Dr inż. Paweł Kossakowski
Katedra Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Betonowych
Wydział Budownictwa i Architektury
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

AUTOREFERAT

Opis dorobku i osiągnięć naukowych

1. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE

Doktor inżynier	–	Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Nauki Techniczne, dyscyplina Budownictwo, 2004, tytuł pracy: *Analiza odporności na pękanie sosnowych elementów belkowych w złożonym stanie obciążenia.*
Magister inżynier	–	Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa Lądowego, kierunek Budownictwo, 1997.
Studia podyplomowe	–	Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury, Studia: Odnawialne źródła energii, 2014.
Rzeczoznawca budowlany	–	Polska Izba Inżynierów Budownictwa, specjalność konstrukcyjno-budowlana obejmująca projektowanie w zakresie budownictwa ogólnego i przemysłowego, 2014.
Uprawnienia budowlane	–	Świętokrzyska Okręgowa Izba Inżynierów Budownictwa, uprawnienia budowlane do kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej, 2004.
Uprawnienia budowlane	–	Wojewoda Świętokrzyski, uprawnienia budowlane do projektowania bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej, obejmującej wszelkiego typu konstrukcje budowlane, w tym m.in. drogi i mosty, 2002.

2. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH

01.11.1997 – 31.01.2005	–	asystent, Katedra Wytrzymałości Materiałów, Wydział Budownictwa Lądowego, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach.
01.02.2005 – nadal	–	adiunkt, Katedra Wytrzymałości Materiałów, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach.

3. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA

Początki mojej działalności naukowo-badawczej to rok 1997, kiedy to podjąłem zatrudnienie w Katedrze Wytrzymałości Materiałów na Wydziale Budownictwa Lądowego Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Jednostka ta, nosząca obecnie nazwę Katedry Wytrzymałości Materiałów i Konstrukcji Betonowych, jest podstawowym miejscem mojego zatrudnienia i prowadzenia badań naukowych. Wykonałem tu wszystkie omówione poniżej prace naukowe, w tym przede wszystkim badania, których efektem było przygotowanie rozprawy doktorskiej oraz osiągnięcia naukowego, będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

3.1. Działalność prowadzona przez uzyskaniem stopnia naukowego doktora

W pierwszym okresie mojej pracy naukowej zajmowałem się zagadnieniami mechaniki pękania drewna, a dokładniej jego odporności na pękanie. Tematyka ta obejmowała rozważania teoretyczne oraz badania materiałowe, których głównym celem było wyznaczenie parametrów charakteryzujących odporność na pękanie drewna sosnowego, podstawowego gatunku stosowanego w konstrukcjach budowlanych. Uzyskane przeze mnie w tym zakresie wyniki po dziś dzień mają duże znaczenie praktyczne, gdyż umożliwiają prowadzenie analiz inżynierskich, dotyczących m.in. szacowania nośności konstrukcji drewnianych zawierających znaczące pęknięcia, a więc elementów uszkodzonych. Elementem wartym podkreślenia w prowadzonych wówczas badaniach było określenie odporności na pękanie drewna za pomocą krytycznego współczynnika uwalniania energii G_{ac} oraz zastosowanie do jego wyznaczenia metody emisji akustycznej, co było podejściem oryginalnym i innowacyjnym. W ramach badań prowadzonych w latach 1998-1999 kierowałem pracą pt. *Eksperymentalne wyznaczanie wartości współczynników uwalniania energii dla drewna z zastosowaniem emisji akustycznej*, której wyniki pozwoliły na określenie głównych celów i zakresu dalszych analiz. W latach 2000-2001 byłem kierownikiem projektu badawczego KBN Nr 7 T08E 007 18 pt. *Eksperymentalna i numeryczna analiza pękania drewna w złożonych stanach obciążenia*, a następnie w latach 2002-2003 kierowałem pracą pt. *Analiza pękania elementów drewnianych typu TL i RL*. Wyniki prac z zakresu odporności na pękanie drewna referowałem na *20. Międzynarodowym Sympozjum Młodych Pracowników Nauki i Studentów* organizowanym w Zielonej Górze w 1998 roku, gdzie zdobyłem wyróżnienie za najlepszy referat młodego pracownika nauki, oraz w trakcie *2nd International Conference Fracture Mechanics of Materials and Strength of Structures* we Lwowie w roku 1999, *VII Krajowej Konferencji Mechaniki Pękania*, w Kielcach–Cedzynie w roku 1999 oraz *XVIII Sympozjum Zmęczenia i Mechaniki Pękania*, w Bydgoszczy–Pieczyskach w roku 2000.

Jednym z efektów prowadzonych badań było przygotowanie i obrona w 2004 roku pracy doktorskiej pt. *Analiza odporności na pękanie sosnowych elementów belkowych w złożonym stanie obciążenia*. W dysertacji tej wyznaczono wartości krytycznych współczynników uwalniania energii G_{ac} dla drewna dla dwóch orientacji wzdłuż włókien oraz opracowano i zaproponowano kryterium pękania dla złożonego stanu obciążenia, obejmującego rozrywanie i ścinanie podłużne. W mojej ocenie stanowiło to najciekawszy, wymierny i praktyczny rezultat pracy. Na uwagę zasługuje zastosowanie metody emisji akustycznej do wyznaczenia momentu inicjacji pękania, w którym identyfikowano obciążenie krytyczne będące podstawowym parametrem umożliwiającym wyznaczenia wartości współczynników uwalniania energii, za pomocą których określono odporność na pękanie badanego drewna. W pracy dokonano również weryfikacji numerycznej wyników uzyskanych eksperymentalnie oraz przeprowadzono identyfikację mechanizmów pękania drewna na poziomie mikrostrukturalnym. Wyniki przedstawione w pracy doktorskiej doczekały się publikacji, przede wszystkim w czasopiśmie *Archives of Civil Engineering* i były cytowane przez autorów w prestiżowych czasopismach, takich jak np. *Engineering Fracture Mechanics* [Yoshihara 2013]. **Decyzją Rady Wydziału**

Budownictwa i Inżynierii Środowiska przygotowana i obroniona przeze mnie praca doktorska uzyskała wyróżnienie oraz rekomendację do zgłoszenia w konkursie organizowanym na szczeblu państwowym. Praca przedłożona została do udziału w konkursie Ministra Transportu i Budownictwa, gdzie zdobyłem *Nagrodę za Pracę Doktorską w roku 2005*, co było moim najważniejszym osiągnięciem podsumowującym w pewnym stopniu pierwszy okres mojej działalności naukowo-badawczej. Dopełnieniem tego, była Nagroda Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, którą otrzymałem w tym samym roku.

3.2. Działalność prowadzona po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Problemy poruszone w pracy doktorskiej stanowiły podstawę do kontynuowania tematyki związanej z zagadnieniami wytrzymałości drewna. Pierwszy ich zakres obejmował badanie anizotropii materiału i jej wpływu na odporność na pękanie drewna, co zostało zrealizowane w ramach pracy pt. *Zależność wartości krytycznych współczynników uwalniania energii G_{Ic} drewna obciążonego zgodnie ze sposobem I od anizotropii materiału*, którą kierowałem w latach 2005-2006. Podsumowaniem uzyskanych rezultatów był w artykuł mojego autorstwa pt. Influence of anisotropy on the energy release rate G_I for highly orthotropic materials, który został opublikowany w 2007 roku w czasopiśmie *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, znajdującym się na liście JCR. Drugim obszarem naukowym realizowanym w omawianym okresie, była analiza elementów drewnianych wzmacnianych matami z włókien kompozytowych. Badania te wykonano w ramach pracy pt. *Wytrzymałość belek drewnianych wzmacnianych matami kompozytowymi*, którą kierowałem w latach 2007-2008. Przeanalizowano w nich efektywność stosowania wzmocnień z włókien szklanych, aramidowych i węglowych w zakresie zwiększenia sztywności elementów zginanych w zakresie sprężystym oraz wstępnie oszacowano możliwość podwyższenia ich wytrzymałości w pełnym zakresie pracy aż do zniszczenia.

