

PIOTR MITKOWSKI*

OBCIĄŻENIA TERMICZNE
W ZESPOLONYCH DŹWIGARACH MOSTOWYCH

THERMAL LOADS IN BRIDGE COMPOSITE STRUCTURES

Streszczenie

W niniejszym artykule rozważany jest wpływ oddziaływań termicznych na konstrukcje zespolone, stalowo-betonowe. Głównym celem była weryfikacja i porównanie sił wewnętrznych powstających w konstrukcji na skutek obciążenia termicznego w klasycznej belce zespolonej i belce podwójnie zespolonej (płyta betonowa z góry i z dołu dźwigara stalowego). Obliczenia prowadzone były za pomocą oprogramowania wykorzystującego Metodę Elementów Skończonych.

Słowa kluczowe: obciążenia termiczne, konstrukcje zespolone, konstrukcje stalowo-betonowe

Abstract

The paper covers topic of steel-concrete composite structures under thermal loads. Main issue is to verify and compare internal forces that occur in the structure as a result of temperature activity. Double composite beam (steel girder joined on the top and bottom with the reinforced concrete plates) in contrast to standard composite beam is considered. Calculations were carried out with computer programs utilizing Finite Element Method.

Keywords: thermal loads, composite structures, steel-concrete structures

* Mgr inż. Piotr Mitkowski, doktorant, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

W budownictwie komunikacyjnym w Polsce i na całym świecie od dziesiątków lat w konstrukcji mostów stosuje się dźwigary zespolone. Najczęściej przęsła stanowi stalowa belka oraz współpracująca z nią płyta żelbetowa (rys. 1). Zaletą tych konstrukcji jest współpraca dwóch materiałów, stali i betonu, w wyniku czego powstaje nowa jakościowo konstrukcja zespolona.

W ostatnim czasie coraz częściej buduje się mosty w formie konstrukcji podwójnie zespolonych, o stalowych dźwigarach kratownicowych. Są to nowoczesne rozwiązania, które znajdują zastosowanie w światowym budownictwie (np. most przez Ren w Bazylei czy nowo powstały most nad Dunajcem w ciągu obwodnicy Starego Sącza).

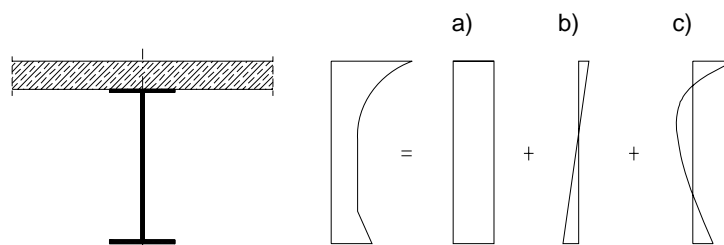


Rys. 1. Klasyczna konstrukcja zespolona

Fig. 1. Classical composite structure

Dźwigary stalowe wykonuje się najczęściej jako blachownicowe, a przy większych rozpiętościach również jako kratownicowe, a następnie zespała z nimi górną i dolną płytę pomostu. Płyty te mogą być żelbetowe lub sprężone. Drugie z podanych rozwiązań jest dobre ze względu na lepsze wykorzystanie własności wytrzymałościowych materiałów, w tym przypadku betonu i stali.

W tego typu konstrukcjach nie można pominąć wpływu zjawisk termicznych. Czynniki takie jak sezonowe i dobowe zmiany temperatury otoczenia, promieniowanie czy konwekcja powodują zmiany temperatury w elementach konstrukcji mostów zespolonych. Zmiany występują w kierunku podłużnym i poprzecznym oraz na wysokości dźwigara zespolonego. Zagadnienie to było przedmiotem wielu prac w odniesieniu do konstrukcji pojedynczo zespolonych. W przypadku konstrukcji podwójnie zespolonych zagadnienia termiczne nie są jeszcze dostatecznie wyjaśnione. Wpływ zmian temperatury na stan odkształcenia i naprężenia zależy od rozkładu temperatury w konstrukcji mostowej. Rysunek 2 przedstawia poglądowy rozkład temperatury w dźwigarze zespolonym na jego wysokości oraz jego podział na łatwiejsze do obliczania części składowe. Rysunki 1 i 3 pokazują klasyczną i podwójnie zespoloną konstrukcję przęsła mostowego.



