

Andrzej Ubysz, dr hab. inż., prof. ucz. (PWr).
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
Politechnika Wrocławska
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-3,70 Wrocław

Wrocław, dnia 8 września 2022 roku

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgra inż. Michałą 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 formalna opracowania recenzji

Podstawę formalną opracowania recenzji stanowi Uchwała Rady Naukowej Instytutu Techniki Budowlanej z dnia 20 lipca 2022 roku oraz Umowa o Dzieło nr GF-1131-0023/2022/UDHO zawarta w dniu 20.07.2022 roku w pomiędzy Instytutem Techniki Budowlanej w Warszawie (ul. Filtrowa 1, 00-611 Warszawa), reprezentowaną przez Prokurenta – Zastępcę Dyrektora ds. Badań i Innowacji – dra Krzysztofa Kuczyńskiego i Głównego Księgowego – dr Elżbietę Dobrzelecką, a autorem niniejszej recenzji – dr hab. inż. Andrzejem Ubyszem zatrudnionym w Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Budownictwa Lądowego i Wodnego (Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław).

Promotorem pracy jest dr hab. inż. Marek Lechman, prof. ITB, a Promotorem pomocniczym dr inż. Robert Geryło.

2. Przedmiot układ i zakres pracy

Praca dotyczy tematu w dziedzinie nauk technicznych: *budownictwo*, dyscyplinie naukowej: *inżynieria lądowa i transport* oraz specjalności: *konstrukcje betonowe i żelbetowe*. Głównym przedmiotem pracy są żelbetowe konstrukcje wieżowe, a w szczególności kominy przemysłowe, wieże telekomunikacyjne, wieże widokowe i obserwacyjne, chłodnie kominowe, oraz wieże solarne i inne obiekty wieżowe różnego przeznaczenia. Praca została ukierunkowana na dwa najważniejsze wpływy oddziaływań termicznych – insolację i gradienty temperatury na grubości ściany przekroju. Celem pracy są wyznaczenie temperatur przekroju żelbetowego w przypadku niestacjonarnego przepływu ciepła i wpływ nieliniowego przebiegu temperatury na postać odkształceń i naprężeń w pierścieniowym przekroju żelbetowym.

Jeżeli chodzi o zakres pracy, to w niniejszej rozprawie Autor:

- zebrał wyniki badań doświadczalnych prowadzonych w różnych ośrodkach naukowych w kraju i zagranicą, zarówno pod kątem bezpośredniego zakresu tematycznego pracy, jak i w szerszym kontekście;
- wykonał własne badania na relatywnie wysokim poziomie naukowym i technicznym z zastosowaniem nowoczesnych metod pomiarowych;
- dokonał dyskursu naukowego zestawiając wyniki badań i aktualnych zaleceń normowych,
- przedstawił wnioski wynikające z własnych badań oraz propozycje opisów analitycznych i numerycznych badanych zjawisk i procesów.

Główna część pracy jest blisko 200 stronicowym opracowaniem uzupełnionym o kilkunastostronicowy załącznik dokumentujący badania i analizy numeryczne.

3. Charakterystyka pracy

Kolejne rozdziały pracy stanowią – można by powiedzieć – zwartą tematycznie monografię o tematyce zawartej w tytule dysertacji. Praca koncentruje się na dwóch zagadnieniach wynikających z oddziaływań termicznych na konstrukcje wieżowe:

- Przesunięcia poziome pionowej osi trzonu konstrukcji wieżowych od nasłonecznienia;
- Wyznaczenie naprężeń termicznych w przekroju ściany wież w przypadku niestacjonarnego przepływu ciepła.

Zadania naukowe będące przedmiotem niniejszej rozprawy to:

- Doświadczalne i teoretyczne wyznaczenie zależności pokazujących wpływ nasłonecznienia na przesunięcia poziome pionowej osi trzonu konstrukcji wieżowych;
- Analityczne wyznaczenie naprężeń termicznych w ścianie w przypadku niestacjonarnego przepływu ciepła przy zastosowaniu różnych modeli betonu.

W kolejnych rozdziałach przedstawiono następujące zagadnienia.

Rozdział drugi nawiązuje do polskich i zagranicznych badań w zakresie badań przemieszczeń i naprężeń wywołanych obciążeniami termicznymi. Nawiązano do historycznych badań Żaka, w których pokazano trajektorię dziennego obiegu korony komina. Następnie w publikacji, której Autorem jest Kulik, pokazano wykres osiadań i rzut trajektorii korony chłodni kominowej w

Hagenwerder. Badania te zostały zrealizowane w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych ubiegłego wieku. W dalszej części nawiązano do badań prowadzonych przez Chmielewskiego z Zespołem na wieży telewizyjnej w Stuttgarcie dotyczących przemieszczeń konstrukcji pod obciążeniem termicznym od słońca oraz od wiatru.

