#### Seria: BUDOWNICTWO z.81

Nr kol. 1292

Teresa MATUSZKIEWICZ

## WPŁYW CIEPŁA HYDRATACJI NA STAN NAPRĘŻEŃ W STYKU SEGMENTÓW BELKI NASUWANEJ PODŁUŻNIE

Streszczenie. Styk dwóch segmentów betonowego dźwigara skrzynkowego mostu obciążono polem temperatury i ciężarem własnym. Pole temperatury było wynikiem hydratacji cementu i zostało określone na podstawie pomiarów prowadzonych na budowie. Artykuł zawiera porównanie sił wewnętrznych oraz przemieszczeń od powyższych obciążeń.

# THE INFLUENCE OF HYDRATION HEAT ON THE STATE OF STRENGTH AT THE CONTACT OF SEGMENTS OF THE INCREMENTAL LAUNCHING BEAM

Summary. The contact of two segments of the concrete box girder of a bridge was loaded with a temperature field and the dead weight of the structure. The temperature field, due to the hydration of cement, has been stated basing on field measurements.

The paper presents a comparison between internal forces and displacements caused by the dead load and by the temperature field.

# DIE AUSWIRKUNG DER HYDRATATIONSWÄRME AUF DEN ZUSTAND DER SPANNUNGEN IM BEREICH DER KONTAKTFUGEN BEI ANWENDUNG DES TAKTSCHIEBEVERFAHRENS IM BRÜCKENBAU

Zusammenfassung. Der Bereich der Kontaktfugen eines Betonkastenträgers wurde mit einem Temperaturfeld und der Eigenlast belastet. Das Temperaturfeld ergab sich aus der Hydratation des Zements und wurde aufgrund von Messungen bestimmt, die auf dem Bau durchgeführt worden waren. Im vorliegenden Artikel werden diese Innenkräfte und Deformationen verglichen, die infolge der erwähnten Belastungen entstehen.

#### 1. WPROWADZENIE

Pierwszym wpływem obciążającym konstrukcję betonową, występującym bezpośrednio po jej zabetonowaniu, jest temperatura wywołana procesem hydratacji cementu. Nieustalone pole temperatury powoduje powstanie gradientów, które mogą prowadzić do pojawienia się naprężeń rozciągających, przewyższających wytrzymałość młodego betonu [1]. Znajomość tych pól jest ważna nie tylko w konstrukcjach masywnych [2], lecz także w konstrukcjach składających się w przekroju poprzecznym z elementów o różnej tęgości [3]. Niekorzystne gradienty temperaturowe powstają również w dźwigarze mostowym, wykonywanym metodą nasuwania podłużnego, w miejscu dobetonowania nowego segmentu do już istniejącego [4,5].

Znajomość niestacjonarnych pól temperatury podczas hydratacji i twardnienia betonu jest konieczna, aby zapobiec powstawaniu rys. Można temu przeciwdziałać przez wybór odpowiedniego cementu i receptury betonu, technologii wykonywania konstrukcji [6,7], ale także przez właściwą pielęgnację świeżo ułożonej masy betonowej i styku betonów o różnym wieku.

Pole temperatury w dźwigarze mostu sprężonego, wywołane ciepłem hydratacji, zostało wyznaczone na podstawie pomiarów temperatury na obiekcie w skali naturalnej. Następnie określono wpływ tego pola na segment zabetonowany wcześniej.

Artykuł zawiera jedynie oszacowanie sił wewnętrznych spowodowanych polem temperatury i ciężarem własnym. Dokładne ich określenie jest bardzo skomplikowane, przede wszystkim ze względu na zróżnicowany moduł odkształcenia zależny zarówno od czasu, jak i przebiegu temperatury w rozpatrywanym punkcie betonu.

### 2. OPIS BADAN POLA TEMPERATURY

Obiektem, na którym prowadzono pomiary, jest most w ciągu drogi Tychy-Oświęcim-Kraków nad Sołą w Oświęcimiu. Konstrukcję nośną stanowi sprężona belka ciągła o długości całkowitej 213,9 m wykonana, z dziewięciu segmentów, metodą nasuwania podłużnego. W przekroju poprzecznym jest to jednokomorowa skrzynka trapezowa ze wspornikami [8,9].