Rys. 2. Schematyczny rozkład temperatury w dźwigarze zespolonym wywołany: a) równomiernym działaniem temperatury, b) różnicą temperatury na wysokości przekroju, c) zjawiskami reologicznymi [2]

Fig. 2. Schematic temperature distribution for composite beam caused by: a) steady temperature, b) temperature difference on the height of cross section, c) rheological phenomena



Rys. 3. Konstrukcja podwójnie zespolona – most „Dreirosen”

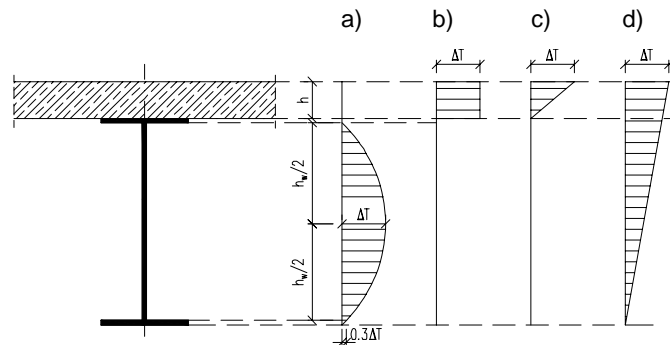
Fig. 3. Double composite structure – “Dreirosen” bridge

W artykule przedstawiono analizę wpływu zmiany temperatury w dźwigarach zespolonych pojedynczo i podwójnie. Rozpatrywano różne sytuacje obliczeniowe związane z geometrią analizowanych dźwigarów oraz rozkładem temperatury.

2. Siły wewnętrzne i naprężenia od wpływów termicznych

W ustrojach belkowych jednakowa zmiana temperatury w płycie i belce stalowej nie wywołuje dodatkowych naprężeń, gdyż współczynniki rozszerzalności liniowej betonu i stali są prawie równe. Jednak na skutek dużej różnicy w przewodnictwie cieplnym betonu i stali występują między tymi elementami różnice temperatur dochodzące nawet do 10–15°C.

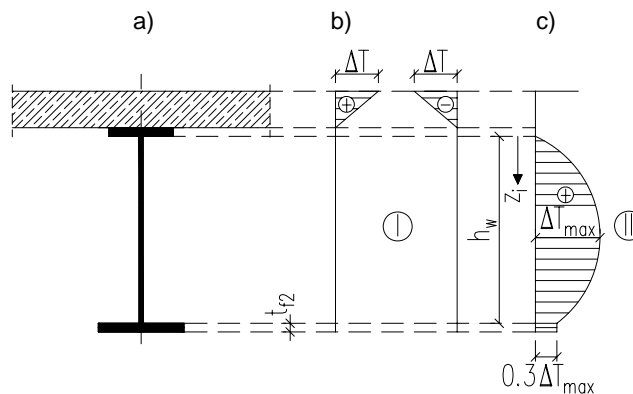
Zgodnie z [1] na rysunku 4 przedstawiono rozkłady temperatur na wysokości dźwigara zespolonego, przyjmowane w normach niektórych krajów. Rozkład przedstawiony na rysunku 4b jest powszechnie stosowany w Polsce.



Rys. 4. Rozkłady temperatury przyjmowane w niektórych krajach [1]

Fig. 4. Temperature distributions used in some countries

Według [4] rozkład temperatury należy przyjmować zgodnie z rysunku 5.



