

Dr hab. n med. **Zbigniew Nawrat**, prof. IPS FRK

Zakład Biofizyki Katedry Biofizyki

Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach

RECENZJA

Podstawa prawna

POLITECHNIKA WARSZAWSKA Uchwała nr 32/III/2025 Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna z dnia 14.05.2025 r.

Rada Naukowa Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna Politechniki Warszawskiej powołała mnie jako członka komisji habilitacyjnej w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno – technicznych w dyscyplinie inżynieria biomedyczna wszczętym na wniosek Pana dr inż. Szymona Cygana.

Po zapoznaniu się z dokumentacją habilitacyjną recenzenci poprosili o jej uzupełnienie w postaci oświadczenia współautorów prac wykazanych przez Habilitanta. W ten sposób 06.08. 2025 r. mając pełną dokumentację mogłem przystąpić do recenzji. Całość dokumentacji nie budzi wątpliwości formalnych i spełnia wszystkie wymogi ustawowe i zwyczajowe stawiane Kandydatom do stopnia doktora habilitowanego.

dr inż. Szymon Cygan

Tytuł osiągnięcia

**Nowoczesne techniki ilościowej oceny działania echokardiograficznych
metod obrazowania odkształceń lewej komory serca,
w postaci monotematycznego cyklu 21 publikacji.**

Kim jest Habilitant

Habilitant jest pracownikiem Politechniki Warszawskiej.

Od 2008 do 2011 r. zatrudniony jako asystent w Zakładzie Elektroniki Medycznej i Przemysłowej Instytutu Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Wydział Mechatroniki PW. Od 2 stycznia 2012 r. pracuje w tym Instytucie jako adiunkt w Zakładzie Inżynierii Biomedycznej, na pełnym etacie, w grupie badawczo-dydaktycznej; po wejściu w życie obecnej ustawy zaliczony do grupy „N” w dyscyplinie Inżynieria Biomedyczna.

Dr Szymon Cygan jest absolwentem Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej (2003, kierunek Automatyka i Robotyka, spec. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna; dyplom z wyróżnieniem). Tytuł pracy dyplomowej „Opracowanie i uruchomienie programu do analizy

sygnałów dopplerowskich aktywności ruchowej płodu”. W 2011 r. na tym samym wydziale uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie biocybernetyka i inżynieria biomedyczna, przedstawiając rozprawę „Metoda wyznaczania przemieszczeń i odkształceń dla potrzeb elastografii w warunkach znacznych odkształceń tkanki”, obejmującą także projekt i budowę fizycznych modeli lewej komory serca. Jego badania koncentrują się na metodach ultrasonograficznych, zwłaszcza obrazowaniu odkształceń w echokardiografii, co znajduje odzwierciedlenie w realizowanych projektach. Równolegle rozwija zastosowania detekcji ruchu do analizy aktywności człowieka (m.in. w kolarstwie i bieganiu), przenosząc doświadczenia z przetwarzania obrazu na grunt biomechaniki sportu.

Habilitant w 2013 ukończył roczne studia podyplomowe „Zarządzanie projektem badawczym i komercjalizacja wyników badań” prowadzone w Akademii Leona Koźmińskiego zakończone uzyskaniem certyfikatu IPMA-D “Certified Project Management Associate” (nr certyfikatu 39/2013).

Habilitant ma znaczący dorobek dydaktyczny i organizacyjny. Trzykrotnie został wyróżniony przez studentów „Złotą kredą” (kat. „Złote serce”: II m. 2023/24, III m. 2021/22; kat. „Najlepszy prowadzący ćwiczenia/laboratoria/seminarium/projekt”: II m. 2021/22). Współtworzył nowe programy studiów I i II stopnia na kierunku Inżynieria Biomedyczna (za co otrzymał Nagrodę Rektora PW II stopnia za działalność organizacyjną w 2019/2020), przygotowując zarówno założenia i dokumentację, jak i autorskie sylabusy. Był promotorem pomocniczym trzech doktoratów, wypromował 31 prac magisterskich i 56 inżynierskich. Jest autorem kursu „Applications of ultrasound” (wykład + laboratorium) na Mechatronice; współautorem i koordynatorem przedmiotów „Biomechanika inżynierska” oraz „Elektroniczna aparatura medyczna” (oba: wykład + laboratorium) na Inżynierii Biomedycznej; współautorem laboratoriów i zadań projektowych z „Przetwarzania sygnałów biomedycznych” (II stopień), a także współautorem/autorem laboratoriów z „Zaawansowanych technik przetwarzania obrazowych danych medycznych” i „Techniki ultradźwiękowej w diagnostyce medycznej”. Ponadto w latach 2010–2016 prowadził wykład „Systemy operacyjne czasu rzeczywistego” w ramach kursu „Systemy mikroprocesorowe w mechatronice”.

Habilitant od etapu studiów doktoranckich aktywnie angażuje się w organizację życia uczelni. Obecnie pełni funkcję prodziekana ds. studenckich i promocji Wydziału Mechatroniki PW (2024–2028). Jest współautorem wniosku i członkiem zespołu realizującego w PW projekt OMNIS2 dotyczący modyfikacji programu i wdrożenia nowych form kształcenia na II stopniu Inżynierii Biomedycznej. Zasiada w Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Biomedyczna (2020–2024 i 2024–2028), pracował w Zespole ds. Oceny Nauczycieli Akademickich i Ewaluacji RND IB PW (wiodący wkład w dokumentację kryterium III, 2020–2024) oraz w Komisji ds. Grantów RND IB PW (2020–2024). Trzykrotnie był wybierany do Rady Wydziału Mechatroniki (2016–2020, 2020–2024, 2024–2028; obecnie z urzędu jako prodziekan). Od 2020 r. jest opiekunem specjalności Aparatura Biomedyczna i Informatyka Biomedyczna na I stopniu IB. Wcześniej pełnił funkcje: członka uczelnianej Komisji Dyscyplinarnej ds. Studentów i Doktorantów (2012–2016), pełnomocnika dyrektora IMiB ds. dydaktyki (2012–2024), członka wydziałowej Komisji Bibliotecznej (od 2016) oraz przedstawiciela PW w Platformie Transferu Technologii CBPiT (2011–2013).

Analiza informacji repozytorium PW wskazuje na dorobek publikacyjny Habilitanta w postaci 40 publikacji, 1531 pkt MNiSW (od 2006 r.)