Pole temperatury było badane w sposób dyskretny, w dwóch przekrojach poprzecznych dźwigara mostu. Jeden z nich znajdował się w segmencie VII ("A"), drugi ("C") – w segmencie VIII (rys.1). O wyborze przekrojów zadecydował układ kabli oraz fakt, że pomiary temperatury były częścią szerszego programu badań.

Konstrukcja nośna mostu została wykonana z betonu B40 o następującym składzie:

cement portlandzki drogowy marki 45 Małogoszcz 450 kg/m<sup>3</sup>,
piasek naturalny 710 kg/m<sup>3</sup>,
grys bazaltowy 4/8 i 8/16 1171 kg/m<sup>3</sup>,
woda 178 kg/m<sup>3</sup>,
plastyfikator 6,75 kg/m<sup>3</sup>.
w/c 0.40



Rozmieszczenie przekrojów pomiarowych



Rys. 1. Rozmieszczenie przekrojów pomiarowych A i C Fig. 1. Situation of cross-sections A and C

W poszczególnych przekrojach zabetonowano na grubości elementów dźwigara skrzynkowego zestawy czujników (rys.2). W każdym przekroju umieszczono pięć punktów pomiarowych z wyjątkiem przekroju "2", w którym były trzy punkty.

Pomimo zabezpieczenia przed wpływami mechanicznymi, podczas betonowania został uszkodzony jeden z czujników w zestawie "1".





Do pomiarów temperatury użyto termistorów NTC 210 zabezpieczonych żywicą epoksydową i umieszczonych częściowo w stalowych rurkach. Tak wykonany termometr termistorowy pozwalał na pomiary z dokładnością co najmniej 0.2°C w przedziale temperatur od +15°C do +50°C i 0.3°C w przedziale -25°C - +15°C.

Podczas pomiarów mierzono również temperaturę powietrza,

#### 3. WYNIKI POMIARÓW ROZKŁADU TEMPERATURY W MOŚCIE

Pomiary prowadzono w następujących terminach: 10 X - 23 X 1986 (z wyjątkiem 19 X) - segment VII, 30 X - 14 XI 1986 - segment VIII.

Dane uzyskane z pomiarów przetworzono za pomocą mikrokomputera i szeregu programów w języku Pascal.

Przebieg w czasie temperatury dla zestawów czujników "1 i 3" oraz temperaturę powietrza przedstawiono na rysunku 3.

Ekstremalne temperatury oraz maksymalne różnice temperatury w każdym zestawie wynosza:

przekrój pomiarowy "A":

| - wartości maksymalne:                     |   |         |     |
|--|---|---------|-----|
| w płycie górnej ("2")                      | - | 37.78   | °C, |
| w środniku ("3")                           | - | 50.86   | °C, |
| w połączeniu środnika z płytą górną ("1")  | - | 49.64   | °C, |
| - maksymalne różnice pomiędzy czujnikami:  |   |         |     |
| w płycie górnej                            | - | 26.37   | °C, |
| w środniku                                 | - | 26.27   | °C. |
| przekrój pomiarowy "C":                    |   |         |     |
| - wartości maksymalne:                     |   |         |     |
| w płycie górnej ("4")                      | - | 36.50   | °C, |
| w środniku ("6")                           | - | 42.29   | °C, |
| w połączeniu środnika z płytą górną ("5")  | - | 46.89   | °С, |
| - maksymalne różnice pomiędzy czujnikami:  |   |         |     |
| w płycie górnej                            | - | 7.99    | °C, |
| w środniku                                 | - | 14.18   | °C, |
| w połączeniu środnika z płytą górną        | - | 15.75   | °C, |
| Różnice pomiedzy pomiarami w przekroju "A" | " | C" wyni | ka- |

ją z różnic temperatur powietrza podczas betonowania.

