

Autoreferat

Spis treści

1. Informacje o wnioskodawcy	2
2. Osiągnięcie naukowe przedstawione do oceny.....	2
3. Omówienie osiągnięcia naukowego	3
4. Wykaz innych opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych	11
5. Rozdziały w monografiach naukowych.....	13
6. Referaty na międzynarodowych konferencjach tematycznych.....	13
7. Referaty na krajowych konferencjach tematycznych	14
8. Krajowe nagrody za działalność naukową.....	14
9. Inne nagrody i odznaczenia	14
10. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego	14
11. Stypendia i staże.....	15
12. Ważniejsze wykonane ekspertyzy i inne opracowania na zamówienie	15
13. Porozumienia o współpracy naukowo technicznej	16
14. Recenzowanie publikacji.....	16
15. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski	16
16. Wskaźniki dokonań naukowych.....	18
17. Podsumowanie wniosku	19

1. Informacje o wnioskodawcy

Studia magisterskie ukończyłem w 1975 roku na Wydziale Budownictwa Lądowego Politechniki Łódzkiej. Za pracę magisterską "Zastosowanie metody elementów skończonych do statyki układów linowych" otrzymałem nagrodę Ministra Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych. Bezpośrednio po ukończeniu studiów zostałem zatrudniony w Instytucie Inżynierii Budowlanej Politechniki Łódzkiej. Stopień doktora nauk technicznych uzyskałem w 1984 roku na tym samym wydziale, który wcześniej przekształcono w Wydział Budownictwa i Architektury. Za rozprawę doktorską "Wpływ wzajemnego oddziaływania wyboczenia miejscowego i ogólnego na stan graniczny pręta cienkościennego" zostałem nagrodzony przez Ministra Budownictwa, Gospodarki przestrzennej i Komunalnej. W wyniku reorganizacji wydziału w 1990 roku utworzono Katedrę Konstrukcji Stalowych, której pierwszym kierownikiem był prof. zw. dr inż. Jan Bródka i gdzie zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta. Po kolejnej reorganizacji przeniesiono mnie do Zakładu Konstrukcji Stalowych Katedry Mechaniki Konstrukcji, gdzie pracuję do dziś na tym stanowisku. W historii zespołu naukowo-dydaktycznego konstrukcji stalowych w Politechnice Łódzkiej 1 pracownik uzyskał tytuł profesora (prof. zw. dr inż. Jan Bródka), 1 pracownik uzyskał stopień doktora habilitowanego (dr hab. inż. Rafał Garncarek), a 7. pracowników stopień doktora nauk technicznych.

2. Osiągnięcie naukowe przedstawione do oceny

Jako osiągnięcie naukowe uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, które uznaję za mój znaczący wkład w rozwój nauk technicznych (obszar nauk technicznych, dziedzina nauk technicznych, dyscyplina budownictwo), wskazuję dzieło opublikowane w całości, w rozumieniu art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), poświęcone **zachowaniu się belek z kształtowników giętych stężonych poszyciem z blach trapezowych.**

Publikacja stanowiąca osiągnięcie naukowe:

Goczek J.: Belki z kształtowników giętych stężone poszyciem z blach fałdowych. Monografia. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2013 (20 pkt. MNiSW).

3. Omówienie osiągnięcia naukowego

3.1. Przedmiot badań

Zagadnienia związane z elementami z kształtowników profilowanych na zimno z blach cienkich nie znajdują się w głównym nurcie badań nad zachowaniem się elementów konstrukcji stalowych. Wynika to z węższego zakresu ich zastosowania oraz dużego stopnia skomplikowania opisu ich zachowania. Występują w tym przypadku często zjawiska, które są rzadkie lub w ogóle nie występują w przypadku elementów o przekrojach walcowanych na gorąco czy spawanych, np. mniej rozpoznana postać wyboczenia dystorsyjnego czy interakcja trzech postaci wyboczenia. Specyficzne zachowanie się elementów z kształtowników giętych, było powodem odrębnego sformułowania reguł obliczania ich nośności w PN-EN 1993-1-3.

W przedstawianej do oceny monografii zebrano wyniki badań i opisano złożone zachowanie się belek z kształtowników giętych współpracujących z poszyciem z blachy fałdowej oraz zwrócono uwagę na konieczność właściwego modelowania tego typu układu konstrukcyjnego. Rozpatrzono następujące jego uwarunkowania:

- dobór modelu zachowania się materiału,
- wybór modelu belki (prętowy, powłokowy),
- wybór modelu poszycia (prętowy, powłokowy),
- sposób oddziaływania na belkę obciążonego powierzchniowo poszycia, jednocześnie stanowiącego stężenie powierzchniowe szkieletu hali,
- odwzorowanie oddziaływań w strefie kontaktu poszycia z pasem belki,
- warunki podparcia belki uwzględniające skrępowanie przez poszycie jednej z jej stopek oraz przez inne stężenia prętowe,
- warunki podparcia belki ciągłej na podatnej konstrukcji wsporczej.

W pracy były badane granice stosowalności poszczególnych modeli. Wykazano, że kształtowniki gięte o przekrojach otwartych nie spełniają założeń teorii pręta cienkościennego i powinny być traktowane jak powłoki utworzone z płaskiego konturu przez tworzącą prostopadłą do jego płaszczyzny, który to kontur nie utrzymuje kształtu. Na powłoki te więzy zewnętrzne nałożone są w szczególny sposób.