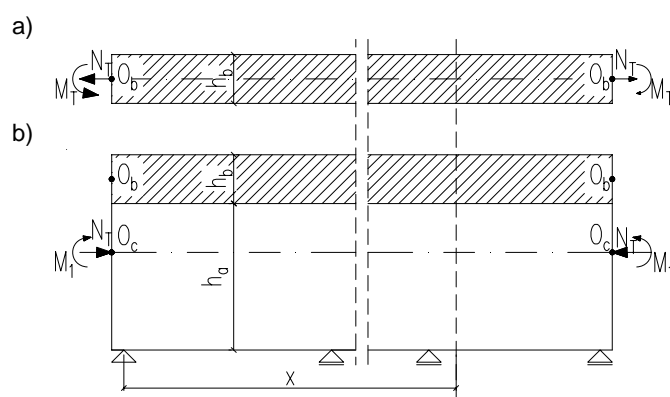
Rys. 5. Rozkłady różnic temperatury na wysokości przekroju zespolonego [4]

Fig. 5. Temperature difference distributions on the height of cross section

Na skutek działania obciążeń termicznych w konstrukcji powstają siły wewnętrzne. Rysunek 6 przedstawia schematycznie te siły.

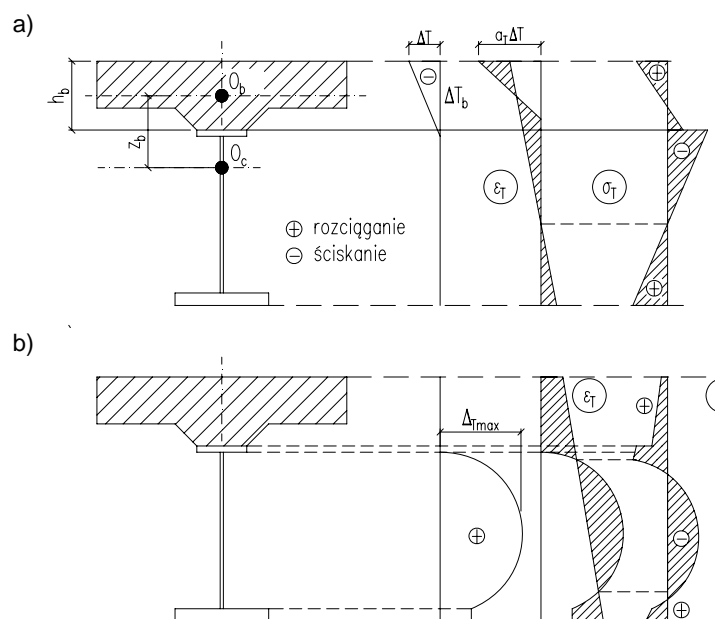
Zwroty sił na rysunku przedstawiają oziębienie płyty względem belki stalowej, w przypadku ogrzania należy przyjąć przeciwny znak.

Siły wewnątrz konstrukcji powodują powstanie naprężeń i odkształceń w rozpatrywanym przekroju. Rozkłady odkształceń i naprężeń termicznych w konstrukcji zespolonej przedstawia rysunek 7.



Rys. 6. Schemat do obliczania sił wewnętrznych w belce zespolonej, wywołanych zmianami temperatury [4]

Fig. 6. Internal forces scheme for composite beam, caused by temperature differences



Rys. 7. Rozkład odkształceń i naprężeń w belce zespolonej [4]

Fig. 7. Strains and Stress distribution in the composite beam

3. Założenia wyjściowe

3.1. Modele geometryczne i dane materiałowe

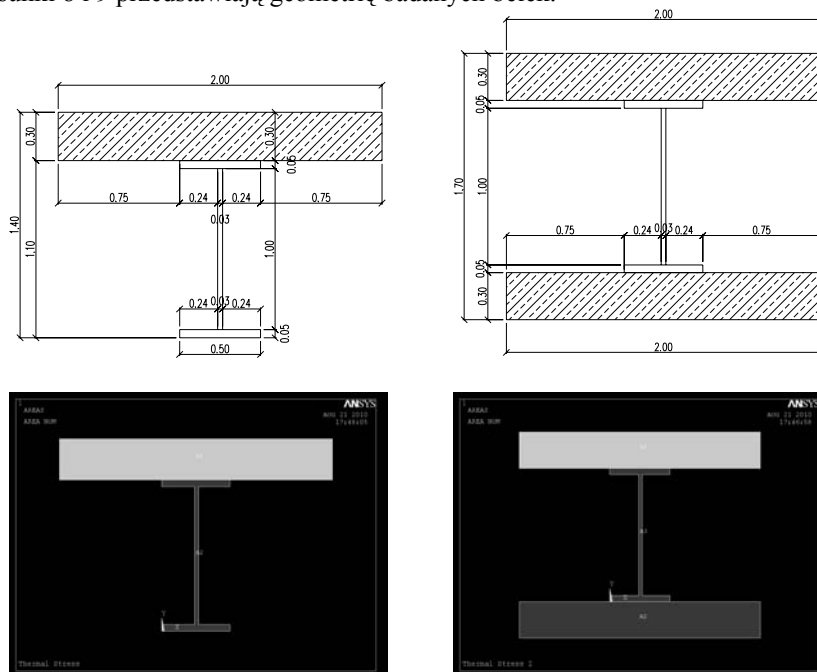
Rozważane są dwa modele: dla belki zespolonej z płytą betonową u góry, oraz dla belki zespolonej z płytami betonowymi z góry i z dołu. W tabeli 1 podano przyjęte charakterystyki materiałowe dla stali i betonu.

