

Autoreferat

przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

1. Imię i nazwisko: **Tomasz Garbowski**
2. Uzyskane dyplomy, stopnie naukowe, zdobyte uprawnienia i kwalifikacje
 - 03.2010 doktor inżynier

Tytuł rozprawy: *Material model calibration based on full-field measurements and inverse analysis, with applications to concrete dams and anisotropic free-foils (Kalibracja modeli materiałowych oparta na powierzchniowych pomiarach przemieszczeń i analizie odwrotnej, z zastosowaniem do betonowych tam i anizotropowych folii)*,
Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Strutturale.
 - 12.2006 uprawnienia do pełnienia samodzielnej funkcji technicznej w budownictwie

ZAP/0127/PWOK/06: Projektowanie i kierowanie robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności konstrukcje budowlane.
 - 01.2005 trzysemestralne studia podyplomowe

Inżynierskie zastosowanie komputerów
Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny.
 - 12.2003 dwusemestralne studia podyplomowe

Kwalifikacje nauczycielskie z zakresu przygotowania pedagogicznego,
Politechnika Koszalińska, Podyplomowe Studium Pedagogiczne.
 - 07.2000 magister inżynier

Tytuł pracy: *Projekt maszty radiowego o wysokości 120 metrów*,
Politechnika Koszalińska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych
 - 2010– adiunkt

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej.
 - 2014–2015 profesor wizytujący

Faculty of Civil and Environmental Engineering, Politecnico di Milano.
 - 2007–2010 doktorant

Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Milano.
 - 2001–2009 asystent

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Koszalińskiej.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy.

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego – cykl prac pt.

Eksperymentalno-numeryczne procedury identyfikacji parametrów materiałowych z wykorzystaniem modeli zastępczych i metod odwrotnych.

4.2. Przedstawienie poszczególnych publikacji wchodzących w skład osiągnięcia.

Lp.	Autor, tytuł czasopismo	udział	IF	pkt
A1	T. Garbowski , G. Maier, G. Novati	50%	0,696	20
Diagnosis of concrete dams by flat-jack tests and inverse analyses based on proper orthogonal decomposition, <i>Journal of Mechanics of Materials and Structures</i> , Vol. 6(1-4), pp. 181–202, 2011				
W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną procedurę identyfikacji: <ul style="list-style-type: none">• parametrów materiałowych w sprężysto-plastycznym modelu konstytutywnym betonu z transwersalną izotropią i kohezyjnym modelem zniszczenia,• stanu naprężeń w betonowych tamach grawitacyjnych. Wykorzystano następujące koncepcje technik eksperymentalnych: <ul style="list-style-type: none">• nową konfigurację geometryczną quasi-nieniszczących testów in-situ ‘flat-jack’ (sloty w kształcie litery ‘T’);• optyczne pomiary przemieszczeń i odkształceń wykonane z zastosowaniem technik cyfrowej korelacji obrazu (DIC – Digital Image Correlation). W modelu numerycznym, zbudowanym z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zastosowano następujące opisy konstytutywne: <ul style="list-style-type: none">• transwersalnie izotropowy model liniowo-sprężysty,• kryterium uplastycznienia Druckera-Pragera bez wzmocnienia,• kohezyjny model pęknięcia. W analizie odwrotnej wykorzystano: <ul style="list-style-type: none">• gradientowe algorytmy ograniczonego zaufania (TRA – Trust Region Algorithm),• sztuczne sieci neuronowe (jako model zastępczy),• właściwy rozkład ortogonalny (POD – Proper Orthogonal Decomposition). Elementy oryginalne: <ul style="list-style-type: none">• propozycja nowej konfiguracji geometrycznej testu in situ ‘flat-jack’, która, w przeciwieństwie do tradycyjnej konfiguracji, umożliwia jednoczesną identyfikację stanu naprężeń i parametrów materiałowych (zarówno w opisie liniowo-sprężystym, jak i plastycznym),• wykorzystanie koncepcji DIC do pomiaru pola przemieszczeń,• wykorzystanie POD do regularyzacji problemu odwrotnego,• opracowanie procedur: (a) identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z kryterium Druckera-Pragera oraz (b) w kohezyjnym modelu				

pękania, (c) wyznaczania stanu naprężeń w grawitacyjnych tamach betonowych.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:

- a) częściowym opracowaniu koncepcji procedury wyznaczania parametrów materiałowych oraz stanu naprężeń,
- b) szczegółowym opracowaniu zagadnienia;
- c) implementacji metody obliczeniowej;
- d) opracowaniu wyników i wniosków.

A2	T. Garbowski, G. Maier, G. Novati	50%	1,974	35
----	-----------------------------------	-----	-------	----

On calibration of orthotropic elastic-plastic constitutive models for paper foils by biaxial tests and inverse analyses,

Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 46(1), pp. 111–128, 2012

W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną procedurę identyfikacji parametrów materiałowych w sprężysto-plastycznym modelu konstytutywnym cienkich arkuszy papieru lub tektury litej.

Wykorzystano następujące koncepcje technik eksperymentalnych:

- nową konfigurację geometryczną testów dwuosiowego rozciągania (próbka w kształcie krzyża z okrągłym otworem w centralnej części),
- optyczne pomiary przemieszczeń i odkształceń wykonane z zastosowaniem technik cyfrowej korelacji obrazu (DIC – Digital Image Correlation).

W modelu numerycznym, zbudowanym z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zastosowano następujące opisy konstytutywne:

- ortotropowy model liniowo-sprężysty,
- ortotropowe kryterium uplastycznienia Xia-Boyce-Parksa, z niezależnym opisem wzmocnienia dla ściskania i rozciągania, w każdym kierunku ortotropii.

W analizie odwrotnej wykorzystano:

- gradientowe algorytmy ograniczonego zaufania (TRA – Trust Region Algorithm);
- sztuczne sieci neuronowe (jako model zastępczy) oraz
- właściwy rozkład ortogonalny (POD – Proper Orthogonal Decomposition).
- techniki optymalnego rozkładu punktów obliczeniowych w przestrzeni parametrów, opartej na hipersześcianach łacińskich (ang. Latin Hypercube).

