

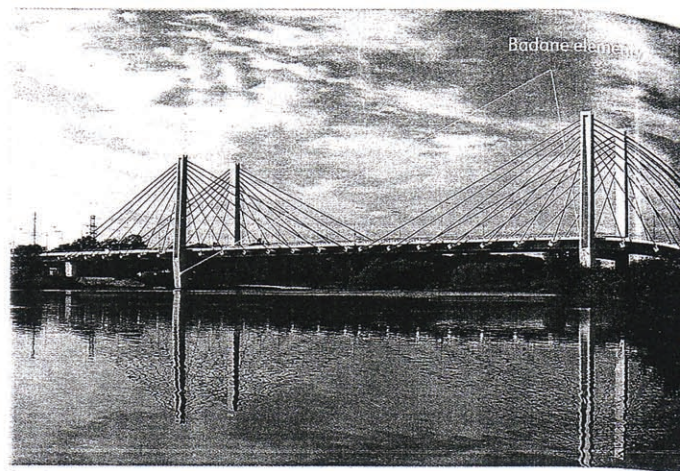
dr inż. Andrzej Helowicz, Politechnika Wrocławska

Skład mieszanki	Ilość
Cement hutniczy „Strzelce Opolskie” CEM III/A 32,5 NA	375,00 kg/m ³
Woda (w/c=0,46)	172,00 kg/m ³
Piasek 0/2 mm (Mietków)	668,00 kg/m ³
Grys granitowy 5/8 mm (Graniczna)	535,00 kg/m ³
Grys granitowy 8/16 mm (Graniczna)	707,00 kg/m ³
Superplastyfikator Sikament 400/30 (SIKA)	6,00 kg/m ³

Tabela 1.

Lp.	Badany element	Rozpoczęcie badań	Zakończenie badań	Czas
1.	Ława fundamentowa północna	15.10.2002 r. godzina 5 ⁰⁰	20.11.2002 r. godzina 16 ¹⁵	882 h 36 dni
2.	Ława fundamentowa południowa	1.04.2003 r. godzina 5 ⁰⁰	5.05.2003 r. godzina 17 ³⁰	828 h 34 dni

Tabela 2.



Ryc. 1

Twardnienie betonu

Artykuł opisuje zagadnienie rozkładu temperatury twardnienia betonu w masywnych fundamentach Mostu Milenijnego we Wrocławiu.

Ważnym zagadnieniem w technologii betonowania masywnych elementów betonowych jest ograniczenie wzrostu temperatury i różnic temperatur między poszczególnymi warstwami wykonywanego elementu betonowego w celu zachowania jego monolityczności.

Problem ten był przedmiotem wielu prac, np. [1-14]. Wydaje się, że zebranie odpowiedniej ilości wyników z badań eksperymentalnych przeprowadzonych na rzeczywistych konstrukcjach w trakcie ich realizacji może posłużyć do identyfikacji modeli teoretycznych zjawiska oraz do ustalenia właściwej technologii ich wykonania.

W niniejszym referacie przedstawiono wyniki badań rozkładów temperatur w okresie twardnienia betonu, uzyskane w rzeczywistych elementach dużego obiektu mostowego.

Badania przeprowadzono na dwóch ławach fundamentowych pod główne podpory (pylony) Mostu Milenijnego we Wrocławiu (ryc. 1). Most ma długość 973 m. Przy budowie zużyto 41 324 m³ betonu. Prace budowlane rozpoczęto w lipcu 2002 roku i zakończono we wrześniu 2004 roku.

Do wykonania ław zastosowano beton klasy B35, wykonany według receptury podanej w tabeli 1.

