

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY
Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej
zaprasza na
PUBLICZNĄ OBRONĘ ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr. inż. Marcina Osiniaka

która odbędzie się w dniu 26 kwietnia 2022 roku o godzinie 12:00 w sali 116
Wydziału Elektroniki i Technik Informacyjnych Politechniki Warszawskiej przy ul. Nowowiejskiej 15/19, 00-665 Warszawa

Temat rozprawy doktorskiej:

„Metody poprawy skuteczności monitoringu konstrukcji stalowych przy użyciu czujników inklinometrycznych”

Promotor: dr hab. inż. Lidia Łukasiak – Politechnika Warszawska

Promotor pomocniczy: dr inż. Zbigniew Pióro – Wisene sp. z o.o.

Recenzenci: dr hab. inż. Jerzy Augustyn – Politechnika Świętokrzyska

prof. dr hab. inż. Marcin Janicki – Politechnika Łódzka

dr hab. inż. Lucjan Ślęczka – Politechnika Rzeszowska

Z rozprawą doktorską i recenzjami można zapoznać się w Czytelni Biblioteki Głównej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, Plac Politechniki 1.

Streszczenie rozprawy doktorskiej i recenzje są zamieszczone na stronie internetowej: <https://bip.pw.edu.pl/Postepowania-w-sprawie-nadania-stopnia-naukowego/Doktoraty/Wszczete-do-30-kwietnia-2019-r/Dyscyplina-automatyka-elektronika-i-elektrotechnika-dziedzina-nauk-inzynieryjno-technicznych/mgr-inz.-Marcin-Osiniak>.

Przewodniczący Rady Naukowej Dyscypliny
Informatyka Techniczna i Telekomunikacja
Politechniki Warszawskiej
Prof. dr hab. inż. Tomasz Starecki

Streszczenie

Niniejsza rozprawa doktorska poświęcona jest metodom monitoringu stopnia wykorzystania nośności stalowych konstrukcji dachów, w szczególności konstrukcji dachów obiektów wielkopowierzchniowych. Opracowanie takiej metody oraz opracowanie urządzenia pomiarowego umożliwiającego jej zastosowanie w systemach monitoringu było też głównym celem pracy. Cel ten zrealizowano proponując nową, dotychczas niestosowaną wielkość monitorującą, określając badaniami symulacyjnymi jej przydatność oraz opracowując urządzenie do jej pomiaru — inklinometr.

W rozprawie omówiono ogólnie zagadnienia monitoringu konstrukcji budowlanych, szczególnie konstrukcji obiektów wielkopowierzchniowych, a także omówiono wykorzystanie ugięcia jako wielkości monitorującej stopień wykorzystania nośności w warunkach nierównomiernego obciążenia konstrukcji dachu. Przeprowadzone analizy wykazały, że ugięcie, powszechnie stosowane jako wielkość monitorująca, nie zawsze jest dokładną miarą stopnia wykorzystania nośności konstrukcji. Z tego powodu zaproponowano nową, dotychczas niestosowaną w praktyce wielkość monitorującą — większy z dwóch kątów obrotu przekrojów poprzecznych monitorowanego elementu, mierzonych symetrycznie względem środka rozpiętości elementu. Wielkość ta określa dokładniej niż ugięcie stopień wykorzystania nośności konstrukcji, szczególnie w warunkach nierównomiernego obciążenia.

Zaprojektowano i wykonano urządzenie pomiarowe — inklinometr — przeznaczony do zastosowania w systemach monitoringu wykorzystujących nową wielkość monitorującą. Dzięki zastosowaniu specjalnych sposobów korekcji dryftów temperaturowych osiągnięto, wyjątkowo dużą stabilność temperaturową wskazań opracowanego inklinometru, niezbędną w tego typu zastosowaniu.

Opracowaną metodę i urządzenie pomiarowe poddano badaniom laboratoryjnym oraz długotrwałym testom na funkcjonującym obiekcie, w warunkach rzeczywistych obciążeń. Przeprowadzone testy wykazały dużą wartość praktyczną zaproponowanej metody oraz pozytywnie zweryfikowały parametry opracowanego urządzenia.

W dodatkach zawarto informacje pomocnicze, w tym: skrócone analizy stosowanych metod laserowego pomiaru ugięcia, opis prototypu badawczego inklinometru oraz opis stanowiska badawczego.

Słowa kluczowe: monitoring konstrukcji budowlanych, monitoring ugięć i kątów obrotu, inklinometr, bezprzewodowy monitoring konstrukcji

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych

Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

Politechnika Łódzka

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY NAUKOWEJ DYSCYPLINY AUTOMATYKA,
ELEKTRONIKA I ELEKTROTECHNIKA
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: „*Metody poprawy skuteczności monitoringu konstrukcji stalowych przy użyciu czujników inklinometrycznych*”.

Autor rozprawy: mgr inż. Marcin Osiniak

1. Jakie zagadnienie naukowe/badawcze jest rozpatrzone w pracy (cel i teza rozprawy) i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Rozprawa doktorska napisana przez mgr. inż. Marcina Osiniaka poświęcona jest problemowi metodologii pomiaru oraz monitorowania konstrukcji budynku w celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowanego obiektu (ang. SHM - Structural Health Monitoring). W szczególności dotyczy ona pomiaru odpowiedzi konstrukcji stalowych na obciążenie i stopnia wykorzystania nośności dachów w systemach monitoringu. Wyjątkowe znaczenie ma to w przypadku wielkopowierzchniowych obiektów takich jak supermarkety, hale magazynowe czy także kryte obiekty sportowe. Autor podkreśla w Rozprawie też niezwykle istotny wpływ nierównomierności obciążenia konstrukcji dachu wynikający głównie z przyczyn klimatycznych wpływających na rozłożenie sił nacisku, takich jak kierunek wiatru lub nasłonecznienie.

Na wstępie Autor uzasadnił podjęcie zaproponowanej tematyki badawczej stale rosnącą liczbą katastrof w obiektach wielkopowierzchniowych, brakiem wiarygodnych danych pomiarowych oraz chaosem panującym w zakresie monitoringu tego typu konstrukcji. W rezultacie projektanci zmuszeni są kierować się własnym doświadczeniem zawodowym używając intuicyjnie pewnej określonej liczby czujników na jednostkę powierzchni dachu, choć nie jest to poparte żadnymi wiarygodnymi obliczeniami.

Biorąc pod uwagę, że naprężenie wewnątrz elementów konstrukcji budowlanych nie jest wielkością bezpośrednio monitorowalną, konieczne jest wykorzystanie do tego celu innej wielkości. Na podstawie przeglądu aktualnego stanu wiedzy Autor stwierdził, że spośród różnych wielkości nadających się do tego celu pozostają do rozważenia jedynie dwie wielkości; powszechnie dotychczas stosowane ugięcie konstrukcji oraz proponowany przez Doktoranta kąt obrotu przekroju poprzecznego.

Rozprawa ma charakter eksperymentalno-praktyczny. Doktorant precyzyjnie określił stawiane przed nim zadania i cele. Na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury, oceny aktualnego stanu wiedzy, dostępnych rozwiązań dotyczących monitorowania stopnia wykorzystania nośności konstrukcji obiektów wielkopowierzchniowych oraz dotychczasowego doświadczenia zawodowego Autora sformułowano w Rozprawie następujące tezy naukowe.

Y

- *Wyniki pomiarów typowych wielkości monitorujących np. odkształcenia, ugięcia, przemieszczenia, wykonanych w jednym punkcie typowego ustroju konstrukcyjnego, nie są dostatecznie dokładną miarą stopnia wykorzystania nośności ustrojów konstrukcyjnych od niesymetrycznych obciążeń zmiennych dla realizacji na ich bazie wiarygodnych systemów monitoringu stopnia wykorzystania nośności konstrukcji obiektów wielkopowierzchniowych,*
- *Dostatecznie dokładne określanie stopnia wykorzystania nośności ustrojów konstrukcyjnych od niesymetrycznych obciążeń zmiennych wymaga wykorzystania wyników pomiarów wielkości monitorującej w co najmniej dwóch punktach ustroju konstrukcyjnego. Taką wielkością monitorującą może być w szczególności kąt obrotu przekroju poprzecznego ustroju.*

Sformułowanie powyższych tez pozwoliło Autorowi na określenie głównych celów Rozprawy, czyli opracowania nowej, wiarygodnej metody pomiaru stopnia wykorzystania nośności ustrojów konstrukcyjnych oraz bezprzewodowego urządzenia pomiarowego odpowiedniego dla systemów monitoringu konstrukcji dachu bazującego na tej metodzie. Cele te zrealizowano proponując nową, dotychczas niestosowaną w praktyce wielkość monitorującą i określając na podstawie symulacji jej przydatność oraz opracowując prototypowe urządzenie do jej pomiaru. Skuteczność nowej metody i poprawność funkcjonowania urządzenia udowodniono na podstawie wieloletnich testów.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł, w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle?

Autor we właściwy sposób dokonał wyboru źródeł należycie uzasadniając wybór omawianego w Rozprawie zagadnienia. W sumie Doktorant powołuje się na 100 źródeł, przy czym w większości to prace opublikowane w ciągu ostatniej dekady, co dowodzi też, że proponowana tematyka jest aktualna oraz tego, że Autor ma dobre rozeznanie w stanie wiedzy w kraju oraz na świecie. Lista bibliograficzna zawiera źródła o różnorodnym charakterze, zarówno polsko- jak i anglojęzyczne, takie jak artykuły naukowe, noty aplikacyjne, normy, patenty. Spośród cytowanych w Rozprawie źródeł aż 25 pozycji to są strony internetowe, lecz niestety tylko w kilku przypadkach podano datę dostępu. Ponadto sam format bibliografii nie został ujednolicony, a także w wielu przypadkach istotne informacje nie zostały zmieszczone, i tak na przykład odnośnik [73] powinien brzmieć np.: M.R. Puccio, Electrolytic tilt sensors and inclinometers: a primer, *Sensors*, 21 (2004), pp. 41-45.

