

Bydgoszcz, 28 sierpnia 2022

Dr hab. inż. Maciej Dutkiewicz, prof.PBS  
Politechnika Bydgoska im. J.J.Śniadeckich  
Katedra Konstrukcji Budowlanych,  
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,  
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

**Recenzja rozprawy doktorskiej  
mgr inż. Michała Kociniaka**

**pt. „ANALYSIS OF THE BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE  
TOWER STRUCTURES RESULTING FROM THE THERMAL ACTIONS”**

**„ANALIZA ZACHOWANIA SIĘ ŻELBETOWYCH KONSTRUKCJI  
WIEŻOWYCH W WYNIKU ODDZIAŁYWAŃ TERMICZNYCH”**

### **1. Podstawa opracowania**

Recenzja została opracowana na prośbę Przewodniczącego Rady Naukowej ITB, prof. dr hab. inż. Andrzeja Garbacza wyrażoną w piśmie z dnia 20.07.2022 r., w którym przytoczono uchwałę Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej z dnia 29 kwietnia 2021 r., powołującą mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Michała Kociniaka. Przesłana do oceny praca doktorska liczy wraz z załącznikami 183 strony.

### **2. Charakterystyka pracy**

Praca liczy 6 rozdziałów, do których dołączono spis: literatury, rysunków, tabel oraz 3 załączniki. Praca napisana została w języku angielskim, zawiera streszczenia w językach: polskim i angielskim.

Rozdział pierwszy zawiera określenie celu i zakresu pracy oraz opis problemu naukowego. Opisano jakich obiektów dotyczy zagadnienie niestacjonarnego przepływu ciepła.

Rozdział drugi zawiera przegląd aktualnej wiedzy oraz literatury dotyczącej badanych zagadnień. Doktorant w szczegółowy sposób odniósł się do aktualnego stanu wiedzy.

W rozdziale trzecim przedstawiono wpływ zjawiska insolacji na przemieszczenia poziome obiektów wieżowych. Przedstawiono analizę pomiarów wpływu insolacji na obiektach, które były przedmiotem badań innych autorów. Przedstawione zostały zagadnienia związane z ekspozycją słoneczną obiektów wysokich, a także opisano badania przeprowadzone w pracy doktorskiej na dwóch obiektach wież telekomunikacyjnych. Doktorant opisał metodologię badań oraz przedstawił wyniki pomiarów in situ. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów sformułowana została zależność analityczna pozwalająca na wyznaczenie wielkości przemieszczenia w zależności od geometrii obiektu i różnicy temperatury pomiędzy stroną nasłonecznioną i zacienioną.

Przedstawiono także analizę wpływu przemieszczeń na wyężenie przekrojów badanych obiektów. Rozdział kończy podsumowanie badań oraz wnioski płynące z przeprowadzonych analiz.

W rozdziale czwartym analizowano wpływ niestacjonarnego przepływu ciepła na rozkład odkształceń i naprężeń w pierścieniowych przekrojach trzonów kominów. Opisano sytuacje prowadzące do wystąpienia stanu niestacjonarnego przepływu ciepła. Doktorant przedstawił podejście obliczeniowe w przypadku kominów i wymurówek ceramicznych w porównaniu do przekrojów żelbetowych. Przedstawiono rozwiązanie zagadnienia przepływu ciepła w przypadku stanu stacjonarnego oraz niestacjonarnego. Podano również metodę obliczenia niestacjonarnych pól temperatury przy pomocy metody różnic skończonych oraz metody elementów skończonych. Dokonano analizy przepływu ciepła w przekrojach kominów o różnej grubości, sformułowano wzory do wyznaczania naprężeń termicznych oraz sił wewnętrznych w przypadku pierścieniowych przekrojów żelbetowych kominów. Podano metody wyznaczania odkształceń i naprężeń termicznych w przypadku liniowego oraz nieliniowego rozkładu temperatury na grubości elementu. Przedstawiono analizę przypadków, obejmujących zmienne parametry, takie jak: model odkształcenie-naprężenie dla betonu, rozkład temperatury na grubości elementu, grubość elementu, stopień zbrojenia oraz klasę betonu.