Habilitant aktywnie popularyzuje naukę: był wykładowcą PW Junior w roku 2017/2018 („Inżynieria biomedyczna”), prowadził lekcję pokazową dla uczniów VII klasy szkoły podstawowej, a od 2023 r. współorganizuje i prezentuje laboratoria Wydziału Mechatroniki PW dla szkół średnich. W roku akademickim 2023/2024 występował także jako wykładowca Uniwersytetu Trzeciego Wieku PW, prowadząc dwa wykłady: „Ultrasonografia – jak to działa i czy może szkodzić” oraz „Ruch człowieka – niby oczywistość, a ciągle jest co badać”.

Habilitant trzykrotnie pełnił rolę promotora pomocniczego w przewodach doktorskich zakończonych nadaniem stopnia: dr inż. Michała Władzińskiego (2017, Wydz. Mechatroniki PW; metoda wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych impedancji tkanek; promotor: prof. T. Pałko), dr inż. Barbary Łysoń (2021, RND IB PW; projektowanie zindywidualizowanej ortozy stawu skokowego; promotor: dr hab. M. Kwacz, prof. PW) oraz dr inż. Aleksandry Wilczewskiej (2024, RND IB PW; metoda wyznaczania przemieszczeń i odkształceń LV z danych echo z elastycznym dopasowaniem i segmentacją; promotor: dr hab. J. Żmigrodzki). Wszystkie obrony zakończyły się szybkim nadaniem stopnia.

Od 2020 r. habilitant współpracuje z Invis sp. z o.o. (także jako udziałowiec), pełniąc rolę eksperta technologii i współtwórcy strategii. Współautor trzech wniosków do programu BridgeAlfa (wszystkie z finansowaniem; w jednym kierownik B+R w spółce zależnej True Moves), autor wniosku do FENG – ścieżka SMART (złożony X.2023, po ocenie formalnej i rundzie poprawek, w oczekiwaniu na decyzję). W 2024 r. współtworzył 2 zgłoszenia patentowe i 1 wzór użytkowy (w jednym zgłoszeniu – pierwszy autor); to samo zgłoszenie złożono w procedurze PCT w II.2025. Firma została zaproszona przez European Innovation Council na IFA Berlin 2023 (20 firm w strefie EIC); udział w AI Experience Day współorganizowanym przez Merantix (jedna z 10 firm).

Równolegle od 2020 r. współpracuje z Virtual Sport Ltd (Izrael) jako główny naukowiec: współautor trzech wniosków grantowych (finansowanie z programu ActPHAST 4.0, realizacja z PW) oraz współtwórca jednego rozwiązania zgłoszonego patentowo; pełne zgłoszenie, z przyczyn biznesowych (w tym konflikt w Izraelu), złożono jako provisional patent application w USPTO w IV.2024.

Habilitant został uhonorowany:

- Medalem Brązowym za Długoletnią Służbę (2023),
- Medalem Komisji Narodowej (2022).

Publikacje dokumentujące osiągnięcie

Pracy towarzyszy rzetelnie przygotowany Autoreferat. Na 145 stronach Autor opisuje i wyjaśnia walory prowadzonych i opublikowanych badań, przedstawia również swoje osiągnięcia akademickie.

Autoreferat jest też rodzajem dyskusji, którą oparto na 79 cytowanych pracach. Zgłoszone jako osiągnięcie naukowe 21 publikacji posiadają punktację: 995 MNiSW oraz 26,11 IF.

Dorobek publikacyjny (artykuły, rozdziały, materiały i streszczenia konferencyjne)

W przedstawionym wykazie 21 publikacji znajduje się 6 prac, w których S. Cygan figuruje jako autor wiodący (pierwszy autor).

1. Cygan, S.; Wilczewska, A.; Kubik, T.; Alessandrini, M. Investigation of the Impact of Local Properties of 3D Data on the Accuracy of Block Matching-Based Speckle Tracking Echocardiography. Polish Journal of Medical Physics and Engineering **2024**, 30, doi:<https://doi.org/10.2478/pjmpe-2024-0019>. (IF 0.7)
2. Cygan, S.; Urban, M.; Czyżyk, A.; Żmigrodzki, J. Low-Cost 3D VisionBased Triangulation System for Ultrasonic Probe Positioning. Polish Journal of Medical Physics and Engineering **2024**, 30, doi:[10.2478/pjmpe-2024-0029](https://doi.org/10.2478/pjmpe-2024-0029). (IF 0.7)
3. Cygan, S.; Kumor, M.; Żmigrodzki, J.; Leśniak-Plewińska, B.; Kowalski, M.; Kałużński, K. Left Ventricular Phantoms with Inclusions Simulating Transmural and Non-Transmural Infarctions: FEM and EchoPAC Study. In Proceedings of the Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE; Duric, N., Heyde, B., Eds.; March 13 **2017**; Vol. 10139, p. 1013918. (streszczenie)

4. Cygan, S.; Werys, K.; Błaszczyk, Ł.; Kubik, T.; Kałużyński, K. Left Ventricle Phantom and Experimental Setup for MRI and Echocardiography – Preliminary Results of Data Acquisitions. *Biocybernetics and Biomedical Engineering* **2014**, 34, 19–24, doi:10.1016/j.bbe.2013.12.002. (IF 0.646)
5. Cygan, S.; Żmigrodzki, J.; Leśniak-Plewińska, B.; Karny, M.; Pakieła, Z.; Kałużyński, K. Influence of Polyvinylalcohol Cryogel Material Model in FEM Simulations on Deformation of LV Phantom. In *Functional Imaging and Modeling of the Heart*; Assen, H. van, Bovendeerd, P., Delhaas, T., Eds.; Lecture Notes in Computer Science; Springer International Publishing, **2015**; pp. 313–320 ISBN 978-3-319-20308- 9.
6. Cygan, S. Modelowanie numeryczne fantomów serca na potrzeby obrazowania odkształceń w echokardiografii (Numerical modeling of heart phantoms as a support for strain imaging in echocardiography); 1; 1st ed.; Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT: Warszawa, **2019**; ISBN 978-83-7837-082-6.