Elementy oryginalne:

- propozycja nowej konfiguracji geometrycznej testu dwuosiowego rozciągania cienkich arkuszy cechująca się dużą wrażliwością na parametry materiałowe zarówno w ortotropowym modelu liniowo-sprężystym, jak i plastycznym;
- wykorzystanie koncepcji DIC do pomiaru pola przemieszczeń,
- wykorzystanie POD do regularyzacji problemu odwrotnego,
- opracowanie procedury identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z kryterium Xia-Boyce-Perksa.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:

- a) przygotowaniu i opracowaniu koncepcji eksperymentalno-numerycznej procedury wyznaczania parametrów materiałowych;
- b) szczegółowym opracowaniu zagadnienia;
- c) implementacji metody obliczeniowej;
- d) opracowaniu rezultatów i wniosków.

A3

T. Gajewski, T. Garbowski

50%

1,793

25

Calibration of concrete parameters based on digital image correlation and inverse analysis,

Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 14(1), pp. 170–180, 2014

W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną procedurę identyfikacji parametrów materiałowych w sprężysto-plastycznym modelu betonu.

Wykorzystano następujące techniki eksperymentalne:

- klasyczne testy ściskania osiowego sześciennych próbek betonu,
- optyczne pomiary przemieszczeń i odkształceń wykonane z zastosowaniem technik cyfrowej korelacji obrazu (DIC – Digital Image Correlation).

W modelu numerycznym, zbudowany z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zastosowano następujące opisy konstytutywne:

- izotropowy model liniowo-sprężysty,
- kryterium uplastycznienia Lublinerera.

W analizie odwrotnej wykorzystano:

- analizę wrażliwości,
- właściwy rozkład ortogonalny (POD – Proper Orthogonal Decomposition).
- gradientowe algorytmy ograniczonego zaufania (TRA – Trust Region Algorithm).

Elementy oryginalne:

- opracowanie i wykorzystanie autorskiego oprogramowania do korelacji obrazu w procesie pomiaru przemieszczeń,
- wykorzystanie DIC do pomiaru pola przemieszczeń,
- wykorzystanie POD do regularyzacji problemu odwrotnego,
- opracowanie procedury identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z kryterium Lublinerera.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:

- a) przygotowaniu koncepcji procedury identyfikacji parametrów materiałowych,
- b) wstępnym opracowaniu zagadnienia,
- c) przygotowaniu implementacji algorytmów do pomiaru przemieszczeń,
- d) przygotowaniu implementacji algorytmów do identyfikacji,
- e) częściowym opracowaniu wniosków.

A4	T. Gajewski, T. Garbowski	50%	WoS	15
<p>Mixed experimental/numerical methods applied for concrete parameters estimation, <i>Recent Advances in Computational Mechanics</i>. Proceedings of 20th International Conference on Computer Methods in Mechanics CMM2013,, Eds. T. Łodygowski, J. Rakowski, P. Litewka, pp. 293–302, CRC Press, 2014</p>				
<p>W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną procedurę identyfikacji parametrów materiałowych w sprężysto-plastycznym modelu betonu.</p> <p>Wykorzystano następujące techniki eksperymentalne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● klasyczne testy ściskania osiowego sześciennych próbek betonu, ● optyczne pomiary przemieszczeń i odkształceń wykonane z zastosowaniem technik cyfrowej korelacji obrazu (DIC – Digital Image Correlation). <p>W modelu numerycznym, zbudowanym z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zastosowano następujące opisy konstytutywne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● izotropowy model liniowo-sprężysty, ● kryterium plastyczności Druckera Pragera z trzema różnymi kształtami powierzchni plastycznej w płaszczyźnie południkowej oraz liniowym wzmocnieniem. <p>W analizie odwrotnej wykorzystano:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● analizę wrażliwości, ● właściwy rozkład ortogonalny (POD – Proper Orthogonal Decomposition). ● gradientowe algorytmy ograniczonego zaufania (TRA – Trust Region Algorithm); <p>Elementy oryginalne:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● wykorzystanie autorskiego oprogramowania do korelacji obrazu w procesie pomiaru przemieszczeń, ● wykorzystanie POD do regularyzacji problemu odwrotnego, ● wykorzystanie DIC do pomiaru pola przemieszczeń, ● opracowanie procedury identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z trzema wariantami kryterium Druckera-Pragera. <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) adaptacji zaprezentowanej w pracy [A3] koncepcji metody kalibracji parametrów materiałowych betonu, b) wstępnym opracowaniu zagadnienia, c) adaptacji fragmentów algorytmów obliczeniowych, d) częściowym opracowaniu wniosków. 				



