



Politechnika
Śląska

Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Rozszerzone Streszczenie

*Scale Bridging Computational and Data-Driven Design
of Microstructures in Multicomponent Alloys
for Advanced Functional Materials*

Rozprawa doktorska

Sachin Poudel

mgr inż.

Dyscyplina naukowa: inżynieria mechaniczna

Promotor: **Dr hab. inż. Anna Timofiejczuk, Prof. PŚ**

Promotor pomocniczy: **Dr inż. Anil Kunwar**

Gliwice, 2026

Układ Rozszerzonego Streszczenia

Tytuł Rozprawy	1
Zakres Inżynierski i Przedmiot Badań	1
Cele i Tezy Rozprawy	2
Metodyka Obliczeniowa	3
Projektowanie Procesu Stopów i Odpowiedź Konstrukcyjna	4
Odpowiedź Urządzeń Piezoelektrycznych	4
Niezawodność Interfejsów Litowych	5
Perspektywiczne Ekranowanie Komponentów Aktywnych	5
Wnioski	6
Lista Publikacji	7
Dodatkowe Publikacje Powiązane	8
Wkład Własny	9

Tytuł Rozprawy

Tytuł rozprawy brzmi:

“Scale Bridging Computational and Data-Driven Design of Microstructures in Multicomponent Alloys for Advanced Functional Materials”

Zakres Inżynierski i Przedmiot Badań

Rozprawa dotyczy metod obliczeniowych do projektowania i oceny komponentów, których działanie zależy od odpowiedzi materiału podczas wytwarzania i eksploatacji. Materiał nie jest tu analizowany jako cel sam w sobie. Jego zachowanie jest badane, ponieważ wpływa na nośność, odpowiedź elektromechaniczną, stabilność interfejsów, trwałość, niezawodność i pracę w eksploatacji.

Badania obejmują trzy powiązane obszary projektowe. Pierwszy dotyczy specyfikacji stopów wieloskładnikowych dla komponentów konstrukcyjnych i funkcjonalnych. Drugi dotyczy przewidywania odpowiedzi elektromechanicznej w czujnikach, aktuatorach, układach MEMS i urządzeniach do pozyskiwania energii. Trzeci dotyczy niezawodności interfejsów w układach litowych. W tych układach stabilna praca wymaga kontroli uszkodzeń interfejsu i wzrostu dendrytów.

Wspólnym zadaniem jest przejście od deskryptorów materiałowych do odpowiedzi komponentu. Dla stopów są to skład chemiczny, droga wytwarzania, stałe sprężystości i morfologia ziaren. Dla materiałów piezoelektrycznych są to symetria krystaliczna, składowe tensora, orientacja, zawartość napełniacza, udział fazowy i morfologia włókien. Dla interfejsów litowych są to pola stężenia, pola potencjału elektrycznego, kształt granicy i warunki pracy.

Logika łączenia skal wiąże te deskryptory z oceną inżynierską. Skład i proces wytwarzania tworzą pośredni stan materiału. Może nim być mikrostruktura, zorientowany tensor, morfologia włókien albo ewoluujący interfejs. Ten stan przenosi informację z niższej skali do poziomu komponentu, urządzenia lub systemu. Następnie mechanika obliczeniowa i metoda elementów skończonych służą do oceny pracy w warunkach eksploatacji.

Ujęcie ma charakter interdyscyplinarny, ale jego struktura pozostaje projektowa. W pracy wykorzystano dane materiałowe, obliczenia atomistyczne, symulacje pola fazowego, uczenie maszynowe i metodę elementów skończonych. Narzędzia te wspierają wybór okien składu i procesu, dobór oraz orientację materiałów aktywnych i definiowanie celów niezawodności dla układów elektrochemicznych.

Cele i Tezy Rozprawy

Głównym celem rozprawy jest opracowanie i zastosowanie metod obliczeniowych, które łączą modelowanie oparte na fizyce z predykcją opartą na danych. Metody te wiążą deskryptory i pośrednie stany materiału z odpowiedzią strukturalną oraz funkcjonalną. W praktyce wspierają wybór stopu i procesu, projektowanie urządzeń piezoelektrycznych oraz ocenę niezawodności elektrochemicznych układów energetycznych.

Rozprawa realizuje trzy cele szczegółowe:

1. Opracowanie modeli łączących skale dla stopów, które wspierają specyfikację materiału i procesu dla komponentów pracujących pod wymaganiami mechanicznymi lub funkcjonalnymi.
2. Modelowanie odpowiedzi piezoelektrycznej na potrzeby projektowania czujników, aktuatorów i urządzeń do pozyskiwania energii.
3. Ocena niestabilności dendrytycznej w interfejsach litowych oraz określenie celów projektowych dla trwałości, niezawodności i bezpiecznej pracy.