Tabela 1

Przyjęte charakterystyki materiałowe

	Beton	Stal
Przewodność cieplna [W/m · K]	1.7	60.5
Moduł Younga [Pa]	2.90E+10	2.00E+11
Współczynnik Poissona	0.2	0.3
Współczynnik rozszerzalności cieplnej [1/K]	1.10E-05	1.20E-05

Rysunki 8 i 9 przedstawiają geometrię badanych belek.



Rys. 8. Geometria belki pojedynczo zespolonej [m]

Fig. 8. Composite beam geometry

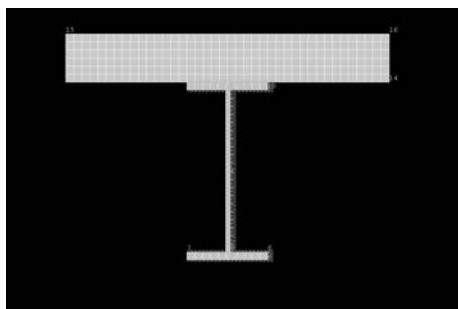
Rys. 9. Geometria belki podwójnie zespolonej [m]

Fig. 9. Double composite beam geometry

3.2. Obciążenia

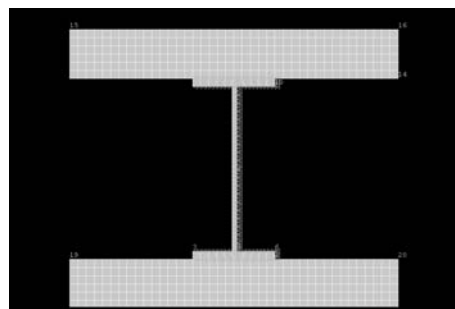
Obciążenie zadane jest przez ogrzanie belki stalowej w stosunku do płyty (płyt) żelbetowej temperaturą 30°C . Przyjęto stały rozkład temperatur na wysokości belki.

Belki te są sztywno połączone z płytą (płytami) żelbetową.



Rys. 10. Belka pojedynczo zespolona

Fig. 10. Composite beam



Rys. 11. Belka podwójnie zespolona

Fig. 11. Double composite beam

3.3. Obliczenia

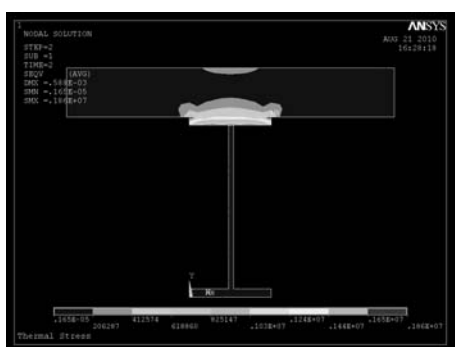
Obliczenia wykonano za pomocą programu ANSYS 10.

Program obliczeniowy wykorzystuje Metodę Elementów Skończonych.