A5	V. Buljak, T. Garbowski	50%	WoS	15
<p>Efficient methods for optimal space filling in model reduction techniques, <i>Recent Advances in Computational Mechanics</i>. Proceedings of 20th International Conference on Computer Methods in Mechanics CMM2013, Eds. T. Łodygowski, J. Rakowski, P. Litewka, pp. 285–292, CRC Press, 2014</p>				
<p>W pracy zaprezentowano metody budowania modeli zastępczych na podstawie procedur optymalnego rozkładu punktów próbkowania w przestrzeni parametrów. Poprawnie skonstruowane metamodele są znacznie wydajniejsze od kosztownych obliczeniowo modeli numerycznych, dlatego są często stosowane w przemysłowych procedurach odwrotnych. Niestety dokładność modeli zastępczych jest ściśle związana z liczbą punktów, których użyto do ich budowy oraz zależy od lokalizacji tych punktów w przestrzeni szukanych parametrów. Dlatego problem optymalnego rozkładu jest bardzo istotny, szczególnie gdy surogat budowany jest na podstawie próbkowania wielowymiarowej przestrzeni parametrów lub gdy koszt uzyskania wystarczającej liczby punktów obliczeniowych jest duży. W takich sytuacjach optymalne rozmieszczenie punktów obliczeniowych jest podstawowym narzędziem do uzyskania wiarygodnych wyników.</p> <p>W pracy wykorzystano metody:</p> <ul style="list-style-type: none"> • hipersześcianów łącińskich, • interaktywnych węzłów. <p>Elementy oryginalne:</p> <ul style="list-style-type: none"> • opracowanie algorytmów do optymalnego rozkładu punktów w przestrzeni parametrów na podstawie metody interaktywnych węzłów, • opracowanie algorytmów do optymalnego rozkładu punktów w przestrzeni parametrów na podstawie metody hipersześcianów łącińskich. <p>Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) przygotowaniu algorytmu metody budowania surogatów opartej na optymalnej siatce punktów w przestrzeni parametrów modelu obliczeniowego, b) implementacji metody optymalnych hipersześcianów łącińskich (ang. optimal latin hypercube method), c) wykonaniu szeregu analiz numerycznych metody, d) opracowaniu części wniosków. 				
A6	G.Maier, V.Buljak, T. Garbowski , G.Cocchetti, G.Novati	20%	0,750	25
<p>Mechanical characterization of materials and diagnosis of structures by inverse analyses: some innovative procedures and applications. <i>International Journal of Computational Methods</i>, Vol.11 (3) pp. 1343002 (25 pages), 2014</p>				
<p>W pracy zestawiono eksperymentalno-numeryczne procedury identyfikacji:</p> <ul style="list-style-type: none"> • parametrów materiałowych w konstrukcjach stalowych, • naprężeń rezydualnych, 				



- parametrów materiałowych w cienkich arkuszach papieru i tektury,
- parametrów materiałowych w konstrukcjach betonowych.

Wykorzystano następujące techniki eksperymentalne:

- testy mikro-indentacji wgłębniakiem o różnych kształtach,
- testy profilometryczne,
- testy dwuosowego rozciągania,
- test zginania i ściskania cienkich arkuszy papieru i tektury,
- testy dylatometryczne,
- testy in situ 'flat-jack',
- optyczne pomiary przemieszczeń i odkształceń wykonane z zastosowaniem technik cyfrowej korelacji obrazu (DIC – Digital Image Correlation).

W modelach numerycznych, zbudowanych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zastosowano następujące opisy konstytutywne:

- izotropowy model liniowo-sprężysty,
- transwersalnie izotropowy model liniowo sprężysty,
- ortotropowy model liniowo-sprężysty,
- kryterium uplastycznienia Hubera-Misesa,
- kryterium uplastycznienia Druckera Pragera,
- kryterium uplastycznienia Xia-Boyce-Perksa,
- kohezyjny model pęknięcia.

W analizie odwrotnej wykorzystano:

- gradientowe algorytmy ograniczonego zaufania (TRA – Trust Region Algorithm),
- sztuczne sieci neuronowe (jako model zastępczy),
- właściwy rozkład ortogonalny (POD – Proper Orthogonal Decomposition),
- radialne funkcje bazowe (RBF – Radial Basis Functions).

Elementy oryginalne:

- wykorzystanie koncepcji DIC do pomiaru pola przemieszczeń,
- wykorzystanie POD do regularyzacji problemu odwrotnego,
- opracowanie metod identyfikacji parametrów materiałowych w różnych modelach konstytutywnych.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:

- a) wykonaniu i opracowaniu szeregu przykładów analiz numerycznych,
- b) przygotowaniu wyników analiz i wniosków.

A7	M. Chuda-Kowalska, T. Gajewski, T. Garbowski	35%	0,679	15
----	---	-----	-------	----

The mechanical characterization of orthotropic elastic parameters of a foam by the mixed experimental-numerical analysis,
Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol.53 (2), pp 383-394, 2015

W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczne procedury identyfikacji parametrów materiałowych w opisie konstytutywnym ortotropowych pianek płyt

warstwowych.

Wykorzystano następujące techniki eksperymentalne:

- testy ścinania płyt warstwowych;
- optyczne pomiary przemieszczeń i odkształceń wykonane z zastosowaniem technik cyfrowej korelacji obrazu (DIC – Digital Image Correlation).

W modelach numerycznych, zbudowanych z wykorzystaniem metody elementów skończonych, zastosowano ortotropowy liniowo-sprężysty opis konstytutywny pianki wypełniającej w płycie warstwowej.

W analizie odwrotnej wykorzystano:

- analizę wrażliwości,
- gradientowe algorytmy ograniczonego zaufania (TRA – Trust Region Algorithm).

Elementy oryginalne:

- wykorzystanie autorskiego oprogramowania do korelacji zdjęć w procesie pomiaru przemieszczeń,
- wykorzystanie DIC do pomiaru pola przemieszczeń,
- wykorzystanie POD do regularyzacji problemu odwrotnego,
- opracowanie metody identyfikacji parametrów materiałowych w ortotropowym modelu liniowo-sprężystym pianki wypełniającej w płytach warstwowych;

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:

- a) opracowaniu koncepcji procedury identyfikacji parametrów materiałowych ortotropowych pianek,
- b) wstępnym przygotowaniu implementacji modeli obliczeniowych,
- c) opracowaniu części wniosków.

A8	A. Venier, T. Garbowski	50%	WoS	15
----	--------------------------------	-----	-----	----

Reliable mechanical characterization of layered pavement structures.
Advance in Mechanics. Theoretical, Computational and Interdisciplinary Issues.
Proceedings of the 3rd Polish Congress of Mechanics (PCM) and 21st *International Conference on Computer Methods in Mechanics (CMM)*, Ed. M. Kleiber, T. Burczyński, K. Wilde, J. Gorski, K. Winkelmann, and Ł. Smakosz, pp. 183–186, CRC Press 2016

W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną procedurę identyfikacji parametrów materiałowych w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogowych.

Wykorzystano następujące koncepcje technik eksperymentalnych:

- testy dynamiczne FWD (Falling Weight Deflectometer);
- pomiar pola przemieszczeń za pomocą geofonów.