OPIS BADAŃ

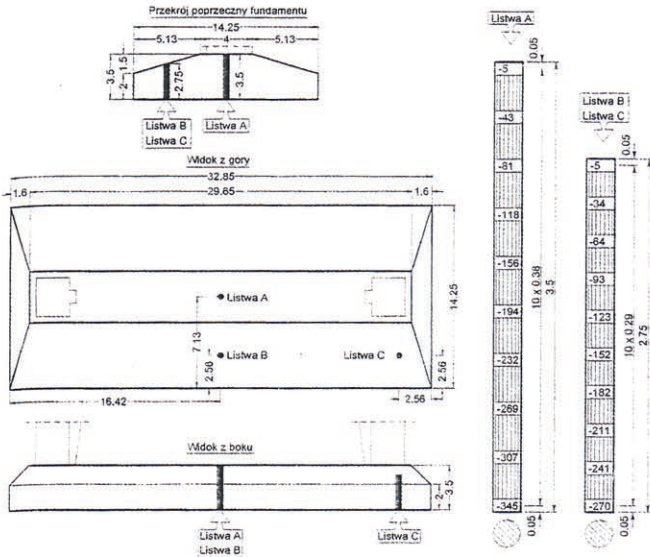
Celem badań był pomiar temperatury wewnętrznej i zewnętrznej oraz uchwycenie maksymalnej temperatury wewnętrznej i czasu jej wystąpienia w wybranych elementach konstrukcji mostowych w trakcie dojrzewania betonu.

Dla celów badawczych wybrano dwie identyczne ławy fundamentowe pod główne podpory (pylony) mostu (ryc. 2).

Betonowanie ławy północnej podzielono na trzy warstwy poziome, betonowane kolejno po sobie. Grubość warstw wynosiła:

$w_I=1,5$ m; $w_{II}=1$ m; $w_{III}=1$ m. Natomiast ławę południową betonowano jako pojedynczą warstwę o grubości $w_I=3,5$ m. Do betonowania wszystkich warstw zastosowano metodę układania mieszanki betonowej płatami ukośnymi o pochyleniu 1:5 i grubości 0,40 m. Do każdej ławy fundamentowej wbudowano 1345 m³ mieszanki betonowej. Betonowanie ławy fundamentowej północnej trwało 29 h, a południowej - 21 h. W trakcie układania warstw wbudowana mieszanka była sukcesywnie zagęszczana wibratorami buławowymi o średnicy $\varnothing=60$ mm. Świeży beton podawano do każdej z ław trzema pompami do betonu. Bezpośrednio po wbudowaniu ostatniej warstwy betonu i jej zagładzeniu obydwie ławy poddane były pielęgnacji ciepło-wilgotnościowej. Pielęgnacja ciepło-wilgotnościowa polegała na wstępnym intensywnym zraszaniu powierzchni zewnętrznej ławy wodą, do czasu gdy możliwe było wejście na powierzchnię ławy bez pozostawiania odcisku na jej powierzchni (ława północna - 17 h, ława południowa - 9 h) i ułożeniu warstwy z folii budowlanej i styropianu o grubości 10 cm. Po ułożeniu obydwu warstw powierzchnie zewnętrzne ław były zraszane wodą trzykrotnie w ciągu dnia, przez okres czterech tygodni. Folię oraz styropian usunięto z ławy północnej po 830 h, natomiast z ławy południowej - po 882 h od rozpoczęcia pomiarów. Zaproponowaną pielęgnację termiczno-wilgotnościową betonu wykorzystano przy budowie dwóch pozostałych ław fundamentowych o zbliżonych gabarytach, wykonanych w okresie zimy (ławy fundamentowe w części przęsła belkowego budowanego metodą wspornikową).