4. Wyniki analizy

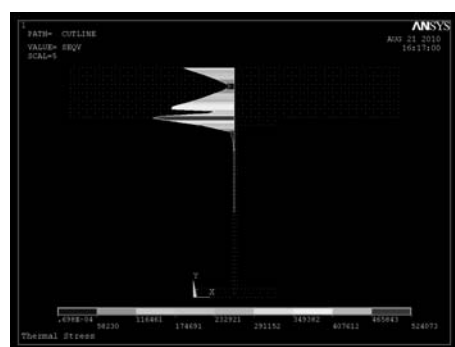
Poniżej na wykresach i rysunkach przedstawiono wyniki przeprowadzonych symulacji.

4.1. Naprężenia



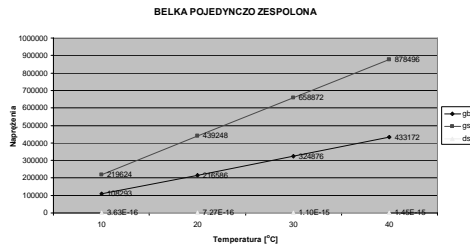
Rys. 12. Mapa naprężeń termicznych dla belki pojedynczo zespolonej

Fig. 12. Thermal stress map for composite beam



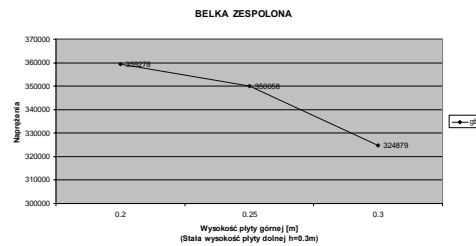
Rys. 13. Rozkład naprężeń na wysokości belki pojedynczo zespolonej

Fig. 13. Stress distribution on the height of composite beam



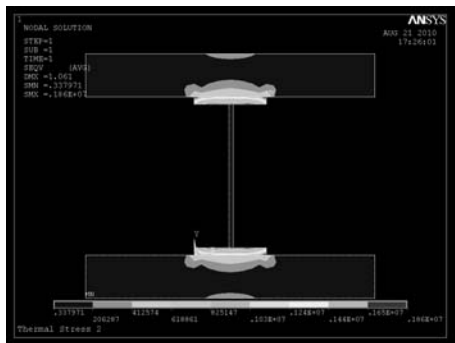
Rys. 14. Naprężenia na wysokości belki pojedynczo zespolonej w zależności od temperatury

Fig. 14. Stress at the height of composite beam depending on temperature



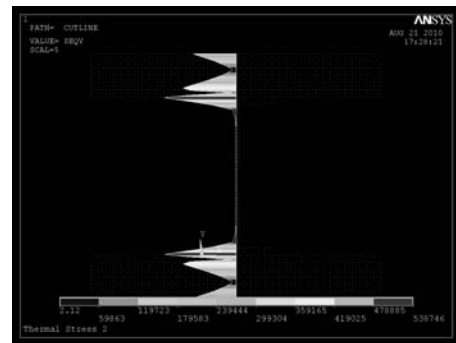
Rys. 15. Naprężenia na górnej krawędzi belki pojedynczo zespolonej w zależności od wysokości płyty betonowej, przy stałej temperaturze

Fig. 15. Stress at the top edge of the composite beam depending on the slab height



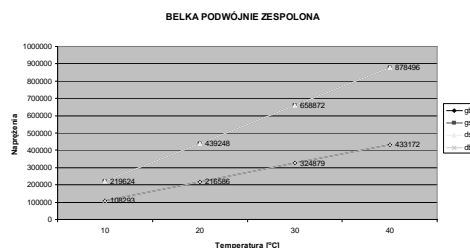
Rys. 16. Mapa naprężeń termicznych dla belki podwójnie zespolonej

Fig. 16. Thermal stress map for double composite beam



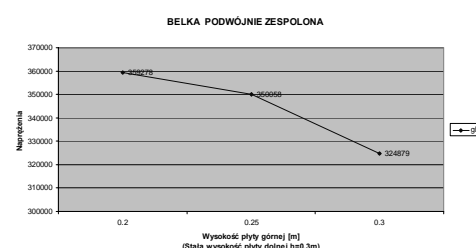
Rys. 17. Rozkład naprężeń na wysokości belki podwójnie zespolonej