W osiowosymetrycznym, warstwowym modelu numerycznym, zbudowanym z wykorzystaniem metody elementów spektralnych, zastosowano liniowo-sprężysty opis konstytutywny poszczególnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej



z założeniem pełnej szepności międzywarstwowej.

W analizie odwrotnej wykorzystano:

- algorytm oparty na rozszerzonych filtrach Kalmana,
- gradientowy algorytm Levenberga-Marquardta,
- bezgradientowy algorytm Powella.

Elementy oryginalne:

- opracowanie modelu obliczeniowego wykorzystującego metodę elementów spektralnych z modyfikacją przyspieszającą proces identyfikacji.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na:

- a) przygotowaniu wstępnej koncepcji implementacji modelu numerycznego,
- b) opracowaniu uproszczeń i modyfikacji algorytmów obliczeniowych,
- c) wstępnym opracowaniu zagadnienia i części wniosków.

A9	T. Garbowski, A. Pożarycki	80%	1.033	20
----	----------------------------	-----	-------	----

Multi-level backcalculation algorithm for robust determination of pavement layers parameters.

Inverse Problems in Science and Engineering, Vol. 25(5), pp. 674–693, 2017.

W pracy zaprezentowano eksperymentalno-numeryczną procedurę identyfikacji:

- parametrów materiałowych w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogowych,
- grubości warstw nawierzchni.

Wykorzystano następujące koncepcje technik eksperymentalnych:

- testy dynamiczne FWD (Falling Weight Deflectometer),
- pomiar pola przemieszczeń za pomocą geofonów.

W osiowosymetrycznym, warstwowym modelu numerycznym, zbudowanym zgodnie z metodą elementów skończonych, wykorzystano liniowo-sprężysty opis konstytutywny poszczególnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowej z założeniem pełnej szepności międzywarstwowej.

W analizie odwrotnej wykorzystano:

- analizę wrażliwości;
- zagnieżdżony (wielopoziomowy) gradientowy algorytm Levenberga-Marquardta.

Elementy oryginalne:

- opracowanie autorskiego algorytmu zagnieżdżonego, opartego na dwupoziomowym algorytmie gradientowym Levenberga-Marquardta,
- jednoczesna identyfikacja grubości i sztywności warstw nawierzchni drogowych,
- wykorzystanie gradientów pola przemieszczeń zamiast pola przemieszczeń w procesie identyfikacji,
- opracowanie nowej procedury jednoczesnej identyfikacji grubości i sztywności warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogowych.

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji nowego algorytmu do obliczeń odwrotnych i jego

- a) implementacji w środowisku Matlab,
- b) wykonaniu szczegółowych analiz numerycznych,
- c) opracowaniu części wniosków.

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników oraz ich ewentualnych zastosowań.

Przedstawiony cykl prac dotyczy bezpośrednio oraz pośrednio procedur identyfikacji parametrów materiałowych różnych modeli konstytutywnych, opartych na: (1) odpowiednio zaprojektowanym eksperymencie, (2) symulacji komputerowej oraz (3) technikach programowania matematycznego. Wszystkie trzy wymienione wyżej elementy procesu identyfikacji stanowią integralną całość, która zdefiniowana jest w literaturze jako problem odwrotny (ang. *inverse analysis*).

Analiza odwrotna polega na określaniu parametrów dowolnego modelu (np. parametrów materiałowych), na podstawie obserwacji pewnych mierzalnych wielkości (np. przemieszczeń, przyspieszeń, częstości drgań własnych, itp.). Niestety uzyskane pomiary, rzadko można wykorzystać do bezpośredniego wyznaczenia poszukiwanych parametrów. Wynika to często z braku możliwości wyeliminowania (lub uwzględnienia) nieznanych lub trudnych do przewidzenia a priori wpływów innych efektów na uzyskane wyniki pomiarowe. Tymi efektami są najczęściej inne parametry (np. materiałowe, geometryczne, pomiarowe), które bezpośrednio lub pośrednio wpływają na wynik pomiarowy.

Z tego powodu do identyfikacji szukanych parametrów często wykorzystuje się niebezpośrednie (odwrotne) metody identyfikacji, w których oprócz pomiarów eksperymentalnych niezbędny jest też model do symulacji eksperymentu. Dlatego kolejnym ważnym elementem składowym procesu identyfikacji jest wiarygodny model matematyczny analizowanego zagadnienia. Odpowiednio skonstruowany model numeryczny służy nie tylko do symulacji eksperymentu, ale również do przeprowadzenia szczegółowej analizy wrażliwości. Obserwowane zmiany mierzalnych wielkości eksperymentalnych, wywołane drobnymi zmianami współczynników modelu (tj. wrażliwość danych pomiarowych) pozwalają ocenić stopień identyfikowalności szukanych parametrów. Z tego powodu analiza wrażliwości jest też doskonałym narzędziem do kontroli poprawności zaprojektowanego doświadczenia.

Głównym celem wykorzystania modelu obliczeniowego, jak już wspomniano, nie jest jednak wspomaganie decyzji dotyczącej kontroli eksperymentu, a raczej

wykonanie jego symulacji komputerowej. Porównując wyniki pomiarów doświadczalnych z odpowiednimi, symulowanymi wynikami uzyskanymi z analiz numerycznych, można ocenić, w jakim stopniu się one różnią. Zmieniając parametry modelu, korygowana jest rozbieżność między wynikami. Jeżeli zmiana parametrów wykonywana jest automatycznie za pomocą algorytmów matematycznych, to problem sprowadza się do zagadnienia minimalizacji (tutaj – minimalizacji rozbieżności pomiędzy zmierzonymi i obliczonymi wielkościami) za pomocą metod optymalizacji.