W dalszym okresie kontynuowałem badania związane z szeroko traktowaną wytrzymałością budowlanych materiałów konstrukcyjnych oraz nośnością elementów. Istotny tu był rok 2006, kiedy to rozpocząłem swój udział w projekcie badawczym rozwojowym Nr R04 007 01 pt. *Opracowanie oraz wstępna weryfikacja procedury diagnozowania metodą emisji akustycznej konstrukcji metalowych ze szczególnym uwzględnieniem mostów stalowych*. Projekt był realizowany w latach 2006-2010 w mojej jednostce macierzystej pod kierunkiem prof. Leszka Gołaskiego i prof. Wiesława Trąmpczyńskiego. Zakres prac jaki wykonałem w ramach projektu obejmował ocenę stanu technicznego i analizę nośności konstrukcji mostów będących obiektami badań, zagadnienia modelowania nośności granicznej elementów wykonanych ze stali St3S (S235JRG2), 18G2A (S355JR) oraz stali pobranej z rzeczywistego obiektu mostowego, analizę nośności granicznej elementów zawierających pęknięcie, analizę porównawczą klasyfikacji uszkodzeń i stopnia zagrożenia konstrukcji wg kryteriów mechaniki zniszczenia i kryteriów Emisji Akustycznej oraz analizę porównawczą klasyfikacji uszkodzeń i stopnia zagrożenia wg procedur stosowanych w Polsce i krajach Wspólnoty Europejskiej oraz kryteriów mechaniki zniszczenia i kryteriów Emisji Akustycznej.

Prace zainicjowane i wykonane w trakcie realizacji ww. projektu stanowiły inspirację i punkt wyjścia do badań prowadzonych przeze mnie w dalszym okresie, związanych głównie z analizą i modelowaniem procesu niszczenia stali konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie. Pierwszym tematem który podjąłem w tym zakresie, była praca badawcza pt. *Modelowanie numeryczne nośności granicznej elementów w przestrzennych stanach naprężenia*, którą kierowałem i wykonywałem w latach 2009-2010. Temat ten został szeroko rozwinięty przeze mnie w latach późniejszych (2010-2013), obejmując cały szereg różnych zagadnień i problemów. W ramach pracy realizowanej w latach 2013-2014 pt. *Analiza stanów granicznych i diagnostyka konstrukcji*, kierowałem opracowaniem części pt. *Analiza krytycznych udziałów objętościowych pustek f_c i f_F modelu materiału porowatego Gursona-Tvergaarda-Needlemana (GTN) dla stali S235JR*.

Zainteresowanie tematyką modelowania niszczenia stali konstrukcyjnych związane było z jednej strony z aktualnymi trendami obserwowanymi w badaniach prowadzonych na świecie, ale co istotne również z potrzebami praktycznymi. Notowane na przestrzeni wielu lat, również ostatnio, przypadki awarii czy katastrof budowlanych różnych obiektów i konstrukcji, wymuszają naturalną potrzebę rozwijania metod pozwalających z jednej strony na weryfikację nośności konstrukcji co do których zachodzi wątpliwość bezpieczeństwa użytkowania, z drugiej strony umożliwiających przewidywanie i symulowanie momentu ich zniszczenia. Tematyka ta znalazła się w bezpośrednim kręgu moich zainteresowań, a wspomniana już potrzeba w zakresie rozwoju metod analiz konstrukcji uszkodzonych, była głównym impulsem i inspiracją do podjęcia badań. Ich owocem było przedstawione w niniejszym Autoreferacie osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę do ubiegania się o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, obejmujące analizę i modelowanie niszczenia stali S235JR, która jest podstawowym gatunkiem stosowanym w budownictwie. Wykonane w tym zakresie badania obejmowały kilka wyodrębnionych tematycznie, ale powiązanych ze sobą zagadnień:

– wyznaczenie wartości kluczowych parametrów modelu materiałowego Gursona-Tvergaarda-Needlemana dla stali S235JR oraz ich analiza,

– zbadanie zjawisk zachodzących w mikrostrukturze stali S235JR w trakcie procesu niszczenia w oparciu o model materiału Gursona-Tvergaarda-Needlemana,

– modelowanie niszczenia stali S235JR w skali mikrostrukturalnej wraz z opracowaniem kryteriów zniszczenia,

– modelowanie i przewidywanie zniszczenia elementów wykonanych ze stali S235JR w skali makro w oparciu o model materiału Gursona-Tvergaarda-Needlemana.

Uważam, że wyniki uzyskane przeze mnie w ramach ww. badań, oprócz walorów naukowo-poznawczych mają duże znaczenie praktyczne. Dotyczy to szczególnie możliwości ich zastosowań w zagadnieniach inżynierskich, gdzie metody numeryczne stają się podstawowymi narzędziami pozwalającymi na prowadzenie analiz konstrukcji uszkodzonych i pracujących w stanach awaryjnych.

Efektem prowadzonych prac jest szereg artykułów, które w przeważającej części opublikowałem samodzielnie w czasopismach o zasięgu światowym, które są indeksowane w bazie JCR oraz czasopismach krajowych, głównie w języku angielskim. Wyniki uzyskane w czasie badań były przez mnie szeroko prezentowane na konferencjach krajowych takich jak *Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB* odbywająca się w Krynicy (corocznie w latach 2009–2013), *II Kongres Mechaniki Polskiej*, Poznań (2011), oraz międzynarodowych, jak *Międzynarodowa Konferencja Naukowa COMPUTER AIDED ENGINEERING (Komputerowe Wspomaganie Prac Inżynierskich)*, Szklarska Poręba (lata 2010 i 2012) oraz *23rd International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2014*, Brno w Czechach (2014).

Jak już wspomniałem wyżej, przeprowadzone przez mnie badania dotyczyły modelowania niszczenia stali S235JR, czego jednym z efektów jest osiągnięcie naukowe, które przedkładam jako podstawa do ubiegania się o stopień naukowych doktora habilitowanego. Tematykę tę chciałbym kontynuować i rozwijać w przyszłości, skupiając się głównie na zagadnieniach przebiegu niszczenia struktury materiałowej z uwzględnieniem anizotropii mikrodefektów. Chciałbym również wykorzystać uzyskane do tej pory wyniki do badania innych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie, tak aby rezultaty oprócz poznawczych miały również walory praktyczne.

Osobny nurt prac o charakterze naukowo-badawczym i badawczo-rozwojowym związany był z problematyką i zagadnieniami, które napotykałem i rozwiązywałem w trakcie prowadzonej przeze mnie działalności praktycznej w zakresie budownictwa i inżynierii. Prace te prowadziłem w zasadzie równolegle z podstawową działalnością naukowo-badawczą realizowaną w Politechnice Świętokrzyskiej. Dotyczy to przede wszystkim opracowań o charakterze projektowym i eksperckim, podczas wykonywania których miałem okazję wdrożyć wiedzę

nabytą podczas prowadzenia badań naukowych. Jest to o tyle istotne, że wiele praktycznych problemów inżynierskich udało mi się rozwiązać dzięki powiązaniu i wykorzystaniu wiedzy naukowej i teoretycznej.

Mój dorobek w zakresie opracowań inżynierskich o charakterze naukowo-badawczym, obejmuje m.in. analizy wytrzymałości konstrukcji budowlanych, badania techniczne elementów, konstrukcji i obiektów budowlanych, w tym także obiektów mostowych, projektowanie i badania urządzeń przeciwhałasowych oraz projektowanie skomplikowanych fundamentów. W czasie swojej praktyki inżynierskiej wykonałem łącznie ponad 500 różnego rodzaju opracowań, których przekrojowy i wybiórczy zestaw podano w załącznikach 3 i 4.

Efekty swoich prac w tym zakresie starałem się konsekwentnie publikować w czasopismach naukowych i naukowo-technicznych oraz prezentować w trakcie konferencji tematycznych, aby podzielić się zdobytą wiedzą i uzyskanymi rozwiązania ze środowiskiem naukowym i inżynierskim. Szczegółowe informacje na ten temat zestawiono w załączniku 5, gdzie ujęto prace opublikowane w czasopismach i materiałach konferencyjnych.

W trakcie całej swojej pracy naukowej opublikowałem łącznie 109 prac, których szczegółowy wykaz podano w załączniku 3. Obejmuje on samodzielne autorstwo 71 publikacji i współautorstwo w 38 pracach.

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora nauk technicznych opublikowałem 5 prac, wszystkie samodzielnie.

Dorobek w okresie obejmującym habilitację obejmuje łącznie 104 publikacje, w tym 66 opublikowanych samodzielnie oraz 38 prac przygotowanych wspólnie z innymi autorami.

Za najważniejsze uważam 9 prac wydrukowanych w czasopismach indeksowanych w bazie JCR, z czego 7 opublikowałem samodzielnie, a w dwóch jestem pierwszym autorem.

Sumaryczny impact factor tych prac wynosi IF = 4,976.