A

W rozdziale piątym zawarto wnioski wynikające z przeprowadzonych badań dotyczące wpływu insolacji oraz wpływu niestacjonarnego przepływu ciepła i nieliniowego rozkładu temperatury na grubości elementu.

W rozdziale szóstym przedstawiono zalecenia dotyczące przyszłych badań i rekomendacje na temat poszerzenia zakresu badanych parametrów wpływu.

### **3. Merytoryczna ocena pracy**

Tematyka podjęta w pracy ma istotne znaczenie naukowe i praktyczne.

Analiza zachowania się żelbetowych konstrukcji wieżowych w wyniku oddziaływań termicznych jest przedmiotem badań wielu uczonych i analiz inżynierskich. Zagadnienie należy do grupy aktualnych problemów konstrukcji inżynierskich. Doktorant znalazł rozwiązanie problemów trudnych i potrzebnych mających znaczenie w praktyce projektowej, a związanych z bezpośrednim wyznaczeniem przemieszczenia trzonu konstrukcji wieżowych od działania insolacji oraz wyznaczeniem naprężeń termicznych w przekroju ściany wież w przypadku niestacjonarnego przepływu ciepła. Doktorant w sposób doświadczalny i teoretyczny określił wpływ insolacji na ugięcia trzonu wieży. W pracy przedstawił wyniki pomiarów geodezyjnych przemieszczeń wież telekomunikacyjnych zarejestrowanych w różnych punktach czasowych w zależności od położenia słońca względem obiektu. Celem powyższych badań było określenie zależności ugięcia trzonu wieży od intensywności nasłonecznienia oraz określenie charakteru tego ugięcia. Problem nasłonecznienia nie wpływa bezpośrednio na warunki wytrzymałości czy stateczności obiektów wieżowych, jednak, jak podaje Doktorant, w przypadku niektórych typów tych obiektów może wpływać na warunek użytkowości, związany z przemieszczeniami obiektu. Ma to szczególne znaczenie w przypadku wież telekomunikacyjnych wyposażonych w anteny przeznaczone do odbioru i przesyłu danych. Niewielkie przemieszczenia kątowe anten wpływają na zasięg i moc przesyłanego sygnału. W pracy Doktorant zajmuje się również kominami przemysłowymi, które służą jako konstrukcje wsporcze dla anten telekomunikacyjnych. Ich rola nie jest zatem ograniczona wyłącznie do odprowadzania spalin do atmosfery. W pracy, Doktorant słusznie podkreśla, iż innym skutkiem ugięć insolacyjnych są

dotkliwe przemieszczenia poziome powodujące mimośrodowe działanie sił pionowych, zwiększające momenty zginające w przekrojach wież.

Istotnym elementem pracy jest analityczne określenie naprężeń termicznych w ścianie w przypadku niestacjonarnego przepływu ciepła. Nieliniowy rozkład temperatury w przekroju powoduje nieliniowy rozkład naprężeń.

Problem niestacjonarnego przepływu ciepła nie jest zwyczajowo uwzględniany w projektowaniu przekrojów. Doktorant słusznie zwraca uwagę, iż rozkład temperatury w ogólności zależy od warunków brzegowych w zakresie temperatury wewnętrznej i zewnętrznej, budowy przegrody, prędkości zachodzących zmian oraz parametrów materiałowych, np. przewodnictwa cieplnego, pojemności cieplnej itp.

Nieliniowość obejmuje krzywoliniowy przebieg odkształceń, nieliniową zależność odkształcenie-naprężenie dla betonu oraz określenie naprężeń rozciągających wywołujących zarysowanie w betonie. W pracy, Doktorant rozwija kwestię rozwiązania poprzez numeryczne całkowanie, jako podstawę określając rozkład temperatury w przekroju, analizując problem przewodnictwa cieplnego. Zagadnienie to Doktorant rozwiązał dla stanu stacjonarnego i niestacjonarnego. Następnie określił zależności dla naprężenia termicznego w przekroju dla ustalonego oraz nieustalonego przepływu ciepła. Zagadnienie rozwiązano dla trzech modeli betonu, tj. dla liniowej zależności odkształcenie-naprężenie, dla zależności paraboliczno-prostokątnej oraz dla nieliniowego modelu betonu opisanego w normie Eurokod 2. Jako wynik określono wpływ niektórych parametrów na stan naprężeń przekroju. Uwzględniono wpływ klasy betonu, wpływ stopnia zbrojenia oraz wpływ grubości ściany.