W najprostszych algorytmach optymalizacji stosuje się próbkowanie funkcji celu w pewnym otoczeniu punktu w przestrzeni parametrów. Na podstawie wartości funkcji uzyskanych w sąsiednich punktach określany jest kolejny kierunek kroku analizy. Bardziej zaawansowane algorytmy wykorzystują informacje o pierwszych i/lub drugich pochodnych cząstkowych funkcji. Inne, zaliczane do algorytmów heurystycznych, wykorzystują np. zasady ewolucji biologicznej lub zjawisko wyżarzania. Alternatywą dla czasochłonnych algorytmów iteracyjnych, gdzie w każdym kroku wykorzystuje się model numeryczny, jest budowa metamodelu – modelu zastępczego – za pomocą np. sztucznych sieci neuronowych, funkcji aproksymujących, radialnych, procesów Gaussa itp.

W prezentowanym cyklu prac omówiono wiele wzmiankowanych wyżej zagadnień związanych z ogólnym sformułowaniem problemu odwrotnego, budową surogatów, technikami obliczeniowymi, wskazano też przykłady ich praktycznych zastosowań. Najważniejszymi oryginalnymi osiągnięciami są:

- propozycja nowej konfiguracji geometrycznej testu ‘flat-jack’, która umożliwi identyfikację parametrów materiałowych w nieliniowych modelach konstytutywnych [A1],
- propozycja nowej konfiguracji geometrycznej testu dwuosowego rozciągania cienkich arkuszy, cechująca się dużą wrażliwością na parametry materiałowe w nieliniowych modelach konstytutywnych [A2],
- opracowanie procedur: (a) identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z kryterium Druckera-Pragera oraz (b) kohezyjnym modelu pęknięcia, (c) wyznaczeniu stanu naprężeń w grawitacyjnych tamach betonowych [A1],
- opracowanie procedury identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z kryterium Xia-Boyce-Perksa [A2],
- opracowanie metody identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z kryterium Lublinerera [A3],
- opracowanie procedury identyfikacji parametrów materiałowych w modelu konstytutywnym z trzema wariantami kryterium Druckera-Pragera na podstawie klasycznego testu ściskania próbek betonowych [A4],
- opracowanie procedury identyfikacji parametrów materiałowych w ortotropowym modelu liniowo-sprężystym pianek wypełniających w płytach warstwowych [A7],
- wykorzystanie optycznego pomiaru przemieszczeń i odkształceń w celu

zwiększenia liczby danych i, w konsekwencji, regularyzacji problemu odwrotnego [A1–A4,A6–A7],

- wykorzystanie właściwego rozkładu ortogonalnego do redukcji danych wejściowych i regularyzacji problemu odwrotnego [A1–A4,A6–A7],
- opracowanie autorskiego oprogramowania do cyfrowej korelacji obrazu w procesie pomiaru przemieszczeń, wykorzystanego w pracach [A3–A4,A7],
- opracowanie algorytmów do optymalnego rozkładu punktów w przestrzeni parametrów na podstawie metody hipersześcianów łacińskich [A5],
- opracowanie modelu obliczeniowego z wykorzystaniem metody elementów spektralnych z modyfikacją przyspieszającą proces identyfikacji [A8],
- opracowanie autorskiego algorytmu zagnieżdżonego, opartego na dwupoziomym algorytmie gradientowym Levenberga-Marquardta [A9],
- opracowanie nowej procedury jednoczesnej identyfikacji grubości i sztywności warstw nawierzchni drogowych [A9].

Pewnego rodzaju podsumowaniem tematyki wymienionych wyżej nowych technik i procedur identyfikacji parametrów materiałowych zawarto w pracy [A6] oraz w rozdziale [B4], gdzie pokazano wiele praktycznych przykładów zastosowań nowych lub zmodyfikowanych koncepcji technik pomiarowych, tj.:

- test in situ ‘flat-jack’ z nową konfiguracją geometrii slotów w połączeniu z optycznym pomiarem przemieszczeń,
- test dwuosiowego rozciągania cienkich powłok z nową geometrią próbek w kształcie krzyża z okrągłym otworem w centralnej części w połączeniu z optycznym pomiarem przemieszczeń,
- test zginania ze ściskaniem próbek papieru i tektury,
- testy mikroindentacji z różnymi kształtami wglębników w połączeniu ze skanowaniem profilometrycznym testowanej powierzchni,
- zmodyfikowany test dylatometryczny.

Przedstawione przykłady zostały rozwiązane klasyczną metodą iteracyjną oraz z wykorzystaniem modeli zastępczych, które zbudowano z użyciem sztucznych sieci neuronowych oraz funkcji radialnych. W obu przypadkach zastosowano technikę redukcji danych do budowania metamodelu na podstawie analizy głównych składowych (ang. *principal component analysis*) lub właściwego rozkładu ortogonalnego (ang. *proper orthogonal decomposition*).

Problem odwrotny, omówiony w pracy [A1] (wstępnie zdefiniowany w artykule [B1]) dotyczy wyznaczania parametrów materiałowych w sprężysto-plastycznym modelu konstytutywnym betonu ze zniszczeniem. W procesie identyfikacji wykorzystano zmodyfikowany test in situ ‘flat-jack’ w połączeniu z optycznym, powierzchniowym pomiarem przemieszczeń. W pracy przedstawiono procedurę wyznaczania stanu naprężeń w betonowych tamach grawitacyjnych oraz procedurę identyfikacji parametrów materiałowych

w transwersalnie izotropowym modelu liniowo-sprężystym z kryterium plastyczności Druckera-Pragera i modelu kohezyjnego pęknięcia.

Koncepcję opartą na optycznym systemie pomiaru pola przemieszczeń wykorzystano również w pracy [A2]. W bezdotykowych systemach pomiarowych do wyznaczenia przemieszczeń wykorzystuje się algorytmy do cyfrowej korelacji obrazu (ang. Digital Image Correlation). Autorski algorytm DIC zastosowany do identyfikacji parametrów w modelu sprężysto-plastycznym ze zniszczeniem w laboratoryjnych testach ściskania próbek betonowych przedstawiono w pracy [A3]. Kontynuację tej pracy zaprezentowano w artykule [A4], gdzie do opisu konstytutywnego betonu wykorzystano nieco prostsze, przez co bardziej praktyczne modele materiałowe. Technika optycznego pomiaru przemieszczeń została również wykorzystana w pracy [A7] do identyfikacji parametrów materiałowych ortotropowej pianki stosowanej do produkcji płyt warstwowych. W artykule przedstawiono metodę kalibracji modelu w zakresie sprężystym na podstawie laboratoryjnych testów ścinania oraz iteracyjnych algorytmów gradientowych.