3.2. Dobór modelu zachowania się materiału

Opisano liniowe i nieliniowe modele materiału oraz znane sposoby podejścia przy modelowaniu jego charakterystyki. Więcej uwagi poświęcono przypadkowi, gdy związek

między naprężeniami i odkształceniami σ - ε jest nieliniowy w pełnym zakresie. W Załączniku C Eurokodu 3-1-4 podano wytyczne modelowania nieliniowej charakterystyki materiału. Jest to zmodyfikowana krzywa Ramberga-Osgooda opisująca zależność odkształcenia-naprężenia w pełnym zakresie. Nieliniowa zależność odkształcenia-naprężenia jest zapisana funkcjami $\varepsilon(\sigma)$, w której naprężenie σ jest uwikłane i nie jest możliwe uzyskanie funkcji odwrotnej $\sigma(\varepsilon)$ o rozwiązaniu zamkniętym. Powoduje to konieczność aproksymacji tej funkcji, jeśli podstawą dalszych obliczeń jest stan odkształcenia przekroju, a na jego podstawie poszukuje się odpowiadającego mu stanu naprężeń normalnych. W celu oceny przydatności zaproponowanej metody opisu modelu materiału wykonano własną aproksymację w przypadku wybranej odpornej na korozję stali austenitycznej. Najlepsze dopasowanie krzywych uzyskano przy wielomianie 6-tego stopnia. Następnie porównano zależność odkształcenia-naprężenia Ramberga-Osgooda z dwiema odwrotnymi zależnościami naprężenia-odkształcenia, które ją aproksymują. Skutkiem dopasowania zależności jednym wielomianem w pełnym zakresie odkształceń, od 0 do wartości ε_u , jest niedostateczne dopasowanie w początkowym przedziale wartości odkształceń (0; $\varepsilon_{0,2}$) oraz nadmierne falowanie.

3.3. Zachowanie się belek o przekrojach klasy 4

Zachowanie się belek przy zginaniu może być liniowe lub nieliniowe. Zależy to od liniowości lub nieliniowości charakterystyki materiałowej oraz od ewentualnego pojawienia się nieliniowości geometrycznej. Zachowanie się belek przy zginaniu określa podstawowy związek między momentem zginającym M a krzywizną Φ (ścieżka równowagi statycznej zginanego przekroju). W rozdziale 2 porównano związki między momentem i krzywizną przy zmieniających się modelach materiału oraz przy zmieniających się jego opisach. Porównań dokonano w przypadku przekroju prostokątnego z wybranej stali austenitycznej. Lepsze przybliżenie związku między względnym momentem zginającym m (w tym przypadku momentem zginającym odniesionym do momentu początku uplastycznienia), a względną krzywizną φ (w tym przypadku krzywizną belki odniesioną do krzywizny początku uplastycznienia), otrzymanego z aproksymacji wielomianem 6-tego stopnia zmodyfikowanej krzywej Ramberga-Osgooda, uzyskuje się w zakresie małych wartości odkształceń. Jest to istotne w przypadku belek o przekrojach klas 3 i 4. W przypadku elementów z kształtowników giętych w nielicznych przypadkach zezwala się na powstanie odkształceń większych od $\varepsilon_{0,2}$. Zatem modelowanie materiału, z którego wykonane są takie kształtowniki, wymaga

szczególne staranne dopasowanie krzywych naprężenia-odkształcenia do wyników prób w przedziale początkowym odkształceń od 0 do $\varepsilon_{0,2}$.

W przypadku belek o przekrojach klasy 4 ze stali konstrukcyjnych zwykłej jakości przyjmuje się liniowe zachowanie się materiału, a powodem nieliniowości związku $M-\Phi$ jest stan nadkrytyczny ścianek przekroju poprzecznego. Deformacja płytowych ścianek przekroju klasy 4 oznacza stopniową utratę jego sztywności przy zginaniu EI wraz ze wzrostem obciążenia, a tym samym krzywizny belki. Zmienia się ona, w kierunku podłużnym belki, wraz ze zmianą momentu zginającego. W przypadku belek statycznie wyznaczalnych wpływa to tylko na ich ugięcia. W belkach statycznie niewyznaczalnych zmiana sztywności przy zginaniu EI wpływa na deformację oraz na rozkład sił wewnętrznych, w tym momentu zginającego.

W rozdziale 5 przeanalizowano wpływ tej zmienności, wykorzystując metodę krzywiznową użyteczną, gdy związek między momentem a krzywizną jest nieliniowy. W celu zilustrowania metodyki postępowania w przypadku wystąpienia stanu nadkrytycznego wybrano cienkościenną belkę o przekroju RHS poddaną zginaniu względem osi $y-y$. Zależność $M-\Phi$ otrzymano numerycznie dla przyjętego przekroju. Wyprowadzenie analityczne tego związku nie jest możliwe z powodu złożoności sposobu wyznaczania szerokości współpracujących ścianek oraz konieczności iteracji. Zaproponowano jego aproksymację, liniową w poszczególnych stanach zachowania się belki. Wyprowadzono funkcje linii ugięcia belki obciążonej równomiernie, w jej przedziałach będących w różnych stanach zachowania się (zależnie od rozwoju stanu nadkrytycznego przekroju poprzecznego). Następnie analizę poszerzono o inne przypadki obciążenia oraz o dwa schematy statycznie niewyznaczalne.

3.4. Modelowanie belek z kształtowników giętych

Najprostszym i powszechnie stosowanym modelem belki jest model prętowy. W rozdziale 8 poddano krytyce standardowe podejście do projektowania płatwi ciągłych z kształtowników giętych, wykorzystujące model prętowy i przyjmujący wszystkie podpory niepodatne. Ten prosty model obliczeniowy jest odpowiedni jedynie w przypadku płatwi usytuowanych w pobliżu słupów konstrukcji wsporczej. Podpory pozostałych płatwi są podatne, co wynika ze sprężystych ugięć konstrukcji wsporczej, najczęściej w postaci rygli ram płaskich. Występuje w tym wypadku zróżnicowanie podatności podpór płatwi rozmieszczonych na długości konstrukcji wsporczej. Model obliczeniowy uwzględniający różną podatność podpór płatwi dostarcza wyników, które trudno jest zignorować przy ocenie ich nośności. Duża

różnica podatności podpór wystąpi w przypadku hal o dużej rozpiętości, a niewielkim rozstawie głównych układów poprzecznych. Wtedy różnice wartości przęsłowych i podporowych momentów zginających w płatwiach różnie usytuowanych mogą wynieść nawet kilkadziesiąt procent. Prawidłowe wartości można uzyskać z trójwymiarowego modelu prętowego MES. Płatwie wykonane z kształtowników klasy 1 i 2 wykazują mniejszą wrażliwość na sprężyste osiadania podpór z powodu dozwolonych obrotów w przegubach plastycznych. Płatwie z kształtowników giętych, łączone na podporach na zakład, najczęściej o przekrojach klasy 4, nie wykazują rezerw plastycznych, które mogłyby zabezpieczyć przed poważnymi skutkami wadliwości przyjętego modelu obliczeniowego przy ocenie ich nośności.