Moją uwagę na początku zwróciła szczególnie najstarsza pozycja (2013) – książka, której autorem jest Szymon Cygan (pozycja 6 powyżej, H1). Można na stronie wydawnictwa EXIT znaleźć taki opis tej 140 stronicowej książki. „Niniejsza monografia podsumowuje cykl prac obejmujących modelowanie różnych fantomów lewej komory serca, z których część powstała również w formie fizycznej. Prace te początkowo traktowane były czysto narzędziowo, jednak wraz z gromadzeniem doświadczeń udało się wytworzyć unikatowy warsztat naukowy oraz uzyskać interesujące wyniki opisane w tej książce.”

I najnowsza (2024) – pozycja 1 wymieniona powyżej (H21). W artykule „Badanie wpływu lokalnych właściwości danych 3D na dokładność echokardiografii opartej na dopasowaniu bloków” autorstwa Cygana i in. zbadano wpływ lokalnych cech w danych ultrasonograficznych 3D na dokładność śledzenia płamek.

Podana na pozycji 2 publikacja „Low Cost ...” (H10) podejmuje istotny temat relacji sonda–obiekt badany, kluczowy przy planowaniu seryjnych eksperymentów oraz tworzeniu zbiorów do trenowania algorytmów uczenia maszynowego czy w zastosowaniach robotyki USG. Opisany niskokosztowy system pozycjonowania sondy nad fantomem lewej komory—oparty na trójwymiarowym pozycjonowaniu i uzupełniony ramą kalibracyjną—zapewnia powtarzalność akwizycji i łatwą adaptację do szerokiego zakresu zastosowań i konfiguracji sprzętowych.

Autor rozpoczął prace nad fantomami od prostych, walcowych modeli żelatynowych, wykorzystanych do porównania estymatorów przemieszczeń (korelacja wzajemna vs suma różnic bezwzględnych, także w ujęciu między-liniowym). Równolegle wprowadził weryfikację wyników z użyciem modelowania MES (MES = Metoda Elementów Skończonych). Doświadczenia te zaowocowały budową grubościennych, cylindrycznych fantomów odwzorowujących przekrój krótkiej osi LV oraz pokazaniem, że typowe fantomy żelatynowe, choć łatwe do kształtowania akustycznie i mechanicznie, nie zapewniają wymaganej wytrzymałości dla dynamicznej pracy „lewej komory”. Wnioski z tej fazy stały się podstawą dalszego rozwoju metodycznego (materiały, procedury wytwarzania i walidacji, integracja z obrazowaniem), co doprowadziło do bardziej zaawansowanych fantomów i pełniejszej walidacji algorytmów obrazowania odkształceń.

Wykazane ograniczenia fantomów żelatynowych stały się impulsem do opracowania ustandaryzowanych procedur i trwalszych materiałów oraz do ściślejszej walidacji z użyciem MES i danych referencyjnych, co w kolejnych pracach umożliwiło ilościową ocenę metod obrazowania odkształceń w warunkach zbliżonych do klinicznych.

Autor proponuje uporządkowaną metodologię projektowania fantomów lewej komory serca (LV): od przeglądu anatomii i mechaniki serca, przez zdefiniowanie wymagań i założeń, po parametry docelowe geometrii i ruchu — tak, by fantomy były porównywalne, powtarzalne i użyteczne do ilościowej weryfikacji metod echokardiograficznych.

Autor proponuje spójny proces projektowy: systematyka oparta na analizie anatomii i fizjologii LV (H1) prowadzi do listy wymagań i wag zależnych od tego, które cechy rzeczywistości dany fantom ma odtwarzać. Celem jest tworzyć a) fantomy, które wiernie i kontrolowalnie odwzorowują kluczowe zjawiska mechaniczne, służąc walidacji ilościowej metod obrazowania odkształceń; b) jasne kryteria projektowe dla geometrii, materiałów i napędu fantomu w celu uzyskania lepszej porównywalności badań klinicznych z modelowymi.

W kolejnych pracach przedstawiono opracowany i zwalidowany fantom lewej komory serca kompatybilny jednocześnie z echokardiografią i MRI, umożliwiający porównywanie wyników obu modalności na tym samym, powtarzalnym układzie. W nowej wersji stanowiska zastosowano pompę hemodynamiczną Vivitro Superpump, co pozwoliło wynieść napęd i sterowanie poza pracownię MRI i umieścić fantom (bez elementów metalowych) wewnątrz skanera (1,5 T, Magnetom Avanto, Siemens). Wykazano, że materiał PVA-C zapewnia jednocześnie teksturę „speckle” w USG i parametry relaksacji zbliżone do mięśnia w MRI. „Plamkowa” tekstura obrazu — ziarnisty wzór jasnych i ciemnych punktów niesie informację o ruchu i strukturze, którą śledzi się w Speckle Tracking Echocardiography (STE), by wyznaczać przemieszczenia i odkształcenia. W fantomach można ją modelować domieszkami rozpraszaczy, aby uzyskać realistyczny obraz. Zarejestrowano serie CINE i tagged CINE, potwierdzając przydatność fantomu do ilościowej weryfikacji metod obrazowania odkształceń. CINE to seria obrazów całego cyklu pracy serca (zwykle z synchronizacją EKG), dająca płynny podgląd ruchu ścian i objętości komór w czasie. Tagowanie (w MRI serca) to technika, w której przed rejestracją sekwencji CINE „znakuje się” mięsień sercowy wzorem o zmiennej magnetyzacji (ciemne paski lub siatka) dzięki czemu można śledzić deformację wzoru i ilościowo wyznaczać przemieszczenia oraz odkształcenia w konkretnych regionach mięśnia sercowego. Zaprojektowane fantomy były wielokrotnie wykorzystywane w badaniach własnych i zespołowych (w tym w przewodach doktorskich oraz testach komercyjnych systemów GE).

W pracach H6 ([16,17]) po raz pierwszy w tym cyklu zastosowano sonomikrometrię jako źródło częściowej informacji referencyjnej do walidacji obrazowania odkształceń. Metoda polega na ciągłym pomiarze odległości między miniaturowymi przetwornikami piezo (MHz), co pozwala lokalnie odtworzyć składowe odkształceń. Zastosowano cztery przetworniki: jeden jako punkt odniesienia oraz trzy w odległości ~10 mm w kierunkach wzdłużnym, obwodowym i przezściennym. Uzyskane w ten sposób lokalne składowe tensora odkształceń wykazały istotną zgodność z wynikami metody obrazowania odkształceń opracowanej przez dr. Brechta Heyde (KU Leuven), potwierdzając przydatność sonomikrometrii jako niezależnego punktu odniesienia w walidacji.