Ponieważ w procesie identyfikacji bardzo ważnym elementem jest wiarygodny i jednocześnie ekonomiczny obliczeniowo model numeryczny, w pracy [A8] przedstawiono różne metody identyfikacji: (a) gradientowe i bezgradientowe algorytmy iteracyjne oraz (b) filtry Kalmana. Zagadnienia przedstawione w pracy dotyczą identyfikacji parametrów materiałowych w konstrukcji nawierzchni drogowej obciążonej dynamicznie, dlatego do symulacji komputerowej wykorzystano osiowosymetryczny wielowarstwowy model półprzestrzeni sprężystej, który został zaimplementowany z wykorzystaniem metody elementów spektralnych. Sformułowanie problemu w dziedzinie częstotliwości pozwoliło na znaczne przyspieszenie procesu identyfikacji.

Podobne zagadnienie zostało zaprezentowane i rozwiązane w artykule [A9], z tą różnicą, że w tej pracy wykorzystano standardowy model statyczny zaimplementowany z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Dodatkowo w pracy przedstawiono oryginalny algorytm zagnieżdżony, oparty na dwupoziomym algorytmie gradientowym, dzięki któremu został rozwiązany problem kompensacji. Problem ten pojawia się często w sytuacji gdy poszukiwane są jednocześnie grubości oraz sztywności warstw modelu nawierzchni drogowej. Zaproponowany algorytm pozwala na skuteczną identyfikację zarówno sztywności jak i grubości warstw nawierzchni. Algorytm w zewnętrznej pętli identyfikuje grubości warstw, natomiast w wewnętrznej – sztywności poszczególnych warstw.

Praca [A2] opublikowana w czasopiśmie *Structural and Multidisciplinary Optimization* jest najczęściej cytowanym artykułem z zaprezentowanego cyklu zarówno według bazy WoS (19 cytowań), jak i SCOPUS (32 cytowania). W artykule tym opisana jest metoda kalibracji różnych modeli konstytutywnych ortotropowych sprężysto-plastycznych cienkich folii (tj. papieru lub tektury) z wykorzystaniem

bezdotykowych metod pomiaru przemieszczeń oraz nowej konfiguracji geometrycznej próbki w metodzie eksperymentalnej. Próbka eksperymentalna została zaprojektowana w sposób zapewniający aktywowanie jak największej liczby parametrów materiałowych. W rezultacie zastosowania odpowiednio zaprojektowanego testu laboratoryjnego oraz efektywnych technik identyfikacji zaprezentowana metoda pozwala na wyznaczenie w pojedynczym procesie kalibracji aż siedemnastu stałych materiałowych.

W wielu przedstawionych pracach wykorzystano metody budowania i wykorzystania modeli zastępczych do kalibracji różnych modeli materiałowych. Metody te pozwalają na znaczne przyspieszenie procesu identyfikacji, przez co dobrze sprawdzają się w praktycznych zastosowaniach przemysłowych, na przykład w testach laboratoryjnych, podczas których kalibracja skomplikowanych modeli konstytutywnych wykonywana jest ‘online’. Skala dokładności metamodelu w dużym stopniu zależy od zastosowanej metody redukcji, ale także od metody próbkowania w przestrzeni parametrów. Optymalne rozłożenie punktów wykorzystanych do budowy modeli zastępczych jest kluczowym problemem w zagadnieniach projektowania eksperymentu (ang. *design of experiment*). W pracach [A5, B8] przedstawiono techniki optymalnego próbkowania w przestrzeni parametrów na podstawie zmodyfikowanych metod hipersześcianów łacińskich (ang. *latin hypercube method*), interaktywnych węzłów (ang. *interactive nodes method*), oraz stochastycznego próbkowania za pomocą procesów Gaussa.

Ze względu na moje zainteresowania związane z szeroko rozumianymi zagadnieniami odwrotnymi, które łączą, wspomniane na wstępie, różne dziedziny, tj.: (1) mechanikę eksperymentalną [tab.1], (2) mechanikę materiałów [tab.2], (3) mechanikę komputerową [tab.3], oraz (4) optymalizację [tab.4], w moich pracach naukowych można znaleźć wiele różnych praktycznych przykładów zastosowań metod komputerowych, eksperymentów oraz technik optymalizacji. Różnorodność aplikacyjna oraz duża skuteczność procedur identyfikacji zaprezentowanych w przedstawionym cyklu prac wskazuje na ich uniwersalność i potencjał wdrożeniowy w postaci praktycznych procedur do zastosowań przemysłowych.

Tab. 1. Zestawienie metod eksperymentalnych wykorzystanych w przedstawionych pracach

Lp.	Techniki pomiarowe	Publikacje / materiały konferencyjne
1	testy ‘flat-jack’	[A01, D04-D06, D08, D09, D14, D16, D49]
2	dwuosiowe rozciąganie	[A2, A6, B1, B4, B6, D7, D10-D13, D17-D23, D30]

3	cyfrowa korelacja obrazu, (Digital Image Correlation)	[A01, A02, A03, A04, A07, D13, D14, D17, D19, D20, D23, D26, D27, D33, D40, D42, D50]
4	testy FWD (Falling Weight Deflectometer)	[B02, B15, D36, D44, D46, D47, D48, D51]

Tab. 2. Zestawienie materiałów poddanych identyfikacji w przedstawionych pracach

Lp.	Kalibrowane materiały	Publikacje / materiały konferencyjne
1	cienkie folie i papier	[A02, D07, D10, D13, D17, D19, D20, D23, D25, D26, D28]
2	tamy grawitacyjne, beton	[A01, A03, A04, D04-D06, D08, D09, D14, D16, D40, D49]
3	drogi, asfalt	[A08, A09, B02, B03, B05, B14, B15, D36, D37, D44, D46-D48, D50, D51]
4	tekstura falista	[B11, B12, B16-B19, B20- B25, D28, D43, D45, D52]
5	pianka	[A07]