Z uwagi na zakres omawianej tematyki i prezentowanych wyników istotne są również artykuły opublikowane w czasopismach: *Archives of Civil Enginnering* (4 prace), *Engineering Transactions* (1 praca) oraz *Advances in Materials Sciense* (2 prace).

W okresie obejmującym habilitację struktura prac opublikowanych w czasopismach z poza listy JCR jest następująca:
- **współautor 7 rozdziałów w monografiach,**
- **autor 34 i współautor 10 publikacji w czasopismach punktowanych zestawionych w części B na listach MNiSW,**
- **autor 11 i współautor 6 publikacji w czasopismach naukowych i technicznych (niepunktowanych),**
- **autor 2 publikacji w mediach elektronicznych,**
- **autor 10 i współautor 12 publikacji w materiałach konferencyjnych,**
- **autor 2 i współautor 1 materiałów dydaktycznych.**

Łączna ilość punktów uzyskanych za wszystkie publikacje w okresie obejmującym habilitację wynosi 369 pkt., z czego ja uzyskałem 325 pkt., zgodnie z udziałem procentowym poszczególnych autorów w pracach oraz punktacją podaną przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Szczegółowe informacje parametryczne dotyczące mojego dorobku w zakresie publikacji naukowych podano w dalszej części niniejszego Autoreferatu oraz w załączniku 3.

Istotnym elementem prowadzonej przeze mnie działalności naukowej są recenzje prac, które wykonywałem na zaproszenie wielu renomowanych czasopism, w tym czasopism z listy JCR, których łączna ilość wynosi 15 i obejmuje:
– recenzje 7 artykułów do czasopism z listy JCR,
– recenzje 6 artykułów do czasopism z listy MNiSW część B,
– recenzje 2 artykułów do czasopisma z poza listy MNiSW.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy 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 ze zm.)

Moim osiągnięciem naukowym, uzyskanym po otrzymaniu stopnia naukowego doktora, stanowiącym znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej Budownictwo, określonym w art. 16. ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, jest jednotematyczny cykl publikacji pt.:

Wyznaczenie i analiza parametrów materiałowych modelu Gursona-Tvergaarda-Needlemana dla stali S235JR oraz ich zastosowanie w modelowaniu niszczenia stali S235JR w skali mikro- i makrostrukturalnej

Cykl jednotematycznych publikacji tworzących wskazane osiągnięcie naukowe obejmuje następujących prace, zestawione w porządku tematycznym:

[1] **Kossakowski P.G.,** An analysis of the load-carrying capacity of elements subjected to complex stress states with a focus on the microstructural failure. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 10(2), 15–39, 2010.

[2] **Kossakowski P.G.**, Influence of initial porosity on strength properties of S235JR steel at low stress triaxiality. *Archives of Civil Engineering*, 58(3), 293–308, 2012.

[3] **Kossakowski P.G.**, Effect of initial porosity on material response under multi-axial stress state for S235JR steel. *Archives of Civil Engineering*, 58(4), 445–462, 2012.

[4] **Kossakowski P.G.**, The analysis of influence of Tvergaard's parameters on S235JR steel response in high stress triaxiality. *Advances in Materials Science*, 12(1), 27–35, 2012.

[5] **Kossakowski P.**, Wciślik W., Wpływ stopnia trójosiowości stanu naprężeń na wartość odkształcenia nukleacji mikropustek w stali S235JR. *Przegląd Mechaniczny*, 73(3), 15–21, 2013.

[6] **Kossakowski P.G.**, Wciślik W., Experimental determination and application of critical void volume fraction f_c for S235JR steel subjected to multi-axial stress state. *Recent Advances in Computational Mechanics*, red. Łodygowski T., Rakowski J., Litewka P., CRC Press/Balkema, 303–309, London 2014.

[7] **Kossakowski P.G.**, Wciślik W., Effect of critical void volume fraction f_F on results of ductile fracture simulation for S235JR steel under multi-axial stress states. *Key Engineering Materials, Fracture and Fatigue of Materials and Structures*, 598, 113–118, 2014.

[8] **Kossakowski P.G.**, Trąmpczyński W., Microvoids evolution in S235JR steel subjected to multi-axial stress state. *Engineering Transactions*, 60(4), 287–314, 2012.

[9] **Kossakowski P.G.**, Simulation of ductile fracture of S235JR steel using computational cells with microstructurally-based length scales. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 50(2), 589–607, 2012.

[10] **Kossakowski P.G.**, An analysis of the f_c and ε_N parameters in local Gurson-based modelling of failure of S235JR steel at high stress triaxiality. *23rd International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2014, Brno (Czech Republic), May 21-23*, Tanger Ltd., dokument w wersji elektronicznej, Paper No. 2456, 1–6, Ostrava 2014.

[11] **Kossakowski P.G.**, Prediction of ductile fracture for S235JR steel using the Stress Modified Critical Strain and Gurson-Tvergaard-Needleman models. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(12), 1492–1500, 2012.

[12] **Kossakowski P.G.**, Microstructural failure criteria for S235JR steel subjected to spatial stress states. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* (w druku), 2014.

[13] **Kossakowski P.**, Przewidywanie zniszczenia uszkodzonych elementów konstrukcyjnych w oparciu o kryterium mikrostrukturalne. *Systems. Journal of Transdisciplinary Systems Science*, 16(2), 197–208, 2012.

[14] **Kossakowski P.**, Numeryczna analiza rozwoju mikrouszkodzeń w elemencie z defektem w postaci nieciągłości strukturalnej. *Budownictwo i Architektura*, 12(1), 235–242, 2013.

5. CHARAKTERYSTYKA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę do wszczęcia postępowania habilitacyjnego w postaci jednotematycznego zbioru publikacji stanowi spójny cykl tematyczny, w którym przedstawiono wyniki badań procesu niszczenia stali S235JR oraz jego modelowania w oparciu analizę procesów mikrostrukturalnych oraz zmodyfikowany model materiału porowatego Gursona-Tvergaarda-Needlemana.

Podjęta przeze mnie tematyka wpisuje się w szerszy obszar zagadnień, obejmujących m.in. analizę nośności i bezpieczeństwa stalowych konstrukcji budowlanych. W największym stopniu dotyczy to elementów uszkodzonych, co do których nie jest możliwe zastosowanie standardowych metod i rozwiązań, opartych choćby na hipotezie Hubera. Elementy zawierające defekty w sytuacji przeciążenia są narażone na lokalne koncentracje naprężeń, które powodując znaczne odkształcenia plastyczne, inicjują rozwój mikrouszkodzeń, co finalnie prowadzi do zniszczenia materiału w skali makro. W ekstremalnych przypadkach może to powodować zniszczenie całej konstrukcji. Stąd punktem wyjścia jest analiza samego procesu niszczenia stali konstrukcyjnych stosowanych w budownictwie, a dalej jego modelowanie, pozwalające w efekcie na przewidywanie momentu zniszczenia materiału i konstrukcji.

Z mikrostrukturalnego punktu widzenia pękanie struktur polikrystalicznych jakimi są metale jest zagadnieniem złożonym. Inicjacja i propagacja pęknięcia prowadząca do zniszczenia w skali makro jest bezpośrednio związana z mikrostrukturą danego materiału. Zgodnie z najogólniejszym podziałem można wyróżnić trzy podstawowe schematy pękania określane również jako złomy, tj. pękanie łupliwe, typu ścięcie i pękanie ciągliwe. W przypadku, w którym pękanie ma charakter ciągliwy (*ductile fracture*) lub zachodzi ścięcie (*shear fracture*), elementami mikrostruktury, które odgrywają najistotniejszą rolę w procesie niszczenia są jej mikrodefekty, występujące w postaci pustek określanych w literaturze przedmiotowej terminem *voids*. Mikrouszkodzenia te powstają na wtrąceniach niemetalicznych lub wydzieleniach obcej fazy, które występują w materiale. Są także inicjowane w strukturze materiałowej w trakcie

procesu deformacji. Proces powstawania (zarodkowania) mikrouszkodzeń nosi miano nukleacji pustek (*voids nucleation*).