Zwrócono uwagę na konieczność uwzględniania wpływu prętowego stężenia przeciwskrętnego na rozkład sił wewnętrznych w płatwiach. Przedstawiono własny, opracowany ze współpracownikiem, prętowy model MES takiego stężenia, a następnie wykonano obliczenia numeryczne przykładowej hali jednonawowej. Rozważono cztery jego warianty konstrukcyjne, różniące się sztywnościami podłużnymi EA prętów ukośnych. Wykazano, że dodawane konstrukcyjnie pręty ukośne stężenia przeciwskrętnego istotnie zmieniają schemat statyczny płatwi ciągłej.

Jak wiadomo większość rodzajów przekrojów prętów z kształtowników giętych ulega spaceniu przy skręcaniu, ich smukłe ścianki tracą stateczność miejscowo, a kontur zniekształca się (dystorsja). Model prętowy nie odwzorowuje złożonego zachowania się belki z kształtownika giętego, zwłaszcza skrępowanej przez poszycie. W przypadku zginanych i skręcanych belek z kształtowników giętych nie jest utrzymane założenie o zeszywnieniu konturu przekroju poprzecznego, co uniemożliwia zastosowanie klasycznej teorii pręta cienkościennego. Przeprowadzono studium numeryczne zachowania się pod obciążeniem belki z zetownika giętego stężonej poszyciem, wykorzystując jej modele, zbudowane z powłokowych elementów skończonych. Badano deformację kształtu przekroju poprzecznego przy zmieniających się grubościach ścianek kształtownika. Aby deformacje przekrojów płatwi z poszczególnych zetowników mogły być porównywane ze sobą, zwiększono obciążenie q_{Ed} proporcjonalnie do zmiany ich sztywności przy zginaniu EI_y . Otrzymane deformacje przekroju poprzecznego belki porównano z deformacją, gdy postanowiono utrzymać założenie o zeszywnieniu konturu. W tym celu w kolejnych płaszczyznach, prostopadłych do nieodkształconej początkowej osi belki, powiązано ze sobą sztywno przemieszczenia węzłów w każdej z płaszczyzn osobno. Przy czym powiązано ze sobą wyłącznie przemieszczenia liniowe węzłów w płaszczyźnie prostopadłej do osi pręta,

a jednocześnie zapewniono ich pełną swobodę przy deformacji w kierunku podłużnym do tej osi. Wprowadzenie takich warunków sztywnej kompatybilności na wybrane stopnie swobody jest równoznaczne z utworzeniem rozmieszczonych regularnie i gęsto na długości belki nieważkich membran. Z porównania deformacji wynika, że zetownik gięty, o przyjętych w analizie proporcjach wymiarowych, spełnia założenia teorii pręta cienkościennego dopiero przy grubości około 8 mm. Przy braku ustalonej granicznej wartości poprzecznej deformacji wniosek ten jest intuicyjny. Tak jak nie udaje się ustalić ścisłej granicy pomiędzy prętami o przekroju zwartym a cienkościennym, tak nie jest jasne, ile wynosi najmniejsza grubość ścianki w danym przekroju, wystarczająca do utrzymania założeń teorii pręta cienkościennego o przekroju otwartym.

Inne badanie przeprowadzono używając programu CUMFSM wykorzystującego metodę FSM. W programie tym jest przeprowadzana analiza wyboczeniowa pręta o dowolnym przekroju poprzecznym typowym w przypadku kształtowników giętych (rozwiniecie profilu do taśmy). Obciążeniem pręta jest bryła naprężeń normalnych przyłożona w przekrojach końcowych pręta. W wyniku obliczeń, wraz ze zmieniającymi się długościami półfal deformacji, otrzymuje się wartości bifurkacyjnego naprężenia krytycznego w postaci mnożnika do zastosowanego obciążenia. Ze zmianą długości półfali deformacji zmienia się również postać niestateczności. W wyniku analizy otrzymuje się wykres zależności bifurkacyjnego naprężenia krytycznego w funkcji długości półfali postaci wyboczenia. Mnożnik krytyczny do obciążenia w postaci bryły naprężeń w przekrojach podporowych pozwala obliczyć wartość naprężenia krytycznego σ_{cr} trzech postaci wyboczenia (miejscowego, dystorsyjnego i ogólnego), która może być użyta do oceny nośności belki, alternatywnie do wartości uzyskanych na podstawie zapisów norm, np. PN-EN 1993-1-3. W przypadku wyboczenia miejscowego, jeśli zamierza się wykorzystać nośność nadkrytyczną, należy na podstawie $\sigma_{cr,A}$ obliczyć bezpośrednio smukłość płytową ścianki, a następnie jej szerokość współpracującą b_{eff} . Wartość naprężenia krytycznego wyboczenia miejscowego otrzymana z norm jest najczęściej zaniżona, ponieważ jej obliczanie przeprowadza się przy założeniu swobodnego podparcia wszystkich ścianek na ich brzegach. W metodach FEM i FSM odwzorowuje się wzajemne usztywnianie się ścianek tworzących układ. Stąd otrzymane na tej drodze naprężenie krytyczne jest większe i co istotne, o wartości bliższej rzeczywistej. W przypadku wyboczenia dystorsyjnego i giętnoskrętnego, wartości naprężeń krytycznych, odpowiednio $\sigma_{cr,B}$, $\sigma_{cr,C}$, mogą być również wykorzystane do obliczania odpowiednich smukłości względnych wyboczenia, a następnie nośności belek. Niezbędne jest jedynie przypisanie w obliczeniach odpowiedniej krzywej wyboczeniowej.