Praca doktorska jest napisana zrozumiale, poprawnie pod względem edytorskim i językowym. Do wymagających zwrócenia uwagi, bądź wyjaśnienia należą następujące kwestie:

- a) strona 14 - jakość rysunków Fig.2.1. i Fig.2.2. Rysunki te zostały skopiowane z pozycji [60] i odbiegają jakością od pozostałych rysunków zamieszczonych w pracy
- b) strona 32 i strona 33 - przez to, że rysunki są skopiowane z różnych źródeł, np. [22,105,143,144] szata graficzna ma charakter niejednorodny, chociażby w zakresie wielkości czcionki, np. Fig.2.28 i Fig.2.31

- c) strona 40 - analiza istniejących obiektów, wieże w miejscowościach Miedźno oraz Świnice Warckie,  
strona 163 - raport z badań,  
zarówno w części zasadniczej pracy (strona 40), jak również w załączniku A (strona 163) brakuje szczegółowej informacji dotyczącej modelu anemometru określonego jako „hand-held anemometer”
- d) strona 45, tab. 3.4 - brak opisu (legandy) - oznaczenia w tabeli 3.4: <sup>2)</sup> oraz <sup>3)</sup>  
Czy legenda jest analogiczna do tej w tab. 2 str. 165 załącznik A?

Istotne byłoby wskazanie, w jaki sposób uzyskano wartości nasłonecznienia [ $W/m^2$ ], zwłaszcza w kontekście, iż nie jest też dostępna strona wskazana na stronie 165 pracy:  
[https://www.meteoblue.com.pl/pogoda/archive/export/miedźno\\_polska\\_3091997](https://www.meteoblue.com.pl/pogoda/archive/export/miedźno_polska_3091997)

- e) strona 47, tab. 3.7, strona 49, tab.3.8, w jaki sposób pomierzone zostało przemieszczenie wyłącznie od wpływu insolacji. Jakie czynniki, obciążenia, powodują całkowite przemieszczenie wskazane w tab. 3.7 oraz 3.8 (total resultant deflection from measurements w [mm])?
- f) strona 51, fig.3.12. ugięcie na rzędnej +23.9 m jest mniejsze niż na rzędnej +15.6m w związku z połączeniem segmentów wieży. Interesujące byłoby poznanie rzeczywistego nachylenia i geometrii dla segmentów na opisywanych rzędnych.
- g) strona 54, w tekście jest odniesienie do równania 3.10 jako równania krzywizny, natomiast równanie 3.10 przedstawione na stronie 61 dotyczy zależności naprężenie-odkształcenie dla stali zbrojeniowej. Proszę o wyjaśnienie, czy Autor miał na myśli równanie 3.1 na stronie 39?

Warto zwrócić uwagę, iż oryginalnym elementem pracy jest analiza wpływu niestacjonarnego pola temperatury na rozkład naprężeń w przekrojach kominów, przedstawiona w rozdziale 4.

Rozważane sytuacje świadczą o szerokiej analizie przypadków prowadzonej przez Doktoranta i jego dużym doświadczeniu w zakresie możliwej pracy warunków pracy kominów.

Uzasadnieniem tej tezy jest opis analizowanych przypadków. Przypadek pierwszy (Fig.4.1a) obrazuje komin pracujący dla instalacji odsiarczania spalin. Analizowana jest sytuacja, gdy spaliny kierowane są bezpośrednio do komina bez ich wychładzania. Temperatury mogą osiągać wartości 180-200 °C. W takim przypadku następuje gwałtowny skok temperatury spalin i ogrzanie przewodu spalinowego czy komina, w zależności od rozwiązania konstrukcyjnego. Wzrost temperatury jest gwałtowny.

Innym analizowanym przypadkiem jest włączenie wygaszonego komina do użytkowania (Fig.4.1b), pracującego w sytuacji awaryjnej. Doktorant wskazuje na wpływ wysokiej temperatury, rzędu 150-200 °C.