Temperaturę zewnętrzną (powietrza i powierzchni elementu) mierzono ręcznym termometrem elektronicznym. Temperaturę powierzchni zewnętrznej elementu mierzono w specjalnie przygotowanym płytce



Ryc. 2

Tabela 1. Receptura mieszanki betonowej na ławy fundamentowe pod główne podpory (pylony) – beton klasy B35

Tabela 2. Terminarz badań wykonanych na ławach fundamentowych Mostu Milenijnego przez Odrę we Wrocławiu

Ryc. 1. Most Milenijny przez Odrę we Wrocławiu

Ryc. 2. Rozmieszczenie listew pomiarowych w ławie oraz czujników termicznych w listwach pomiarowych

otworze (1 cm) na powierzchni elementu. Pomiary temperatury wewnętrznej przeprowadzono przy użyciu czujników termicznych typu PT 100, umieszczonych bezpośrednio w listwach pomiarowych, oraz zestawu pomiarowego UPM60 firmy Hottinger Baldwin Messtechnik.

W celu właściwego rozmieszczenia czujników w badanym elemencie oraz dla zabezpieczenia ich przed uszkodzeniem w trakcie betonowania wykonano listwy pomiarowe o długości 2,75 m i 3,5 m. Wszystkie listwy w całości wykonano z betonu przygotowanego według receptury na beton klasy B35 (tabela 1). Wykonanie listwy polegało na umieszczeniu betonu w plastikowej formie i właściwym zagęszczeniu mieszanki. Do tak wykonanej listwy wprowadzono 10 czujników typu PT100. Na dalszym etapie listwy poddane zostały dwutygodniowej pielęgnacji wilgotnościowej w celu uzyskania odpowiednich parametrów wytrzymałościowych, zapewniających właściwe wykonanie pomiarów. Różnica w próbnym pomiarze temperatury między czujnikami a termometrem wynosiła $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$, natomiast odchyłka w pomiarze temperatury między czujnikami dochodziła do $\pm 1^{\circ}\text{C}$, co uznano za wystarczającą dokładność przeprowadzonych badań.

Przed betonowaniem ławy fundamentowej północnej zamontowano w niej trzy listwy pomiarowe, ustawione pionowo: listwę A na środku elementu, listwę B – boczną – w odległości 2,56 m od ściany dłuższego boku oraz listwę C – narożną – w odległości 2,56 m od ścian zewnętrznych (ryc. 2). W ławie fundamentowej południowej zamontowano dwie listwy pomiarowe ustawione pionowo: listwę A na środku elementu, listwę B – boczną – w odległości 2,56 m od ściany dłuższego boku.

Dodatkowo podczas badań zmierzono temperaturę wbudowanej mieszanki betonowej oraz temperaturę powietrza podczas betonowania.

WYNIKI BADAŃ

Ława północna (ryc. 3-8):

- rozkład temperatur na środku elementu (ryc. 3-4);
- rozkład temperatur w odległości 2,56 m od ściany dłuższego boku (ryc. 5-6);
- rozkład temperatur w odległości 2,56 m od ścian zewnętrznych (ryc. 7-8);

Ława południowa (rys. 9-12):

- rozkład temperatur na środku elementu (ryc. 9-10);
- rozkład temperatur w odległości 2,56 m od ściany dłuższego boku (ryc. 11-12);

Rozkłady temperatur w ławie fundamentowej północnej (beton klasy B35) przedstawiają ryciny: 3-8.

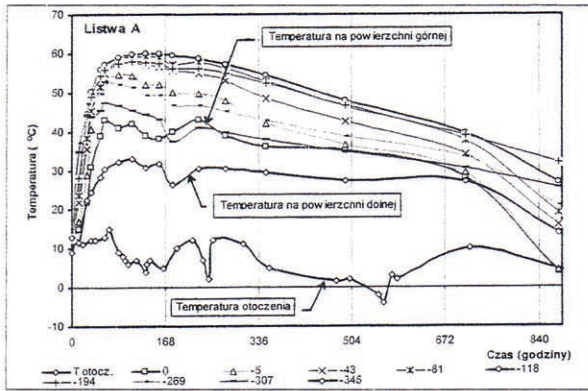
Rozkłady temperatur w ławie fundamentowej południowej (beton klasy B35) przedstawiają ryciny: 9-12.