Fig. 17. Stress distribution at the height of double composite beam



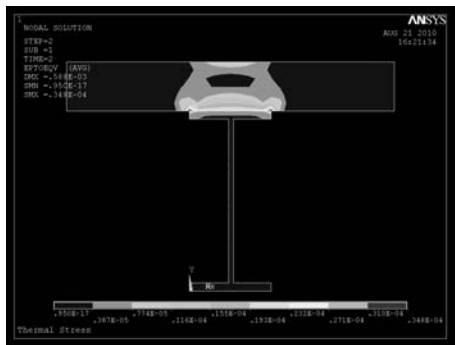
Rys. 18. Naprężenia na wysokość belki podwójnie zespolonej w zależności od temperatury

Fig. 18. Stress at the height of double composite beam depending on temperature



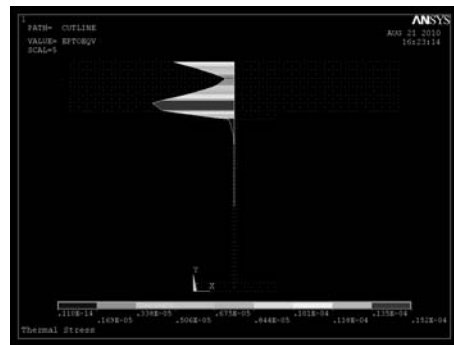
Rys. 19. Naprężenia na górnej krawędzi belki podwójnie zespolonej w zależności od wysokości płyty górnej, przy stałej temperaturze

Fig. 19. Stress at the top edge of double composite beam depending on the top slab height with constant temperature



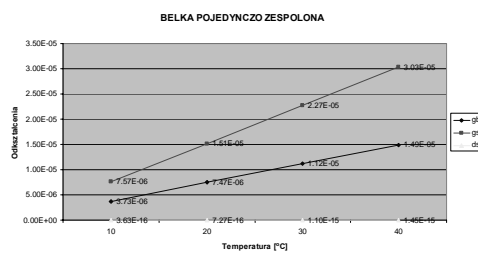
Rys. 20. Mapa odkształceń. Belka pojedynczo zespolona

Fig. 20. Strain map. Composite beam



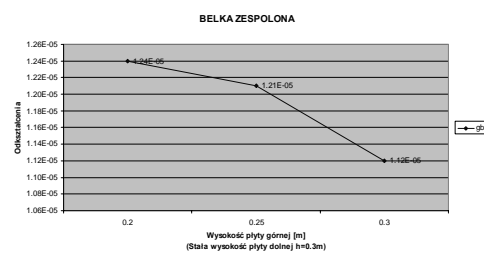
Rys. 21. Rozkład odkształceń na wysokości belki pojedynczo zespolonej

Fig. 21. Strain distribution at the height of the composite beam



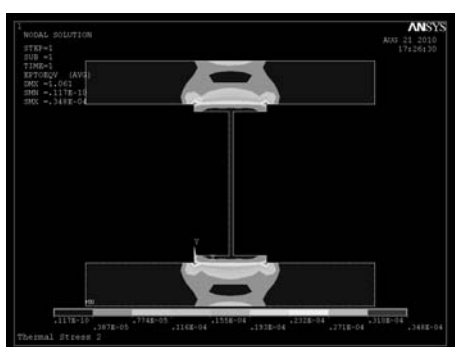
Rys. 22. Odkształcenia na wysokości belki pojedynczo zespolonej w zależności od temperatury

Fig. 22. Strain at the height of the composite beam depending on the temperature



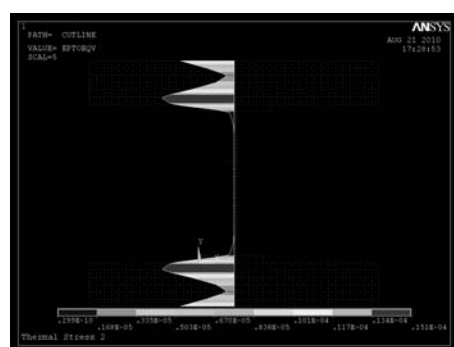
Rys. 23. Odkształcenia na górnej krawędzi belki pojedynczo zespolonej w zależności od wysokości płyty betonowej, przy stałej stałej temperaturze

