

Bydgoszcz, 04 września 2025

Recenzent:

Dr hab. inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBS
Politechnika Bydgoska im. J.J. Śniadeckich
Katedra Konstrukcji Budowlanych i Mechaniki,
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska,
Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
Tel. +48 510 035 090
e-mail: maciej.dutkiewicz@pbs.edu.pl

Adresat Recenzji:

Rada Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja
i Transport Politechniki Rzeszowskiej,
Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej

**pt. „ PARAMETRYCZNE KSZTAŁTOWANIE NIEKONWENCJONALNYCH
FORM I KONSTRUKCJI FAŁDOWYCH BUDYNKÓW PRZEKRYTYCH
TRANSFORMOWANYMI POWŁOKOWYMI DACHAMI ”.**

1. Podstawa opracowania

Recenzja została opracowana na prośbę Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Rzeszowskiej, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Siwowskiego, wyrażoną w piśmie z dnia 06.06.2023 r., w którym przytoczono uchwałę Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Rzeszowskiej z dnia 04 czerwca 2025 r., powołującą mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej.

2. Przedmiot recenzji

Przedmiot recenzji stanowi rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej pt. „Parametryczne kształtowanie niekonwencjonalnych form i konstrukcji fałdowych budynków przekrytych transformowanymi powłokowymi dachami”, a jej promotorem jest dr hab. inż. Jacek Abramczyk, Prof. PRZ. Przesłana do oceny praca doktorska liczy wraz z załącznikami 141 stron oraz w wersji drukowanej zawiera 6 artykułów napisanych przez Doktorantkę lub we współautorstwie.

Praca liczy 13 rozdziałów, w tym: spis załączników i bibliografię. Praca napisana została w języku polskim, zawiera streszczenie w języku polskim i angielskim. Artykuły są napisane w języku angielskim. Układ pracy jest czytelny i sposób jej wydania poprawny.

3. Tematyka rozprawy

3.1. Przedmiot, cel i zakres rozprawy

Przedmiotem badań rozprawy są zagadnienia związane z geometrycznym i statyczno-wytrzymałościowym kształtowaniem ramowych konstrukcji podpierających niekonwencjonalne przekrycia powłokowe wykonane z cienkościennych transformowanych blach fałdowych.

Celem naukowym rozprawy jest opracowanie metod parametrycznego kształtowania form i struktur budynków z wykorzystaniem cienkościennych arkuszy trapezowych transformowanych w powłokowe przekrycia dachowe. Metody te umożliwiają pełne wykorzystanie ich właściwości geometrycznych i mechanicznych oraz zapewniają efektywną pracę statyczno-wytrzymałościową konstrukcji. W pracy zastosowano funkcje wieloparametrowe, które pozwalają na prowadzenie procesów optymalizacyjnych. Funkcje te opisują zależności między parametrycznym modelem projektowym definiowanym przez zmienne niezależne a mechanicznym modelem konstrukcji określanym przez zmienne zależne. Uwzględniono przy tym odpowiednio dobrane warunki brzegowe, które ograniczają zakres zmienności modeli i umożliwiają kształtowanie budynków oraz wiat o korzystnych właściwościach konstrukcyjnych. Dzięki temu możliwe było połączenie nietypowej formy przestrzennej z racjonalnym i efektywnym zachowaniem mechanicznym. W rezultacie opracowane procedury stanowią podstawę do tworzenia nowoczesnych rozwiązań architektoniczno-konstrukcyjnych.

Zakres pracy:

- wybór typu form budynków, przeznaczonych do analizy, a następnie parametryzacja wybranych typów form,

- wybór typów ustrojów konstrukcyjnych podpierających wyżej wymienione formy,
- wybór schematów statycznych, wykorzystanych dla przyjętych typów konstrukcji, następnie parametryzacja,
- poszukiwanie zależności pomiędzy ogólną formą budynku lub wiaty, postacią ustroju konstrukcyjnego i układem obciążeń, a pracą statyczno-wytrzymałościową i statecznościową analizowanego ustroju konstrukcyjnego,
- określenie przedziałów zmienności wartości zmiennych niezależnych, ewentualnie zmiennych zależnych prowadzących do uzyskania racjonalnej pracy konstrukcji,
- wykorzystanie techniki komputerowej w poszukiwaniu, definiowaniu i opracowywaniu zaobserwowanych zależności,
- opracowanie opisu zależności pomiędzy parametrami definiującymi formę i pracę statyczno-wytrzymałościową ustroju konstrukcyjnego, prowadzących do uzyskania efektywnej pracy tego ustroju i stosunkowo atrakcyjnej wizualnej formy budynku,
- przeprowadzenie badań, w tym symulacji komputerowych, a następnie opracowanie artykułów opisujących wyniki przeprowadzonych badań.