Analiza i modelowanie procesów zachodzących w mikrostrukturze materiału w trakcie jego odkształcenia jest możliwa przy zastosowaniu zaawansowanych modeli materiałowych opartych na mechanice zniszczenia. W odniesieniu do stali konstrukcyjnych ma uwagę zasługuje model materiału porowatego Gursona, będący w istocie zmodyfikowanym kryterium Hubera, w którym wpływ mikrouszkodzeń struktury materiałowej na wytrzymałość materiału został uwzględniony poprzez wprowadzenie parametru zniszczenia definiowanego jako tzw. udział objętościowy pustek (*void volume fraction*) f. Oryginalny warunek plastyczności Gursona przyjął postać: $\Phi = (\sigma_e/\sigma_0)^2 + 2\, f \cosh(-3/2\ \sigma_m/\sigma_0) - 1 - f^{\,2} = 0$, gdzie σ_e oznacza naprężenie efektywne wg hipotezy Hubera-Misesa-Henckyego (HMH), σ_0 jest granicą plastyczności, σ_m to naprężenie hydrostatyczne, a f określa wartość udziału objętościowego pustek. W latach późniejszych model Gursona był poddawany różnym modyfikacjom i rozwinięciom, głównie przez Tvergaarda, a później przez Needlemana. Ten zmodyfikowany model materiałowy określany jest w literaturze najczęściej jako model Gursona-Tvergaarda-Needlemana, w skrócie GTN.

Choć rozwiązanie GTN opracowano w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku, to nadal jest ono przedmiotem prowadzonych badań, choćby w zakresie uwzględnienia zjawiska ścinania w modelowaniu wzrostu pustek. Przez szereg lat model GTN ugruntował się w literaturze naukowej, a dzięki pozytywnej weryfikacji został zaimplementowany do szeregu programów komputerowych pozwalających jego wykorzystanie w symulacjach inżynierskich. Dzięki przyjętemu podejściu, model GTN umożliwia modelowanie zakresów plastycznych aż do zniszczenia szeregu materiałów porowatych, w tym różnego rodzaju stali konstrukcyjnych, co jest szczególnie interesujące z praktycznego punktu widzenia. Model ten pierwotnie był stosowany w czysto naukowych analizach obejmujących zagadnienia wytrzymałościowe dotyczące zarówno materiałów wyidealizowanych jak i fizycznych, a później w obliczeniach elementów mechanicznych. Obecnie obserwuje się tendencję do jego stosowania również w innych dziedzinach i branżach, w tym w budownictwie.

Możliwości jakie daje rozwiązanie GTN w zakresie modelowania procesów degradacji materiału w powiązaniu ze zmianami jakie zachodzą na poziomie jego mikrostruktury, zadecydowały o wykorzystaniu przez mnie tego właśnie modelu w przeprowadzonych badaniach. Należy również zauważyć, że zmodyfikowany model materiału porowatego Gursona-Tvergaarda-Needlamana, zgodnie z aktualnymi trendami jest obecnie podstawowym modelem zniszczenia zalecanym przez literaturę przedmiotową. Dotyczy to w prowadzenia analiz wytrzymałościowych konstrukcji budowlanych w nawiązaniu do wymagań europejskiej normy *PN-EN 1993-1-10:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych – Część 1-10: Dobór stali ze względu na odporność na kruche pękanie i ciągliwość międzywarstwową*. W szczególności obejmuje to konstrukcje stalowe, które pracują w zakresach nieliniowych oraz stanach awaryjnych. Zastosowanie modelu GTN w odniesieniu do stali konstrukcyjnych daje dobrą zbieżność wyników uzyskanych na drodze obliczeń numerycznych i badań eksperymentalnych. Przykładem tego są m.in. wyniki badań uzyskane przeze mnie.

W prowadzonych badaniach opierałem się na modyfikacji oryginalnego warunku Gursona, zaproponowanym przez Tvergaarda i Needlemana w postaci $\Phi = (\sigma_e/\sigma_0)^2 + 2\, q_1 f^* \cosh(-\, q_2\ 3/2\ \sigma_m/\sigma_0) - (1 + q_3 f^{*2}) = 0$. Jak widać, rozwiązanie GTN zaproponowane przez jego autorów jest dość skomplikowane i wymaga znajomości szeregu parametrów mechanicznych i mikrostrukturalnych materiału. Podstawowe dane dotyczą parametrów sprężystych materiału takich jak współczynnik sprężystości podłużnej E i liczba Poissona ν, oraz jego wytrzymałości definiowanej granicą plastyczności σ_0. Z uwagi na modelowanie całego zakresu pracy materiału należy określić jego własności plastyczne przyjmując odpowiedni model plastyczności, najczęściej aproksymowany, lub podając rzeczywiste wartości naprężeń w funkcji odkształceń σ–ε w zakresie powyżej σ_0. Dodatkowo w modelu GTN wymaga się podania innych wielkości opisujących zachowanie się materiału w zakresie plastycznym, tj. współczynników

Tvergaarda q_i. Zgodnie z ustaleniami Tvergaarda (1981), typowymi wartościami, które są przyjmowane dla materiałów metalowych są wielkości $q_1 = 1{,}5$, $q_2 = 1{,}0$ oraz $q_3 = q_1^2 = 2{,}25$, które można często spotkać w literaturze w odniesieniu do wielu różnych materiałów metalowych. W latach późniejszych Faleskog i in. (1998) udowadniali, że współczynniki Tvergaarda są zależne od własności sprężysto-wytrzymałościowych materiału, a dokładniej od wykładnika umocnienia N oraz stosunku granicy plastyczności σ_0 do współczynnika sprężystości podłużnej E. Wpływ mikrodefektów struktury materiałowej na bieżącą wytrzymałość materiału zawarty jest w zmodyfikowanym udziale objętościowym pustek f^* i jest zmienny w trakcie odkształcania. W sytuacji początkowej, gdy materiał nie został jeszcze poddany procesowi deformacji, bieżąca wartość udziału objętościowego pustek f^* odpowiada jego pierwotnej porowatości, definiowanej jako początkowy udział objętościowy pustek f_0, czyli $f^* = f_0$. W trakcie postępującej deformacji materiału wartość f^* jest zmienna z w zależności od panującego stanu naprężenia i odkształcenia oraz osiąganych poziomów f. W zakresie, w którym f jest niższy bądź osiąga wartość krytyczną f_c, odpowiadającą wartości udziału objętościowego pustek w momencie ich łączenia się (w momencie osiągnięcia maksymalnej nominalnej wytrzymałości materiału), obowiązuje związek $f^* = f$. W dalszym zakresie dla $f_c < f < f_F$, zmodyfikowany udział $f^* = f_c + (\bar{f}_F - f_c)(f - f_c)/f_F - f_c$, gdzie f_F jest krytycznym udziałem pustek w momencie całkowitego zniszczenia materiału (jego zerowej wytrzymałości/nośności), a $\bar{f}_F = [q_1 + (q_1^2 - q_3)^{1/2}]/q_3$. W ostatnim etapie pracy materiału, gdy $f \geq \bar{f}_F$, udział f^* jest stały i odpowiada wielkości $\bar{f}_F$. Wielkości f_c i f_F to jedne z kluczowych parametrów modelu GTN, determinujące przebieg i intensywność procesu niszczenia materiału. Proces wzrostu pustek w rozwiązaniu GTN jest opisywany najczęściej za pomocą modelu, w którym odpowiada on sumie wzrostu pustek istniejących w materiale f_{gr} oraz pustek spowodowanych ich nukleacją f_{nucl}. Prawo prędkości wzrostu pustek określone jest zależnością $df = (1 - f)\, d\boldsymbol{\varepsilon}^{pl} : \mathbf{I} + [f_N / s_N (2\pi)^{1/2}] \exp [-1/2 ((\varepsilon_{e\ m}^{pl} - \varepsilon_N)/s_N))^2]\, d\varepsilon_{e\ m}^{pl}$, gdzie f_N oznacza udział objętościowy pustek nukleowanych, s_N jest odchyleniem standardowym odkształcenia nukleacji pustek, $d\boldsymbol{\varepsilon}^{pl}$ to tensor prędkości przyrostu odkształceń plastycznych, $\mathbf{I}$ to tensor drugiego rzędu definiujący prędkość przyrostu odkształceń plastycznych, ε_N określa średnie odkształcenie nukleacji pustek, $\varepsilon_{e\ m}^{pl}$ jest zastępczym odkształceniem plastycznym, a $d\varepsilon_{e\ m}^{pl}$ to prędkość przyrostu zastępczego odkształcenia plastycznego. Podany model wzrostu pustek dopełnia całkowity obraz modelu materiału GTN oraz definiuje szereg dodatkowych wielkości związanych z mikrostrukturalnymi aspektami procesu zniszczenia, w tym w szczególności parametry f_N, ε_N i s_N.