Analizując otrzymane rezultaty, stwierdzono, że:

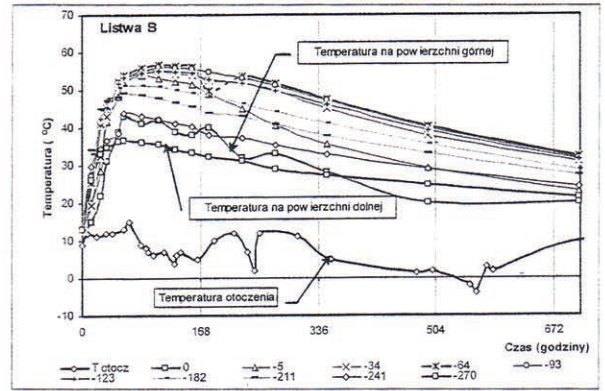
- Temperatura mieszanki betonowej wbudowanej do obydwu ław fundamentowych była taka sama i wynosiła 13°C (ławy wykonane jesienią i wiosną).
- Temperatura maksymalna dojrzewającego betonu w obydwu ławach fundamentowych była zbliżona (ławy wykonane jesienią i wiosną) i wynosiła około 60°C .
- Maksymalna temperatura wewnętrzna dojrzewającego betonu w ławie północnej wystąpiła po 115 h badań (ława wykonana jesienią), natomiast w ławie południowej – po 108 h badań (ława wykonana wiosną).
- Maksymalna różnica z pomierzonych temperatur między środkiem i powierzchnią górną jest o 7°C wyższa w ławie fundamentowej południowej (ława wykonana wiosną), niż w ławie fundamentowej południowej (ława wykonana jesienią).
- Maksymalna różnica z pomierzonych temperatur między środkiem i powierzchnią dolną dla obydwu ław jest zbliżona (ławy wykonane jesienią i wiosną).
- Po 882 h badań temperatura wewnętrzna na środku ławy północnej wynosiła 32°C (ława wykonana jesienią), a w ławie południowej – po 828 h badań 41°C (ława wykonana wiosną).
- Po zakończeniu badań na ograniczonej (do 5% całej powierzchni) górnej powierzchni ław zauważono miejscowe krótkie rysy powierzchniowe o rozwarciu nie przekraczającym 0,2 mm.
- Zastosowany cement, receptura i proces pielęgnacji betonu w fundamentach Mostu Milenijnego we Wrocławiu pozwoliły na sprawne wykonanie fundamentów bez uszkodzeń spowodowanych czynnikami termicznymi.

PODSUMOWANIE

Przedstawione w referacie wyniki badań rozkładu temperatury w masywnych elementach mogą stanowić podstawę zarówno do weryfikacji modeli teoretycznych, opisujących zjawisko powstania samonaprzeżeń w konstrukcjach betonowych, jak i do oceny obecnie stosowanych technologii wykonania masywnych elementów betonowych.

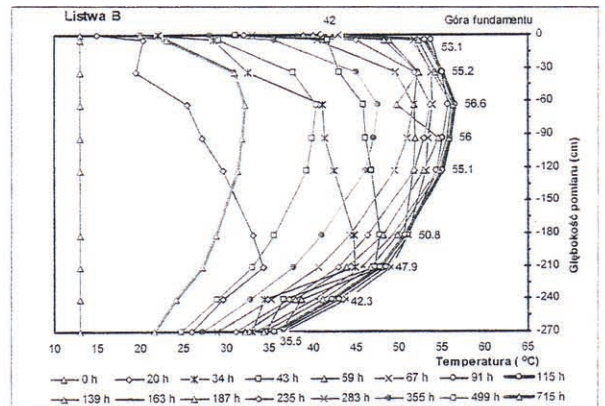


Ryc. 3. Wartość temperatur w poszczególnych punktach osi pomiarowej pionowej w funkcji czasu dla ławy fundamentowej północnej – listwa pomiarowa A