3.2. Charakterystyka poszczególnych rozdziałów rozprawy

Recenzowana rozprawa doktorska liczy 13 rozdziałów, w tym załączniki, bibliografia oraz streszczenie w języku polskim i angielskim. W prologu zostały omówione modele oraz charakterystyka artykułów stanowiących podstawę pracy doktorskiej. Rozdział drugi zawiera wykaz publikacji naukowych stanowiących rozprawę doktorską. Rozdział trzeci to wprowadzenie i uzasadnienie podjęcia tematu. Cel i zakres pracy został przedstawiony w rozdziale czwartym. W rozdziale piątym zawarto przegląd aktualnego stanu wiedzy dotyczący kształtowania niekonwencjonalnych form i konstrukcji fałdowych budynków. Metodologia, wyniki i wnioski z badań opisanych w poszczególnych publikacjach stanowią treść rozdziału szóstego. Rozdział siódmy zawiera podsumowanie i kierunki dalszych badań. Natomiast w rozdziale ósmym zawarto wykaz norm i literatury, w dziewiątym spis rysunków, w dziesiątym spis tabel, w jedenastym spis załączników. W rozdziale dwunastym znajduje się streszczenie w języku polskim, a w trzynastym w języku angielskim.

4. Merytoryczna ocena pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej pt. „Parametryczne kształtowanie niekonwencjonalnych form i konstrukcji fałdowych budynków przekrytych transformowanymi powłokowymi dachami” stanowi rozwiązanie zadania naukowego związanego z geometrycznym i statyczno-wytrzymałościowym kształtowaniem ramowych konstrukcji podpierających niekonwencjonalne przekrycia powłokowe.

Publikacja nr 1, p.t. „Complex Building Forms Roofed with Transformed Shell Units and Defined by Saddle Surfaces”, ma na celu przedstawienie procedury, która prowadzi do powstania niektórych modeli budynków. Kształtowane budynki charakteryzują się niekonwencjonalnymi formami fasad i dachów, gdzie ściany elewacji są nachylone wewnątrz, jak i na zewnątrz, a pojedynczy dach, składa się z sektorów powłok, które ułożone są w przestrzeni trójwymiarowej zgodnie z właściwościami powierzchni o ujemnej krzywiznie Gaussa.

Głównym przedmiotem publikacji nr 2, pt. „Unconventional building forms roofed with innovative structures arranged on regular surfaces with the negative Gaussian curvature” jest analiza możliwości kształtowania niekonwencjonalnych form budynków składanych, a w szczególności ich złożonych wielopłaszczyznowych fasad i wielopowłokowych dachów.

Celem publikacji nr 3, pt. „An Influence of Roof Lattice Girder Inclination on the Work of Structural Systems Supporting Shed Roof Sheeting” jest przedstawienie wyników analizy dotyczącej wpływu zmian nachylenia dźwigarów kratowych należących do płaskich ramowych układów konstrukcyjnych podpierających cienkościenne płaskiej blachy fałdowe na pracę wytrzymałościową i stateczność tych układów

Celem publikacji nr 4, pt. „Impact of Inclination of Girders and Columns on the Effort and Stability of Flat Bar Frames” jest analiza wpływu zmian nachylenia szeregu różnych, wybranych elementów płaskich układów konstrukcyjnych ram podtrzymujących różne przekształcone cienkościenne blachy fałdowe na stateczność ogólną i zmianę właściwości wytrzymałościowych elementów tych układów.

Celem publikacji nr 5 „An influence of column inclination on the work of plane bar structural systems supporting shed roof sheeting” jest przedstawienie wyników analizy wpływu zmian nachylenia słupów badanych konfiguracji ram pochodnych przeznaczonych do układów konstrukcyjnych wiat na pracę wytrzymałościową i

stateczność tych układów. Analiza ta dotyczy przekrojów prętów wszystkich elementów wchodzących w skład badanych ram pod kątem ich wybranych właściwości mechanicznych, a także pod kątem zdolności do zachowania stateczności ogólnej tych ram obciążonych równomiernie rozłożonymi obciążeniami charakterystycznymi dla wiat zadaszonych nominalnie płaskimi cienkościennymi blachami fałdowymi przekształconymi w kształty powłokowe.