W uzasadnieniu podjęcia tematyki badań naukowych przedstawionych w Rozprawie Doktorant wspomina na s. 19 katastrofę z 2005 r., prawdopodobnie hali supermarketu sieci Leroy-Merlin [62], a także przytacza przykłady hali widowiskowej Olivia oraz bazyliki Św. Mikołaja w Gdańsku. Zaskakujący może się wydać fakt pominięcia największej do tej pory katastrofy budowlanej obiektu wielkopowierzchniowego spowodowanej wielokrotną akumulacją śniegu na dachu, która wydarzyła się w Polsce w 2006 r. na terenach MTK w Chorzowie i pochłonęła 65 ofiar. Być może jest ona wymieniona w cytowanej literaturze, ale zdecydowanie należałoby ją explicite wspomnieć w tekście Rozprawy. Nie jest też do końca dla czego Autor wielokrotnie powołuje się w Rozprawie na dane dostarczone przez firmę WiSeNe, tak jakby to było jedyne dostępne źródło informacji.

Dorobek publikacyjny Doktoranta należałoby uznać za dosyć skromny, choć Autor wspomina na s. 92 o kilkunastu publikacjach, w bazie Web of Science indeksowanych jest jedynie 5 pozycji, z czego tylko 2 z nich, prezentujące wyniki badań laboratoryjnych oraz „in situ” opracowywanego prototypu urządzenia, zostały opublikowane w czasopiśmie zawartym na liście MEiN i są cytowane w Rozprawie. Oprócz tych publikacji Rozprawa cytuje jeszcze jeden artykuł z udziałem Doktoranta w czasopiśmie krajowym, a pozostałe publikacje zostały pominięte. Zdecydowanie zamieszczenie w Rozprawie kompletnej listy publikacji ze współudziałem Doktoranta byłoby ze wszech miar wskazane. Jednakże niedostatki publikacyjne ze znacznym nadmiarem rekompensują liczne patenty cytowane w Rozprawie, których Doktorant jest współautorem, przyznane mu na przestrzeni kilkunastu lat; w tym 4 polskie, 2 europejskie oraz 2 amerykańskie. Należy przy tym podkreślić, że dotyczą one bezpośrednio tematyki Rozprawy, a Autor jest zawsze wymieniony na pierwszym miejscu, co świadczy o jego wiodącej roli jako pomysłodawcy.

3. Czy autor rozwiązał przedstawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?

Doktorant zrealizował wszystkie cele określone na wstępie Rozprawy odpowiednio dobierając metody analizy i opracowując konkretne rozwiązania praktyczne oraz udowadniając postawione tezy. Zaproponowana przez Autora wielkość monitorująca pozwoliła na uzyskiwanie poprawnych wyników pomiarów stopnia wykorzystania nośności i okazała się być wystarczająco wiarygodna, a nawet w niektórych przypadkach znacznie lepsza, od aktualnie stosowanej, co potwierdzono symulacjami numerycznymi oraz wieloletnim monitoringiem rzeczywistego obiektu budowlanego. Oryginalność autorskiej metody znalazła też swoje odzwierciedlenie w udzielonych patentach, co świadczy o dużej wiedzy teoretycznej Doktoranta i jego praktycznej znajomości problemu.

Rozdział 2 przedstawia standardowy sposób pomiaru stopnia wykorzystania nośności bazujący na laserowym pomiarze ugięcia. Analizy przeprowadzone w środowisku implementującym metodę elementów skończonych wykazały, że ugięcie mimo powszechnego stosowania nie zawsze może być wielkością monitorującą pozwalającą wiarygodnie określać stopień wykorzystania nośności, szczególnie w przypadku niesymetrycznej konstrukcji dachu. W związku z tym Autor rozpoczął poszukiwania innej, akceptowalnej przez konstruktorów wielkości monitorującej, która pozwoliłaby dokładniej określać stopień wykorzystania nośności elementów konstrukcji dachów. Po analizie dostępnych wielkości fizycznych i metod ich pomiaru zdecydowano się na przebadanie możliwości wykorzystania kąta obrotu przekrojów poprzecznych monitorowanych elementów.

Możliwość użycia nowej wielkości monitorującej dotychczas niestosowanej w praktyce została zbadana w Rozdziale 3, rozpoczynającym prezentację osiągnięć własnych Doktoranta. Pomysł jej wykorzystania nie jest oryginalny i jak przyznaje sam Autor pomiar kątów obrotu przekrojów poprzecznych sugerowano już dużo wcześniej w dostępnej literaturze [53]-[58], lecz bez podania praktycznych uzasadnień. Potencjalną wyższość nowej metody Doktorant wykazał na podstawie rozważań teoretycznych już na wstępie tego Rozdziału udowadniając przewagi wykorzystania inklinometru nad dalmierzem laserowym (por. Tabela 3-1).

Doktorant w dalszej części Rozdziału przedstawił proponowaną metodę oraz wyniki badań nad możliwością wykorzystania kątów obrotu przekrojów poprzecznych jako wielkości monitorującej, które wykonano dla trzech typowych ustrojów konstrukcyjnych: jednoprzęsłowej belki podpartej swobodnie, jednonawowego układu ramowego i dźwigara kratowego dwutrapezowego. Symulacje te przeprowadzono w środowisku implementującym numeryczną metodę elementów skończonych.

Wyniki tych symulacji wykazały, że pomierzone wartości średnie kątów obrotu oraz wartości współczynnika przeciążenia są niezależne od asymetrii obciążenia, a w najgorszym przypadku prowadzą jedynie do zawyżania wartości wielkości monitorowanej, co bezpośrednio nie zagraża bezpieczeństwu użytkowania monitorowanego obiektu. Innym niezwykle interesującym wnioskiem praktycznym wynikającym z analiz uzyskanych wyników symulacji jest to, że znacznie bardziej wiarygodne wartości współczynnika przeciążenia można otrzymać, gdy wielkością monitorującą będzie jedynie kąt obrotu mierzony po stronie bardziej obciążonej, czyli większy z kątów obrotu przekrojów poprzecznych monitorowanego elementu mierzonych symetrycznie względem środka rozpiętości elementu. Wielkość ta określa dokładniej niż ugięcie stopień wykorzystania nośności konstrukcji, szczególnie w warunkach nierównomiernego obciążenia.

Doktorant stwierdził, że dla zapewnienia możliwie największej wiarygodności pomiarów przy nierównomiernym obciążeniu konstrukcji dachu w przypadku ustroju symetrycznego powinny one być wykonywane w pobliżu podpór, gdzie kąt obrotu przekroju poprzecznego osiąga wartości maksymalne. Wtedy wartość współczynnika przeciążenia jest praktycznie niezależna od stopnia nierównomierności obciążenia, co oznacza że wielkość monitorująca poprawnie odzwierciedla wielkość monitorowaną umożliwiając pomiar stopnia wykorzystania nośności konstrukcji w sposób niewrażliwy na sposób jej obciążenia. Ponadto należy zwrócić także uwagę na fakt, że wartości dopuszczalnych kątów obrotu, w przeciwieństwie do wartości dopuszczalnych ugięć, w ogóle nie zależą od rozpiętości elementu, co również zostało wykazane w symulacjach.

Decydując się na wybór konkretnej wielkości monitorującej, w Rozdziale 4 Doktorant opisał prototyp autorskiego urządzenia pozwalającego na pomiar kąta obrotu przekrojów porzeczych. Urządzenie to wykorzystuje w charakterze czujnika inklinometr, dla którego punktem odniesienia dla pomiaru jest kierunek wektora przyspieszenia ziemskiego i bezwzględna zmiana jego wartości. Na wstępie rozdziału Doktorant zajął się wyborem konkretnego czujnika wybierając inklinometr z tzw. masą sejsmiczną wykonany w technologii mikromaszynowej MEMS, wykazawszy jego wyższość nad czujnikami elektrolitycznymi.

Następnie Doktorant przedstawił projekt prototypowego urządzenia mierzącego proponowaną wielkość monitorującą. Opracowany egzemplarz prototypowy został poddany wszechstronnym badaniom w komorze temperaturowej. Dzięki zastosowaniu odpowiednich metod korekcji dryftu temperaturowego osiągnięto oczekiwaną dokładność wskazań inklinometru. Na zakończenie tego rozdziału Autor rozważył możliwość realizacji bezobsługowego systemu monitoringu konstrukcji implementującego prototypowe urządzenie zwracając szczególną uwagę na jego koszt oraz zużycie energii. Celem nadrzędnym analiz było zapewnienie bezobsługowej i bezawaryjnej pracy przez co najmniej 5 lat bez potrzeby wymiany baterii zakładając, że pomiary byłyby przeprowadzane przynajmniej co godzinę.

Rozdział 5 opisuje szczegółowo długoterminowe badania przeprowadzone na funkcjonującym obiekcie budowlanym o powierzchni dachu wynoszącej blisko 3 500 m². Celem tych badań było przede wszystkim zweryfikowanie czy zaproponowana przez Autora nowa wielkość monitorująca przebadana symulacyjnie w Rozdziale 3 jest wystarczająco wiarygodna i pozwala na praktyczną realizację systemów monitoringu konstrukcji odpornych na nierównomierne jej obciążenia. Ponadto przeprowadzone testy miały też dostarczyć odpowiedzi na pytanie czy zaprojektowane urządzenie pomiarowe przedstawione w Rozdziale 4 posiada pożądane parametry i czy w praktyce nadaje się do zastosowania w systemach monitoringu konstrukcji.

Kolejnym celem tych testów była ocena stabilności temperaturowej i czasowej opracowanego urządzenia oraz określenie wpływu różnego rodzaju czynników atmosferycznych. Z tych powodów badania trwały 4 lata, podczas których zebrano ponad 20 tys. pomiarów wykonując je co kilka godzin. Przeprowadzone testy pozytywnie zweryfikowały parametry opracowanego urządzenia oraz wykazały znaczną wartość praktyczną zaproponowanej metody, która pomimo znacznego wpływu temperatury na wskazania czujników pozwalała poprawnie określić wpływ opadów śniegu, chociaż kąty ugięcia dźwigarów były nieznaczne i dalekie od wartości dopuszczalnych.

Rozdział 6 podsumowuje jedynie całość Rozprawy przedstawiając wszystkie najważniejsze wnioski płynące z przeprowadzonych przez Doktoranta badań. Rozdział 7 jest listą odnośników bibliograficznych, natomiast załączniki omawiają zagadnienia związane odpowiednio z laserowym pomiarem odległości oraz przedstawiają opisy stanowiska laboratoryjnego i prototypu badawczego urządzenia pomiarowego.