Tab. 3 Zestawienie narzędzi obliczeniowych wykorzystanych w prezentowanych pracach

Lp.	Techniki obliczeniowe	Publikacje / materiały konferencyjne
1	detekcja uszkodzeń, falki	[B05, B07, B10, B14, D29, D30, D32, D38, D42]
2	metoda elementów skończonych	[A1-A4, A6, A7, A9, B1, B2, B4, B6, B9, B11, B13, B16, B17, B21, B22, D1-D28, D30, D33, D34, D36, D40, D44, D45, D49]
3	metody elementów spektralnych	[A08, D47, D48, D51]
4	analiza dynamiczna	[B09, B13, D01, D03, D27, D33, D34]
5	techniki homogenizacji	[B11, B18, B19, D43]

Tab. 4 Zestawienie metod analizy odwrotnej wykorzystanych w prezentowanych pracach

Lp.	Techniki odwrotne	Publikacje / materiały konferencyjne
1	algorytmy gradientowe	[A1-A4, A6-A9, B1, B2, B4, B6, B15, B25, D4-D26, D30, D33, D40, D49, D51]
2	'soft computing', właściwy rozkład ortogonalny, surogaty	[A01, A02, B08, B10, B14, D05, D20, D26, D32, D35, D38, D39, D42, D46]
3	łacińskie hipersześciiany	[A05, D41]
4	analiza odwrotna - przykłady	[A06, B01, B04, B06, D11, D12, D15, D18, D21, D22, D30]

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

W 2001 roku zostałem zatrudniony na stanowisku asystenta w Katedrze Mechaniki Budowli Politechniki Koszalińskiej (jednocześnie od 2000 roku współpracowałem z biurem projektowym BigExpert w Koszalinie jako projektant konstruktor). Od pierwszych miesięcy pracy na uczelni moje zainteresowania naukowe skupiały się wokół numerycznego modelowania i programowania matematycznego. Ukończyłem trzysemestralne studia podyplomowe „Inżynierskie zastosowanie komputerów” w 2005 roku oraz dwa zaawansowane kursy prowadzone przez światowej klasy naukowców: Thomasa J.R. Hughesa, Teda Belytschko oraz Milana Jiráskę. Przedmiotem pierwszego z nich były zagadnienia nieliniowej mechaniki komputerowej [G14], natomiast drugi dotyczył tematyki mechaniki materiałów [G15]. W 2005 roku odbyłem półroczny staż naukowy na Politecnico di Milano [G1], rok później uzyskałem trzyletnie stypendium naukowe na tej prestiżowej uczelni. Tuż przed wyjazdem na studia doktoranckie w 2007 roku uzyskałem uprawnienia do pełnienia samodzielnej funkcji technicznej w budownictwie. Podczas studiów doktoranckich w Mediolanie, oprócz regularnych kursów prowadzonych w ramach studiów, uczestniczyłem również w kilku zaawansowanych kursach organizowanych przez International Centre for Mechanical Sciences CISM w Udine [G16-G18].

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych na początku 2010 roku pozostałem we Włoszech, gdzie zaproponowano mi sześciomiesięczny kontrakt naukowy [G2]. Po powrocie do Polski we wrześniu 2010 roku zostałem zatrudniony na stanowisku adiunkta w Zakładzie Komputerowego Wspomagania Projektowania Politechniki Poznańskiej. W trakcie mojego zatrudnienia uczestniczyłem w kursach [G19-G24], odbyłem dwumiesięczny staż naukowy na Lund University (Szwecja) w 2012 roku [G3],

miesięczny staż na Politecnico di Milano w 2014 [G4] oraz kilka tygodniowych staży dydaktycznych na politechnikach w Mediolanie, Belgradzie i Ljublanie [G5-G11].

Na przełomie 2013 i 2014 roku byłem stażystą w przedsiębiorstwie TFP sp. z o.o. w Kórniku [G12] w ramach programu „Stáže i szkolenia drogą do komercjalizacji wiedzy”. W trakcie półrocznego stażu wspólnie z przedsiębiorcą diagnozowaliśmy kilka praktycznych zastosowań wiedzy teoretycznej w procesie projektowania konstrukcji opakowań z tektury falistej. Wspólne dyskusje i próby rozwiązania niektórych problemów zaowocowały serią publikacji inżynierskich w krajowym czasopiśmie branżowym „Przegląd Papierniczy” [B16-B22]. Najważniejszym rezultatem zrealizowanego stażu było wzbudzenie zainteresowania przedsiębiorcy wdrożeniem oprogramowania FEMat [A10].

Kolejne doświadczenia zdobyłem dzięki udziałowi w grantach [C1, C2] na Politecnico di Milano oraz uczestnictwu w projekcie [C3] realizowanym w 2014 roku na Politechnice Poznańskiej. Wspólnie z kolegami z Zakładu Dróg, Ulic i Lotnisk Politechniki Poznańskiej przygotowałem trzy wnioski grantowe, z których dwa [C4, C5] uzyskały pozytywną ocenę komisji Narodowego Centrum Badań i Rozwoju i otrzymały dofinansowanie.

Jestem członkiem dwóch krajowych towarzystw [F5, F7], jednego zagranicznego stowarzyszenia [F4] oraz sekcji Polskiej Akademii Nauk [F8]. W latach 2011–2015 byłem członkiem Sekcji Metod Obliczeniowych i Optymalizacji Komitetu Mechaniki PAN. Zostałem poproszony o wygłoszenie referatu na temat identyfikacji parametrów materiałowych cienkich folii podczas zebrania Polskiego Towarzystwa Metod Komputerowych Mechaniki (Poznań, 2011), a także na temat modelowania warstwowych płyt ortotropowych podczas zebrania Polskiego Towarzystwa Mechaniki Teoretycznej i Stosowanej (Poznań, 2014).