W pracach H1/H2 oraz H8 zaproponowano i wdrożono nowe podejście do pozyskiwania informacji referencyjnej dla eksperymentów in vitro z fantomami LV: skalibrowany model MES, który wiernie odtwarza rzeczywisty eksperyment (uwzględnia różnice wymiarów fantomu wynikające z pęcznienia PVA-C oraz rzeczywiste przebiegi ciśnienia). Kluczowe było dobranie i kalibracja modelu konstytutywnego PVA-C (hipersprężysty; parametry identyfikowane na danych z prób rozciągania), a następnie zgranie płaszczyzny obrazowania poprzez autorską metodę rejestracji położenia głowicy (H10) z użyciem dwóch kamer, znaczników i kalibracji DLT. Dzięki temu uzyskano trajektorie punktów referencyjnych (węzłów siatki MES rzutowanych na płaszczyznę USG), kompatybilne z formatami referencji stosowanymi w bazach danych syntetycznych. Zestaw danych (USG + referencja MES) posłużył następnie do ilościowej weryfikacji nowych metod estymacji przemieszczeń (m.in. w pracy A. Wilczewskiej).

Autor budował stanowiska i kolejne generacje fizycznych fantomów lewej komory — od prostych modeli żelatynowych po grubościennie elipsoidy z PVA-C — oraz opracował spójną metodykę ich projektowania (opartą na analizie anatomii i kinematyki) i walidacji z użyciem modelowania elementów skończonych oraz pomiarów. PVA-C = poly(vinyl alcohol) cryogel — po polsku: krizel alkoholu poliwinylowego to popularny materiał fantomowy: wodny, stabilny, z regulowaną sztywnością (liczbą cykli zamrażania-rozmrażania (Freeze-Thaw)), dobrze widoczny w USG

i akceptowalny w MRI. Platformę dostosowano jednocześnie do badań ultrasonograficznych USG i rezonansowych MRI, z niemagnetycznym osprzętem i zewnętrznym sterowanym napędem, co umożliwiło porównywalność wyników obu modalności i wiarygodne dane odniesienia. Wykazano odwrócenie cyklu deformacji przy zasilaniu nieściśliwym płynem, podkreślono znaczenie doboru właściwego opisu materiału PVA-C oraz dostrojono własności akustyczne fantomu i cieczy roboczej, aby ograniczyć artefakty i uzyskać realistyczną strukturę plamkową. Elipsoidalne fantomy, z kontrolowanymi wtrąceniami o mniejszej kurczliwości, pozwalają symulować ogniska zaburzeń kurczliwości w warunkach wysokiej powtarzalności. Wypracowane rozwiązania są wykorzystywane w badaniach naukowych i testach przemysłowych jako praktyczny standard do ilościowej weryfikacji metod obrazowania odkształceń. Fantomowe platformy i metody były wielokrotnie użyte w badaniach własnych, pracach doktorskich (autor, B. Heyde, K. Werys) oraz w testach komercyjnych (GE), dostarczając kontrolowanych, porównywalnych danych do oceny i rozwoju metod echokardiograficznych.

Warto podkreślić, że dla rzetelnej oceny obrazowania odkształceń kluczowe jest porównanie wyników echokardiografii i MRI; ponieważ jednoczesne badanie USG w silnym polu MRI jest technicznie niemożliwe, w pełni uzasadnione i wartościowe jest opracowanie powtarzalnego fantomu oraz stanowiska do takich porównań.

W tytule osiągnięcia mamy słowo „Nowoczesne ..” więc warto zwrócić uwagę na innowacyjne podejście Habilitanta.

W mojej ocenie na szczególne podkreślenie zasługuje nowatorskie wprowadzenie sonomikrometrii jako źródła częściowej informacji referencyjnej do walidacji obrazowania odkształceń. Autor zastosował cztery miniaturowe przetworniki (jeden odniesienia oraz trzy oddalone o ok. 10 mm w osiach wzdłużnej, obwodowej i przezściennnej), co umożliwiło ciągły pomiar lokalnych odległości i rekonstrukcję składowych tensora odkształceń. Uzyskane przebiegi wykazały istotną zgodność z wynikami metody opracowanej przez dr. Brechta Heyde (KU Leuven), potwierdzając wiarygodność podejścia. Co więcej, autor wykorzystał zarejestrowane charakterystyki również do kalibracji modelu materiałowego PVA-C w numerycznym modelu fantomu lewej komory. Takie sprzężenie pomiaru *in vitro* z modelowaniem MES stanowi przykład nowoczesnej, ilościowej walidacji i znacząco podnosi wartość metodologiczną całego cyklu prac.

Chciałbym w swojej recenzji podkreślić, że skuteczne sprzężenie modelowania numerycznego z eksperymentem fizycznym jest miarą dojrzałości podejścia badawczego: pozwala przekuć uproszczenia teoretyczne w wyniki weryfikowalne pomiarem. W tym kontekście zaproponowane w pracach H1–H10 rozwiązanie stanowi istotny krok naprzód. Autor wykorzystał skalibrowany model elementów skończonych jako źródło informacji referencyjnej dla eksperymentów *in vitro* z fantomami lewej komory, co w literaturze było dotąd rzadkością. W przeciwieństwie do wcześniejszych prób opartych na prostych modelach kinematycznych, symulacja została dopasowana do realnego eksperymentu: uwzględniono rozbieżności wymiarów wynikające z pęcznienia PVA-C oraz rzeczywisty przebieg ciśnienia wewnątrz fantomu. Kluczowe było dobranie hipersprężystego modelu konstytutywnego PVA-C i optymalna kalibracja parametrów materiału; do strojenia służyły przebiegi zmian wymiarów fantomu zmierzone sonomikrometrią, co spina model z pomiarem w jednej pętli walidacyjnej.