4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Doktorant kierując się swoją wiedzą teoretyczną, intuicją oraz doświadczeniem zawodowym zaproponował w Rozprawie użycie do oceny stopnia wykorzystania nośności stalowych konstrukcji dachów metody bazującej na pomiarze kątów obrotu jej przekrojów poprzecznych. Przydatność tej metody zweryfikował w symulacjach numerycznych wykazując, że jest ona znacznie skuteczniejsza od tej dotychczas stosowanej, w której dokonywano laserowych pomiarów ugięcia konstrukcji, szczególnie dotyczy to przypadku nierównomiernego obciążenia dachu. Zbudowany przez niego prototyp bezprzewodowego urządzenia implementujący zaproponowaną metodę został przebadany w warunkach laboratoryjnych oraz podczas wieloletnich testów przeprowadzonych w rzeczywistym obiekcie budowlanym.

O oryginalności zaproponowanej przez Doktoranta metody pomiaru świadczą liczne zgłoszenia patentowe i udzielone mu patenty [27]-[31]. We wszystkich przypadkach jego osoba wymieniona jest na pierwszym miejscu, co świadczy o jego wiodącej roli. Podsumowując, za szczególnie istotne rozwiązania teoretyczne i praktyczne zaproponowane przez Doktoranta oraz unikatowe wyniki badawcze uzyskane przez niego należy uznać przede wszystkim:

- zaproponowanie nowej metody pomiaru wykorzystania nośności konstrukcji i jej weryfikacja,
- zbudowanie i przetestowanie prototypu urządzenia implementującego zaproponowaną metodę,
- wykorzystanie urządzenia w systemie służącym do bezprzewodowego monitoringu obiektu,
- praktyczna weryfikacja poprawności działania urządzenia i skuteczności nowej metody.

5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?

Zasadnicza część Rozprawy zawiera 116 numerowanych stron, podzielonych na 7 rozdziałów oraz 4 załączniki. Podział Rozprawy na rozdziały nie budzi zastrzeżeń, chociaż Rozdziały 2-3 wraz z Załącznikami 1-2 mogłyby zostać z powodzeniem połączone w jeden duży rozdział poświęcony porównaniu obu metod pomiaru i uzasadniający wybór jednej z nich. Wtedy podział między częścią teoretyczno-symulacyjną i praktyczno-eksperymentalną byłby wyraźniejszy.

Podobnie biorąc pod uwagę, że dosyć często właściwe zrozumienie tekstu Rozprawy nie jest możliwe bez odwoływania się do informacji zawartej w Załącznikach 3-4 mogłyby one także stać się w zdecydowanej większości jej integralną częścią, a same załączniki mogłyby zawierać jedynie szczegóły techniczne dotyczące komory temperaturowej i budowy stanowiska laboratoryjnego oraz zastosowanych rozwiązań układowych, w tym projektów płytek obwodów drukowanych, a także obudów urządzenia prototypowego.

Oceniając stronę merytoryczną pracy można dopatrzyć się pewnej niekonsekwencji. Doktorant rozważa teoretycznie w Rozdziale 3 trzy wcześniej wspomniane ustroje konstrukcyjne, lecz analiza wrażliwościowa zostaje przeprowadzona tylko dla dwóch z nich. Autor stwierdza także, że miejsca pomiarów kątów obrotu przekrojów trzeba będzie wyznaczać indywidualnie dla każdego obiektu. Ponadto wyniki symulacji opisane w Rozdziale 2 zostały otrzymane dla belki podpartej swobodnie o rozpiętości 5 m podczas, gdy dla pozostałych ustrojów wartość ta była rzędu 20-30 m. W dodatku docelowy monitorowany obiekt budowlany ma kratową konstrukcję dachu i jak można zauważyć na Rys. 5.1 czujniki zostały w nim zamontowane w narożach bezpośrednio przy ścianach nośnych, a taki przypadek nie był w ogóle rozważany w Rozdziale 3, co potwierdza zasadność wcześniejszej uwagi o konieczności scalenia i ujednolicenia Rozdziałów 2-3.

Rozdziały 2-3 przedstawiają wprawdzie wyniki symulacji numerycznych, jednak ich dokładne parametry wejściowe nie są znane. Jedynie przypis zamieszczony na s. 13 wspomina, że zostały one przeprowadzone w środowisku RM-Win wykorzystującym metodę elementów skończonych, które jest oferowane przez firmę CadSIS. W przypadku symulacji tego typu istotny wpływ na uzyskiwane wyniki może mieć metoda generacji siatki i liczba jej węzłów. Niestety w Rozprawie zawarto tylko enigmatyczne stwierdzenia w rodzaju „Zasymulowano zachowanie układu ...” (s. 32) bez podania bliższych szczegółów

Sama Rozprawa nie precyzuje także jakie przekroje poprzeczne elementów nośnych zostały założone w symulacjach, a tymczasem weryfikacja skuteczności proponowanej metody dla różnych profili przekroju, np. prostokątnych, ceownikowych, dwuteownikowych, mogłaby z powodzeniem stać się ciekawym wątkiem badań. Ponadto można by też zbadać skuteczność metody w przypadku występowania odkształceń związanych z wadami materiałowymi lub pękaniem ścian nośnych czy też osiadaniem fundamentów, tak jak to było w przypadku bazyliki w Gdańsku wspomnianym na wstępie Rozprawy.

Autor świadomie i właściwie wybierał w Rozprawie właściwe, lecz już istniejące rozwiązania, zatem pewien niedosyt może budzić fakt, iż wykorzystał gotowy czujnik MEMS i nie postarał się zaprojektować w technologii mikromaszynowej własnego czujnika bezpośrednio zintegrowanego z filtrami i przetwornikami analogowo-cyfrowymi w jednym układzie scalonym, co niewątpliwie pozwoliłoby na dalszą optymalizację inklinometru.

Badania laboratoryjne prototypu inklinometru opisane w Rozdziale 4 zostały przeprowadzone w oparciu o porównanie otrzymanych wyników z pomiarami uzyskanymi za pomocą inklinometru wzorcowego firmy Vigor Technology zbudowanego na bazie tego samego czujnika, zatem nie do końca jest jasne skąd wynikała potrzeba opracowania nowego urządzenia. W części opisującej aproksymację dryftu temperaturowego czujników nie zostało też wyjaśnione na jakiej podstawie założono optymalne wartości stopni wielomianów aproksymujących oraz jaką metodą i w jakim środowisku wyznaczano wartości tych współczynników, a także jakie były otrzymane wartości współczynników korelacji określających jakość dopasowania do danych pomiarowych.

Ponadto miejscami niektóre stwierdzenia są zbyt lakoniczne, np. na zakończenie s. 28 Autor stwierdza, że „odpowiednie zależności matematyczne zostały zebrane w dodatku Z2; szczególnie interesująca jest zależność (Z2-8)”, jednakże nie występuje po tym żadne głębsze uzasadnienie tego stwierdzenia. Pod względem edytorskim Rozprawa jest przygotowana bardzo starannie, chociaż Doktorant nie ustrzegł się pewnych drobnych błędów, co jest jednakże w pełni zrozumiałe biorąc pod uwagę znaczne rozmiary niniejszej Pracy i nie wpływa na jej wysoką ocenę merytoryczną. Oto uwagi szczegółowe dotyczące zarówno strony merytorycznej jak i edytorsko-językowej:

- słowo sensor jest zdecydowanie zbyt często używane w tekście Rozprawy, ponad czterokrotnie częściej niż jego właściwszy polski odpowiednik, czyli czujnik,
- słowo inklinometr jest używane w tekście Rozprawy raz do samego czujnika, a raz do całego urządzenia prototypowego, co czasami utrudnia jego zrozumienie,
- Doktorant stwierdza, że „wartości dopuszczalne kątów obrotu, w przeciwieństwie do wartości dopuszczalnych ugięcia, nie zależą od rozpiętości elementu”, lecz nie wiadomo tak naprawdę na jakiej podstawie, gdyż brak jest jakiegokolwiek odwołania (s. 28),
- nie jest wiadome na jakiej podstawie założono akceptowalne graniczne wartości współczynnika przeciążenia (s. 34),
- „składać się niewielu” - prawdopodobnie brak „z” (s. 54, w. 9 od góry),
- „ciężaru własnego, liczby i rodzaju podwieszonych instalacji i urządzeń” - wielokrotne użycie „i” w zdaniu wymaga zastosowania przecinków (s. 54, 3. akapit),
- informacje zawarte w odnośnikach literaturowych [70]-[71] i Załączniku 2, do których Autor odwołuje się na s. 57, wydają się być na tyle istotne, że mogłyby być zamieszczone w tekście głównym Rozprawy,
- autor opisując budowę czujnika MEMS używa pojęć masy sejsmicznej i wahadła pomiarowego nie precyzując czy odnoszą się one do tego samego elementu struktury (s. 59-60),
- „technologiami mikrosystemowymi” - raczej technologiami mikromaszynowymi (s. 59, w. 4-5 od góry),
- „sensor SCA103T to swoisty rekord świata” - wyrażenie zbyt żargonowe (s. 60, w. 4 od dołu),
- na początku s. 61 Autor stwierdza, że „weryfikacja jego (czujnika) przydatności i określenie zakresu stosowalności są przedmiotem dalszej części pracy” - czy to rzeczywiście był cel główny?
- fotografia struktury MEMS mogłaby wskazywać jego poszczególne elementy oraz podawać informacje dotyczące ich wymiarów (s. 61, rys. 4-3),