Aby uwzględnić wpływ stanu nadkrytycznego ścianek i dystorsję kształtu przypisuje się przekrojowi poprzecznemu zredukowane charakterystyki wytrzymałościowe, uwzględniające dwie postacie wyboczenia, miejscową i dystorsyjną.

3.5. Warunki podparcia belki uwzględniające skrępowanie przez poszycie

W rozdziale 6 omówiono obudowę z blach trapezowych z uwzględnieniem jej funkcji stężenia powierzchniowego szkieletu stalowego hali. Opisano jej cechy, z których wynikają więzy nakładane na wspierającą ją belki. W przypadku belek z kształtowników giętych duża sztywność tarczowa przepon, złożonych z poszycia i połączonych z nim belek, pozwala przyjąć pełne podparcie boczne tych belek w jego płaszczyźnie. Sztywność płytowa poszycia jest skończona, podobnie jak sztywność obrotowa jego połączenia z belką. Sprawia to, że więzy nałożone na obrót w linii połączenia mają również skończoną sztywność. Temu zagadnieniu poświęcono szczególną uwagę. Opisano normowy i doświadczalne sposoby wyznaczania sztywności obrotowej C_D . Zwrócono uwagę na przydatność symulacji numerycznej doświadczalnego sposobu wyznaczania tej sztywności, ponieważ liczba parametrów zagadnienia jest bardzo duża, a wytyczne normowe obejmują ograniczoną liczbą przypadków.

Opisano własny (ze współautorem) zaawansowany model numeryczny pozwalający na symulację komputerową standardowego badania doświadczalnego, zalecanego w Załączniku A normy PN-EN 1993-1-3 wyznaczania sztywności stężenia przeciwskrętnego. Model numeryczny zbudowany w programie Abaqus z elementów skończonych: powłokowych, objętościowych, w tym hipersprężystych oraz kontaktowych, wykorzystuje najbardziej zaawansowane techniki obliczeniowe. Zakres badań ograniczono do budowy 36 modeli o parametrach zgodnych z dostępnymi danymi badań doświadczalnych. Porównanie wyników otrzymanych numerycznie z doświadczalnymi umożliwiło ocenę przydatności symulacji komputerowej.

3.6. Sposób oddziaływania na belkę obciążonego powierzchniowo poszycia

W rozdziale 7 opisano zachowanie się belek stężonych poszyciem, w tym model według PN-EN 1993-1-3. Przeprowadzono analizę wpływu sztywności obrotowej C_D na obciążenie graniczne $q_{ult,Ed}$ w stanie granicznym nośności (ULS) na przykładzie belki wolnopodpartej stężonej przez poszycie z blachy trapezowej, bez pośrednich bocznych stężeń prętowych pasa

swobodnego, obciążonej równomiernym obciążeniem odrywającym, przyłożonym w środku szerokości stopki kształtownika. Przyjęcie takich warunków podparcia i sposobu obciążenia, w obliczeniach nośności, wymaga uwzględnienia momentu zginającego bocznie swobodną stopkę belki $M_{fz,Ed}$.

Z przedstawionej analizy wynika, że stężenie przeciwskętne belki, nawet niepełne, znacznie podnosi jej nośność. Obliczanie nośności belki z kształtownika giętego, sprężystie stężonej ze względu na obrót, jest pracochłonne i czasem zachodzi pokusa pominięcia tego wpływu, jak się to czyni w przypadku belek z kształtowników walcowanych na gorąco. Należy zaznaczyć, że analiza została przeprowadzona w szczególnym przypadku belki wolnopodpartej bez stężeń prętowych w przęśle przy obciążeniu odrywającym poszycie. Wpływ podparcia ze względu na obrót C_D maleje w przypadku belek ciągłych, ze stężeniami prętowymi w przęśle oraz wszystkich belek przy obciążeniu dociskowym według PN-EN 1993-1-3. Zapisy tej normy budzą zastrzeżenia i nie obejmują większości zupełnie typowych sytuacji projektowych. Ich ulepszenie wymaga dalszych badań zmierzających do poszerzenia i uściślenia tych zapisów.

Projektowanie płatwi z kształtowników giętych powinno uwzględniać skłonność do obrotu ich przekrojów poprzecznych, w tym podporowych. Reakcje boczne wywołane powierzchniowym obciążeniem poszycia i wzajemnym oddziaływaniem układu poszycie–płatw, mogą osiągnąć znaczne wartości, zwłaszcza w przypadku płatwi z zetownika. Górna reakcja boczna (R_2) wymaga szczególnej uwagi przy projektowaniu, w związku z jej uniesieniem względem płaszczyzny oparcia na konstrukcji wsporczej oraz w związku ze stosowaniem stężeń pośrednich pasa swobodnego. Wyniki analiz pozwalają zakwestionować kilka rozwiązań oparc takich płatwi powszechnie stosowanych.

W pracy przedstawiono wyniki własnej (ze współpracownikami) analizy porównawczej wartości reakcji bocznych wyznaczonych według PN-EN 1993-1-3 z wartościami tych reakcji otrzymanymi z modeli powłokowych MES. Studium ograniczono do płatwi jednoprzęsłowej, wolnopodpartej, o rozpiętości 6 m, z zetownika oraz ceownika.