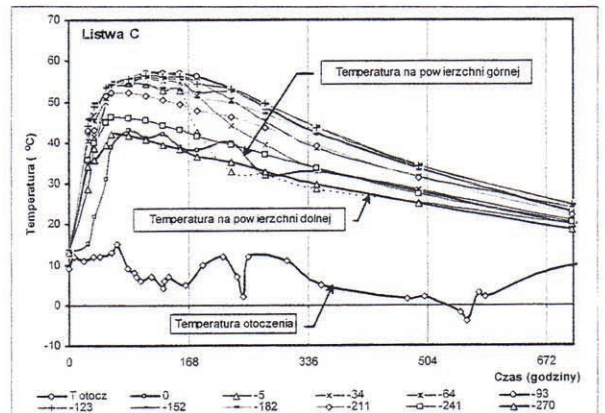


Ryc. 5. Wartość temperatur w poszczególnych punktach osi pomiarowej pionowej w funkcji czasu dla ławy fundamentowej północnej – listwa pomiarowa B

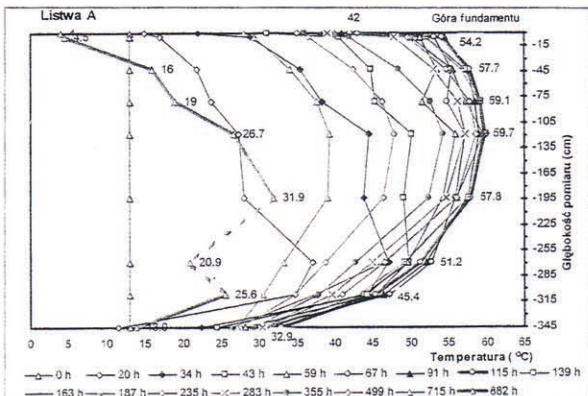
- ▶ W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że:
- Niska kaloryczność cementu oraz obniżona jego ilość w $1m^3$ mieszanki betonowej wpływa znacząco na obniżenie temperatur wewnętrznych dojrzewającego betonu.
 - Betonowanie maszywów betonowych w okresie wiosny i jesieni sprzyja obniżeniu temperatury mieszanki betonowej i tym samym wpływa na obniżenie temperatur wewnętrznych dojrzewającego betonu.
 - Ograniczenie odpływu ciepła z elementu wskutek zastosowanej izolacji termicznej powoduje wzrost temperatury wewnętrznej dojrzewającego betonu oraz wydłuża się czas jej trwania, natomiast istotnie ograniczona jest maksymalna różnica temperatur między środkiem i powierzchnią zewnętrzną elementu.
 - Do określenia rodzaju, grubości warstwy izolacji oraz czasu jej usunięcia niezbędne jest wykonanie wnikliwej analizy termicznej oraz monitorowanie stanu termicznego konstrukcji; niewłaściwe dobranie izolacji, a – tym gorsze – przedwczesne jej usunięcie może się przyczynić do spękania wykonywanego elementu.
- Obecny stan zaawansowanych technik komputerowych, bazujących na metodzie elementów skończonych, umożliwia projektantom modelowanie części zjawisk zachodzących podczas dojrzewania betonu. Możliwość symulowania rozkładów temperatur w elementach betonowych podczas różnych warunków dojrzewania betonu sprawia, że jeszcze na etapie projektowania konstrukcji możliwe jest dobranie najwłaściwszej technologii jej wykonania [8, 14]. □



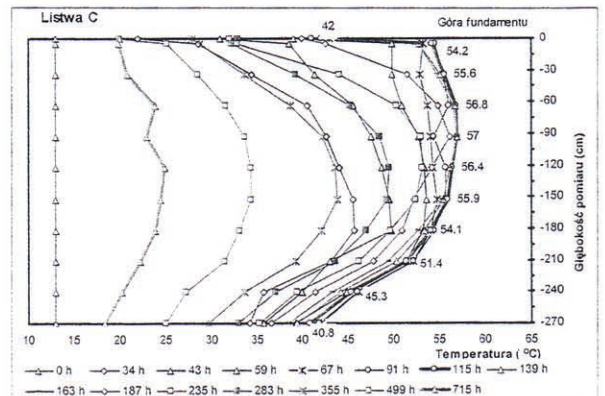
Ryc. 6. Rozkład temperatur w przekroju poprzecznym ławy fundamentowej północnej – listwa pomiarowa B