Podstawowym elementem w prowadzonych przeze mnie badaniach była analiza rozwoju mikrodefektów determinujących redukcję wytrzymałości materiału, która postępują w trakcie końcowego etapu jego deformacji, tj. po przekroczeniu maksymalnych naprężeń nominalnych. Według najogólniejszego podejścia proces ten jest opisywany przez tzw. parametr uszkodzenia, który determinuje rozwój mikrodefektów i wpływa na panujący stan naprężenia. W momencie osiągnięcia krytycznej wartości tego parametru obserwuje się inicjację niszczenia materiału w skali makro prowadzącą do jego dekohezji.

Jak już wspomniałem, moje zainteresowania naukowo-badawcze obejmują szeroko traktowaną tematykę nośności i bezpieczeństwa stalowych konstrukcji budowlanych, w ramach której w szczególności zająłem się analizą i modelowaniem procesu niszczenia stali konstrukcyjnych. Z uwagi na powszechność zastosowania, a tym samym szerokie możliwości w zakresie praktycznego wykorzystania uzyskanych wyników, w prowadzonych w omawianym zakresie badaniach skupiłem się na podstawowej i najpowszechniej stosowanej w budownictwie stali, tj. gatunku S235JR.

W przeprowadzonych przez mnie badaniach oparto się głównie na analizie elementów rozciąganych w zakresie statycznym i quasi-statycznym. Wyraźnie rozgraniczono przypadek elementów o stałym przekroju (głównie kołowym, ale także prostokątnym), gdzie na wstępie obserwuje się jednoosiowy stan naprężenia oraz przypadek elementów z karbami, gdzie w zależności od ich geometrii panował przestrzenny stan naprężeń o różnym stopniu złożoności.

W celu jego definicji oraz wyraźnego rozróżnienia poszczególnych przypadków oparto się na tzw. stopniu trójosiowości stanu naprężenia (*degree of stress triaxiality*) σ_m/σ_e. Stopień ten definiowany jest jako stosunek naprężeń hydrostatycznych σ_m do naprężeń efektywnych (zredukowanych, ekwiwalentnych) σ_e, określonych zgodnie z hipotezą Hubera-Misesa-Henckyego (HMH). Najmniejszą wartość stopień trójosiowości naprężeń przyjmuje dla elementu o przekroju kołowym, gdzie $\sigma_m/\sigma_e = 1/3$. W przypadku elementów zawierających karby, które w naturalny sposób wymuszają powstanie przestrzennego stanu naprężeń, wartości σ_m/σ_e są wyższe niż 1/3 i dla intensywnych karbów mogą wynosić ponad 1 lub 2, co świadczy o wysoce złożonym stanie naprężeń w panującym w ich otoczeniu. W prowadzonych badaniach rozróżniono dwa ogólne przypadki: niski wstępny stopień trójosiowości naprężeń osiągany przy użyciu elementów o stałym kołowym przekroju na ich długości oraz wysoki wstępny stopień trójosiowości naprężeń uzyskiwany przy zastosowaniu elementów o przekroju kołowym z karbem pierścieniowym.

6. GŁÓWNY CEL BADAŃ, ICH WKŁAD W ROZWÓJ NAUKI I NAJWAŻNIEJSZE OSIĄGNIĘCIA

Głównym celem prac wykonanych przeze mnie w ramach tematyki obejmującej prezentowane osiągnięcie naukowe było zbadanie procesów i określenie mechanizmów niszczenia stali S235JR w oparciu o analizę zjawisk mikrostrukturalnych przeprowadzoną przy wykorzystaniu zmodyfikowanego modelu materiału porowatego Gursona-Tvergaarda-Needlemana.

Kluczowym zagadnieniem dla zbadania i modelowania procesu niszczenia stali S235JR było powiązanie zmian mikrostrukturalnych zachodzących podczas deformacji materiału z degradacją jego wytrzymałości. W tym zakresie właśnie wykorzystany został zmodyfikowany model materiałowy Gursona-Tvergaarda-Needlamana, który umożliwia uwzględnienie wpływu zmian zachodzących w mikrostrukturze na wytrzymałość materiału. Pozwoliło to z jednej strony na zbadanie zjawisk jakie zachodzą na poziomie mikrostrukturalnym podczas niszczenia materiału, z drugiej zaś strony umożliwiło symulację procesów degradacji jego wytrzymałości.

Zasadniczym problemem na jaki napotkałem w trakcie prowadzenia wstępnych symulacji niszczenia stali S235JR był brak danych literaturowych dotyczących wartości parametrów mikrostruktury GTN dla tego materiału. W licznej literaturze przedmiotowej napotkać można pewne informacje na temat parametrów GTN dla wielu materiałów, wyznaczanych jednakże w przeważającej części prac na podstawie metody *fitting-curve*, czyli dopasowania krzywej wytrzymałościowej uzyskanej numerycznie przy iteracyjnie zmienianych wartościach parametrów GTN do krzywej uzyskanej z eksperymentu. Analizując zmienność wartości parametrów zakładanych na początku iteracji i ich wartości optymalnych, w takim przypadku trudno mówić o parametrach standaryzowanych. Dodatkowo w odniesieniu do wielu stali konstrukcyjnych, w tym szczególnie tych, które są stosowane w budownictwie, brak jest jakichkolwiek informacji dotyczących wartości parametrów mikrostruktury GTN. Dotyczy to jak już zauważono także analizowanej stali S235JR. **Tym samym na wstępie prowadzonych przeze mnie badań został określony ich zakres oraz jeden z podstawowych celów związany z wyznaczeniem i analizą parametrów modelu materiałowego GTN dla stali S235JR. Z uwagi na fundamentalne znaczenie parametrów mikrostruktury GTN dla poznania mechanizmów niszczenia badanej stali, problematyka ta została uwypuklona i ujęta w pierwszym członie tytułu prezentowanego osiągnięcia naukowego: *Wyznaczenie i analiza parametrów materiałowych modelu Gursona-Tvergaarda-Needlemana dla stali S235JR.***

Analizując wyniki prowadzonych do tej pory symulacji skupiłem się na tych parametrach mikrostruktury GTN, które w największym stopniu wpływają na przebieg procesu niszczenia materiału. Jak już wcześniej wspomniano, wpływ degradacji mikrostruktury na wytrzymałość

materiału w modelu GTN ujmuje zmodyfikowany udział objętościowy pustek f^*, którego wartość zmienia się w trakcie deformacji materiału i jest zależna od porowatości początkowej f_0, udziału f oraz krytycznych udziałów f_c i f_F. Wzrost pustek, który jest kluczowym procesem determinującym osłabienie materiału, jest zależny w największym stopniu od odkształceń ε_N, które obserwuje się w momencie zarodkowania pustek. Przebieg procesu niszczenia materiału, szczególnie w jego ostatniej fazie, jest uzależniony również od wartości współczynników Tvergaarda q_i. Wszystkie wymienione tu parametry były wyznaczane i analizowane w ramach wykonanych przeze mnie badań.

Moim wkładem było opracowanie koncepcji oraz wyznaczenie kluczowych parametrów mikrostruktury GTN dla stali S235JR, tj. początkowego udziału objętościowego pustek f_0 [1-3], współczynników Tvergaarda q_i [4], odkształcenia towarzyszącego nukleacji pustek ε_N [5] oraz krytycznych wartości udziałów objętościowych pustek f_c [6] i f_F [7]. Parametry te analizowano również pod kątem wpływu ich wartości na przebieg procesu niszczenia badanego materiału, w rozgraniczeniu od panującego stanu naprężenia. W mojej ocenie warte podkreślenia jest zastosowane podejście, w którym zaproponowano szereg oryginalnych metod eksperymentalnych oraz eksperymentalno-numerycznych zastosowanych do wyznaczenia tych parametrów [1-7]. W szczególności dotyczy to wyznaczonych w badaniach mikrostrukturalnych wartości f_0 [1-3] oraz krytycznych parametrów f_c [6] i f_F [7], które wyznaczano na odkształconym i zdegradowanym materiale rzeczywistym przy wykorzystaniu metod metalografii ilościowej.

Kolejnym zagadnieniem i celem wykonanych badań, była analiza i opis zjawisk oraz określenie mechanizmów zachodzących w mikrostrukturze stali S235JR w trakcie procesu niszczenia [1, 8]. Skupiłem się tu głównie na zbadaniu zjawisk i mechanizmów jakie towarzyszą deformacji badanej stali i są związane rozwojem mikrodefektów w strukturze materiału, determinującym stopniowe osłabianie materiału prowadzące do redukcji jego wytrzymałości. W szczególności zbadano zjawisko wzrostu i ewolucji mikrodefektów (pustek) zachodzące w powiązaniu ze zmianą panującego stanu naprężenia [8].