Celem publikacji nr 6 pt. „Impact of Column Support Stiffness on the Mechanical Performance of Flat Frame Structural Systems Supporting Thin-Walled Folded Roofs” jest przedstawienie parametrycznego mechanicznego modelu ramy za pomocą analitycznego opisu bazującego na zależnościach zaobserwowanych w trakcie badań.

Do istotnych elementów pracy należą:

- procedura pozwalająca na parametryczne modelowanie form budowlanych o skomplikowanych giętych elewacjach i o wielosegmentowej konstrukcji dachu powłokowego. Oryginalnymi cechami opracowanej procedury są: ułożenie wielu przekształconych powłok konstrukcji dachu w przestrzeni trójwymiarowej zgodnie z właściwościami regularnej powierzchni siodłowej o ujemnej krzywiznie Gaussa, uzyskanie różnych nachyleń ścian elewacji względem pionu (publikacja nr 1: „Complex Building Forms Roofed with Transformed Shell Units and Defined by Saddle Surfaces”),
- opracowanie algorytmu umożliwiającego wyznaczenie innowacyjnych podstawowych żebrowanych ciągłych i pochodnych nieciągłych powłokowych konstrukcji dachowych. Cechą charakterystyczną prezentowanej metody jest to, że wierzchołki projektowanych modułów dachowych są generowane przy użyciu współczynników podziału, które przyjmują wartości z zakresu (0,1) w stosunku do wierzchołków referencyjnych sieci wielościanów (publikacja nr 2: „Unconventional building forms roofed with innovative structures arranged on regular surfaces with the negative Gaussian curvature”),
- przeprowadzenie procesu optymalizacji przekrojów poprzecznych elementów prętowych należących do symulowanych ram pod względem wyężenia tych elementów i ogólnej stateczności całych ram pracujących pod kilkoma wybranymi typami obciążeń charakterystycznych dla wiat (publikacja nr 3: „An Influence of Roof Lattice Girder Inclination on the Work of Structural Systems Supporting Shed Roof Sheeting”),

- procedura sprawdzania wpływu zmiany kształtu kolejnych płaskich ram pokrytych cienkościnnymi osłonami na właściwości geometryczne i mechaniczne elementów tych ram, opracowanie zestawu warunków optymalizujących wydajność przyjętych form ramy (publikacja nr 4: „Impact of Inclination of Girders and Columns on the Effort and Stability of Flat Bar Frames”),
- opracowanie jednoparametrowego modelu mechanicznego ramy płaskownikowej o ściśle określonym schemacie statycznym. Badane ramy składają się z dźwigarów kratowych i pojedynczych słupów rozgałęźnych (publikacja nr 6 „An influence of column inclination on the work of plane bar structural systems supporting shed roof sheeting”).

Autorski wkład Doktorantki w badania przedstawione w publikacjach

Publikacja 1 „Complex Building Forms Roofed with Transformed Shell Units and Defined by Saddle Surfaces”

Wkład mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej w opracowaniu tej publikacji wynosi 50% i obejmował: stworzenie narzędzia komputerowego służącego do generowania złożonych form architektonicznych opartych na powierzchniach siodłowych. Doktorantka była odpowiedzialna za: przełożenie założeń teoretycznych i analitycznego opisu koniecznych do pracowania kodu programu komputerowego umożliwiającego automatyzację działań; zaprojektowanie i napisanie algorytmów transformacji jednostek powłokowych charakteryzujących się ujemną krzywizną Gaussa; rozwinięcie opracowanie algorytmu umożliwiającego automatyczne łączenie jednostek w większe struktury przestrzenne; definiowanie parametrów modyfikujących formę; zakres weryfikacji został w całości przeprowadzony przez doktorantkę i obejmował: testowanie poprawności działania algorytmu na różnych konfiguracjach geometrycznych; ocenę spójności wygenerowanych powierzchni oraz ich łączenia w strukturach dachowych; analizę zgodności wyników z założeniami projektowymi; identyfikację ewentualnych ograniczeń i dopracowanie algorytmu na podstawie wyników testów.