Efektom jest uzyskanie trajektorii punktów referencyjnych (węzłów siatki MES rzutowanych na płaszczyznę obrazowania), zgodnych formatem z bazami syntetycznych danych echokardiograficznych i bezpośrednio użytecznych do ilościowej oceny algorytmów. Autor rozwiązał ponadto problem odwzorowania płaszczyzny badania, wprowadzając rejestrację położenia głowicy metodą zbliżoną do systemów optoelektronicznych (kalibracja DLT, triangulacja znaczników), co zapewnia precyzyjne dopasowanie geometrii symulacji do akwizycji USG. Cały łańcuch — od fizycznego modelu, przez kalibrację materiałową i warunków wymuszenia, po projekcję wyników na

płaszczyznę obrazowania — tworzy spójny, nowoczesny standard referencyjny, który znacząco podnosi wiarygodność ilościowej walidacji metod obrazowania odkształceń.

Kalibracja DLT (ang. Direct Linear Transformation) to klasyczna, liniowa metoda fotogrametryczna służąca do wyznaczenia macierzy projekcji kamery na podstawie znanych współrzędnych 3D punktów wzorcowych i ich współrzędnych 2D na obrazie. Mając kalibrację dwóch kamer, można triangulować położenia punktów w 3D. Metoda jest powszechnie stosowana w biomechanice ruchu i w rejestracji geometrii stanowisk (np. wyznaczanie płaszczyzny obrazowania głowicy USG).

Habilitant, podczas stażu w KU Leuven, opracował metodę śledzenia przemieszczeń w trójwymiarowych danych echokardiograficznych i zweryfikował jej dokładność na realistycznych, syntetycznych zestawach danych. Wyniki badań porównawczych z innymi uznanymi algorytmami przedstawiono w pracach H20, pozwalając jednoznacznie ocenić pozycję proponowanego rozwiązania na tle standardów. Dodatkowo, w pracy H21 zaprezentowano oryginalne podejście do prognozowania jakości śledzenia na podstawie lokalnych cech obrazu, co umożliwia z góry ocenić wiarygodność uzyskiwanych wyników.

Autor rozwija dwa komplementarne nurty: generowanie własnych syntetycznych danych echokardiograficznych na bazie modeli MES deformacji fantomów oraz wykorzystanie istniejących realistycznych zbiorów 3D do porównań. W pierwszym podejściu kolejne stany siatki MES, odpowiadające klatkom USG, posłużyły do syntezy obrazów (widok krótkiej osi) w środowisku FIELD II, przy jednoczesnym uzyskaniu pełnej informacji referencyjnej w postaci trajektorii 288 punktów charakterystycznych (średnie przemieszczenia ok. 2,5 mm w osiach x i y). Wykorzystano zarówno modele fantomów jednorodnych, jak i z wtrąceniami (pełno- i niepełnościennymi), co umożliwiło ilościową ocenę metod estymacji przemieszczeń — zarówno istniejących (H11, H13), jak i nowych (H12) — oraz analizę granic rozdzielczości przestrzennej (H15–H19) i wpływu ruchu poza płaszczyznę obrazowania (H14). Deformację wymuszano ciśnieniem wewnętrznym (do 36 kPa) zgodnym z przyjętym przebiegiem cyklu. Drugi tor, oparty na gotowych danych 3D, służył do niezależnej walidacji i porównań. Razem tworzy to kontrolowane, powtarzalne środowisko testowe z wiarygodną referencją do precyzyjnej oceny metod obrazowania odkształceń.

Zwraca uwagę konsekwencja Habilitanta w rozwijanej tematyce badawczej. Jego osiągnięcia w zakresie badań metod obrazowania odkształceń w echokardiografii i w mniejszym stopniu tomografii rezonansu magnetycznego są kontynuowane przez ponad 20 lat. Poruszane zagadnienia mają często charakter mocno specjalistyczny, jednak – sam autor zauważa wpływ opisanych przez niego osiągnięć na stan wiedzy i techniki w skali międzynarodowej, czego bezpośrednim efektem były m.in. badania realizowane w jednym z wiodących ośrodków w tej dziedzinie – KU Leuven, badania zlecone przez jednego z wiodących producentów echokardiografów – koncern GE oraz inspirowane przez autora prace zespołu z Uniwersytetu w Bergen (Norwegia) i zespołu Uniwersytetu Minho w Bradze, (Portugalia).

Badania stanowiące podstawę wniosku koncentrują się na ilościowej ocenie metod obrazowania odkształceń w echokardiografii, z naciskiem na fantomy lewej komory i syntetyczne dane. Autor identyfikuje kluczowe braki: brak ustandaryzowanych metod projektowania i wytwarzania fantomów (materiały, technologia, procedury walidacji) oraz niedostatek wiarygodnej informacji referencyjnej (ground truth) do weryfikacji wyników. Celem prac było wypełnienie tych luk poprzez opracowanie i walidację spójnej metodologii oraz narzędzi, które podnoszą porównywalność i rzetelność ilościowej oceny w echokardiografii. Wymienione w Autoreferacie 21 publikacji wpisuje się w realizację wymienionych poniżej celów (stosuję tu zaproponowany w Autoreferacie sposób skrótowego oznaczenia od H1 – H21, by recenzja korespondowała z dokumentacją, listę podaję na końcu w Referencjach).

Cel główny, doskonalenie ilościowej oceny metod obrazowania odkształceń w echokardiografii poprzez rozwój i walidację narzędzi badawczych opartych na fantomach lewej komory oraz syntetycznych danych echokardiograficznych. Habilitant osiągnął poprzez realizację następujących zadań:

1. Opracowanie systematyki projektowania fantomów LV (definicja wymagań geometrycznych i mechanicznych; wykorzystanie MES/FEM) – H1–H4.
2. Stworzenie i walidacja fantomów PVA (wtrącenia o obniżonej kurczliwości; kompatybilność z MRI; dostosowanie stanowiska badawczego) – H5–H9.
3. Wprowadzenie źródeł informacji referencyjnej (ground truth):
 - sonomikrometria do lokalnych odkształceń – H1, H6;
 - skalibrowany model MES jako referencja pola odkształceń – H1, H10.
4. Wytwarzanie syntetycznych danych echokardiograficznych na bazie modeli MES i ich użycie do badań metod obrazowania odkształceń – H11–H19.
5. Ocena ograniczeń i warunków brzegowych metod (wpływ ruchu „out-of-plane”, granice rozdzielczości przestrzennej) – H14, H15–H19.
6. Badania porównawcze istniejących algorytmów oraz predykcja jakości śledzenia z lokalnych cech obrazu – H20, H21.
7. Przygotowanie wiarygodnych zbiorów danych (fantomowych i syntetycznych) jako bazy uczącej dla metod opartych na uczeniu maszynowym.