Stwierdzono, że przyjęty w PN-EN 1993-1-3 model obliczeniowy płatwi budzi poważne wątpliwości. Otrzymane na jego podstawie wartości reakcji bocznych są niedoszacowane lub przeszacowane zależnie, o której reakcji jest mowa oraz od rodzaju przekroju poprzecznego. Obliczane według tej normy wartości R_2 są zawyżone w porównaniu do wartości uzyskanych z analizy numerycznej w przypadku zetownika, a zaniżone w przypadku ceownika. Model, wystarczająco dokładny przy ustalaniu stanu wyteżenia swobodnej stopki płatwi (belka na sprężystym podłożu), zastosowany do obliczania reakcji bocznych dostarcza wątpliwych

wartości. Jeśli obciążenie boczne swobodnej stopki jest ustalane na podstawie schematu belki na podłożu sprężystym, to odpowiednia część tego obciążenia wywołuje reakcje boczne odpowiednio górną i dolną. Wadliwie jest przyjęty współczynnik ζ , wyrażający dysproporcję między tymi reakcjami. Suma ich wartości jest poprawna, a różnica już nie. Różnica między reakcją górną i dolną rośnie (zwiększa się górna), gdy zastosowane są stężenia boczne pasa swobodnego. Obszerne badania opisane w pracach innych badaczy wskazują na istotne parametry zagadnienia, których nie uwzględniają postanowienia PN-EN 1993-1-3. Są to: wpływ sztywności postaciowej poszycia (model normowy przyjmuje jej nieskończoną wartość) oraz współpracy elementów w układzie poszycie-płatwie-konstrukcja wsporcza.

3.7. Podsumowanie

Wartością monografii jest zebranie i zamieszczenie w jednej publikacji informacji, od podstawowych do zaawansowanych, o zachowaniu się belek z kształtowników giętych, skrępowanych w szczególny sposób. Tematyka publikacji jest wąska, ale stosowanie elementów tego rodzaju jest coraz powszechniejsze. Czytelnikowi uzmysłowiono, że element, który jest traktowany jako prętowy, w rzeczywistości zachowuje się jak powłokowy.

Uproszczenie, polegające na przypisaniu cech trójwymiarowego elementu powłokowego przekrojowi poprzecznemu elementu prętowego, wydaje się być prostym i praktycznym sposobem opisu jego zachowania się. Przy czym uwzględnienie w tym opisie wyników doświadczeń, czy też symulacji numerycznych, jest uzasadnione, a nawet nieuniknione. Przykładem tego jest wywodząca się z doświadczeń półempiryczna teoria nośności nadkrytycznej cienkich ścianek płytowych czy krzywa wyboczenia dystorsyjnego, czy też wyznaczanie sztywności skrępowania przeciwskrętnego belek stężonych przez poszycie z blach trapezowych.

Zależność momentu-krzywizny jest związkiem koniecznym przy określaniu odpowiedzi belki poddanej zginaniu. Jeśli związek ten jest liniowy, to uzyskuje się w większości przypadków podparcia i obciążenia ściśle rozwiązania analityczne. Pojawienie się nieliniowości materiałowej, czy też geometrycznej, komplikuje zagadnienie w wysokim stopniu. Rozwiązania ściśle stają się niekiedy możliwe, jeśli przyjmie się uproszczoną, aproksymacyjną zależność momentu-krzywizny. Nie mniej jednak i tak zachodzi konieczność ograniczenia przypadków warunków podparcia. Dotychczas sprowadza się to do belek jednoprzęsłowych.

Odpowiedź belki zginanej, której ścianki płytowe znajdują się w stanie nadkrytycznym, można obliczyć tylko numerycznie wykorzystując przepisy Eurokodu 3. Są one zawile, zwłaszcza w przypadku ścianek z usztywnieniami brzegowymi czy też pośrednimi, i najczęściej wymagają procedury iteracyjnej. Związek między momentem a krzywizną, uzyskany numerycznie, jeśli ma być wykorzystany do analitycznego rozwiązania, to powinien być aproksymowany funkcjami elementarnymi.

Dotychczas nie udało się odwzorować numerycznie stanu nadkrytycznego ścianek płytowych kształtownika przy użyciu elementów powłokowych. Wynika to z trudności uwzględnienia imperfekcji geometrycznych w tych płaskich elementach. Podstawę analizy prętów w stanie nadkrytycznym mogą być związki geometryczno-fizyczne uzyskane w drodze doświadczalnej. Dotąd nie przeprowadzono porównania zależności momentu-krzywizny otrzymanej na podstawie przepisów normowych z doświadczalną. Wykorzystanie tych związków w metodzie FEM jest niemożliwe przy obecnym poziomie wiedzy. Propozycję ich wykorzystania w analizie numerycznej zachowania się belek o przekroju klasy 4 opisano w rozdziale 5.

4. Wykaz innych opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych

- 4.1. Goczek J. (50%)¹, Supeł Ł.: A method of predicting the flexural response of RHS beams in the post-buckling state. Archives of Civil and Mechanical Engineering (25 pkt. MNiSW, Impact Factor 1,793), (Under Review).
- 4.2. Gajdzicki M., Goczek J. (50%)²: Influence of sheet-to-purlin fastener properties on the rotational restraint of cold-formed Z-purlins. Engineering Structures (40 pkt. MNiSW, Impact Factor 1,838), (Under Review).
- 4.3. Gajdzicki M., Goczek J. (50%)³: Numerical determination of rotational restraint of cold-formed Z-purlin according to EC3. International Journal of Steel Structures (20 pkt. MNiSW, Impact Factor 0,505), 15(3) 2015, 633-645.

¹ Opracowanie metodyki analizy, jej opis, ocena otrzymanych wyników, sformułowanie wniosków.

² Sformułowanie celu badania numerycznego, wybór parametrów, współudział w interpretacji wyników i formułowaniu wniosków.

³ Sformułowanie celu badania numerycznego, opis badania, współudział w interpretacji wyników i formułowaniu wniosków.