Elementy innowacyjne opracowane przez doktorantkę to: stworzenie algorytmu generującego dachy z przekształconych modułów powłokowych, opartych na powierzchniach siodłowych; zaprojektowanie procedury przekształcania modułów przy zachowaniu ciągłości powierzchni oraz stabilności konstrukcji; integrację tych rozwiązań w formie analitycznych narzędzi umożliwiających wprowadzanie danych do programu

komputerowego, a następnie testowanie różnych wariantów projektowych siatkowych i wycinkowych powłok w czasie rzeczywistym; kontrola geometrii i parametrów;

Publikacja 2 „Unconventional building forms roofed with innovative structures arranged on regular surfaces with the negative Gaussian curvature”

Wkład mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej w opracowaniu tej publikacji wynosi 50% i obejmował: przygotowanie wariantowe modeli struktur powłokowych do badań nad układami nośnymi o nietypowej geometrii; projektowanie układów siatkowych rozmieszczanych na powierzchniach siodłowych, stworzenie narzędzi umożliwiające dopasowanie tych struktur do geometrii powierzchni; przeprowadzenie testów działania komputerowego programu opracowanego przez promotora oraz poprawności generowanych układów geometrycznych; sprawdzenie spójności wygenerowanych powierzchni, poprawność połączeń elementów struktury, ciągłości geometrycznej i stabilności projektowanych dachów; analizie rezultatów i sformułowaniu wniosków; przygotowanie części grafik i ilustracji obrazujących wyniki badań;

Publikacja 3 „An Influence of Roof Lattice Girder Inclination on the Work of Structural Systems Supporting Shed Roof Sheeting”

Wkład mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej w opracowaniu tej publikacji wynosi 50% i obejmował: przygotowanie geometrii analizowanych układów konstrukcyjnych; opracowanie wariantów geometrii płaskich układów poprzecznych, w tym kratownic o różnym nachyleniu; modelowanie numeryczne i analiza MES: wykonanie obliczeń numerycznych z wykorzystaniem programu Robot Structural Analysis; wykonanie serii symulacji dla różnych wariantów pochylenia kratownic; opracowanie wyników: analiza otrzymanych wyników, porównanie wyników między wariantami, identyfikacja zależności konstrukcyjnych, przygotowanie zestawienia wyników, wykresów oraz ilustracji; współudział w redakcji publikacji: udział w opracowaniu struktury artykułu, redakcji tekstu oraz przygotowaniu części opisowych związanych z analizą wyników, odpowiadała za korektę danych i ich poprawną prezentację graficzną;

Publikacja 4 „Impact of Inclination of Girders and Columns on the Effort and Stability of Flat Bar Frames”

Wkład mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej w opracowaniu tej publikacji wynosi 33% i obejmował: współuczestnictwo w opracowaniu założeń badania, uczestnictwo w ustalaniu zakresu wariantów geometrycznych i parametrów technicznych analizowanych układów; przeprowadzenie samodzielnej kontroli wyników obliczeń i analiz numerycznych, weryfikowanie poprawności interpretacji wyników pod kątem zgodności

z założeniami projektowymi oraz poprawności geometrycznej; analiza stabilności, porównywanie zmienności przypadków obliczeniowych rozpatrywanych w odpowiedniej kolejności i w przyjętych zakresach, weryfikowanie wyników odpowiednio do przyjętych warunków brzegowych.

Publikacja 6 „Impact of Column Support Stiffness on the Mechanical Performance of Flat Frame Structural Systems Supporting Thin-Walled Folded Roofs”

Wkład mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej w opracowaniu tej publikacji wynosi 50 % i obejmował: opracowanie koncepcji sposobu dokonywania zmian sztywności podpór słupów i sposobu badania wpływu tych zmian na pracę całego układu, zdefiniowanie zmiennych analizowanych w badaniach; współtworzenie z Promotorem modeli obliczeniowych konstrukcji ramowych: przygotowanie danych wejściowych, budowa modeli dla różnych konfiguracji sztywności podpór; dobór typu prowadzonych analiz dotyczących właściwości geometrycznych i statyczno-wytrzymałościowych tworzonych modeli, interpretacja danych uzyskanych z obliczeń: porównanie odpowiedzi układów konstrukcyjnych na zmienne warunki podparcia, analiza wpływu sztywności na siły wewnętrzne, przemieszczenia i stabilność układu; przygotowanie środowiska analitycznego i narzędzi wykorzystywanych w badaniach; selekcja, przygotowanie danych wynikowych, uporządkowanie wyników w formie tabel, wykresów i zestawień; przegląd opracowanego manuskryptu pod kątem poprawności technicznej, zgodności wniosków z przedstawionymi wynikami; opracowanie wykresów, diagramów oraz wizualizacja modeli konstrukcyjnych, dbanie o jakość graficzną, czytelność i przejrzystość artykułu;