- akapit dotyczący omówienia wyników projektu „Smart Monitoring of Historic Structures” jest nieco zbyt ogólnikowy i nie zawiera odnośników literaturowych (s. 62),
- „jak wykazano w poprzednim rozdziale” - omawiane rozwiązania przedstawiono w rozdziale bieżącym (początek podrozdziału 4.2.3),
- „SST460 charakteryzuje się nieco lepszymi parametrami opracowywanego inklinometru” - prawdopodobnie brak „od” (s. 67, w. 1 od góry),
- co Autor rozumie jako stabilność stanowiska czy też dryft samego inklinometru (s. 67),
- „specyfikacja szumów producenta” - nieprawidłowe sformułowanie (s. 68, w. 4 od dołu),
- co oznacza, że konstrukcja jest poprawna szumowo (na dole s. 68),
- na czym ma polegać obligatoryjne odprężanie (s. 69),
- „Zadaniem pierwszego programu jest zmierzenie” - program nie może przeprowadzać pomiaru (s. 71, w. 2-3 od góry),
- pojęcie „częstotliwości generowania wyników” jest niezbyt naukowe (s. 72, w. 2 od góry),
- „polega na znalezieniu współczynników ..., żeby wyrażenie” - lepiej użyć w tym przypadku łącznika tak aby (s. 72, w. 8-9 od góry),
- „Rys. 4-11.Pokazane” - brak spacji (s. 72, w. 5 od dołu),
- „Przybliżenie zmierzonych zależności ...” - sformułowanie niezbyt nieprecyzyjne, raczej dane pomiarowe były aproksymowane (podpis rys. 4-11),
- zamieszczenie fragmentu kodu na s. 74 nie wydaje się celowe,
- na s. 83 autor powołując się na źródło [94] wspomina lokalizację odległą o 180 km od obiektu monitorowanego, lecz jej nie wymienia, więc nie wiadomo czy panowały tam podobne warunki klimatyczne,
- w drugim akapicie na s. 90 odległości między wyrazami są nierównomierne, prawdopodobnie na skutek zastosowania, tzw. twardej lub wielokrotnej spacji,
- początek 3. akapitu na s. 91 jest niedopracowany stylistycznie, zbyt często powtarzają się słowa „praca” i „temat”,
- podpis do Rys. Z1-1 wspomina o poziomym pomiarze ugięcia, lecz w tekście bezpośrednio nad rysunkiem jest mowa o pionowym,
- Rys. Z3-3 przedstawia raczej prototyp niż model urządzenia IM103T,
- nie do końca jest jasne czy hermetyzacja obwodu drukowanego była przeprowadzona czy też nie (s. 110),
- nie wiadomo na jakiej podstawie dobrano pasmo dla filtrów (Rys. Z4-1),
- stwierdzenie „Ze względów badawczych w miejscu docelowego, jednoosiowego inklinometru ... został zamontowany inklinometr dwuosiowy” jest co najmniej niepokojące, czyżby czujnik, dla którego uprzednio przeprowadzono kalibrację i skompensowano dryft temperaturowy nie został wykorzystany w urządzeniu docelowym (s. 114)?

6. Jaka jest przydatność Rozprawy dla nauk inżynieryjno-technicznych?

Niewątpliwie znaczenie praktyczne przedstawionych przez Doktoranta w Rozprawie wyników badań symulacyjnych i eksperymentalnych jest istotne dla nauk inżynieryjno-technicznych. Liczba obiektów wielkopowierzchniowych, takich jak hale magazynowe i produkcyjne, czy też centra handlowe jest znaczna, i stale wzrasta. W celu ochrony życia użytkowników oraz mienia konieczne jest ciągłe monitorowanie stanu technicznego tego typu obiektów. Cel ten można zrealizować min. przy pomocy rozproszonych, automatycznych i bezobsługowych systemów monitoringu.

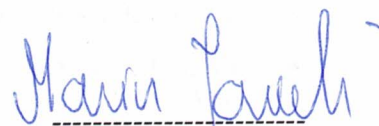
Niniejsza Rozprawa przedstawia właśnie realizację takiego systemu bazującą na oryginalnej metodzie pomiaru zastosowanej praktycznie w prototypowym urządzeniu zaprojektowanym przez Doktoranta. Skuteczność jego działania została udowodniona w Rozprawie na podstawie wyników wieloletnich testów przeprowadzonych w rzeczywistym obiekcie budowlanym. Wydaje się zatem, że wykorzystanie nowej wielkości monitorującej, kąta obrotu przekroju poprzecznego, może być istotnym krokiem na drodze do opracowania w pełni wiarygodnych systemów monitoringu budowli wielkopowierzchniowych.

7. Ocena końcowa

Rozprawa doktorska mgr. inż. Marcina Osiniaka zdecydowanie ma charakter eksperymentalny. Doktorant wykazał się w niej swojego rodzaju intuicją inżynierską, tym niemniej wymagającą zawansowanej wiedzy teoretycznej z zakresu budowy i zasady działania czujników MEMS oraz mechaniki budowli. Wszystkie cele postawione przez Autora na wstępie Rozprawy zostały w pełni osiągnięte, a tezy Rozprawy udowodnione. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne mają jedynie charakter konstruktywny i nie obniżają mojej zdecydowanie pozytywnej oceny Rozprawy.

Chociaż sama tematyka Rozprawy dotyczy ogólnie pojętego budownictwa, czy też wg nowej klasyfikacji dyscypliny inżynierii lądowej i transportu, należy podkreślić, że samo rozwiązanie techniczne opracowane przez Doktoranta, czyli prototyp inklinometru oraz system monitorowania są niewątpliwie urządzeniami elektronicznymi, a więc można uznać, że główne osiągnięcia i wkład merytoryczny Autora zdecydowanie przynależą do dyscypliny elektronika, a obecnie automatyka, elektronika i elektrotechnika.

W konkluzji stwierdzam, że Rozprawa doktorska zatytułowana „*Metody poprawy skuteczności monitoringu konstrukcji stalowych przy użyciu czujników inklinometrycznych*” napisana przez mgr. inż. Marcina Osiniaka spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, wraz z późniejszymi zmianami, i nie wymaga żadnych obligatoryjnych poprawek. Zatem wnioskuję o jej dopuszczenie do publicznej obrony.



Podpis

Dr hab. inż. Jerzy Augustyn
Katedra Informatyki, Elektroniki i Elektrotechniki,
Politechnika Świętokrzyska
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7,
25-314 Kielce
email: j.augustyn@tu.kielce.pl

RECENZJA

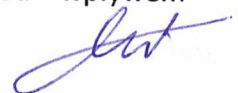
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Marcina Osiniaka
pt.: „Metody poprawy skuteczności monitoringu konstrukcji stalowych
przy użyciu czujników inklinometrycznych”

1. Wstęp

Przedłożona recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej, prof. dr. hab. inż. Tomasza Stareckiego (pismo z dnia 23.12.2021 r.). Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Lidia Łukasik, prof. uczelni.

2. Opinia o tematyce i zakresie rozprawy

Monitoring stopnia wykorzystania nośności stalowych konstrukcji dachów obiektów wielkopowierzchniowych jest istotnym zagadnieniem z punktu widzenia zapewnienia bezpieczeństwa użytkowania takiego obiektu. Jest to ważne w szczególności w przypadku oddziaływań klimatycznych na dachy takich budynków, zwłaszcza obciążenia zalegającym śniegiem. Takie zjawiska powodują często nierównomierne obciążenia konstrukcji dachu, co utrudnia budowę poprawnie działającego systemu monitoringu. Wszystkie takie systemy monitorują stopień wykorzystania nośności konstrukcji metodą pośrednią, najczęściej poprzez pomiar odkształcenia powierzchniowego lub ugięcia elementu konstrukcji dachu. Są to pomiary o charakterze punktowym, wykonywane w miejscach, gdzie wielkość mierzona wykazuje największą zmienność pod wpływem obciążenia, co nie zawsze umożliwia poprawne oszacowanie stopnia wykorzystania nośności konstrukcji w przypadku nierównomiernego obciążenia, a w skrajnych przypadkach może prowadzić do katastrofy budowlanej. Autor rozprawy przeprowadził krytyczną analizę dotychczas stosowanych metod monitoringu konstrukcji obiektów wielkopowierzchniowych. Jej wynikiem jest wprowadzenie współczynnika przeciążenia konstrukcji, jako miary stopnia wykorzystania jej nośności oraz porównanie metodą symulacyjną zachowania się typowych ustrojów konstrukcyjnych stosowanych w obiektach wielkopowierzchniowych pod wpływem



niesymetrycznego obciążenia. W wyniku tych badań Autor zaproponował wprowadzenie nowej wielkości monitorującej stan obciążenia konstrukcji - kąta obrotu przekrojów poprzecznych elementów konstrukcji dachów. W wyniku badań symulacyjnych wybranych ustrojów konstrukcyjnych określił wymagany zakres pomiaru kąta obrotu, miejsce instalacji sensorów oraz sposób interpretacji wyników pomiaru. Wielkość monitorująca została zdefiniowana jako większy z dwóch kątów obrotu przekrojów poprzecznych mierzonych symetrycznie względem środka rozpiętości monitorowanego elementu. Do pomiaru kąta obrotu zaproponował inklinometr. Zrealizowane w tym zakresie badania i analizy mieszczą się w obszarze zainteresowania mechaniki budowli, ale ich przeprowadzenie było koniecznym punktem wyjścia do realizacji układu pomiarowego.

Kolejnym etapem prac było określenie wymaganych parametrów technicznych sensora, wybór typu sensora oraz szczegółowa analiza, krytycznych z punktu widzenia zastosowania, parametrów wybranego rozwiązania. Autor rozprawy wybrał do dalszych prac konstrukcyjnych różnicowy sensor inklinometryczny SCA103T-D04, wykonany w technologii MEMS. Praktyczne wykorzystanie tego sensora wymagało rozwiązania metody korekcji temperaturowego dryftu zera i czułości w szerokim zakresie temperatury pracy oraz bezprzewodowej transmisji danych przy zapewnieniu niskiego poboru mocy, umożliwiającego wieloletnią bezobsługową pracę inklinometru. Kończącym, chociaż czasochłonnym, etapem prac była weryfikacja poprawności przeprowadzonych badań w warunkach rzeczywistych, na funkcjonującym obiekcie budowlanym. Wyniki uzyskane w czasie ponad czteroletnich testów wykonanego modelu urządzenia pomiarowego potwierdziły możliwość zastosowania jako wielkości monitorującej kąta obrotu przekroju poprzecznego wybranego elementu konstrukcji dachu oraz możliwość zastosowania do tego celu wybranego rozwiązania sensora inklinometrycznego. Zrealizowane w tym zakresie analizy i badania eksperymentalne są charakterystyczne dla obszaru badawczego elektroniki, aktualnie należącej do dyscypliny automatyka, elektronika i elektrotechnika.