W realizacji wymienionych zadań zastosowano następujące **metody**:

1. Projektowanie i modelowanie (MES/FEM)
 - Budowa numerycznych modeli LV (jednorodnych i z wtrąceniami); definiowanie geometrii, własności materiałowych i przebiegów obciążeń.
 - Kalibracja modeli (dobór modelu konstytutywnego, parametry materiału) na podstawie danych eksperymentalnych.
2. Wytwarzanie fantomów PVA
 - Receptury PVA z kontrolą sztywności i echogeniczności; implementacja wtrąceń imitujących hipokinezy.
 - Stanowisko kompatybilne z MRI (fantom bez elementów ferromagnetycznych, zdalne sterowanie napędem).
 - Zapewnienie powtarzalności cyklu pracy fantomu (kontrola ciśnienia/objętości).
3. Źródła referencji (ground truth)
 - Sonomikrometria: rozmieszczenie przetworników w osiach wzdluznej/obwodowej/przezściennej; rekonstrukcja lokalnych składowych odkształceń.
 - Referencja MES: odwzorowanie rzeczywistego eksperymentu (korekta geometrii i sterowania), wyznaczanie trajektorii punktów/węzłów w płaszczyźnie obrazowania.
4. Generowanie syntetycznych danych echokardiograficznych

- Użycie wyników MES (klatka-po-klatce) do wytworzenia sekwencji B-mode z kontrolowanym strukturze plamkowej („speckle”), stosunku sygnału do szumu (SNR i parametrami akwizycji.
- Przygotowanie zestawów testowych z pełną informacją referencyjną (przemieszczenia/odkształcenia).

5. Eksperymenty i analizy

- Walidacja metod obrazowania odkształceń: badania istniejących i nowych algorytmów (H11–H13), testy wpływu ruchu poza płaszczyznę obrazowania (H14) oraz analizy granic rozdzielczości i czułości na parametry akwizycji (H15–H19)
- Porównania między-algorytmowe (H20) oraz modele predykcyjne jakości śledzenia na podstawie cech obrazu (H21).
- Ilościowa ocena wyników: błędy przemieszczeń/odkształceń, zgodność z referencją, powtarzalność oraz odporność (robustność).

Zastosowania

- Budowa powtarzalnych, kontrolowanych środowisk testowych dla echokardiografii.
- Udostępnianie danych/oprogramowania jako podstawy do standaryzacji i do uczenia metod ML.

Podsumowanie

Z dużym zaciekawieniem przeczytałem autoreferat i przeanalizowałem dostępne prace Habilitanta. Osiągnięcie naukowe oceniane w tej recenzji stanowi znaczny wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

Autor od blisko dwudziestu lat rozwija i weryfikuje metody obrazowania odkształceń w echokardiografii (i w mniejszym stopniu w MRI), a charakter jego prac - choć specjalistyczny - przekłada się na realny wpływ międzynarodowy. Świadczą o tym zarówno badania prowadzone w jednym z wiodących ośrodków (KU Leuven; m.in. H5, H6) i zlecenia od producenta aparatów USG (GE), jak i oddziaływanie pośrednie: stanowisko opisane przez zespół z Uniwersytetu w Bergen inspirowane było rozwiązaniami autora, a zespół z Uniwersytetu Minho konsultował z nim technologię wytwarzania fantomów.

W kontekście rosnącej roli uczenia maszynowego autor trafnie wskazuje na wartość fantomów jako kontrolowanego, powtarzalnego źródła dużych zbiorów danych do trenowania algorytmów obrazowania odkształceń. Choć same dane fantomowe—z konieczności uproszczone—nie zastąpią materiału klinicznego, dobrze nadają się do wstępnego trenowania modeli, które następnie są dotrenowywane na mniejszych zbiorach pacjentów. Równolegle rozwijane są syntetyczne dane echokardiograficzne, stanowiące silną alternatywę; oba nurty pozostają aktywne i komplementarne, co potwierdzają najnowsze publikacje.

Podsumowując, dorobek habilitanta układa się w dwa komplementarne nurty. Po pierwsze, w obszarze innowacji z wykorzystaniem fantomów lewej komory opracowano spójną metodykę projektowania opartą na modelowaniu MES, przygotowano i zwalidowano fantomy z hydrożelu PVA (z wtrąceniami imitującymi obniżoną kurczliwość) oraz dostosowano stanowisko i same fantomy do pracy w MRI. Równolegle wprowadzono źródła wiarygodnej referencji: sonomikrometrię do oceny lokalnych odkształceń oraz skalibrowane modele MES, które dostarczają referencyjnej mapy odkształceń

(ground truth) w całym badanym obszarze. Po drugie, rozwijano tworzenie i zastosowania syntetycznych danych echokardiograficznych—zarówno generowanych na bazie modeli MES, jak i zaczerpniętych z realistycznych zbiorów 3D—co pozwoliło przedstawić i przetestować nowe metody obrazowania odkształceń, zbadać wpływ ruchu poza płaszczyzną obrazowania, wyznaczyć praktyczne granice rozdzielczości istniejących technik oraz wykonać porównania międzyalgorytmiczne i analizę możliwości prognozowania jakości śledzenia na podstawie lokalnych cech obrazu.

Oceniam, że autor w sposób przekonujący adresuje kluczowy problem tej dziedziny, jakim jest dostęp do wiarygodnej informacji referencyjnej dla metod obrazowania odkształceń. Całość tworzy spójny łańcuch walidacyjny, w którym fantomy, modele numeryczne i dane syntetyczne wzajemnie się uzupełniają, podnosząc wiarygodność ilościowej oceny metod obrazowania odkształceń.

Dr Szymon Cygan, dzięki konsekwentnej, wieloletniej pracy badawczej i systematycznie publikowanym wynikom, stał się rozpoznawalnym ekspertem o międzynarodowej renomie. Przedstawiony dorobek wnosi istotny wkład w rozwój inżynierii biomedycznej.

Habilitant utrzymuje szeroką współpracę z ośrodkami zagranicznymi i działa w zespołach, w których kształcą się i awansują młodzi badacze. Pełnił i pełni odpowiedzialne funkcje akademickie i organizacyjne, a jego zaangażowanie dydaktyczne znajduje wyrazne uznanie wśród studentów i władz uczelni. Całość aktywności naukowej, organizacyjnej i dydaktycznej potwierdza jego rosnącą pozycję w środowisku.