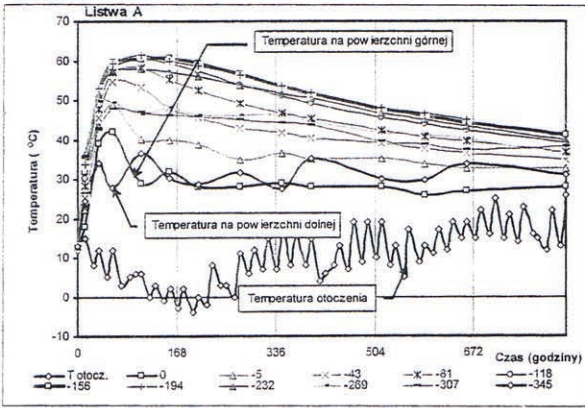
Ryc. 7. Wartości temperatur w poszczególnych punktach osi pomiarowej pionowej w funkcji czasu dla ławy fundamentowej północnej – listwa pomiarowa C



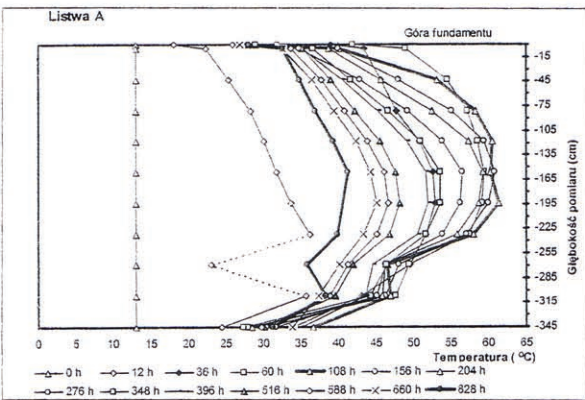
Ryc. 4. Rozkład temperatur w przekroju poprzecznym ławy fundamentowej północnej – listwa pomiarowa A



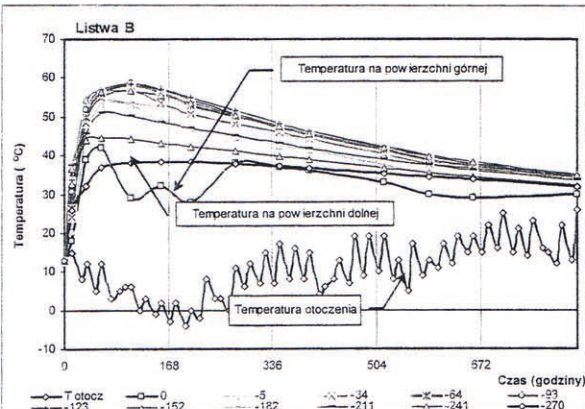
Ryc. 8. Rozkład temperatur w przekroju poprzecznym ławy fundamentowej północnej Mostu Miłanijego – listwa pomiarowa pionowa C



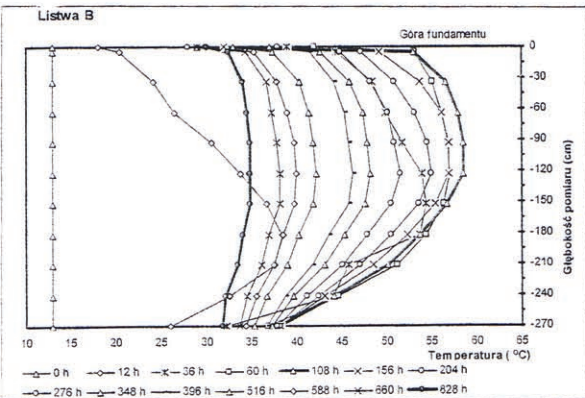
Ryc. 9. Wartość temperatur w poszczególnych punktach osi pomiarowej pionowej w funkcji czasu dla listwy fundamentowej południowej – listwa pomiarowa A