Uwzględniając przedstawione wyżej argumenty uważam, że podjęte w recenzowanej pracy doktorskiej badania naukowe, których celem jest (str. 12 pracy) "...opracowanie wiarygodnej metody określania stopnia wykorzystania nośności ustrojów konstrukcyjnych oraz opracowanie bezprzewodowego, bezobsługowego i uniwersalnego urządzenia pomiarowego dla systemu monitoringu konstrukcji dachu bazującego na tej metodzie" są aktualne i ważne oraz mają istotne znaczenie praktyczne.

3. Przegląd i ocena treści rozprawy

Przedstawiona rozprawa o objętości 116 stron zawiera 6 rozdziałów zasadniczych, bibliografię, obejmującą 100 pozycji oraz 4 załączniki o objętości 16 stron, będące opisem laserowej metody pomiaru odległości, analizy ugięcia jednoprzęsłowej belki podpartej swobodnie pod wpływem jednorodnego obciążenia, stanowiska laboratoryjnego do przeprowadzenia badań temperaturowych prototypu badawczego inklinometru oraz założeń projektowych i dokumentacji elektrycznej wykonanego prototypu badawczego.

W rozdziale pierwszym Autor przedstawia podstawowe zagadnienia związane z monitoringiem konstrukcji budowlanych, omawia potrzebę stosowania monitoringu, związaną zarówno z zapewnieniem bezpieczeństwa ludzi i mienia, jak i obniżeniem kosztów eksploatacji takich obiektów. Ponadto omawia dotychczasowy stan techniki w tym obszarze, zwracając uwagę na brak wiarygodnych rozwiązań monitoringu stopnia wykorzystania

nośności konstrukcji pod zmiennym obciążeniem z uwzględnieniem nierównomierności jego rozłożenia. Następnie formułuje podstawowe właściwości, jakimi powinien się charakteryzować wiarygodny system monitoringu konstrukcji. Dotyczą one jednoznaczności związku pomiędzy wielkością monitorującą, a stopniem wykorzystania nośności konstrukcji oraz wyboru sposobu jej pomiaru. W wyniku tej analizy został określony cel oraz sformułowane dwie tezy pracy. Pierwsza teza dotyczy braku wiarygodności wyników jednopunktowych pomiarów typowych wielkości monitorujących (odkształcenia, ugięcia i przemieszczenia) dla oceny stopnia wykorzystania nośności ustrojów konstrukcyjnych poddanych niesymetrycznym obciążeniom. Druga - określa konieczność wykonywania pomiarów wielkości monitorującej w co najmniej dwóch punktach ustroju konstrukcyjnego poddanego niesymetrycznym obciążeniom, w celu dostatecznie dokładnego określenia stopnia wykorzystania jego nośności. W takim przypadku wielkością monitorującą może być kąt obrotu przekroju poprzecznego elementu konstrukcji.

Rozdział drugi, o charakterze przeglądowym, Autor poświęcił omówieniu stosowanych systemów monitoringu konstrukcji budowlanych, wykorzystujących dwie wielkości monitorujące: odkształcenie powierzchniowe lub ugięcie elementu konstrukcji dachu. W tym kontekście przedstawia podstawowe wady czujników tensometrycznych, koncentrując uwagę na pomiarach ugięcia metodą geodezyjną, wizyjną, tachimetrem lub laserowym urządzeniem pomiarowym. Analizując ugięcie, jako wielkość monitorującą, Doktorant zwrócił uwagę na niejednoznaczność zależności pomiędzy wielkością monitorowaną - maksymalnym naprężeniem występującym w monitorowanym elemencie, a wielkością monitorującą - jego ugięciem, w przypadku niesymetrycznego obciążenia. W celu określenia jednoznacznego związku pomiędzy tymi wielkościami, zdefiniował współczynnik przeciążenia konstrukcji η (2-1) oraz przeprowadził obliczenia zmienności wartości tego współczynnika dla jednonawowego układu ramowego o zmiennym stopniu niesymetrii obciążenia. Uzyskane wyniki potwierdziły, że pomiar ugięcia, w przypadku niesymetrii obciążenia, daje wartości zaniżone nawet o 50%, w porównaniu z rzeczywistym stopniem wykorzystania nośności konstrukcji.

Rozdział trzeci zawiera analizę porównawczą dwóch wielkości monitorujących stopień wykorzystania nośności konstrukcji: ugięcia i kąta obrotu przekroju poprzecznego w warunkach niesymetrycznie rozłożonego obciążenia. Autor poddał analizie również właściwości czujników mierzących te wielkości, uwzględniając parametry metrologiczne, środowisko pracy, koszty utrzymania i energochłonność. Analiza czujników wykazała większą przydatność inklinometrów w monitoringu konstrukcji. Z drugiej strony, obliczenia trzech typowych ustrojów konstrukcyjnych: jednoprzęsłowej belki podpartej swobodnie, jednonawowego układu ramowego oraz dwutrapezowego dźwigara kratowego, w oparciu o współczynnik przeciążenia konstrukcji, wykazały, że jedynie zastosowanie jako wielkości monitorującej większego z dwóch kątów obrotu przekrojów poprzecznych mierzonych symetrycznie względem środka rozpiętości monitorowanego elementu umożliwia określenie stopnia wykorzystania nośności elementu w akceptowalnych granicach. Przeprowadzone analizy są oryginalnym osiągnięciem Autora rozprawy, a ich wyniki stały się podstawą pięciu zgłoszeń patentowych.

W obszernym rozdziale czwartym Autor, na podstawie wymaganych w systemach monitoringu parametrów metrologicznych inklinometru, dokonał wyboru sensora inklinometrycznego. Doktorant rozważał dwie odmiany inklinometrów: elektrolityczne i akcelerometry wykonane w technologii MEMS. Swoją decyzję oparł na analizie dokumentacji i materiałów dostarczanych przez producentów takich sensorów. Tego typu publikacje z

natury rzeczy nie zawsze przedstawiają w obiektywny sposób właściwości różnych typów sensorów. Nie negując trafności wyboru typu sensora, należy zwrócić uwagę, że w obiegu naukowym dostępne są recenzowane publikacje o charakterze przeglądowym, na podstawie których można dokonać takiego wyboru, kierując się obiektywnymi kryteriami. Można w tym miejscu wymienić publikacje: Jae Hyoung Lee, Seung S. Lee: Electrolytic tilt sensor fabricated by using electroplating process. *Sensors and Actuators A: Physical*, Vol. 167, Issue 1, 2011, pp. 1-7, doi.org/10.1016/j.sna.2011.01.011; Łuczak S.; Ekwirska M.: Electric-Contact Tilt Sensors: A Review. *Sensors* 2021, 21, 1097. doi.org/10.3390/s21041097; Łuczak S., Grepl R., Bodnicki M.: Selection of MEMS Accelerometers for Tilt Measurements. *Journal of Sensors* Vol. 2017, Article ID 9796146, 13 pages, doi.org/10.1155/2017/9796146 i Rao K. et al.: A High-resolution Area-change-based Capacitive MEMS Accelerometer for Tilt Sensing. 2020 IEEE International Symposium on Inertial Sensors and Systems (INERTIAL), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/INERTIAL48129.2020.9090016. W ostatniej z tych publikacji autorzy wymieniają między innymi sensor zastosowany w recenzowanej pracy. Określając możliwość zastosowania wybranego typu sensora, Autor analizował pasmo sygnału wyjściowego, zapewniające założoną rozdzielczość pomiaru oraz wartości temperaturowego dryftu zera i czułości. Ze względu na konieczność korekcji dryftów temperaturowych, Doktorant zbudował stanowisko badawcze prototypu inklinometru. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów opracował algorytmy realizujące korekcję dryftu zera oraz czułości. Ostatnim etapem projektu czujnika kąta obrotu była optymalizacja pod względem minimalizacji zużycia energii pozostałych elementów urządzenia pomiarowego: przetwornika analogowo-cyfrowego, przetwornicy impulsowej wraz ze stabilizatorem napięcia oraz modułu komunikacji radiowej.

Rozdział piąty zawiera opis przeprowadzonych długookresowych testów na funkcjonującym obiekcie budowlanym wraz z dyskusją otrzymanych wyników. Autor umieścił dwa zestawy modułów sensorów na sąsiednich dźwigarach kratowych, usytuowanych w środkowej części obiektu magazynowego. Sensory zostały zamocowane symetrycznie na dolnym pasie dźwigara blisko podpór. Natomiast zgodnie z wynikami analizy przeprowadzonej w rozdziale 3, optymalne punkty instalacji sensorów znajdują się w górnym pasie takiego dźwigara. Autor nie wyjaśnia tej rozbieżności. Dodatkowo interpretację wyników utrudniają różnice konstrukcyjne pomiędzy dźwigarem analizowanym w rozdziale 3, a dźwigarem, na którym zainstalowano sensory podczas testów. Pomiary kąta obrotu przekroju poprzecznego były wykonywane przez pierwsze 21 miesięcy co 1 godzinę, przez kolejny miesiąc - co 6 godzin, następnie przez 5 miesięcy co 2 godziny, a przez ostatnie 7 miesięcy - co 6 godzin. Autor niestety nie wyjaśnia powodu takiego zróżnicowania harmonogramu badań, jak również nie podaje czy mogło to wpłynąć na uzyskane wyniki testu. Otrzymane wyniki pomiarów potwierdziły możliwość wykorzystania zaproponowanej metody monitoringu do określenia stopnia wykorzystania nośności konstrukcji. Jednocześnie pośrednio wskazują na dobre właściwości opracowanego urządzenia pomiarowego, w tym dużą stabilność długookresową oraz założoną na etapie projektowania wartość temperaturowego dryftu zera.

Rozdział szósty jest podsumowaniem dokonań Doktoranta - przedstawieniem efektów jego pracy, uzyskanych oryginalnych osiągnięć oraz wniosków z przeprowadzonych analiz i badań eksperymentalnych.