Fig. 23. Strain at the top edge of composite beam depending on the height of concrete slab with constant temperature



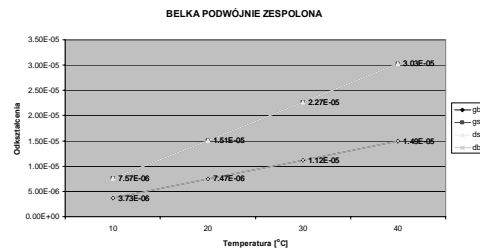
Rys. 24. Mapa odkształceń. Belka podwójnie zespolona

Fig. 24. Strain map. Double composite beam



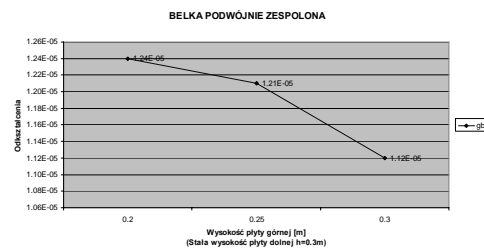
Rys. 25. Rozkład odkształceń na wysokości belki podwójnie zespolonej

Fig. 25. Strain distribution at the height of double composite beam



Rys. 26. Odształcenia na wysokości belki podwójnie zespolonej w zależności od temperatury

Fig. 26. Strain at the height of double composite beam depending on temperature



Rys. 27. Odształcenia na górnej krawędzi belki podwójnie zespolonej w zależności od wysokości płyty betonowej, przy stałej temperaturze

Fig. 27. Strain at the top edge of the double composite beam depending on the slab height

4. Wnioski

W artykule przedstawiono wyniki analizy wpływu rozwiązania geometrycznego dźwigara zespolonego na stan naprężenia i odkształcenia od zmian termicznych, ze szczególnym uwzględnieniem dźwigarów podwójnie zespolonych.

Dla porównania analizowano również klasyczny przekrój pojedynczo zespolony.

Wyniki analizy wykazują, że dodatkowa płyta dolna w niewielkim stopniu wpływa na wartość naprężeń i odkształceń termicznych w dźwigarze zespolonym.

Większy wpływ mają relacje wymiarów (tym samym pola przekrojów poprzecznych) belki stalowej i płyt żelbetowych. Czym większe są wymiary płyt, tym mniejsze wartości odkształceń i naprężeń.

Literatura

- [1] Karlikowski J., *Naprężenia normalne przy różnych rozkładach temperatury na wysokości dźwigara zespolonego*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Mosty zespolone”, Kraków, 7–9.05.1998.
- [2] Furtak K., *Mosty zespolone*, PWN, Warszawa, Kraków 1999.
- [3] Madaj A., Wołowicki W., *Mosty betonowe*, WKŁ, Warszawa 2002.
- [4] Karlikowski J., Madaj A., Wołowicki W., *Mostowe konstrukcje zespolone – stalowo-betonowe*, WKŁ, Warszawa 2007.
- [5] Zobel H., *Naturalne zjawiska termiczne w mostach*, WKŁ, Warszawa 2003.
- [6] Flaga K., Furtak K., *Rozwiązanie konstrukcyjne i technologiczne nowoczesnego podwójnie zespolonego mostu przez Ren w Bazylei*, Inżynieria i Budownictwo, nr 1/2007.
- [7] Koreleski J., *Zespolone konstrukcje mostowe*, PWN, Warszawa 1967.
- [8] PN-S-10030:1985, *Obiekty mostowe obciążenia*.

- [9] Mitkowski P., *The impact of thermal effects on steel concrete, truss composite structures*, 5th International conference Concrete And Concrete Structures, Zilina, Slovakia, October 15–16, 2009, University of Zilina, Faculty of Civil Engineering.
- [10] Mitkowski P., *Double Composite Bridge Girders Under Thermal Loads*, ECCM 2010 IV European Conference on Computational Mechanics, Palais des Congres, Paris, France, May 16–21, 2010.