Kolejną pozycją literaturową są publikacje autorstwa Wróbel – Wróbel – *Termografia a korekta pomiarów pionowości kominów stalowych*.

Ważną pozycją badawczą, na którą powołuje się Doktorant, jest praca doktorska Kocierza opracowana na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Badania geodezyjne zostały wykonane pod kierunkiem prof. R. Oruby, a doktorat zawiera wiele wartościowych badań w skali naturalnej.

W drugiej części przeglądu bibliograficznego Doktorant pokazuje istniejący stan wiedzy dotyczący naprężeń termicznych żelbetowym przekroju spowodowanych procesami przepływu temperatury. Wskazał tutaj na publikacje Fritza i Vecchio, gdzie pokazane są nieliniowe odkształcenia przekroju pod wpływem temperatury i zjawisko samonaprężeń, Elbadry i Ghali pokazującego efekty rozwój pęknięć i momentów temperaturowych na skutek zwiększonego gradientu temperatur oraz Flagi, gdzie autor analizuje rozkład naprężeń rozciągających wynikający z nierównomiernego rozkładu temperatury podczas wiązania oraz zawiera wskazówki dotyczące obliczania naprężeń w betonie i stali zbrojeniowej oraz doboru minimalnej ilości zbrojenia ze względu na wczesne procesy zarysowania. Jest to ważne zagadnienie w przypadku wznoszenia żelbetowego trzonu komina, któremu towarzyszą procesy egzotermiczne. Pojawiający się skurcz ma wpływ na wstępne naprężenia w konstrukcji, a nawet na inicjację rys na płaszczu kominowym, które ze względu na agresywne środowisko istotnie wpływają na jej trwałość. W tym zakresie ważnym czynnikiem jest analiza procesu pierwszego obciążenia termicznego nowo wybudowanego komina, w którym szok termiczny może spowodować znaczące uszkodzenia przy dalszym użytkowaniu komina.

W rozdziale trzecim Autor analizuje wpływ nasłonecznienia na przemieszczenia poziome obiektów wieżowych. W rozdziale tym opisano czynniki wpływające na ugięcia poziome tego typu obiektów oraz opisano fenomen insolacji. Opisano problemy związane z ekspozycją słoneczną obiektów wysokich. W kolejnych podrozdziałach Doktorant prezentuje badania własne, przeprowadzone w ramach niniejszej pracy doktorskiej na dwóch wieżach telekomunikacyjnych. Opisał w nich metodologię badań oraz wyniki pomiarów wykonanych na obiektach w skali naturalnej. Autor rozszerza informacje o badaniach na obiekcie, zamieszczając wyniki badań innych autorów. W oparciu o wyniki tych badań sformułowano zależność analityczną dająca możliwość określenia wielkości ugięcia insolacyjnego w zależności od geometrii obiektu i różnicy temperatury pomiędzy stroną nasłonecznioną i zacienioną. Rozdział

zawiera również ocenę wpływu ugięć na wyężenie przekrojów badanych obiektów. Podsumowanie rozdziału stanowią wnioski płynące z przeprowadzonych analiz.

Rozdział czwarty dotyczy wpływu niestacjonarnego przepływu ciepła na dystrybucję odkształceń i naprężeń w pierścieniowych przekrojach trzonu komina. Autor przedstawił podejście obliczeniowe w przypadku przekrojów kominów i wymurówek ceramicznych i porównał je do metod stosowanych przy przekrojach żelbetowych. Rozdział zawiera rozwiązanie zagadnienia przepływu ciepła w przypadku stanu stacjonarnego oraz niestacjonarnego. W rozdziale tym Doktorant przedstawił rozwiązanie równania przewodności cieplnej Fouriera. Pokazał również metodę obliczenia niestacjonarnych pól temperatury przy pomocy metody różnic i elementów skończonych. Dokonano analizy przepływu ciepła w przekrojach kominów o różnej grubości, będącej bazą do późniejszego wyznaczenia rozkładu odkształceń i naprężeń. W dalszej części Autor opracował wzory do wyznaczania naprężeń termicznych oraz sił wewnętrznych w przypadku pierścieniowych przekrojów żelbetowych kominów, a także metody wyznaczania odkształceń i naprężeń termicznych w przypadku liniowego oraz nieliniowego rozkładu temperatury na grubości elementu. W ostatniej części zamieszczono analizy obliczeniowe wybranych przypadków, zawierających zmienne parametry, takie jak: model odkształcenie-naprężenie dla betonu, rozkład temperatury na grubości elementu, grubość elementu, stopień zbrojenia oraz klasę betonu.