Załączona bibliografia zawiera publikacje dotyczące monitoringu konstrukcji budowlanych, w większości odnoszących się do obiektów użytkowanych w Polsce. Druga grupa publikacji związana jest z sensorami wykorzystywanymi w systemach monitoringu.

Część z tych publikacji to materiały producentów takich sensorów, co w przypadku pracy, mającej charakter projektu jest w dużym stopniu uzasadnione. Mgr inż. Marcin Osiniak jest współautorem 11 spośród załączonych pozycji bibliograficznych, w tym 5 zgłoszeń patentowych. Autor rozprawy jednak nie zawsze dostatecznie precyzyjnie podaje dane bibliograficzne, co utrudnia dostęp do materiałów źródłowych. Dotyczy to np. pozycji: [26], [69], [72], [73], [86].

Dokonując merytorycznej oceny całej rozprawy stwierdzam, że jest ona napisana na właściwym poziomie merytorycznym. Zawiera dobrze sformułowany i ważny problem badawczy oraz prezentuje poprawne rozwiązanie tego problemu, które zostało uzyskane przez Autora z zastosowaniem odpowiedniej metodologii naukowej. Na podstawie przedstawionego omówienia treści całej rozprawy doktorskiej należy odnotować, że rozprawa ma charakter interdyscyplinarny, a jej Autor wykazał się umiejętnością formułowania problemów naukowo-badawczych, wykraczających również poza obszar elektroniki. Stanowi również oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej.

Do efektywnego rozwiązywania sformułowanego zagadnienia wykorzystał wiedzę z zakresu elektroniki, metrologii, modelowania i badań symulacyjnych oraz metod numerycznych, popartą wieloletnim doświadczeniem zawodowym w obszarze systemów monitoringu konstrukcji budowlanych.

4. Oryginalne osiągnięcia

Udowadniając sformułowane tezy oraz realizując wyznaczone cele badawcze, Autor rozprawy uzyskał kilka oryginalnych wyników naukowych i technicznych, do których między innymi zaliczam:

- 1) zastosowanie spójnej metodologii oceny stopnia wykorzystania nośności monitorowanych elementów konstrukcyjnych poddanych niesymetrycznym obciążeniom, dzięki zdefiniowaniu współczynnika przeciążenia konstrukcji,
- 2) wykazanie, na podstawie badań symulacyjnych, że koniecznym warunkiem uzyskania wiarygodnej informacji o stopniu wykorzystania nośności ustrojów konstrukcyjnych jest pomiar w co najmniej dwóch punktach monitorowanego elementu,
- 3) wykazanie, że kąt obrotu przekroju poprzecznego elementu konstrukcyjnego mierzony w bardziej obciążonym jego końcu jest dobrą miarą stopnia wykorzystania jego nośności, co umożliwiło opracowanie nowej, wiarygodnej metody monitoringu, w której wielkością monitorującą jest większy z kątów obrotu przekrojów poprzecznych,
- 4) projekt, wykonanie i badania laboratoryjne urządzenia pomiarowego dla systemu monitoringu, wykorzystującego opracowaną metodę pomiaru kąta obrotu,
- 5) czteroletnie testy opracowanej metody monitoringu w warunkach rzeczywistych.

Mając na uwadze wyżej wymienione oryginalne osiągnięcia naukowe i techniczne, uważam, że Pan mgr inż. Marcin Osiniak zrealizował założony cel badawczy oraz uzasadnił słuszność sformułowanych tez. Ponadto wykazał się umiejętnościami samodzielnego rozwiązywania problemów naukowo-technicznych z wykorzystaniem właściwych metod badawczych i na poziomie naukowym odpowiadającym wymaganiom przy realizacji rozpraw doktorskich z nauk inżynieryjno-technicznych.

5. Uwagi i komentarze

Przy zachowaniu pozytywnej oceny całości rozprawy, niezależnie od komentarzy sformułowanych w punkcie 3 recenzji, jej lektura nasuwa kilka kolejnych uwag o charakterze ogólnym i polemicznym:

- 1) Wprowadzone przez Autora definicje współczynników przeciążenia konstrukcji, odnoszące się do pomiarów kątów obrotu: (3-2) oraz (3-4) są nieprecyzyjne. Z analizy zmienności kątów obrotu pod wpływem obciążenia, np. przedstawionej w załączniku Z2, wynika, że kąty obrotu położone symetrycznie względem środka rozpiętości elementu mają przeciwne znaki. Wydaje się, że Autor milcząco założył, że w tych wzorach uwzględniane są wartości bezwzględne kątów obrotu. Z drugiej strony, wyniki analizy przedstawione w rozdziale 3, np. w tabelach 3-3, 3-8 wskazują, że dla niesymetrycznie obciążonego jednonawowego układu ramowego, kąt obrotu może zmienić znak wraz ze zmianą obciążenia. Czy nie może to prowadzić do błędnej interpretacji wyników pomiaru?
- 2) Autor w rozdziale 2 rozprawy, analizując możliwe rozwiązania systemów monitoringu, wyklucza możliwość zastosowania do pomiaru odkształceń powierzchniowych czujników tensometrycznych, ze względu na punktowy charakter pomiaru, nie odzwierciedlający rozkładu naprężenia w miejscach oddalonych od czujnika. Czy Autor rozważał możliwość zastosowania do pomiaru naprężeń powierzchniowych czujników światłowodowych z siatkami Bragga, umożliwiającymi wielopunktowy pomiar naprężeń wzdłuż światłowodu pomiarowego?
- 3) Na stronie 61 rozprawy Autor wskazuje, że jedynym sensorem, który można zastosować w systemach monitoringu jest układ SCA103T-D04. Z informacji dostępnej na stronach WWW producenta tego sensora wynika, że od czerwca 2019 roku układy tego typu zostały wycofane ze sprzedaży. Czy istnieją zamienniki o porównywalnych parametrach?
- 4) Na rys. 4-7 przedstawiono przebiegi czasowe szumów badanego prototypu inklinometru. Uzyskane wartości nieznacznie przekraczają wartości dopuszczalne określone przez producenta. Autor przypuszcza, że może to wynikać z zaburzeń generowanych przez wentylator lub sprężarkę komory temperaturowej. Hipotezę tę można zweryfikować, przedstawiając zmierzone wartości szumów w postaci histogramu. Postać histogramu mogłaby wskazać na występowanie składników okresowych, związanych na przykład z pracą wentylatora.
- 5) W rozdziale 4 rozprawy Autor przeprowadza aproksymację wielomianem czwartego stopnia metodą najmniejszej sumy kwadratów. Na jakiej podstawie został określony wymagany stopień wielomianu?
- 6) W recenzowanej rozprawie Autor często posługuje się pojęciem dokładności. Za "International Vocabulary of Metrology" (JCGM 200:2012) dokładność pomiaru można zdefiniować jako bliskość zgodności między wartością wielkości mierzonej a prawdziwą wartością wielkości mierzonej. Pojęcie „dokładność pomiaru” nie jest wielkością i nie ma określonej wartości liczbowej. Można uznać, że pomiar jest dokładniejszy, gdy zapewnia mniejszy błąd pomiaru. Wprawdzie producenci aparatury i przetworników często posługują się tym pojęciem na określenie



maksymalnych wartości błędu, jednak w pracach naukowych bardziej odpowiednie jest posługiwanie się w tym kontekście pojęciem niepewności pomiaru.

W tekście pracy występują również nieliczne uchybienia redakcyjne. Najbardziej istotne z nich wyszczególniono poniżej:

- 1) Na str. 3 Autor, powołując się na publikacje [16] i [17] wymienia liczbę katastrof w Polsce w 2014 roku, podczas gdy w tytule jednej z nich jest wprost odniesienie do katastrof w roku 2013, a druga ukazała się w 2013 roku.
- 2) W str. 17 i 28 rozprawy Autor odwołuje się do nieistniejącego "dodatku 0".
- 3) Na str. 29 oraz w podsumowaniu na str. 90, Autor sugeruje możliwość zbudowania "całkowicie bezprzewodowego" inklinometru. Czy można więc zbudować urządzenie "niecałkowicie" bezprzewodowe?
- 4) Na Rys. 3-9 przedstawiono na dwóch wykresach zależność współczynnika przeciążenia od stopnia niesymetrii obciążenia. Przyjęcie różnych wartości skali współczynnika przeciążenia utrudnia interpretację pokazanych zależności.
- 5) Na str. 56 Autor pisze: "W tym celu wystarczy na monitorowanym elemencie umieścić dwa urządzenia pomiarowe - inklinometry (w sposób analogiczny do pokazanego na Rys. 3-1, Rys. 3-4 lub Rys. 3-6)". Na tych rysunkach wskazane są jedynie punkty elementów konstrukcji, w których można umieścić urządzenie pomiarowe. Natomiast sposób montażu Autor przedstawia na Rys. 5-2.
- 6) Na str. 76, obliczając wartość ładunku pobieranego z baterii podczas transmisji pojedynczego wyniku pomiaru, Autor posługuje się wzorem, w którym występują nie zdefiniowane wcześniej zmienne: n oraz B .
- 7) W Załączniku 2, w zależnościach (Z2-5) oraz (Z2-6) błędnie oznaczono moment bezwładności symbolem I , zamiast używanego w pozostałych przypadkach - symbolu J .
- 8) Na str. 111 Autor pisze o "nieszczelności przekrycia dachu", zamiast "pokrycia dachu".

6. Wniosek końcowy

Uwzględniając wyżej wymienione uwagi i komentarze oraz całość rozprawy doktorskiej wraz z oryginalnymi osiągnięciami naukowo-badawczymi stwierdzam, że:

Opiniowana praca doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, zgodnie z art. 13 ust. 1 Ustawy o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z dnia 21.06.2016 r., poz. 882), wnoszę o przyjęcie rozprawy i jej dopuszczenie do publicznej obrony.



dr hab. inż. Lucjan Ślęczka, prof. PRz

Rzeszów, 21 lutego 2022 r.

Politechnika Rzeszowska

Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

ul. Poznańska 2, 35-084 Rzeszów

e-mail: sleczka@prz.edu.pl

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgra inż. Marcina Osiniaka pt.