Uwagi krytyczne i uwagi do dyskusji

Uwagi edytorskie:

1. Na stronie 33 jest napisane: „Complex Building Forms Roofed with Transformed Shell Units and Defined by Saddle Surfaces” – **Załącznik A1 [17-94]**.

Co oznaczają liczby w nawiasie [17-94] oraz przy kolejnych opisach publikacji?

Publikacja 1

1. W pracy przedstawiono ograniczoną liczbę przypadków – czy metoda jest uniwersalna i czy procedura może być rozszerzona poza zaprezentowane sieci?

2. Jakie są ograniczenia procedury i kryteria graniczne, które mogą uniemożliwić poprawne zastosowanie procedury, np. nadmierne złożenie formy, niemożność zapewnienia stateczności konstrukcji?

3. Jaka jest efektywność konstrukcyjna wygenerowanych form, np. minimalizacja zużycia materiału, optymalizacja kształtu pod kątem obciążeń?

4. Jakie kryteria decydowały o wyborze konkretnych przykładów – czy były one przypadkowe, czy reprezentatywne dla całej klasy rozwiązań?

Publikacja 2

1. Na ile zaproponowana metoda poszerza spektrum możliwych form architektonicznych w stosunku do klasycznych algorytmów siatek powłokowych?

Publikacja 3

1. Proszę podać szczegóły procedury optymalizacji, algorytmu iteracyjnego i stopnia zbieżności obliczeń.

2. Zależność wyników od przyjętych założeń geometrycznych i materiałowych – czy zastosowanie wyłącznie stali S235 oraz sztywnych ram prostokątnych może znacząco ograniczać możliwość uogólnienia wniosków?

Publikacja 4 i 5

1. Obciążenia przyjęto w formie równomiernie rozłożonej na górnym pasie kratownicy; wg wyjaśnienia na stronie 80: „...zaprezentowałam w pracy niekonwencjonalne podejście do definiowania obciążeń charakterystycznych rozpatrywanych ram podpierających dolne półki fałd przekształconego poszycia dachowego, jako obciążeń rozłożonych równomiernie wzdłuż długości pasa górnego dźwigara ramy dachowej, gdzie wszystkie fałdy podparte są dodatkowymi płytami mocowanymi bezpośrednio do dźwigara zamiast stosowania płatwi przenoszących siły skupione na połączenia kratownicowe”.

Proszę o szczegółowe wyjaśnienie przyjętego rozwiązania blachy trapezowej opartej na dźwigarze.

2. Optymalizacja przekrojów – proszę o przedstawienie szczegółów procedury algorytmicznej, np. kryteriów zatrzymania iteracji, zakresów zmienności parametrów.

3. Czy planowana jest w przyszłości analiza wpływu dodatkowych czynników, takich jak połączenia węzłowe?

Publikacja 6

1. Jakie dokładne przyjęto warunki obciążeń?

2. Na stronie 113 Doktorantka napisała: „W wyniku analiz dokonanych wspólnie z promotorem, opracowałam nowy jednoparametrowy model mechaniczny ramy płaskownikowej...”. Proszę o wyjaśnienie pojęcia: „rama płaskownikowa”.

3. Dlaczego wybrano wartości sztywności w zakresie 50–500 kNm/deg?

5. Sentencja recenzji

Recenzowana rozprawa Pani mgr inż. Katarzyny Chrzanowskiej pt. „Parametryczne kształtowanie niekonwencjonalnych form i konstrukcji fałdowych budynków przekrytych transformowanymi powłokowymi dachami”, spełnia wymogi stawiane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (późniejszymi zmianami) oraz w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z 19 stycznia 2018 r., a jej wyniki mają znaczenie praktyczne. Wnoszę o dopuszczenie recenzowanej rozprawy do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Maciej Dutkiewicz, prof. PBŚ