- 4.4. Goczek J. (50%)⁴, Supeł Ł.: Resistance of steel cross-sections subjected to bending shear and axial forces. *Engineering Structures* (40 pkt. MNiSW, Impact Factor 1,838, SNIP 2014 2,396), 2014, vol. 70, 271-277.
- 4.5. Goczek J. (40%)⁵, Supeł Ł., Gajdzicki M.: Wyznaczanie sprężystego momentu krytycznego zwichrzenia belki bocznie stężonej jednostronnym poszyciem. *Inżynieria i Budownictwo* (4 pkt. MNiSW), nr 10/2012, 552-554.
- 4.6. Goczek J. (50%)⁶, Supeł Ł.: Obliczanie charakterystyk współpracującego przekroju zetownika giętego według PN-EN 1993-1-3. „*Inżynieria i Budownictwo*” (4 pkt. MNiSW), nr 8/2009, 459-463.
- 4.7. Goczek J. (50%)⁷, Supeł Ł.: Oddziaływanie pionowego stężenia rygla pełnościennego na ramę płaską. *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej* (2 pkt. MNiSW), z. 57. 2008, 39-59.
- 4.8. Goczek J. (40%)⁸, Supeł Ł., Gajdzicki M.: Reakcje boczne płatwi z kształtowników giętych, *Inżynieria i Budownictwo* (4 pkt. MNiSW), nr 3/2008, 156-159.
- 4.9. Goczek J. (50%)⁹, Supeł Ł.: Niestateczność dystorsyjna belek z kształtowników giętych o stopkach z usztywnieniami brzegowymi, *Inżynieria i Budownictwo* (4 pkt. MNiSW), nr 4/2007, 206-209.
- 4.10. Goczek J. (50%)¹⁰, Supeł Ł.: Modelowanie płatwi stężącej ramę główną hali stalowej. *Inżynieria i Budownictwo* (4 pkt. MNiSW), nr 11/2006, 616-619.
- 4.11. Goczek J. (70%)¹¹, Juchniewicz J.: Wpływ podatności podpór na ocenę nośności płatwi ciągłych z kształtowników giętych na zimno. „*Inżynieria i Budownictwo*” (4 pkt. MNiSW), nr 10/2003, 573-576.
- 4.12. Goczek J. (70%)¹², Juchniewicz J.: Ocena przyczyn awarii stalowej hali magazynowej. „*Inżynieria i Budownictwo*” (4 pkt. MNiSW), nr 4/2003, 194-196.

⁴ Pomysł uzupełnienia przepisów normowych o brakujące zapisy, ich sformułowanie, opis, współudział w sformułowaniu wniosków.

⁵ Wskazanie celu, postawienie tezy, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

⁶ Wskazanie potrzeby publikacji, nadzór nad zgodnością opisywanego algorytmu z zapisami normowymi, opis algorytmu.

⁷ Wskazanie celu, postawienie tezy, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

⁸ Wskazanie celu, analiza porównawcza modeli numerycznych, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

⁹ Opis zjawiska, opis ujęcia normowego, współudział w analizie numerycznej, interpretacji wyników i sformułowanie wniosków.

¹⁰ Wskazanie celu, postawienie tezy, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

¹¹ Postawienie tezy, analiza porównawcza, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

¹² Opis awarii, wskazanie przyczyn, współudział w formułowaniu wniosków.

- 4.13. Dauksza A., Goczek J. (40%)¹³, Łukowiak M.: Związki pomiędzy odkształceniami a siłami wewnętrznymi dla płaskownika stalowego z naprężeniami walcowniczymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej (2 pkt. MNiSW), z.43, 1994, 123-137.
- 4.14. Goczek J. (100%): Wpływ niestateczności miejscowej na stan graniczny pręta cienkościennego o zamkniętym przekroju prostokątnym ściskanego i zginanego. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej (2 pkt. MNiSW), z. 39, 1988, 117-129.

5. Rozdziały w monografiach naukowych

- 5.1. Goczek J. (50%)¹⁴, Gajdzicki M.: The influence of the rotational spring stiffness on the buckling resistance of cold-formed zed purlin. International Association for Shell and Spatial Structures, XVII LSCE International Seminar, 2011 (5 pkt. MNiSW).
- 5.2. Goczek J. (50%)¹⁵, Supeł Ł.: Interaction formulae for cross-section subjected to bending, shear and axial force in Eurocode 3 approaches. International Association for Shell and Spatial Structures, XVII LSCE International Seminar, 2011 (5 pkt. MNiSW).

6. Referaty na międzynarodowych konferencjach tematycznych

- 6.1. Goczek J. (50%)¹⁶, Gajdzicki M.: Symulacja wyznaczania sztywności stężenia przeciwskrętnego płatwi z zetownika giętego. XII Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Konstrukcje Metalowe, Wrocław 2011.
- 6.2. Goczek J. (30%)¹⁷, Juchniewicz J., Supeł Ł.: Wpływ pionowego stężenia rygla pełnościennego na zachowanie się ramy płaskiej. XI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna, Konstrukcje Metalowe, ICMS-2006, Taylor&Francis 2006, 501-508.
- 6.3. Goczek J. (80%)¹⁸, Łukowiak M.: Limit state of a thin-walled rectangular hollow beam-column. IABSE Colloquium on Thin-Walled Metal Structures in Buildings. Stockholm 1986, 83-90.

¹³ Opracowanie metodyki analizy, jej opis, ocena otrzymanych wyników, współudział w formułowaniu wniosków.

¹⁴ Sformułowanie celu badania numerycznego, wybór parametrów, współudział w interpretacji wyników i formułowaniu wniosków.

¹⁵ Opracowanie metodyki analizy, jej opis, ocena otrzymanych wyników, sformułowanie wniosków.

¹⁶ Sformułowanie celu badania numerycznego, wybór parametrów, współudział w interpretacji wyników i formułowaniu wniosków.

¹⁷ Wskazanie celu, postawienie tezy, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

¹⁸ Opracowanie metodyki analizy, jej opis, ocena otrzymanych wyników, sformułowanie wniosków.

7. Referaty na krajowych konferencjach tematycznych

- 7.1. Gajdzicki M., Goczek J. (50%)¹⁹: Wpływ właściwości łączników mocujących poszycie na sztywność obrotową podparcia sprężystego płatwi z zetownika giętego. Konferencja Naukowo-Techniczna ZK2014 Konstrukcje Metalowe, Kielce-Suchedniów 2014.
- 7.2. Supeł Ł., Goczek J. (50%)²⁰: Metoda wyznaczania ugięć płatwi z zetownika giętego w stanie nadkrytycznym. Konferencja Naukowo-Techniczna ZK2014 Konstrukcje Metalowe, Kielce-Suchedniów 2014.
- 7.3. Bródka J., Goczek J. (40%)²¹, Łukowiak M.: Ocena nośności ściskanych cienkościennych rur stalowych. Konferencja Naukowo-Techniczna, Krynica 1991. Tom 4, 7-12.