W tym celu badania prowadzono dla różnych wartości wstępnych stopnia trójosiowości naprężeń σ_m/σ_e. Stwierdzono, że parametr ten determinuje w głównym stopniu przebieg i intensywność procesów zniszczenia stali S235JR, który tym samym jest zależny od panującego stanu naprężenia. Jest to obserwowane szczególnie dla elementów dla których notuje się wysoką wartość σ_m/σ_e wynoszącą ponad 1, co jak już wspomniano, jest spowodowane przestrzennym stanem naprężenia o dużej intensywności [1, 8].

Moim oryginalnym wkładem i osiągnięciem było sprzężenie symulacji numerycznych prowadzonych w oparciu o model materiału GTN z badaniami eksperymentalnymi, zarówno w zakresie prób wytrzymałościowych, jak i analizy mikrostruktury materiałowej, analiza i opis zjawisk zachodzących w trakcie niszczenia stali S235JR w skali mikro i makro strukturalnej, i finalnie określenie mechanizmów niszczenia [1, 8].

Uzyskane wyniki w tym zakresie umożliwiły podjęcie prób **modelowania niszczenia stali S235JR w oparciu o symulacje komputerowe [9, 10], co było kolejnym obszarem i celem przeprowadzonych prac.**

Moim oryginalnym wkładem było opracowanie wytycznych dotyczących modelowania niszczenia stali S235JR w zakresie statycznym z uwzględnieniem mikrostruktury w oparciu o model materiałowy GTN [9]. W tym zakresie opracowałem wytyczne co do sposobu budowy modeli numerycznych, przy uwzględnieniu globalnego i lokalnego podejścia do modelowania warstwy osłabionej materiału [9, 10]. W tym drugim przypadku, bazując na wynikach badań mikrostrukturalnych, opracowałem szczegółowe wytyczne co do modelowania warstwy zniszczenia (*process zone*), w oparciu o model odzwierciedlający rzeczywiste procesy fizyczne, jakie zachodzą w warstwie materiału, w której rozwijają się procesy degradacji struktury materiałowej prowadzące do

zniszczenia w skali makro [9]. Na uwagę zasługuje zastosowanie metalograficznych metod eksperymentalnych w zakresie określenia gęstości siatki modelu MES dla badanej stali S235JR przy wykorzystaniu kryteriów mechaniki pękania [9]. Uzyskane na tym polu rezultaty znalazły również zastosowanie w badaniach dotyczących kluczowych parametrów GTN badanego materiału [2-4, 10].

Wymiernym efektem prowadzonych badań nad modelowaniem niszczenia stali S235JR było przewidywanie momentu jej zniszczenia przy wykorzystaniu modelu GTN oraz określonego kryterium zniszczenia. W tym zakresie oparłem się na dwóch podejściach. W pierwszym z nich opracowałem kryterium zniszczenia stali S235JR na podstawie modelu Stress Modified Critical Strain (SMCS) przy wysokim stopniu trójosiowości naprężeń [11]. **Moim oryginalnym wkładem było zastosowanie w tym celu modelu materiału GTN, który umożliwił określenie stanu naprężenia i odkształcenia w momencie krytycznym, a tym samym wyznaczenia parametru zniszczenia wg modelu SMCS dla stali S235JR [11].** Drugim oryginalnym podejściem była próba opracowania kryterium zniszczenia stali S235JR w oparciu o wielkość, która pozwalałaby na identyfikację momentu zniszczenia materiału i była związana z procesami degradacji struktury materiałowej. Efektem prowadzonych prac było **opracowanie przeze mnie kryterium mikrostrukturalnego pozwalającego na przewidywanie niszczenia stali S235JR w zakresie statycznym i dynamicznym w oparciu o krytyczne wartości udziałów objętościowego pustek w uzależnieniu od panującego stopnia naprężeń [12], co uważam za moje oryginalne osiągnięcie. W moim przekonaniu kryterium to może znaleźć zastosowanie w zagadnieniach praktycznych dotyczących analiz wytrzymałości i nośności elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali S235JR znajdujących się w stanach awaryjnych, np. z powodu przeciążenia, lub zawierających defekty.**

Ostatni zakres prac to próby zastosowania uzyskanych rezultatów do analiz wytrzymałościowych elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali S235JR [13, 14]. Głównym celem tych badań była analiza nośności elementów w skali makro w powiązaniu z analizą rozwoju mikrodefektów determinujących rozwój procesów osłabienia materiału i redukcji jego wytrzymałości. **Uzyskane wyniki potwierdzają, że przy zastosowaniu modelu GTN możliwe jest przewidywanie zniszczenia nie tylko struktury materiałowej, ale opierając się na kryterium mikrostrukturalnym, również zniszczenia analizowanego elementu konstrukcyjnego [13, 14]. Jest to mój oryginalny wkład w rozwój badań dotyczących stosowania modelowania komputerowego do analizowania nośności i bezpieczeństwa pracy zdegradowanych elementów konstrukcyjnych przy wykorzystaniu możliwości jakie dają zaawansowane modele materiałowe.**

Szereg problemów napotkanych i rozwiązanych przeze mnie w ramach wykonanych badań, jak również uzyskane wyniki, stanowią w mojej ocenie istotny wkład w rozwój dziedziny określanej ogólnie jako mechanika zniszczenia materiałów konstrukcyjnych, i co istotne, mogą być wykorzystane praktycznie. Z punktu widzenia inżyniera praktyka, jakim jestem w dziedzinie budownictwa, uważam to za swoje osiągnięcie.

Podsumowując, najważniejsze moje osiągnięcia badawcze to:

1. Wyznaczenie wartości objętościowego udziału pustek f_0 istniejących w materiale dla stali S235JR.
2. Analiza wartości f_0 dla stali S235JR i jego wpływu na zachowanie się materiału w warunkach niskiego i wysokiego początkowego stopnia trójosiowości naprężeń.
3. Wyznaczenie i analiza wartości współczynników Tvergaarda dla stali S235JR i wpływu tych parametrów na zachowanie się materiału.
4. Opracowanie metodologii wyznaczenia wartości odkształceń nukleacji ε_N dla stali S235JR.

5. Wyznaczenie i analiza (wspólnie z W. Wciślikiem) wartości odkształceń nukleacji ε_N dla stali S235JR w powiązaniu ze zmianami stopnia trójosiowości naprężeń.
6. Opracowanie metodologii wyznaczenia wartości krytycznego udziału objętościowego pustek f_c dla stali S235JR.
7. Wyznaczenie i analiza (wspólnie z W. Wciślikiem) wartości krytycznego udziału objętościowego pustek f_c dla stali S235JR.
8. Opracowanie metodologii wyznaczenia wartości krytycznego udziału objętościowego pustek f_F dla stali S235JR.
9. Wyznaczenie i analiza (wspólnie z W. Wciślikiem) wartości krytycznego udziału objętościowego pustek f_F dla stali S235JR.
10. Wyznaczenie długości charakterystycznej l_c dla stali S235JR pozwalającej na numeryczne symulowanie niszczenia tego materiału.
11. Analiza procesów jakie zachodzą w mikrostrukturze stali S235JR w trakcie uplastycznienia oraz określenie mechanizmów jakie towarzyszą niszczeniu materiału na poziomie mikrostrukturalnym w oparciu o model GTN, w tym w szczególności analiza ewolucji mikrouszkodzeń.
12. Opracowanie modelu (*Cell model*) pozwalającego na odzwierciedlenie procesów fizycznych zachodzących w rzeczywistej strukturze stali S235JR, który umożliwia lokalne symulowanie jej niszczenia.
13. Opracowanie kryterium zniszczenia w oparciu o model *Stress Modified Critical Strain* w warunkach złożonego stanu naprężenia dla stali S235JR przy zastosowaniu modelu GTN.
14. Opracowanie mikrostrukturalnego kryterium zniszczenia dla stali S235JR w oparciu o krytyczne wartości udziałów objętościowych pustek wyznaczone przy zastosowaniu modelu GTN.
15. Zastosowanie uzyskanych wyników badań, tj. wyznaczonych dla stali S235JR parametrów modelu GTN oraz opracowanej metodologii prowadzenia obliczeń, w symulacjach niszczenia elementów konstrukcji budowlanych.