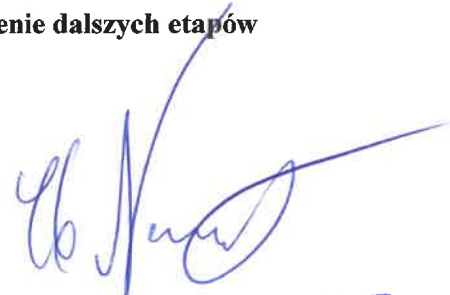
Wniosek końcowy

Opierając się na dokumencie pt. Załącznik do uchwały nr 78/LI/2025 Senatu PW z dnia 29 stycznia 2025 r. Szczegółowy tryb postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego ... i ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz.1571, z późn. zm.). podjąłem się oceny przedstawionego materiału Habilitanta.

Na podstawie oceny dorobku naukowego dr Szymona Cygana, cyklu sześciu powiązanych tematycznie artykułów: "**Nowoczesne techniki ilościowej oceny działania echokardiograficznych metod obrazowania odkształceń lewej komory serca, w postaci monotematycznego cyklu 21 publikacji.**" oraz innych osiągnięć dydaktycznych i organizacyjnych z uwzględnieniem istotnej działalności naukowej w innych instytucjach, szczególnie zagranicznych stwierdzam, że dr Szymon Cygan posiada istotne osiągnięcia naukowe po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, które wnoszą elementy nowości naukowej oraz wkład w rozwój dyscypliny inżynieria biomedyczna.

Według mojej oceny, dr Szymon Cygan spełnia wymogi formalne i ustawowe stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk techniczno-inżynierskich, w dyscyplinie inżynieria biomedyczna zawarte w art. 219 ust. 1 punkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz.1571, z późn. zm.).

Wniosuję zatem do Wysokiej Komisji Habilitacyjnej o przeprowadzenie dalszych etapów postępowania habilitacyjnego dr Szymona Cygana.



Załącznik 28.05.2025r

REFERENCJE

Publikacje dokumentujące osiągnięcie Habilitanta dr Szymona Cygana

- H1** Cygan, S. Modelowanie numeryczne fantomów serca na potrzeby obrazowania odkształceń w echokardiografii (Numerical modeling of heart phantoms as a support for strain imaging in echocardiography); 1; 1st ed.; Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT: Warszawa, 2019; ISBN 978-83-7837-082-6. IF – MNiSzW 80 WoS – Scopus – GS 3
- H2** Cygan, S.; Żmigrodzki, J.; Leśniak-Plewińska, B.; Karny, M.; Pakieła, Z.; Kałużyński, K. Influence of Polyvinylalcohol Cryogel Material Model in FEM Simulations on Deformation of LV Phantom. In Functional Imaging and Modeling of the Heart; Assen, H. van, Bovendeerd, P., Delhaas, T., Eds.; Lecture Notes in Computer Science; Springer International Publishing, 2015; pp. 313–320 ISBN 978-3-319-20308-9. IF - MNiSzW 5* WoS 9 Scopus 11 GS 11
- H3** Leśniak-Plewińska, B.; Cygan, S.; Żmigrodzki, J.; Kałużyński, K. A New Thick-Walled Conical Model of the Left Ventricle. In Proceedings of the Computational Vision and Medical Image Processing VProceedings of 5th Eccomas Thematic Conference on Computational Vision and Medical Image Processing, V ipIMAGE; 2015; pp. 273–278. IF - MNiSzW 15* WoS – Scopus 2 GS 3
- H4** Lesniak-Plewinska, B.; Zmigrodzki, J.; Cygan, S.; Kaluzynski, K. Novel Measurement Setup for Evaluation of Left Ventricle Motion and Strain Tracking Methods. In Proceedings of the MEDICAL IMAGING 2017: ULTRASONIC IMAGING AND TOMOGRAPHY; Duric, N., Heyde, B., Eds.; Spie-Int Soc Optical Engineering: Bellingham, 2017; Vol. 10139, p. UNSP 1013919. IF - MNiSzW 20 WoS - Scopus 0 GS 1
- H5** Lesniak-Plewinska, B.; Cygan, S.; Kałużyński, K.; D'hooge, J.; Żmigrodzki, J.; Kowalik, E.; Kordybach, M.; Kowalski, M. A DualChamber, Thick-Walled Cardiac Phantom for Use in Cardiac Motion and Deformation Imaging by Ultrasound. Ultrasound Med Biol 2010, 36, 1145–1156, doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2010.04.008. IF 2.493 MNiSzW 35* WoS 31 Scopus 39 GS 50
- H6** Heyde, B.; Cygan, S.; Choi, H.F.; Lesniak-Plewinska, B.; Barbosa, D.; Elen, A.; Claus, P.; Loeckx, D.; Kałużyński, K.; D'hooge, J. Regional Cardiac Motion and Strain Estimation in Three-Dimensional Echocardiography: A Validation Study in Thick-Walled Univentricular Phantoms. IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control 2012, 59, 668–682, doi:10.1109/TUFFC.2012.2245. IF 1.822 MNiSzW 35* WoS 45 Scopus 51 GS 64
- H7** Cygan, S.; Werys, K.; Błaszczuk, Ł.; Kubik, T.; Kałużyński, K. Left Ventricle Phantom and Experimental Setup for MRI and Echocardiography – Preliminary Results of Data Acquisitions. Biocybernetics and Biomedical Engineering 2014, 34, 19–24, doi:10.1016/j.bbe.2013.12.002. IF 0.646 MNiSzW 15* WoS 16 Scopus 15 GS 22
- H8** Cygan, S.; Kumor, M.; Żmigrodzki, J.; Leśniak-Plewińska, B.; Kowalski, M.; Kałużyński, K. Left Ventricular Phantoms with Inclusions Simulating Transmural and Non-Transmural Infarctions: FEM and EchoPAC Study. In Proceedings of the Progress in Biomedical Optics and Imaging - Proceedings of SPIE; Duric, N., Heyde, B., Eds.; March 13 2017; Vol. 10139, p. 1013918. IF - MNiSzW 20 WoS 5 Scopus 5 GS 7
- H9** Werys, K.; Pieniak, K.; Lesniak-Plewinska, B.; Żmigrodzki, J.; Cygan, S. Validation of the Polyvinyl Alcohol Cryogel with Glycerol as a Material for Phantoms in Magnetic Resonance Imaging. In Proceedings of the 2015 IEEE 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT DATA ACQUISITION AND ADVANCED COMPUTING SYSTEMS: TECHNOLOGY AND APPLICATIONS (IDAACS), VOLS 1-2; IEEE: New York, 2015; pp. 656–659. IF - MNiSzW 15* WoS – Scopus 0 GS 2