8. Krajowe nagrody za działalność naukową

- 8.1. Minister Budownictwa i Przemysłu Materiałów Budowlanych za pracę dyplomową wykonaną w roku akademickim 1974/75, nagroda III stopnia (załącznik).
- 8.2. Minister Budownictwa, Gospodarki Przestrzennej i Komunalnej za pracę doktorską, 1986 (załącznik).

9. Inne nagrody i odznaczenia

- 9.1. Nagroda Rektora Politechniki Łódzkiej za działalność dydaktyczną i naukową w latach 1984, 1987, 1989, 2000, 2004, 2007, 2010, 2011, 2014.
- 9.2. Medal Komisji Edukacji Narodowej 2014.

10. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego

- 10.1. Łukasz Supeł, 2004-2006, " Wpływ pionowego stężenia rygla pełnościennego na przemieszczenia i nośność ramy płaskiej", Politechnika Łódzka Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska 2006, opiekun naukowy (załącznik - oświadczenie promotora prof. dra hab. inż. Bohdana Michalaka).

¹⁹ Sformułowanie celu badania numerycznego, opis badania, współudział w interpretacji wyników i formułowaniu wniosków.

²⁰ Wskazanie celu, postawienie tezy, współudział w interpretacji wyników i sformułowaniu wniosków.

²¹ Opis zjawiska, opis ujęcia normowego, współudział w analizie numerycznej, interpretacji wyników i sformułowanie wniosków.

- 10.2. Michał Gajdzicki, 2009-2011, " Numeryczne wyznaczanie sztywności stężenia przeciwskrętnego płatwi z zetownika giętego", Politechnika Łódzka Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska 20011, opiekun naukowy (załącznik - oświadczenie promotora prof. dra hab. inż. Bohdana Michalaka).

11. Stypendia i staże

- 11.1. Stypendium DAD, Karlsruhe University of Technology, Versuchsanstalt für Stahl, Holtz und Steine, prof. Rolf Baehre, 3 miesiące, 1985.
- 11.2. Staż naukowy, Czech Technical University in Prague, Department of Steel and Timber Structures, 1986.
- 11.3. Staż techniczny w zakresie projektowania i wykonawstwa obiektów o konstrukcji stalowej, firma OCMER Sp. z o.o. w Łodzi, 3 miesiące, 2001.

12. Ważniejsze wykonane ekspertyzy i inne opracowania na zamówienie

- 12.1. Opinia dotycząca wykorzystania w projekcie "Uruchomienie nowych produktów oraz wdrożenie innowacyjnego systemu zautomatyzowanej produkcji konstrukcji stalowych" wyników prac badawczo-rozwojowych prowadzonych bądź zakupionych przez WPW Invest Sp. z o.o. w Łodzi. Zamawiający Invest sp. z o.o., 2011.
- 12.2. Opinia dotycząca okresu czasu, od jakiego jest znana i stosowana w Polsce technologia wdrażana w ramach projektu "Uruchomienie nowych produktów oraz wdrożenie innowacyjnego systemu zautomatyzowanej produkcji konstrukcji stalowych" realizowanego przez WPW Invest Sp. z o.o. w Łodzi. Zamawiający Invest sp. z o.o., 2011.
- 12.3. Opinia techniczna dotycząca obudowy obiektu Procter&Gamble w Aleksandrowie Łódzkim. Zamawiający REX-BUD Sp. z o.o., 2008.
- 12.4. Opinia dotycząca wymagań innowacyjności rynku lekkiej obudowy w warunkach zrównoważonego rozwoju. Zamawiający REX-BUD Sp. z o.o., 2008.
- 12.5. Opinia dotycząca możliwości potraktowania poszycia z blachy trapezowej, jako stężenia bocznego pasa górnego płatwi kratowej. Zamawiający GSE Polska Spółka z o.o., 2008.
- 12.6. Ocena innowacyjności technologii produkcji blach fałdowych oferowanej przez firmę Profiliikeskus. Zamawiający REX-BUD Sp. z o.o., 2008.

- 12.7. Analiza stanu technicznego konstrukcji stalowej hali firmy Solar, położonej w Łodzi przy ul. Rokicińskiej 163, po wykonaniu napraw gwarancyjnych. Zamawiający Solar-Elektro Sp. z o.o., 2004.
- 12.8. Opinia dotycząca stanu technicznego wieży antenowej wzniesionej w Karolinowie, powiat tomaszowski, woj. łódzkie przy ulicy Głównej 112. Zamawiający – Bracia Strzelczyk Nieruchomości – Warszawa, 2003.
- 12.9. Opinia dotycząca stanu granicznego dźwigara stalowego dla potrzeb Trasco-Invest Sp. z O.O. Zamawiający - Trasco-Invest, 2003.
- 12.10. Ocena przyczyn powstania deformacji konstrukcji stalowej hali firmy Solar położonej w Łodzi przy ul. Rokicińskiej 163. Zamawiający - Butler Polska Poznań, 2002.

13. Porozumienia o współpracy naukowo technicznej

- 13.1. SCHRAG-Polska Spółka z o.o., w zakresie wytwarzania i projektowania kształtowników profilowanych na zimno.
- 13.2. REX-BUD Spółka z o.o., w zakresie wykonawstwa konstrukcji stalowych.
- 13.3. WPW Invest Sp. z o.o., w zakresie technologii wytwarzania akcesoriów, łączników, a także elementów konstrukcji stalowych.

14. Recenzowanie publikacji

- 14.1. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 2014, 2.
- 14.2. Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, 2015, 2.