Na rysunku 4.1 c, przedstawiona została sytuacja obliczeniowa dotycząca nagłego wyłączenia komina i jego przewentylowanie chłodnym powietrzem. Doktorant zwraca uwagę, iż w trakcie eksploatacji temperatura wewnętrzna wynosi 180 °C, a po wyłączeniu następuje jej szybkie ochładzanie do temperatury otoczenia, n.p. 20-30 °C.

Doktorant rozważał również pojawienie się niestacjonarnego pola temperatur wg rysunku 4.1d, gdy ściana o rozkładzie temperatury z ustalonym poprzez noc przepływem jest ogrzewana promieniami słońca. Zewnętrzna powierzchnia ściany ogrzewa się do temperatur znacznie wyższych od temperatury otoczenia i z biegiem czasu temperatura na zewnątrz przekroju może osiągnąć wartości wyższe niż po stronie wewnętrznej.

W rozdziale 4.3 Doktorant przedstawia założenia teoretyczne związane z równaniem przepływu ciepła dla przypadków przepływu stacjonarnego i niestacjonarnego przepływu ciepła. W dalszej części rozważa rozwiązania numeryczne metodami różnic skończonych oraz elementów skończonych. Przedstawione podejście jest znane w literaturze, natomiast w pracy Doktorant odniósł rozważania do konkretnych przypadków numerycznych.

Do analizy stanu naprężeń i odkształceń w przekrojach żelbetowych kominów Doktorant przyjął przypadek niestacjonarnego przepływu ciepła. Dotyczy on nagłego ogrzania ściany komina wykonanego w technologii New Chimney Design (NCD). Założono, iż ściana jest od środka wyłożona blokami wykładziny Pennguard. Przedstawione rezultaty (Fig.4.17 do Fig.4.48) dotyczą przypadków dla różnych grubości trzonu oraz różnych kroków czasowych.

- h) Strona 88 Tab 4.1. W tytule tabeli błędnie podano parametr „q”, powinno być „ $\theta$ ”.

Jaką wartość współczynnika „ $\theta$ ” przyjęto w rozwiązaniu równania 4.103 na stronie 87 w części poświęconej analizie metodą elementów skończonych oraz w algorytmie numerycznym i dlaczego? W komentarzu pod wzorem 4.103 na stronie 87 Doktorant wiąże parametr „ $\theta$ ” w zagadnieniach rozwiązywanych metodą różnic skończonych w zakresie zbieżności rozwiązania. Proszę podać źródło współczynników wskazanych w tabeli 4.1 na stronie 88.

Podsumowując rozważania przedstawione w pracy, należy stwierdzić, iż wyniki badań oraz analiz przedstawionych w niniejszej dysertacji mogą być wykorzystane w procesie optymalnego projektowania nowych obiektów wież telekomunikacyjnych i kominów przemysłowych o konstrukcji żelbetowej, a także mogą być pomocne podczas analiz obiektów już istniejących.

#### **4. Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska Pana mgr inż. Michała Kociniaka “Analiza zachowania się żelbetowych konstrukcji wieżowych w wyniku oddziaływań termicznych” (Analysis of the behavior of reinforced concrete tower structures resulting from the thermal actions) stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i potwierdza wiedzę Autora w dziedzinie analizy żelbetowych obiektów wieżowych znajdujących się pod wpływem działania temperatury, w szczególności wpływu zjawiska insolacji na odpowiedź konstrukcji wieżowych. Doktorant posiada wysokie umiejętności w prowadzeniu badań oraz analizie ich wyników. Rozprawa spełnia wymagania wynikające z przepisów prawa. Uzyskane wyniki stanowią uzupełnienie wiedzy na temat zjawisk insolacji oraz zachowania obiektów żelbetowych w przypadku wystąpienia niestacjonarnego przepływu ciepła. Zawarte w pracy treści łączą walory poznawcze i aplikacyjne w zakresie projektowania i eksploatacji obiektów kominowych i wieżowych będących przedmiotem niniejszej pracy.

Wniosuję o przyjęcie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Michała Kociniaka, dopuszczenie do publicznej obrony oraz do ubiegania się o uzyskanie stopnia

naukowego doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria lądowa i transport.

Mag. Olsz