- H10** Cygan, S.; Urban, M.; Czyżyk, A.; Żmigrodzki, J. Low-Cost 3D VisionBased Triangulation System for Ultrasonic Probe Positioning. *Polish Journal of Medical Physics and Engineering* 2024, 30, doi:10.2478/pjmpe-2024-0029. IF 0.7 MNiSzW 100 WoS 0 Scopus 0 GS 0
- H11** Wilczewska, A.; Cygan, S.; Żmigrodzki, J. Displacement Field Estimation for Echocardiography Strain Imaging Using B-Spline Based Elastic Image Registration-Synthetic Data Study. In *Proceedings of the RECENT GLOBAL RESEARCH AND EDUCATION: TECHNOLOGICAL CHALLENGES*; Jablonski, R., Szewczyk, R., Eds.; Springer-Verlag Berlin: Berlin, 2017; Vol. 519, pp. 309–315. IF - MNiSzW 20 WoS 3 Scopus 3 GS 3
- H12** Wilczewska, A.; Cygan, S.; Żmigrodzki, J. Segmentation Enhanced Elastic Image Registration for 2D Speckle Tracking IF 1.578 MNiSzW 70 Echocardiography—Performance Study In Silico. *Ultrason Imaging* 2022, 44, 39–54, doi:10.1177/01617346211068812. WoS 1 Scopus 1 GS 1
- H13** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Werys, K.; Leśniak-Plewińska, B.; Kowalski, M.; Kałużyński, K. Block Matching and B-Spline Methods in Deformation Estimation in Synthetic Left Ventricular Model with Nontransmural Infarction. In *Proceedings of the MEDICAL IMAGING 2017: ULTRASONIC IMAGING AND TOMOGRAPHY*; Duric, N., Heyde, B., Eds.; Spie-Int Soc Optical Engineering: Bellingham, 2017; Vol. 10139, p. UNSP 1013902. IF - MNiSzW 20 WoS 0 Scopus 0 GS 0
- H14** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Wilczewska, A.; Kałużyński, K. Quantitative Assessment of the Effect of the Out-of-Plane Movement of the Homogenous Ellipsoidal Model of the Left Ventricle on the Deformation Measures Estimated Using 2-D Speckle Tracking - An InSilico Study. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 2018, 65, 1789–1803, doi:10.1109/TUFFC.2018.2856127. IF 2.989 MNiSzW 35* WoS 5 Scopus 5 GS 6
- H15** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Leśniak-Plewińska, B.; Kałużyński, K. Identification of Subendocardial Infarction—a Feasibility Study Using Synthetic Ultrasonic Image Data of a Left Ventricular Model. *Computational Vision and Medical Image Processing V: Proceedings of the 5th Eccomas Thematic Conference on Computational Vision and Medical Image Processing (VipIMAGE 2015, Tenerife, Spain, October 19-21, 2015)* 2015, 137. IF - MNiSzW 15* WoS - Scopus 4 GS 4
- H16** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Leśniak-Plewińska, B.; Kowalski, M.; Kałużyński, K. Effect of Transmural Extent of the Simulated Infarction in a Left Ventricular Model on Displacement and Strain Distribution Estimated from Synthetic Ultrasonic Data. *Ultrasound in Medicine and Biology* 2017, 43, 206–217, doi:10.1016/j.ultrasmedbio.2016.08.017. IF 2.645 MNiSzW 40* WoS 7 Scopus 7 GS 10
- H17** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Kałużyński, K. Evaluation of Strain Averaging Area and Strain Estimation Errors in a Spheroidal Left Ventricular Model Using Synthetic Image Data and Speckle Tracking. *BMC Medical Imaging* 2021, 21, 105, doi:10.1186/s12880-021-00635-y. IF 2.795 MNiSzW 70 WoS 4 Scopus 4 GS 6
- H18** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Kałużyński, K. Quantitative Evaluation of Segmentation Accuracy of Subsegmental Infarcts Using 2DSTE and Synthetic Ultrasonic Data in a Spheroidal Model of the Left Ventricle. *Biomedical Signal Processing and Control* 2022, 78, 103880, doi:10.1016/j.bspc.2022.103880. IF 5.1 MNiSzW 140 WoS 1 Scopus 1 GS 1
- H19** Żmigrodzki, J.; Cygan, S.; Kałużyński, K. Parametrization of Subsegmental Infarcts Using High Spatial Resolution 2DSTE and Synthetic Ultrasonic Data. *Pol. J. Med. Phys. Eng.* 2023, 29, 195–207, doi:10.2478/pjmpe-2023-0021. IF 0.7 MNiSzW 100 WoS 0 Scopus 0 GS 0
- H20** Alessandrini, M.; Heyde, B.; Queiros, S.; Cygan, S.; Zontak, M.; Somphone, O.; Bernard, O.; Sermesant, M.; Delingette, H.; Barbosa, D.; et al. Detailed Evaluation of Five 3D Speckle Tracking Algorithms Using Synthetic Echocardiographic Recordings. *IEEE Transactions on Medical Imaging*

2016, 35, 1915–1926, doi:10.1109/TMI.2016.2537848. IF 3.942 MNiSzW 45* WoS 37 Scopus 40 GS 58

H21 Cygan, S.; Wilczewska, A.; Kubik, T.; Alessandrini, M. Investigation of the Impact of Local Properties of 3D Data on the Accuracy of Block Matching-Based Speckle Tracking Echocardiography. Polish Journal of Medical Physics and Engineering 2024, 30, doi:<https://doi.org/10.2478/pjmpe-2024-0019>. IF 0.7 MNiSzW 100 WoS 0 Scopus 0 GS 0 Wstęp Inżynieria biomedyczna odgrywa kluczową rolę w opracowy