Ryc. 10. Rozkład temperatur w przekroju poprzecznym listwy fundamentowej południowej – listwa pomiarowa A



Ryc. 11. Wartość temperatur w poszczególnych punktach osi pomiarowej pionowej w funkcji czasu dla listwy fundamentowej południowej – listwa pomiarowa B



Ryc. 12. Rozkład temperatur w przekroju poprzecznym listwy fundamentowej południowej – listwa pomiarowa B

Piśmiennictwo

1. Borucka-Lipska J., Freidenberg P., Kiernożycki W.: *Termiczno-skurczowe naprężenia wymuszone w betonie wysokowartościowym*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2003, 5.
2. Czkwianianc A., Pawica J., Moszczyński D.: *O betonowaniu masywów na przykładzie fundamentów w elektrowni*. Inżynieria i Budownictwo nr 4/2003.
3. Flaga K.: *Wpływ ciepła hydratacji cementu na możliwość zarysowania konstrukcji żelbetonowych o rozwiniętym przekroju poprzecznym*. „Inżynieria i Budownictwo”, 1998, 5.
4. Helowicz A.: *Analiza pól temperatury wywołanych ciepłem hydratacji w maszynach betonowych*. Praca doktorska. Instytut Inżynierii Lądowej, Politechnika Wroclawska. Raport ILL serii PRE nr 1/03, Wrocław 2003.
5. Helowicz A.: *Rozkład temperatury twardnienia betonu w maszynach elementach obiektu mostowego*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2002, 3-4.
6. Kaszyńska M.: *Właściwości BWW w początkowym okresie dojrzewania*. Konferencja Dni Betonu, Tradycja i Nowoczesność, 8-10 października 2002, Szczyrk. Polski Cement, Kraków 2002.
7. Kiernożycki W.: *Betonowe konstrukcje mostowe. Teoria Wymiarowanie Realizacja*. Polski Cement, Kraków 2003.
8. Kiernożycki W., Borucka-Lipska J., Freidenberg P.: *O minimalnym zbrojeniu przypowierzchniowych maszynych elementów płytowych*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2003, 11.
9. Kiernożycki W.: *Niektóre problemy techniczne wykonawstwa betonowych budowli maszynych*. „Inżynieria i Budownictwo” nr 3/1995.
10. Kiernożycki W., Ślusarek J., Freidenberg P.: *Temperatury twardnienia betonu wysokowartościowego*. „Inżynieria i Budownictwo”, 1997, 5.
11. Klemczak B.: *Wpływ współczynników materiałowych młodego betonu na temperatury twardnienia konstrukcji maszynych*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2002, 11.
12. Kucnerowicz-Jakubowska M.: *Zagadnienia technologii betonu na budowie pochylnej Wulkan Nowy Szczyński*. „Inżynieria i Budownictwo”, 2001, 5.
13. Neville A. M.: *Właściwości betonu*. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 2000.
14. Witakowski P.: *Termodynamiczna teoria dojrzewania. Zastosowanie do konstrukcji maszynych z betonu*. Politechnika Krakowska, Zeszyt Naukowy nr 1, Kraków 1998.

reklama



Tramad-Serwis Opolo s.j.
49-120 Dąbrowa
Żelazna, ul. Boczna 14A
tel./fax 077 464 20 18
077 464 20 29
e-mail: info@tramad-servis.com

Maszyny i urządzenia do poziomego oznakowania dróg oraz letniego i zimowego utrzymania nawierzchni i otoczenia dróg.