Rozdziały piąty i szósty zawierają wnioski z przeprowadzonych badań i analiz numerycznych oraz wskazania tematycznych obszarów, w których badania powinny być rozwijane. Zgodnie z postawionymi na wstępie zadaniami wnioski dotyczą wpływu nasłonecznienia na przemieszczenia konstrukcji oraz na rozkład naprężeń i odkształceń na grubości pierścienia pod wpływem niestacjonarnego przepływu ciepła i nieliniowego rozkładu temperatury.

4. Ocena pracy

Ocena ogólna

Doktorant zrezygnował z formułowania klasycznych tez i zastąpił je sformułowaniem dwóch zadań naukowo-badawczych, co okazało się w odniesieniu do całego układu pracy i podjętej tematyki całkowicie uzasadnione. W kolejnych rozdziałach pokazano aktualny stan wiedzy w tej tematyce, pokazano własny warsztat badawczy – terenowy i numeryczny – i na tej podstawie przeprowadzono własne analizy i wyciągnięto praktyczne wnioski, także w postaci konkretnych propozycji obliczeniowych. W trakcie projektowania konstrukcji wieżowych uwzględnia się fakt, że wpływy termiczne sumują się z imperfekcjami wykonawczymi, osiadaniem fundamentu i obciążeniem od wiatru i w efekcie końcowym sumaryczne odchylenia osi od pionu mają

niekiedy duży wpływ na wartości sił wewnętrznych. Wnioski z niniejszej pracy mają zatem wartość praktyczną, co jest istotne w przypadku dysertacji w naukach technicznych.

Ocena wykonanych badań i analiz

Przedstawiony w **rozdziale drugim** obszerny przegląd literatury dobrze charakteryzuje aktualny stan wiedzy, na bazie której Doktorant oparł swoje badania i analizy. Wybrane pozycje literaturowe pokazują różnorodność zarówno w zakresie metod badawczych, jak i analiz teoretycznych i numerycznych. Ponieważ rozprawa doktorska powinna zawierać elementy naukowego dyskursu, dlatego mam pytanie do Doktoranta, czy zgodzi się z poniższym stwierdzeniem.

Głos w dyskusji. *Czy można uznać, że pokazana na rysunku 2.2 obwiednia korony chłodni kominowej zarejestrowana na godzinę 11⁰⁰ obarczona jest błędem pomiarowym i brak jest uzasadnienia dla tak znacznego przemieszczenia punktów pomiarowych w sektorze północno-zachodnim.*

Podstawowym, własnym wkładem Doktoranta są **rozdziały trzeci i czwarty** przedstawiający wpływ nasłonecznienia na przemieszczenia i odkształcenia konstrukcji i analizę naprężeń termicznych w ścianie w przypadku niestacjonarnego przepływu ciepła.

W części dotyczącej wpływu nasłonecznienia na konstrukcje wieżowe Autor dysertacji zwrócił uwagę na zależność radiacji od pory roku, pory dnia i lokalizacji geograficznej. Te czynniki sprawiają, że nie można ujednoczyć zasad przy obliczaniu wpływu insolacji na konstrukcję. W tej części pracy Autor zweryfikował doświadczalnie wyniki obliczeń teoretycznych na wieżach antenowych w Miedzynie i Świnicach, a także odniósł się do innych badań doświadczalnych, będących pomiarami geodezyjnymi wykonanymi na obiektach.

Wzbogacenie rozprawy o badania własne pozwoliły Doktorantowi lepiej zrozumieć korelację pomiędzy pomiarami temperatury, pomiarami geodezyjnymi i wpływem parametru czasu.

Ważnym wnioskiem z pomiarów i analiz jest stwierdzenie, że względne ugięcie wierzchołków obiektów wynosiło około 0,2% dla badanych wież antenowych i 0,05% dla pozostałych obiektów. Stąd pytanie nr 1.

Pytanie nr 1. Jak wyjaśnić wniosek, że względne ugięcie wierzchołków obiektów wynosiło około 0,2% dla badanych wież antenowych i 0,05% dla pozostałych obiektów.

Trudnym, ale bardzo poprawnie analizowanym zagadnieniem jest uwzględnianie nieliniowości w procesach przepływów termicznych oraz uwzględnianie w tych procesach parametru czasu.

Bardzo pozytywnym spostrzeżeniem w pracy jest analiza procesów technologicznych i stymulowanie realnych sytuacji termicznych zarówno w zakresie skali temperatur jak i ich zmienności w czasie. Ważnym elementem uwzględnianym w pracy jest nieliniowy przebieg zmienności temperatury na grubości płaszcza i uwzględnienie bezwładności termicznej materiału. Należy zwrócić uwagę na metodę badawczą wykorzystującą równania przewodności cieplnej Fouriera i rozwiązanie go z wykorzystaniem rachunku analizy matematycznej, co podnosi walor naukowy rozprawy. Przy analizie tego tematu zostało pokazane zjawisko samonaprężeń w przekroju i wpływ tych samonaprężeń na rzeczywiste naprężenia w konstrukcji. Związane jest to między innymi z cyklicznym charakterem obciążeń.