## 4. OBLICZENIE SIŁ WEWNĘTRZNYCH I PRZEMIESZCZEŃ

Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu PRO-MES. Analizie statycznej poddano zestaw dwóch segmentów, wymodelowanych za pomocą skończonych elementów powłokowych o długości WYNIKI POMIARÓW TEMPERATURY

POCZĄTEK POMIARÓW: 10-10-'86, GODZ. 14:53

PLASZCZYZNA POMIAROWA "A"

ZESTAW CZUJNIKÓW "3" W ŚRODNIKU



WYNIKI POMIARÓW TEMPERATURY POCZĄTEK POMIARÓW: 10-10-186, GODZ. 14:53 PLASZCZYZNA POMIAROWA "A" ZESTAW CZUJNIKÓW "1" W STYKU PLYTY GORNEJ I ŚRODNIKA



Rys.3. Przebieg temperatury w czasie dla zestawu czujników "1" i" 3"

Fig.3. Time temperature distribution for sections of sensors No "1" and No "3" jednego metra. Każdy z segmentów ma długość zbliżoną do rzeczywistej. Wykorzystano symetrię przekroju poprzecznego mostu i założono symetrię pola temperatur. Model składa się z czterech grup elementów:

1 - wspornik (184 elementy), 2 - płyta górna (230),

3 - płyta dolna (138), 4 - środnik (138).

Fragment modelu przedstawia rys.4.



Rys. 4. Fragment modelu obliczeniowego Fig. 4. The part of computational model

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch stanów obciążenia; ciężarem własnym, po częściowym opuszczeniu form, i temperaturą hydratacji nowo budowanego segmentu. Na podstawie wyników pomiarów w zestawach "1-3", za pomocą interpolacyjnego programu SURFER, wyznaczono pole temperatury, które wystąpiło 11 października o godzinie 8:15 (dziewiętnaście godzin po zabetonowaniu czujników). W tym czasie zanotowano najwyższą temperaturę podczas hydratacji (patrz pkt.3). Wyniki z programu SURFER posłużyły jako dane do analizy statycznej.

Uwzględniono zależne od wieku moduły sprężystości, jednakowe dla wszystkich elementów przekroju poprzecznego.

Temperaturę w poszczególnych pasmach zadano w postaci temperatury średniej powłoki i różnicy temperatur na grubości. Dla poszczególnych grup elementów i pasm (numerowanych od lewej strony) obciążenie temperaturą przedstawia się następuiaco:

- grupa 1 - wspornik  $T_e = 28.75$  °C  $\Delta T_e = 0$  °C - grupa 2 - płyta górna pasmo 1  $T_e = 35.05$  °C  $\Delta T_e = -28.03$  °C pasmo 2  $T_e = 35.05$  °C  $\Delta T_e = -36.03$  °C pasmo  $T_e = 30.64$  °C 3-5  $\Delta T_e = -24.22$  °C  grupa 3 - płyta dolna pasmo 1 T<sub>e</sub> = 30.64 °C AT<sub>e</sub> = 26.29 °C pasmo T<sub>e</sub> = 30.64 °C 2i3 ΔT<sub>e</sub> = 35.47 °C
grupa 4 - środnik T<sub>o</sub> = 44.18 °C ΔT<sub>e</sub> = 15.55 °C

Zgodnie z oczekiwaniami obliczenia wykazały pojawienie się dużych sił tnących, szczególnie w miejscach połączeń płyt ze środnikiem oraz wzdłuż przekroju styku segmentów. Siły te zmieniają się inaczej, niż wynikałoby to z zasady płaskich przekrojów, ponieważ różnice tęgości poszczególnych elementów skrzynki wywołują deplanację przekrojów poprzecznych w strefie wpływu oddziaływania ciepła hydratacji.

Siły wewnętrzne działają w kierunkach występujących tylko w czasie wiązania betonu i osiągają wartości, z którymi należy się liczyć podczas projektowania obiektu.