***Metody poprawy skuteczności monitoringu konstrukcji stalowych przy użyciu czujników
inklinometrycznych***

1. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Warszawskiej prof. dra hab. inż. Tomasza Stareckiego, z dnia 22 grudnia 2021 r. i dołączona do niego rozprawa doktorska mgra inż. Marcina Osiniaka, o tytule wymienionym wyżej, której promotorką jest dr hab. inż. Lidia Łukasiak, prof. uczelni, a promotorem pomocniczym dr inż. Zbigniew Pióro.

2. Charakterystyka i zawartość rozprawy

Rozprawa dotyczy monitorowania nieprzekroczenia stanu granicznego nośności konstrukcji stalowych dachów w obiektach użyteczności publicznej. Monitorowanie takie wynika z przepisów prawa budowlanego, a pośrednio z potrzeby bezpiecznego utrzymania tych obiektów.

Rozprawa jest zawarta na 124 stronach. Składa się z 6 rozdziałów, bibliografii obejmującej 100 pozycji, czterech załączników oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Wstęp o objętości 14 stron stanowi uzasadnienie podjętej tematyki, wskazuje na potrzebę monitoringu konstrukcji obiektów budowlanych i kładzie nacisk na właściwy sposób jego przeprowadzania. Treść tego rozdziału jest również omówieniem problemu naukowego rozprawy. Rozdział kończy się sformułowaniem dwóch zasadniczych tez rozprawy, określeniem jej celu oraz krótką charakterystyką badań i analiz podjętych w dysertacji, prowadzących do osiągnięcia zamierzonego celu.

Rozdział drugi, o objętości 11 stron, stanowi przegląd dotychczasowego stanu zagadnienia związanego z monitoringiem zachowania konstrukcji obiektów wielkopowierzchniowych.

Poddano krytyce dotychczas wykorzystywane wielkości monitorujące, takie jak pomiar odkształcenia lub ugięcia dźwigarów dachowych w pojedynczych punktach, wskazując na ograniczenia związane z takimi pomiarami oraz problemy z wiarygodnością powiązania ich wyników ze stopniem wykorzystania nośności obliczeniowej konstrukcji. W szczególności wykazano, że w sytuacji obciążenia konstrukcji śniegiem innego niż równomiernie rozłożone, ugięcie jako wielkość monitorująca coraz mniej dokładnie obrazuje wielkość monitorowaną (stopień wykorzystania nośności obliczeniowej). Dokładność ta maleje wraz ze zwiększaniem się asymetrii obciążenia, gdy pomiar ugięcia rygla dachowego przeprowadzany jest w jednym punkcie.

Rozdział trzeci, o objętości 28 stron, przedstawia nową wielkość monitorującą zaproponowaną przez Autora, którą jest większy z dwóch kątów obrotu przekrojów poprzecznych dźwigara dachowego, mierzonych przeciwnych końcach dźwigara. Wskazano w nim praktyczną przydatność takich pomiarów inklinometrycznych. Wykazano istniejące powiązanie pomiędzy zaproponowaną wielkością monitorującą a stopniem wykorzystania nośności obliczeniowej konstrukcji, a co najważniejsze jego wiarygodność w warunkach obciążenia zmiennego, które może przybierać różne rozkłady przestrzenne. Autor analizował tę zależność i oceniał jej dokładność dla jednoprzęsłowej belki swobodnie podpartej, jednonawowej ramy portalowej oraz swobodnie podpartej kratownicy o kształcie dwutrapezowym, z niewielkim nachyleniem pasa górnego. Do jakościowego i ilościowego wykazania powiązania pomiędzy wielkością monitorującą a monitorowaną, Autor zastosował analizę parametryczną i obliczenia z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Rozdział zawiera również ocenę wrażliwości położenia przekrojów poprzecznych, w których mierzone są kąty obrotu, na dokładność uzyskiwanych wyników.

Rozdział czwarty, o objętości 25 stron zawiera określenie podstawowych parametrów, jakie powinien spełniać czujnik inklinometryczny służący do wykorzystania w systemach monitoringu, opis budowy sensora a także badania korekcji jego temperaturowego dryftu w opracowanym prototypie.

Rozdział piąty, o objętości 9 stron jest opisem czteroletnich badań przeprowadzonych na istniejącym obiekcie budowlanym, w warunkach rzeczywistych, których celem było zweryfikowanie wiarygodności zaproponowanego systemu i możliwości praktycznej realizacji takiego monitoringu.

Rozdział 6, o objętości 5 stron, jest podsumowaniem pracy i oceną realizacji osiągnięcia wyznaczonego celu.

3. Ogólna ocena

3.1 Ocena tematyki rozprawy

Recenzowana rozprawa dotyczy tematyki utrzymania stalowych obiektów budowlanych przy zastosowaniu ich monitoringu, który pozwala zapobiegać potencjalnym katastrofom budowlanym wywołanym ekstremalnymi oddziaływaniami klimatycznymi, tj. obciążeniem śniegiem lub opadami deszczu.

Większość inżynierów budownictwa jest zdania, że właściwie zaprojektowana, poprawnie wykonana i utrzymywana konstrukcja nie wymaga monitoringu pozwalającego na określenie stopnia wykorzystania jej nośności obliczeniowej. Potrzeba ta pojawia się jednak, jako konieczność spełnienia niektórych szczegółowych zapisów prawa budowlanego dotyczących pewnych typów konstrukcji lub jako spełnienie wymagań użytkowników, związanych ze zwiększeniem bezpieczeństwa eksploatowanej konstrukcji. W szczególności monitoring taki może wspomagać decyzję dotyczącą odśnieżania dachu. Monitoring najczęściej dotyczy stalowych konstrukcji dachów, w których udział oddziaływań zmiennych w kombinacji obliczeniowej służącej do sprawdzenia stanu granicznego nośności jest największy. Coraz częstsze decyzje inwestorów, aby instalować systemy monitoringu związane są także z chęcią właściwego zarządzania obiektem na etapie eksploatacji.

Tak więc recenzowana dysertacja ma wymiar praktyczny, związany ze skutecznością monitorowania bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, podjęty temat jest aktualny a otrzymane wyniki, poza wartością naukową, mają wybitnie aplikacyjny charakter. Z naukowego punktu widzenia monitorowanie odpowiedzi nieuszkodzonej konstrukcji na przykładane do niej obciążenie wpisuje się w obręb szerszej dziedziny, określanej jako *structural health monitoring*.

Trudnością w podjęciu tego tematu jest interdyscyplinarność. Praca dotyczy badań naukowych w zakresie elektroniki i automatyki, ale także w zakresie teorii pomiaru deformacji ustrojów budowlanych oraz podstaw naukowych wdrożenia opracowanej techniki do monitorowania bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych w skali technicznej. Jest więc na styku dyscyplin automatyka, elektronika i elektrotechnika oraz inżynieria lądowa i transport, według aktualnej klasyfikacji.

3.2 Ocena merytoryczna

O bezpieczeństwie konstrukcji decyduje nieprzekroczenie warunków stanu granicznego nośności. Zgodnie z zasadami i przepisami budowlanymi podczas projektowania wyznacza się w konstrukcji wartość obliczeniową efektu oddziaływania (czyli odpowiednie siły wewnętrzne)

i sprawdza, czy ich wielkość nie przekracza odpowiedniej nośności konstrukcji. Te siły wewnętrzne wyznacza się dla zdefiniowanych przypadków i wartości oddziaływań, stosując różne poziomy analizy.

Problem, który podjął Doktorant jest w istocie zagadnieniem odwrotnym, gdzie na podstawie wartości pewnej mierzalnej cechy odpowiedzi konstrukcji można wnioskować o rzeczywistej wartości rozkładu obciążenia śniegiem (lub innego obciążenia atmosferycznego) na rozległym obszarze dachu. Obciążenie takie ma losowy charakter i wpływa na szukany stopień wykorzystania nośności obliczeniowej konstrukcji. Na tak podjęte zagadnienie wpływa także dokładność pomiaru wielkości monitorującej, możliwość wykonania odpowiedniego sensora i jego późniejsza trwałość.

Zaproponowana przez Autora wielkość monitorująca w postaci większego z dwóch kątów obrotu przekroju poprzecznego rygla dachowego jest innowacyjna i nie była dotychczas rozpatrywana jako wielkość monitorująca wyężenie konstrukcji ani w Polsce, ani na świecie. Świadczą o tym uzyskane przez Doktoranta zarówno polskie, europejskie, jak i amerykańskie patenty.

Dysertacja ma charakter analityczno-eksperymentalny. W pierwszej części Autor skupił się na udowodnieniu poprawności zaproponowanego podejścia, w którym na podstawie dwóch zmierzonych kątów obrotu oceniany jest stopień wykorzystania nośności obliczeniowej konstrukcji w warunkach obciążenia zmiennego, mającego nieumiejscowiony charakter (tj. mogący mieć różny rozkład przestrzenny w stosunku do konstrukcji). W drugiej części dysertacji Autor podjął budowę prototypu sensora mierzącego kąt obrotu przekroju konstrukcji z odpowiednią dokładnością, i to niezależnie od czynników zakłócających (jak na przykład zmiany temperatury), oraz posiadającego odpowiednią trwałość. Na tę część składa się także weryfikacja przydatności i zakresu stosowalności sensora, wraz z doświadczalnym wyznaczeniem mechanizmu korekcji temperaturowej wskazań.

Niżej podpisanemu bliższe są zagadnienia konstrukcji stalowych i ich analizy, więc recenzja ta jest skierowana przede wszystkim ku zagadnieniom związanym z innowacyjnością i skutecznością opracowanych przez Autora urządzeń pomiarowych i techniki monitorowania bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, a w mniejszym stopniu ku zagadnieniom związanym z elektroniką i teorią pomiarów.

Identyfikacja stopnia wykorzystania nośności obliczeniowej konstrukcji na podstawie pomierzonego większego kąta obrotu przekroju rygla dachowego jest przetestowana przez Autora dla jednoprzęsłowej belki swobodnie podpartej, jednonawowej ramy portalowej i dźwigara kratowego dwutrapezowego. Bezwymiarowym wskaźnikiem, zaproponowanym

przez Autora do oceny dokładności takiej identyfikacji jest tzw. „współczynnik przeciążenia”, który jest w istocie współczynnikiem korelacji pomiędzy dwiema zmiennymi. Jedną z nich jest stosunek maksymalnego naprężenia normalnego powstałego przy nierównomiernym obciążeniu do maksymalnego naprężenia normalnego przy obciążeniu jednorodnym. Drugą zmienną jest zaś stosunek większego kąta obrotu przekroju poprzecznego rygla przy obciążeniu nierównomiernym do kąta obrotu przekroju przy obciążeniu równomiernie rozłożonym.