7. WYKORZYSTANIE UZYSKANYCH WYNIKÓW

Wyniki uzyskane przeze mnie mogą być wykorzystane zarówno w analizach modelowych dotyczących niszczenia stali S235JR, jak również w pewnym stopniu innych materiałów o podobnych parametrach mechanicznych i budowie mikrostrukturalnej, ale co istotne także w zagadnieniach praktycznych. Dotyczy to głównie analiz wytrzymałościowych elementów konstrukcyjnych, które są uszkodzone, przeciążone oraz silnie uplastycznione. Z uwagi na zaimplementowanie modelu materiałowego GTN do wielu programów obliczeniowych, inżynier ma możliwość dokonania analizy nośności tego typu konstrukcji w pełnym zakresie ich pracy. Pomocne mogą być tutaj wyniki uzyskane przeze mnie, w tym szczególnie opracowane kryteria zniszczenia. W sytuacji stwierdzenia, że kryteria te nie są spełnione, zachodzi duże prawdopodobieństwo, że w obszarze, gdzie obserwuje się rozwój i wzrost mikrodefektów, zainicjowane będą lokalne uszkodzenia materiału i elementu, mogące prowadzić do zniszczenia całego ustroju nośnego.

8. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE HABILITANTA

8.1. Autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)

Łącznie przygotowałem 9 publikacji, które znajdują się w bazie JCR, z czego:
- 7 publikacji jest mojego autorstwa, w tym 2 w druku,
- 2 publikacje są mojego współautorstwa, w tym 1 zgłoszona do JCR (pkt. 4 poz. [6], informacja na stronie: `http://www.cmm2013.put.poznan.pl/node/41`).

8.2. Autorstwo lub współautorstwo monografii, publikacji naukowych w czasopismach międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazach lub na liście, o których mowa w § 3 rozporządzenia

Dorobek w zakresie publikacji poza listą JCR jest następujący:
- współautor 7 rozdziałów w monografiach,
- autor 34 i współautor 10 publikacji w czasopismach punktowanych zestawionych w części B na listach MNiSW,
- autor 11 i współautor 6 publikacji w czasopismach naukowych i technicznych (niepunktowanych),
- autor 2 publikacji w mediach elektronicznych,
- autor 10 i współautor 12 publikacji w materiałach konferencyjnych,
- autor 2 i współautor 1 materiałów dydaktycznych.

8.3. Autorstwo lub współautorstwo dokumentacji prac badawczych, ekspertyz i opinii

Dorobek w omawianym zakresie obejmuje:
- autor 12 i współautor 4 dokumentacji prac badawczych,
- autor pełniący funkcję projektanta w rozumieniu przepisów Prawa Budowlanego 60 projektów technicznych w branży konstrukcyjno-budowlanej,
- autor 13 i współautor 26 ekspertyz technicznych,
- autor 63 i współautor 6 opinii technicznych.

8.4. Sumaryczny impact factor publikacji naukowych według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania

Sumaryczna wartość impact factor publikacji mojego autorstwa wynosi IF = 4.976.

8.5. Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS) oraz innych baz

Liczba cytowań zgodnie z danymi w bazie Web of Science obejmująca publikacje zawarte w zbiorze *Core Collection* wynosi 6.

Liczba cytowań wszystkich moich prac zgodnie z *Cited Reference Index* wg bazy Web of Science wynosi 14.

Liczba cytowań moich prac wg innych baz wynosi:
- baza Scopus: 22 cytowania,
- baza Google Scholar: 86 cytowań.

8.6. Indeks Hirscha opublikowanych publikacji według bazy Web of Science (WoS) oraz innych baz

Indeks Hirscha wg bazy Web of Science wynosi h = 2.

Indeks Hirsha wg innych baz wynosi:
– baza Scopus: h = 3,
– baza Google Scholar: h = 4.

8.7. Kierowanie międzynarodowymi lub krajowymi projektami badawczymi lub udział w takich projektach

8.7.1. Kierownictwo projektu badawczego

1. Kierownik projektu badawczego KBN Nr 7 T08E 007 18 pt. *Eksperymentalna i numeryczna analiza pękania drewna w złożonych stanach obciążenia*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2000–2001.

8.7.2. Kierownictwo pracy badawczej

1. Kierownik pracy badawczej Nr 2.16/8.58 pt. *Eksperymentalne wyznaczanie wartości współczynników uwalniania energii dla drewna z zastosowaniem emisji akustycznej*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 1998–1999.
2. Kierownik pracy badawczej Nr 2.16/8.62 pt. *Analiza pękania elementów drewnianych typu TL i RL*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2002–2003.
3. Kierownik pracy badawczej Nr 2.16/8.64 pt. *Zależność wartości krytycznych współczynników uwalniania energii G_{Ic} drewna obciążonego zgodnie ze sposobem I od anizotropii materiału*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2005–2006.
4. Kierownik pracy badawczej Nr 2.20/8.52 pt. *Wytrzymałość belek drewnianych wzmacnianych matami kompozytowymi*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2007–2008.
5. Kierownik pracy badawczej Nr 2.20/8.56 pt. *Modelowanie numeryczne nośności granicznej elementów w przestrzennych stanach naprężenia*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2009–2010.

8.7.3. Uczestnictwo w projekcie badawczym

1. Uczestnik projektu badawczego rozwojowego Nr R04 007 01 pt. *Opracowanie oraz wstępna weryfikacja procedury diagnozowania metodą emisji akustycznej konstrukcji metalowych ze szczególnym uwzględnieniem mostów stalowych*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2006–2010.

8.7.4. Uczestnictwo w statutowej pracy badawczej

1. Uczestnik statutowej pracy badawczej Nr 2.16/7.04 pt. *Analiza rozwoju uszkodzeń w laminatach obciążanych zmęczeniowo w płaskim stanie naprężenia*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2003–2006.
2. Uczestnik statutowej pracy badawczej Nr 2.16/7.06 pt. *Analiza rozwoju uszkodzeń w konstrukcjach metodą emisji akustycznej*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2007.
3. Uczestnik statutowej pracy badawczej Nr 2.16/7.08 pt. *Korozja naprężeniowa konstrukcji strunobetonowych i kablobetonowych*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2007.
4. Uczestnik statutowej pracy badawczej Nr 2.20/7.05 pt. *Analiza stanów granicznych i diagnostyka konstrukcji*, kierownik zadania: *Analiza krytycznych udziałów objętościowych pustek f_c i f_F modelu materiału porowatego Gursona-Tvergaarda-Needlemana (GTN) dla stali S235JR*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce, 2013–2014.

8.8. Certyfikacja techniczna

W roku 2012 brałem udział w przygotowaniu i uzyskaniu Aprobaty technicznej IBDiM nr AT/2012-02-2890 stwierdzającej pozytywną ocenę techniczną i przydatność wyrobu budowlanego „Urządzenie przeciwhałasowe stalowo–ziemne" o nazwie handlowej EMTE GREEN.

8.9. Międzynarodowe lub krajowe nagrody za działalność naukową

1. **Kossakowski P.**, Nagroda Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1998.
2. **Kossakowski P.**, Wyróżnienie za Najlepszy Referat Młodego Pracownika Nauki, *20. Międzynarodowe Sympozjum Młodych Pracowników Nauki i Studentów*, Politechnika Zielonogórska, Zielona Góra 1998.
3. **Kossakowski P.**, Wyróżnienie Pracy Doktorskiej pt. „Analiza odporności na pękanie sosnowych elementów belkowych w złożonym stanie obciążenia", Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2004.
4. **Kossakowski P.**, Nagroda Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2005.
5. **Kossakowski P.**, Nagroda Ministra Transportu i Budownictwa za Pracę Doktorską, Warszawa 2005.
6. **Kossakowski P.**, Nagroda II stopnia Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2009.
7. **Kossakowski P.**, Nagroda Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2010.
8. **Kossakowski P.**, Nagroda II stopnia Rektora Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2012.

8.10. Wygłoszenie referatów na międzynarodowych lub krajowych konferencjach tematycznych

Łącznie zaprezentowałem 20 referatów na konferencjach krajowych i zagranicznych, których szczegółowy spis zawarto w załączniku 3.

9. DOROBEK DYDAKTYCZNY I POPULARYZATORSKI ORAZ WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ

9.1. Uczestnictwo w programach europejskich i innych programach międzynarodowych lub krajowych

Uczestnictwo w programie *Tempus* realizowanym na Wydziale Budownictwa Lądowego w Politechnice Świętokrzyskiej w roku 1999.

9.2. Udział w międzynarodowych lub krajowych konferencjach naukowych lub udział w komitetach organizacyjnych tych konferencji

Łącznie brałem udział w 20 konferencjach naukowych, w tym 8 międzynarodowych i 12 krajowych, których szczegółowy spis zawarto w załączniku 4.

