMPERATURE OBSERVED IN CONCRETE PAVEMENTS

Summary

In recent years, the number of road projects made with the use of cement concrete pavement technology is systematically increasing and concerns many key sections of highways located in various regions of Poland characterized by a diverse climate. Therefore, the present paper deals with the analysis of temperature change in concrete pavements, which is one of the main external factors affecting slabs, in addition to the loading their surfaces by vehicle wheels. Attention was paid to selected problems related to natural changes in ambient temperature by presenting data from example months, when

the actual temperature gradient between the upper and lower surface of the concrete slab was determined. The danger associated with significant temperature fluctuations during the day time were also described.

Dane autorów:

mgr inż. Łukasz Rudziński

e-mail: L.Rudzinski@mail.autostrada-a2.pl

dr hab. inż. Mieczysław Słowik prof. PP

e-mail: mieczyslaw.slowik@put.poznan.pl

tel. 61 665 2478