Autor w przeprowadzonych analizach udowadnia, że wartość tego współczynnika korelacji jest względnie stała i oscyluje w przedziale $0,8 \div 1,10$, co pozwala z taką dokładnością wyznaczyć wartości naprężenia normalnego pod obciążeniem nierównomiernym, które są dla niego wskaźnikiem obliczeniowego wyężenia konstrukcji. Przeprowadzone przez Autora analizy parametryczne i obliczenia MES są poprawne i prowadzą do udowodnienia hipotezy, że zaproponowana nowa wielkość monitorująca (większy z dwóch kątów obrotu przekrojów konstrukcji) może służyć do wyznaczenia wielkości naprężenia normalnego od obciążenia o bliżej nieznanym rozkładzie i wartości.

Uproszczeniem zastosowanym w dysertacji jest jednak utożsamienie stopnia wykorzystania obliczeniowej nośności konstrukcji z wielkością maksymalną powstającego naprężenia normalnego. W rzeczywistości obliczeniowy warunek nośności polega nieprzekroczeniu przez powstającą siłę przekrojową nośności na działanie tej siły. Aby przyjęta w pracy miara naprężeniowa była tożsama z ogólnym warunkiem nośności konstrukcji należy wyraźnie zaznaczyć, że zachowanie ustroju konstrukcyjnego musi być liniowo sprężyste. Autor czyni co prawda założenie o liniowo-sprężystej charakterystyce materiału, lecz należy rozszerzyć go o brak występowania efektów II rzędu w rozpatrywanej konstrukcji i brak występowania węzłów podatnych. Ponieważ położenie największego momentu zginającego od obciążenia nierównomiernego zmienia się w stosunku do położenia ekstremalnego momentu od obciążenia równomiernie rozłożonego, dodać należy jeszcze warunek względnej stałości przekroju poprzecznego rygla dachowego i regularności rozstawu stężeń bocznych.

Z rozpatrywanych przez Autora konstrukcji wymogi te są praktycznie zawsze spełnione w ustrojach belkowych i kratownicach dachowych o niewielkim nachyleniu pasa górnego. W przypadku ram portalowych, należy zachować nieco większą ostrożność i szczegółowo sprawdzać wymienione wyżej ograniczenia.

Pragnę wyraźnie podkreślić, że sformułowane wyżej uwagi w żaden sposób nie podważają poprawności zaproponowanej przez Doktoranta metody. Wyrażają one jedynie potrzebę bardziej precyzyjnego określania granic, gdzie ta metoda - zdaniem niżej podpisanego - może być stosowana bez obaw już dziś (belki i kratownice dachowe w ustrojach słupowo ryglowych),

a które typy konstrukcji należy jeszcze traktować z nieco większą rezerwą (ramy portalowe) i przeprowadzać dla nich bardziej szczegółowe analizy stosowalności tej metody.

3.3 Ocena formalnej postaci rozprawy

Tytuł przedstawionej dysertacji jest szczegółowy i dobrze opisuje jej zawartość.

Na podstawie syntezy aktualnego stanu wiedzy Autor wyraźnie i trafnie zdefiniował cele pracy. Zakres badań umożliwiający realizację założonego celu został właściwie określony. Praca została podzielona na rozdziały wzajemnie ze sobą korespondujące i stanowiące logiczny wywód. Podsumowania zawarte w końcówkach poszczególnych rozdziałów (a niekiedy i podrozdziałów) stanowiących kolejne etapy badań, świadczą o umiejętności logicznego przedstawienia swojego wyводу i dużej dojrzałości badawczej Doktoranta.

Przegląd piśmiennictwa odnosi się do współczesnych prac naukowych.

Praca jest napisana starannie i ogólnie poprawną polszczyzną, od strony redakcyjnej jest właściwie skomponowana i starannie ilustrowana. W tekście występuje niewielka liczba usterek stylistycznych lub interpunkcyjnych. Nie wpływają one na merytoryczny poziom pracy, dlatego nie ma potrzeby ich tu przywoływać. Kilka niezręcznych określeń technicznych, które nie powinny pojawić się w dysertacji, przywołano w uwagach szczegółowych.

4. Uwagi szczegółowe

- Autor bardzo wiele razy (ponad stukrotnie!) używa w tekście określenia „wykorzystanie/wyczerpanie nośności konstrukcji”, co dla osób niezbyt blisko związanych z teorią projektowania konstrukcji budowlanych może kojarzyć się ze stanem ich fizycznego zniszczenia. W rzeczywistości chodzi tu o stopień wykorzystania „nośności obliczeniowej”, która to posiada jeszcze odpowiedni zapas bezpieczeństwa w stosunku do fizycznego stanu zniszczenia. Dla precyzyjnego opisu, jaki stan określa wielkość monitorująca należy używać sformułowania „nośność obliczeniowa”.
- Podobnie sformułowanie „wykorzystanie nośności od obciążeń zmiennych” (strona 5) jest błędne. Nośność konstrukcji jest cechą niezależną od oddziaływań.
- Wyniki analiz dotyczących rozpatrywanych konstrukcji (rozdział 3) są bardzo jasno przedstawione. Pożądane byłoby jednak bardziej szczegółowe opisanie założeń do tych analiz, szczególnie w przypadku ramy portalowej – jakie są warunki jej poparcia, czy węzły słup-rygiel i węzeł kalenicowy są sztywne, czy zastosowano pręty o stałym przekroju poprzecznym, a jeżeli nie (co sugerują Rys. 2-1, 3-4 oraz 3-10) to jaka była proporcja zmiany sztywności giętnej na długości prętów.

- Jednostką miary łukowej kąta obrotu w konstrukcjach budowlanych i programach do ich analizy jest radian [rad], lub wobec niewielkiej ich wartości miliradian [mrad], a nie stopień [°], który nie jest jednostką z układu SI.
- Nieco razi wielokrotne nadużywanie w tekście stopnia wyższego i najwyższego przymiotnika „dobry”, jak np.: „lepsza wielkość monitorująca”, „najlepsza miara”, itp. Charakterystyczną cechą obserwacji naukowej powinna być skłonność do ujmowania ilościowego zjawisk, dlatego warto pokusić się o bardziej precyzyjny opis, np.: „wielkość monitorująca mniej podatna na zakłócenia”, „bardziej dokładna miara”, itp.
- W dysertacji występuje kilkakrotne odwołanie do „dodatku 0”, którego jest brak. Zapewne chodzi o „załącznik 1”.
- Zauważyć należy nieco niejednolity styl opisów bibliograficznych i w przypadku odniesień do źródeł internetowych brak w wielu z nich dat ostatniego dostępu.
- Sformułowanie na stronie 23 („obciążenie jednostkowe będzie rosło”) jest niezręczne. Zapewne Autor miał na uwadze przyrost obciążenia równomiernie rozłożonego.

5. Podsumowanie oraz wniosek końcowy

Zaprezentowana praca rozpatruje zagadnienie zwiększenia skuteczności monitorowania bezpieczeństwa stalowych konstrukcji budowlanych z wykorzystaniem nowej wielkości monitorującej, którą jest większy z dwóch kątów obrotu przekroju poprzecznego dźwigara dachowego.

Sformułowany problem jest istotny z praktycznego punktu widzenia i został postawiony po szerokiej analizie stanu zagadnienia, biorącej pod uwagę piśmiennictwo, aktualny stan wiedzy i rozwiązania stosowane w przemyśle. Autor trafnie rozwiązał postawione zagadnienie, najpierw udowadniając powiązanie pomiędzy zaproponowaną przez siebie nową wielkością monitorującą a stopniem wykorzystania obliczeniowej nośności konstrukcji, następnie formułując wymagania techniczne niezbędne dla bezprzewodowego, bezobsługowego i uniwersalnego sensora, potrzebnego do takiego pomiaru. W kolejnej fazie Autor zbudował prototyp odpowiedniego inklinometru, który poddał badaniom laboratoryjnym pod kątem dokładności wskazań, rozdzielczości i trwałości. Kończącym etapem była ponad czteroletnia faza testowania sensora i zaproponowanej metody na rzeczywistym obiekcie budowlanym.

Zaprezentowane podejście polegające na powiązaniu oceny bezpieczeństwa stalowych konstrukcji budowlanych z mierzonym z odpowiednią dokładnością kątem obrotu konstrukcji jest w pełni oryginalne, o czym świadczą dokonane zgłoszenia patentowe, zarówno polskie, jak i międzynarodowe, z których dwa zakończyły się już przyznaniem patentów. Także budowa

odpowiednio czułego inklinometru, spełniającego wymagania techniczne wynikające z przeprowadzonej analizy, jest oryginalnym osiągnięciem Autora. Należy wysoko ocenić przydatność w praktyce zaproponowanej przez Autora metody oceny bezpieczeństwa stalowych konstrukcji budowlanych.

Jasny wywód i logiczny sposób przedstawienia kolejnych etapów podjętych badań i analiz wskazują, że Autor potrafi w pełni wykorzystać swoją wiedzę i posiada umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Autor wykazał się osiągnięciami naukowymi w sensie interdyscyplinarnym, obejmującym dyscyplinę budownictwo (inżynieria lądowa i transport według nowej klasyfikacji) oraz dyscyplinę elektronika, będącej przedmiotem jego dotychczasowej działalności (automatyka, elektronika i elektrotechnika według nowej klasyfikacji).

Wszystko to oznacza, że recenzowana rozprawa spełnia w wyraźnym nadmiarem wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65. Poz. 595 z późniejszymi zmianami). Wnoszę o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr inż. Marcina Osiniaka do publicznej obrony.

Z uwagi na wysoki poziom recenzowanej rozprawy, jej praktyczną przydatność do oceny bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych na podstawie stosunkowo nielicznej liczby pomiarów, a także jej interdyscyplinarność, wnioskuję o jej wyróżnienie.