W trakcie XXV Konferencji *Awarie Budowlane 2011* pełniłem funkcję Sekretarza obrad Sesji Problemowej *Powódź w Polsce – Zniszczenia i profilaktyka cz I.*

9.3. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

Zgodnie z pkt. 8.9.

9.4. Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism

1. Członek Rady Naukowej czasopisma *Advances in Civil and Environmental Engineering* wydawanego przez Columbia International Publishing w USA, od 2013. (http://aceeg.uscip.us/EditorialBoard.aspx)
2. Recenzent stały w czasopiśmie *Journal of Civil Engineering and Architecture* wydawanym przez David Publishing Company w USA (Lista MNiSW część B), od 2013.
3. Recenzent stały w czasopiśmie *Journal of Aerospace Science and Technology* wydawanym przez David Publishing Company w USA, od 2014.

9.5. Członkostwo w międzynarodowych lub krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych

1. Członek *Świętokrzyskiej Okręgowej Izby Inżynierów Budownictwa w Kielcach*, od 2003.
2. Członek *Polskiej Grupa Mechaniki Pękania* afiliowanej przy *Komitecie Budowy Maszyn PAN*, od 1999.
3. Członek *European Structural Integrity Society* (ESIS), od 2013.

9.6. Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki

Moja główna działalność dydaktyczna związana jest z prowadzeniem w Politechnice Świętokrzyskiej zajęć obejmujących wykłady, ćwiczenia, projektowanie i laboratoria na kierunku Budownictwo z przedmiotów takich jak *Wytrzymałość Materiałów* i *Komputerowe Projektowanie Konstrukcji Betonowych* oraz ćwiczeń i projektowanie z przedmiotu *Mechanika Budowli i Wytrzymałość Materiałów* realizowanego na kierunku Inżynieria Środowiska.

Moim istotnym indywidualnym wkładem w rozwój dydaktyki oferowanej przez Wydział Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej było opracowanie autorskiego programu i wprowadzenie do oferty dydaktycznej zajęć z przedmiotu *Komputerowe Projektowanie Konstrukcji Betonowych*, który jest realizowany na studiach stacjonarnych 1 i 2 stopnia na kierunku Budownictwo.

Działalność w zakresie popularyzacji nauki obejmuje również:

1. Czynny udział z ramienia Politechniki Świętokrzyskiej w *V Ogólnopolskich Targach Szkół Wyższych*, Radom 2008.
2. Czynny udział z ramienia Politechniki Świętokrzyskiej w *Targach Materiałów Budownictwa Mieszkaniowego*, Kielce 2009.
3. Zajęcia z uczniami II Liceum Ogólnokształcącego im. J. Śniadeckiego w Kielcach w ramach przygotowań do Olimpiad Wiedzy Technicznej, co przyczyniło się do uzyskania przez nich czołowych miejsc w finale krajowym, corocznie w latach 2009–2012.

4. Udział w akcji "Partnerstwo – Szkoła – Politechnika Świętokrzyska" realizowanej w Politechnice Świętokrzyskiej jako opiekun I LO im. Komisji Edukacji Narodowej w Końskich, od 2013.

9.7. Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze opiekuna naukowego lub promotora pomocniczego, z podaniem tytułów rozpraw doktorskich

1. Promotor pomocniczy w latach 2012-2014 w przewodzie doktorskim dra inż Wiktora Wciślika, tytuł rozprawy: *Eksperymentalne i numeryczne wyznaczenie oraz analiza wybranych parametrów modelu Gursona-Tvergaarda-Needelmana dla stali S355 w złożonych stanach naprężeń*, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2014. Praca obroniona w lipcu 2014 r. na Wydziale Budownictwa i Architektury Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach.
2. Promotor pomocniczy od 2014 r. w przewodzie doktorskim mgra inż. Łukasza Kosno, tytuł rozprawy: *Wykorzystanie georadaru do oceny poprawności wykonania i eksploatacji powłokowych przekryć stalowych*, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach.

9.8. Opieka nad inżynierami w trakcie praktyki zawodowej do uprawnień budowlanych

1. W roku 2005 pełniłem funkcję kierownika praktyki zawodowej do uprawnień budowlanych w zakresie projektowania w specjalności konstrukcyjno-budowlanej mgr inż. Anny Król, która uzyskała uprawnienia w ww. zakresie w roku 2010.
2. W latach 2008–2009 pełniłem funkcję kierownika praktyki zawodowej do uprawnień budowlanych w zakresie projektowania w specjalności mosty mgra inż. Mateusza Stańczyka.

9.9. Opieka naukowa nad studentami

9.9.1. Promotorstwo i recenzje prac dyplomowych

1. Promotorstwo 7 prac dyplomowych magisterskich i 2 prac dyplomowych inżynierskich realizowanych w Politechnice Świętokrzyskiej na kierunku Budownictwo od roku 2006.
2. Sporządzenie kilkudziesięciu recenzji prac dyplomowych na kierunku Budownictwo w Politechnice Świętokrzyskiej.

9.9.2. Indywidualna opieka nad studentami w trakcie ich nauki

Od roku 2003 prowadziłem zajęcia i opiekowałem się 12 studentami studiującymi w trybie Indywidualnego Toku Studiów na kierunku Budownictwo w Politechnice Świętokrzyskiej: Katarzyna Krawczyk, Radosław Zaborek, Piotr Ziółkowski, Małgorzata Kalicka, Wiktor Wciślik, Piotr Walczak, Mateusz Stańczyk, Michał Teodorczyk, Hubert Dudziński, Paulina Arczewska, Zbigniew Drogosz i Joanna Kłosowska.

9.10. Staże w zagranicznych lub krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich

1. Staż naukowy w Glasgow University (Szkocja) w ramach programu *Tempus*, Glasgow 1999.

2. Staż naukowy w przedsiębiorstwie *Agnar – Usługi Projektowo-Inwestycyjne* w Kielcach w ramach Projektu *„Świętokrzyski Transfer Wiedzy – wiedza i praktyka dla rozwoju gospodarki”* współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego i realizowany przez Staropolską Izbę Przemysłowo-Handlową w Kielcach na podstawie umowy ze Świętokrzyskim Biurem Rozwoju Regionalnego w Kielcach, 2012.

9.11. Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie organów władzy publicznej, samorządu terytorialnego, podmiotów realizujących zadania publiczne lub przedsiębiorców

Zgodnie z pkt. 8.3 oraz szczegółowymi zestawieniami podanymi w załącznikach 3 i 4.

9.12. Recenzowanie projektów międzynarodowych lub krajowych oraz publikacji w czasopismach międzynarodowych i krajowych

Łącznie recenzowałem 15 publikacji naukowych, wg szczegółowego spisu podanego w załączniku 4.

9.13. Udział w szkoleniach

Łącznie wziąłem udział w 9 szkoleniach, wg szczegółowego spisu podanego w załączniku 4.

10. OSIĄGNIĘCIA W DZIEDZINIE BUDOWNICTWA I INŻYNIERII

W zasadzie równolegle z pracą naukowo-badawczą rozpocząłem działalność w zakresie inżynierskim, związaną głównie z profilem uzyskanego wykształcenia, tj. budownictwem i inżynierią budowlaną. Doświadczenie i praktyka zdobyte w trakcie staży i pracy w przedsiębiorstwach budowlanych zaowocowały zdobyciem kompletu uprawnień budowlanych do projektowania i nadzorowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej. Zwieńczeniem kariery na tym polu było nadanie mi w b.r. tytułu rzeczoznawcy budowlanego w specjalności konstrukcyjno-budowlanej obejmującej projektowanie w zakresie budownictwa ogólnego i przemysłowego.

W trakcie swojej kilkunastoletniej praktyki inżynierskiej związanej głównie z projektowaniem konstrukcyjno-budowlanym opracowałem oraz weryfikowałem szereg projektów w tym zakresie, jak również sporządziłem wiele opinii i ekspertyz o stanie technicznym różnych obiektów budowlanych. Łączna ilość opracowań technicznych, których jestem autorem bądź brałem udział w ich opracowaniu wynosi na dzień dzisiejszy nieco ponad 500. Wybiórczy, przekrojowy wykaz opracowań technicznych wykonanych jako samodzielny projektant (po uzyskaniu przeze mnie uprawnień do projektowania) oraz opracowań w których przygotowaniu brałem udział jako kierownik oraz członek zespołu autorskiego zestawiono w załącznikach 3 i 4.

Paweł Kossakowski