Pytanie 2. Jaka jest geneza powstawania samonaprężeń w konstrukcji i co charakteryzuje te naprężenia.

Analizę stanu naprężeń wykonano przy najbardziej niekorzystnej sytuacji, to jest wprowadzenie gorących spalin do „zimnego” komina. Jest to typowa sytuacja w przypadku pierwotnego obciążenia komina. Charakteryzuje się ona między innymi tym, że w konstrukcji nie ma jeszcze samonaprężeń termicznych oraz – co może być dla Doktoranta tematem do kolejnych badań – istotną rolę odgrywa wiek betonu, gdyż beton posiada podwyższoną wilgotność i niejednokrotnie aktywnie przebiegają jeszcze procesy skurczowe. W analizowanym przypadku zwraca jeszcze pozytywną uwagę fakt, że Autor sięgnął po technologię nowego typu „*New Chimney Disign*”.

Uwagi szczegółowe o charakterze edytorsko-redakcyjnym nie mają znaczenia merytorycznego. Przykładowe uwagi podano poniżej:

- s. 13 Jest Hagenwerdeer powinno być Hagenwerder.
- Rys. 2.1 – nie wpisano na poziomej osi jednostki czasu.
- Na kilku rysunkach i tabelach opis w języku polskim.
- Fonty na wielu rysunkach nie dostosowane do wielkości fontów w tekście;
- Rozdział 3 tab. 3.10. Zestawienie zmierzonych i obliczonych ugięć dla rozważanych konstrukcji – brak wartości obliczonych

Dysertacje naukowe w naukach technicznych często zmierzają do udowodnienia tezy przez doświadczalne potwierdzenie oczekiwanych wyników. W opracowaniach naukowych często równie trudne jest precyzyjnie sformułowanie zagadnienia, jak i opracowanie modelu, który mógłby zostać weryfikowany doświadczalnie. Uważam, że Doktorantowi udało się bardzo dobrze wykonać oba te zadania. Doświadczenia innych Autorów oraz własne, na których oparto

analizę a także sformułowanie własnego modelu obliczeniowego stanowią przekonywującą podstawę do sformułowania **końcowych wniosków** przedstawionych w niniejszej pracy.

5. Końcowa ocena pracy

Praca zwraca uwagę zarówno ze względu na zakres jak i ze względu na staranność wykonanych i opracowanych badań. Dotyczy to zarówno badań doświadczalnych, jak i numerycznych. Dysertacja posiada dobry poziom naukowy.

Podjęty przez Doktoranta temat ma zarówno praktyczne zastosowanie w pracach projektowych, jak i należy do zagadnień kreujących dalsze kierunki dyscypliny naukowej. Autor pokazuje zaznajomienie się z tematyką na poziomie studium literaturowego, w tym z publikacjami naukowymi i normatywami oraz potrafi samodzielnie przeprowadzać badania – także na obiektach w skali naturalnej – przeprowadzać na wysokim poziomie analizy badawcze i wyciągać konstruktywne wnioski. Problematyka, którą Autor rozwija jako temat rozprawy doktorskiej, jest relatywnie nowa, a ponadto w swoich badaniach Autor uwzględnia nowe rozwiązania technologiczne (np. izolacje Pennguarda). Będzie zatem kolejnym wkładem polskich inżynierów do rozwijanych w świecie technologii badań na realnych obiektach.

Zastosowane metody obliczeniowe oparte na analizie matematycznej pozwoliły na wyznaczenie zależności opisujących odkształcenia i naprężenia w przekroju dla nieliniowego rozkładu temperatury i nieliniowego modelu betonu w fazie I i II. Sformułowanie i rozwiązanie tego zadania świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Doktoranta do teoretycznych badań naukowych. Świadczą też o tym publikacje: 2 artykuły i 2 referaty na prestiżowych zagranicznych konferencjach.

Ranga tematu, sposób jego prezentacji w niniejszej rozprawie, która wskazuje na bardzo dobre przygotowanie Autora do pracy naukowej, możliwość prezentowania tych wyników zarówno na konferencjach jak i w czasopiśmie naukowych, a także docelowe zastosowania praktyczne. Ostatecznie uzasadniają wniosek o dopuszczenie Pana mgr inż. Michała Kociniaka do publicznej obrony oraz stosownie do zasad przyjętych przez Radę Naukową Instytutu Techniki Budowlanej ewentualnego wyróżnienie pracy.

Praca spełnia wymagania odnośnie prac doktorskich zawarte w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14.03.2003 roku, Nr 65 poz. 595, z późn. zm.) oraz Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Dz. U., z 2017 roku, poz. 1789).

Andrzej Ubysz