15. Dorobek dydaktyczny i popularyzatorski

15.1. Wydane skrypty i podręcznik

Bródka J., Goczek J.: Podstawy konstrukcji metalowych. Tom 2, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 1993, stron 231 (skrypt, nakład 300 egz.).

Bródka J., Goczek J.: Stalowe konstrukcje hal i budynków wysokich. Tom 2, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 1994, stron 408 (skrypt, nakład 1000 egz.).

Goczek J., Supeł Ł.: Kształtowniki gięte w obudowie hal. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2007, stron 184 (skrypt, nakład 250 egz.).

Goczek J., Supeł Ł., Gajdzicki M.: Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych.

Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2010, dodruk 2011, stron 311 (skrypt, nakład 1500 egz.).

Goczek J., Supeł Ł., Gajdzicki M.: Przykłady obliczeń konstrukcji stalowych. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, wydanie drugie zmienione, 2013, stron 357 (skrypt, nakład 1000 egz.).

Goczek J., Supeł Ł.: Płatwie z kształtowników profilowanych na zimno. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2014, stron 159 (podręcznik, nakład 500 egz.).

Gajdzicki M., Goczek J.: Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodu 3. Kwartalnik Łódzki, Biuletyn Łódzkiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa, nr 4, 2013, 19-26.

15.2. Wykaz prowadzonych przedmiotów (kierownik przedmiotu)

Konstrukcje metalowe I, budownictwo, studia stacjonarne I. stopnia,

Konstrukcje metalowe II, budownictwo, studia stacjonarne I. stopnia,

Współczesne konstrukcje stalowe, budownictwo, studia stacjonarne I. stopnia,

Wspomaganie komputerowe projektowania konstrukcji stalowych, budownictwo, studia stacjonarne I. stopnia,

Konstrukcje budowlane - stal, architektura, studia stacjonarne i niestacjonarne I. stopnia,

Hale stalowe i budynki wysokie, budownictwo, studia stacjonarne, jednolite magisterskie,

Seminarium dyplomowe, budownictwo, studia stacjonarne, jednolite magisterskie,

Do wszystkich przedmiotów przygotowano prezentacje multimedialne, udostępniane studentom. Niektóre przedmioty (kierunek architektura) prowadzono w języku angielskim.

Opracowano autorski film dydaktyczny pokazujący fazy budowy lekkiej hali stalowej.

Opracowano autorski film pokazujący skutki awarii hali stalowej w warunkach obciążenia śniegiem.

15.3. Opieka nad pracami dyplomowymi

Prace magisterskie - 118,

prace inżynierskie - 40,

w tym trzy prace magisterskie nagrodzone w konkursach krajowych (jedna praca I nagroda, dwie prace II nagrody).

Opieka nad pracami licencjackimi 5. studentów obcokrajowców (wymiana Socrates-Erasmus).

Opracowano około 200 recenzji prac dyplomowych inżynierskich i magisterskich.

15.4. Przeprowadzone szkolenia

"Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodu". Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa w Łodzi. 10 godzin wykładów, 2011.

"Projektowanie konstrukcji stalowych według Eurokodu". Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa w Łodzi. 10 godzin wykładów, 2012.

16. Wskaźniki dokonań naukowych

Do tej pory opublikowałem 1 monografię w języku polskim, 13 artykułów w czasopiśmie recenzowanych oraz 2 rozdziały w monografiach naukowych w języku angielskim, uzyskując z tego tytułu następujące punkty MNiSW:

Rok	Liczba punktów	Liczba punktów po uwzględnieniu udziału współautorów
2015	20	10
2014	40	20
2013	20	20
2012	4	1,6
2011	10	5
2009	4	2
2008	6	2,6
2007	4	2
2006	4	2
Wcześniejsze lata	12	8,4
Razem	124	73,6

W bazie Web of Science jest tylko jedno cytowanie mojej pracy zamieszczonej w wykazie (2.3), cytata w Engineering Structures, volume 100, 2015, pp. 57-65. Wynika to z publikowania głównie w czasopiśmie krajowych. Najnowsze artykuły zamieszczone w czasopiśmie JCR (2.2, 2.3) nie doczekały się więcej cytowań w związku z rokiem ich opublikowania (2015, 2014). Artykuł 2.3 został pobrany 240 razy. Według bazy Web of Science mój indeks Hirscha = 1. W bazie Publish or Perish znajduje się 16 cytowań moich prac (indeks Hirscha = 2, the index g = 3). Łączny Impact Factor publikacji w wykazie wynosi 2,343, a łączna liczba punktów MNiSW wynosi 124, a po uwzględnieniu udziału współautorów 73,6.

17. Podsumowanie wniosku

Przedstawione jako osiągnięcie naukowe dzieło opublikowane w całości poświęcone jest zachowaniu się belek z kształtowników giętych stężonych poszyciem z blach trapezowych. Monografia uzyskała bardzo dobre recenzje, a jej nakład został wyczerpany w czasie 6 miesięcy. Uważam to za dowód znaczącego samodzielnego wkładu w rozwój dyscypliny naukowej, którą reprezentuję. Omawiając poszczególne aspekty zachowania się belek, będących tematem monografii, starałem się pokazać, że moim udziałem były wszystkie elementy przygotowania i realizacji badania naukowego i publikacji – od sformułowania problemu badawczego, przez wybór metodologii pracy, przygotowanie i przeprowadzenie badania numerycznego, wybór metodologii analizy wyników, aż do sformułowania wniosków i przygotowania publikacji.

Podjęmowane przeze mnie działania naukowe, popularyzatorskie i dydaktyczne, pozwoliły mi uzyskać autorytet specjalisty w zakresie odpowiadającym kierunkowi moich zainteresowań naukowych. Uważam, że moja publikacja, wymieniona w punkcie 2 niniejszego autoreferatu, stanowi znaczny dorobek naukowy.

W związku z powyższym wnoszę o stwierdzenie, że posiadam kwalifikacje do samodzielnej pracy naukowo-badawczej, w rozumieniu art. 16 ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