Uczestniczyłem także w przygotowywaniu konferencji międzynarodowych jako członek komitetu organizacyjnego połączonej konferencji 8th World Congress on Computational Mechanics oraz 5th European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (WCCM–ECCOMAS) [E1], która odbyła się w Wenecji na przełomie czerwca i lipca 2008 roku. Kilka lat później zdobyte w ten sposób doświadczenie wykorzystałem, pełniąc funkcję sekretarza międzynarodowej konferencji Computer Method in Mechanics (CMM) związanej z zastosowaniem metod obliczeniowych w mechanice, która odbyła się w sierpniu 2013 roku w Poznaniu.

W 2011 roku zostałem opiekunem Koła Naukowego Studentów Budownictwa Politechniki Poznańskiej [F2]. Owocem aktywnej współpracy z jego członkami był wyjazd do kilku niemieckich uczelni (w Hanowerze, Hamburgu i Berlinie) w ramach projektu DAAD. Kolejnym wspólnym osiągnięciem była organizacja Ogólnokrajowej Konferencji Budowlanej Budmika dla studentów i doktorantów. Jej pierwsza edycja w 2014 roku w Poznaniu [E3] okazała się ogromnym sukcesem, konferencja miała więc swoje kolejne odsłony w 2015 [E4], 2016 [E5] oraz 2018 roku. W rezultacie Budmika zyskała rangę

jednej z największych i najciekawszych konferencji dla studentów i doktorantów poświęconych tematyce budowlanej w Polsce.

Moją największą pasją, poza pracą naukową, jest i zawsze była praca ze studentami, która do tej pory zaowocowała kilkoma artykułami w czasopismach krajowych i zagranicznych [A8, B9, B11, B12, B22] oraz wieloma wystąpieniami i referatami prezentowanymi podczas konferencjach międzynarodowych [D27, D28, D35, D43, D45, D47, D48]. Powodem do dumy są dla mnie również nagrody i wyróżnienia, które otrzymali moi podopieczni, m.in. pierwsze miejsce za wystąpienie Marcina Budziaka, studenta drugiego roku studiów II stopnia, na 10th Student Science Conference w Wałbrzychu w 2012 roku czy wyróżnienie dla Aleksandra Marka, studenta trzeciego roku studiów I stopnia, na studenckiej konferencji CONCRET w Krakowie w 2013 roku. Od 2011 roku byłem promotorem 13 prac magisterskich oraz 6 prac inżynierskich, których tematyka oscylowała zazwyczaj wokół numerycznego modelowania konstrukcji inżynierskich oraz programowania matematycznego w inżynierii. Trzy prace magisterskie zostały zrealizowane na Leibniz Universität Hannover, a jedna na Politecnico di Milano. W latach 2012–2015 byłem organizatorem kursów dla studentów studiów III stopnia w formie serii wykładów monograficznych pt. Optimization in engineering practice. Wykłady cieszyły się dużą popularnością wśród studentów, również jako kursy międzywydziałowe. Ważnym wyróżnieniem w ramach mojej pracy ze studentami i dla studentów było uhonorowanie mnie Medalem Komisji Edukacji Narodowej w 2015 roku.


Stały kontakt i współpraca z pracownikami i studentami Politecnico di Milano zaowocowały m.in. wspomnianymi już publikacjami [A1, A2, A6, A8, B1, B4], ale również wzajemnymi wizytami i długotrwałą współpracą. W 2014 roku zostałem zatrudniony na stanowisku profesora wizytującego w Mediolanie, gdzie byłem odpowiedzialny za przedmiot teoria plastyczności realizowany na studiach II stopnia.

W 2013 roku objąłem opieką naukową doktoranta z Politecnico di Milano – Arama Cornaggię, który spędził na Politechnice Poznańskiej dwa miesiące w 2013 roku i cztery miesiące w 2015 roku. Aram Cornaggia obronił swoją pracę doktorską zatytułowaną *Identification of both material parameters and residual stresses by quasi-nondestructive tests and inverse analyses* w grudniu 2015 roku. Na początku lutego 2019 roku zostałem powołany Przez Radę Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Poznańskiej na promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr. inż. Tomasza Szumigały.

Od 2014 roku jestem członkiem komitetu redakcyjnego czasopisma *Engineering Transactions*, wydawanego wspólnie przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk, National Engineering School of Metz oraz Politechnikę Poznańską. Od momentu uzyskania stopnia doktora byłem wielokrotnie proszony o recenzowanie publikacji w wielu międzynarodowych i krajowych czasopismach, m.in. *Materials & Design, Composites Part B: Engineering, NDT & E International*.

Przed rozpoczęciem studiów doktoranckich i w ich trakcie byłem autorem lub współautorem 15 referatów przedstawionych na krajowych i zagranicznych konferencjach naukowych [D1–D15]. Po uzyskaniu stopnia doktora, tj. w latach 2010–2018, wygłosiłem 19 z 37 prezentowanych referatów [D16–D52], dwa z moich wystąpień były wystąpieniami głównymi, tzw. keynote. Pierwszy z referatów [D31] wygłosiłem na Solid Mechanics Conference (SolMech) w 2012 roku w Warszawie, natomiast drugi [D48] na połączonej konferencji Polish Congress of Mechanics i Computational Methods in Mechanics (PCM–CMM) w 2015 roku w Gdańsku.

Moja aktywność nie pozostawała niezauważona – w latach 2011–2018 otrzymałem łącznie sześć nagród JM Rektora Politechniki Poznańskiej za osiągnięcia naukowe. Mój sumaryczny Impact Factor wynosi **6,925**. Indeks Hirscha według bazy danych Web of Science ma wartość **5**, według bazy danych Scopus – **7**. W bazie Web of Science wykazano **84** cytowania, w bazie Scopus – **171**. Liczba punktów MNiSW uzyskanych za wszystkie publikacje naukowe, zgodnie z rokiem wydania i z uwzględnieniem mojego procentowego udziału w powstaniu prac, wynosi **241,75** (sumaryczna liczba punktów MNiSW to **450**).


28.04.2019