Na rysunku 5 pokazano przemieszczenie środnika w rejonie styku spowodowane temperaturą i ciężarem własnym. Wykres pokazuje stopień deplanacji przekroju poprzecznego. Na kolejnym rysunku przedstawiono naprężenia styczne, w skrajnym paśmie wspornika. Na uwagę zasługuje gwałtowny wzrost wartości w rejonie styku segmentów.





Wpływ ciepła hydratacji...

Wpływ ciepła hydratacji nowego segmentu dźwigara na stary sięga na odległość około trzech metrów. Tam też są widoczne największe zaburzenia w siłach wewnętrznych.

Generalnie, w porównaniu z siłami od ciężaru własnego, mogą być one nawet kilkakrotnie wyższe, często o przeciwnym znaku lub kierunku innym niż w pozostałych stanach obciążenia.

#### 5. WNIOSKI

Miejsce styku segmentów w belce mostowej nasuwanej podłużnie jest najsłabszym punktem. Różnice temperatury pomiędzy starym i nowym betonem mogą być przyczyną powstania zarysowań. Dodatkowe zbrojenie nie jest w stanie zapobiec rysom, ze względu na niedostateczną przyczepność do świeżego betonu. Dlatego też celowe jest dążenie do minimalizacji różnicy temperatur w styku. Niewystarczające jest przyjęcie cementu o niskim cieple hydratacji i wysokim stosunku w/c. Przekrój poprzeczny powinien być ukształtowany tak, by nie stykały się ze sobą elementy o bardzo różnej tęgości.

Dodatkowo należy stosować odpowiednie zabiegi pielęgnacyjne, które zminimalizują różnice temperatur w okolicy styku. W zimie można to uzyskać przez podgrzanie na głębokość około trzech metrów starego segmentu, w lecie stary segment w okolicy styku należy zabezpieczyć przed utratą ciepła warstwą izolacyjną.

#### LITERATURA

- [1] Leonhardt F.: Cracks and crack control at concrete, IABSE Proceedings P-109/87.
- [2] Mirambell E., Calmon J.L., Aquado A.: Heat of hydration in high-strength concrete: case study, Symposium in Lillehammer, June 20-23, 1993.
- [3] Flaga K., Słota R.: Problemy termiczne związane z realizacją żelbetowych przęseł monolitycznych w szczególności płytowych, Problemy mostownictwa w regionie Krakowskim,

Zeszyty Naukowo-Techniczne Oddziału SITKom w Krakowie, Zeszyt 20, Kraków 1992.

- [4] König G., Giegold J.: Zur Bemessung von Koppelfugen bei Massivbrücken, Beton-und Stahlbetonbau 6/1984.
- [5] Curbach M.: Die Votlandbrücken der Donaubrücke Fischer dorf. Bautechnik 70 (1993), Heft 1.
- [6] Tongeren H., Tonnisen J.Y.: Research in the field of structural behaviour of concrete in tunnel structures, FIP Notes, 3/1988.
- [7] Branco F.A. Mendes P.: Heat of hydration temperatures in bridges, Proceedings of the first International Congress held by RILEM September 7-11, 1987.
- [8] Matuszkiewicz T.: Rozkład temperatur w okresie wiązania i twardnienia betonu w skrzynkowym dźwigarze mostowym, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 55/1989.
- [9] Matuszkiewicz T.: Distribution of temperatures during the bonding and hardening period in a box girder, FIP Notes 3/1991.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Marek Brandt

Wpłynęło do Redakcji dnia 27.06.1995 r.

#### Abstract

On a prestressed box-section, constructed by means of incremental launching, among others the temperature was measured in the course of hydration. Basing on processed data resulting from these measurements the field of temperatures during the occurence of extreme temperatures or their gradients were determined.

A set of two segments, modelled by means of finite elements has been analysed. Calculations have been carried out for two states of losding, the heat of hydration of a newly constructed segment and the dead weight, applying a linear distribution of thermal loads, and taking into account modules of elasticity depending on their age.

The heat of hydration of a new segment of the girder affects the older one up to a distance of about three meters. It is there that the greatest displacements of external forces have been detected. In comparison with the dead weight, they may be even several times greater and often have an opposite sign.