Główna teza rozprawy zakłada, że ramy łączenia skal mogą tworzyć wiarygodne ścieżki od deskryptorów do właściwości użytkowych w różnych klasach materiałów i typach komponentów. Nie wymaga to jednego uniwersalnego modelu. Wymaga natomiast fizycznie uzasadnionych deskryptorów, spójnego przenoszenia parametrów między skalami i jawnego opisu pośredniego stanu materiału.

Tezy szczegółowe są ukierunkowane na projektowanie. Połączenie modeli opartych na fizyce i danych daje możliwości, których pojedyncze podejścia nie zapewniają. Deskryptory składu i drogi wytwarzania mogą wskazywać zrównoważone obszary projektowe stopów dla pracy pod obciążeniem. Temperaturowo skalibrowane tensory sprężystości mogą wzmacniać symulację procesu. Modele pełnotensorowe i morfologiczne mogą ukierunkować projektowanie komponentów piezoelektrycznych. Symulacja pól sprzężonych może wyjaśniać wzrost dendrytów i wspierać projektowanie niezawodnych interfejsów.

Table 1: Cele, problemy badawcze i dowody projektowe.

Cel	Problem badawczy	Dowód projektowy
Specyfikacja stopu i procesu	Skład, proces i mikrostruktura są często modelowane oddzielnie.	Predykcja twardości i wydłużenia, okna projektowania odwrotnego oraz symulacje pola fazowego z parametrami temperaturowymi.
Projektowanie komponentów piezoelektrycznych	Współczynniki skalarne nie opisują anizotropii tensora, morfologii, orientacji i ograniczeń urządzenia.	Predykcja tensora zgodna z symetrią, analiza elementów skończonych i modele polimerów uwzględniające proces.
Niezawodność interfejsów bateryjnych	Wzrost dendrytów zależy od pól transportowych, elektrycznych i międzyfazowych.	Symulacja dendrytów metodą pola fazowego oraz wielokryterialna mapa trwałości i niezawodności.

Metodyka Obliczeniowa

Metodyka obejmuje cztery grupy metod. Razem wspierają one łańcuch od procesu do odpowiedzi użytkowej.

Modele oparte na danych zapewniają szybką predykcję właściwości. AlloyManufacturingNet odwzorowuje skład stopu i drogę wytwarzania na równowagę twardości oraz wydłużenia potrzebną do specyfikacji konstrukcyjnej [P-I]. PiezoTensorNet przewiduje kompletny tensor piezoelektryczny zgodny z symetrią dla oceny urządzeniowej [P-II]. PGMLpiezo przewiduje efektywną odpowiedź nanowłókien PVDF/SnO₂ na podstawie deskryptorów procesu i morfologii [P-V].

Obliczenia atomistyczne i pierwszorzędowe dostarczają parametrów niższej skali. Obliczenia DFT dostarczają tensorów sprężystości dla symulacji pola fazowego Al-Cu-Ni [P-III]. Symulacje dynamiki molekularnej nanoindentacji wiążą dodatek Nb w CoCrNiNb_x z lokalnym oporem na odkształcenie [P-I].

Symulacje pola fazowego opisują ewoluujące stany pośrednie. Podejście informowane obliczeniami DFT przewiduje ewolucję faz w układzie Al-Cu-Ni w warunkach istotnych dla procesu. Model pól sprzężonych opisuje osadzanie litu i wzrost dendrytów. W obu przypadkach ewoluująca mikrostruktura lub granica międzyfazowa jest pośrednim stanem materiału.

Analiza elementów skończonych sprawdza, czy przewidziane zmiany materiałowe dają użyteczną odpowiedź urządzenia. Analizy wykonano dla zorientowanych belek piezoelektrycznych AlN oraz dla elastycznych urządzeń PVDF/SnO₂.

Projektowanie Procesu Stopów i Odpowiedź Konstrukcyjna

Badania stopów wykazują, że skład i drogę wytwarzania należy specyfikować wspólnie dla odpowiedzi konstrukcyjnej. Sam skład nie określa końcowej odpowiedzi mechanicznej. Proces tworzy pośredni stan materiału, który kontroluje właściwości pod obciążeniem.

AlloyManufacturingNet przewiduje twardość i wydłużenie przy użyciu deskryptorów składu oraz drogi wytwarzania [P-I]. Bezwymiarowa funkcja celu wskazuje zrównoważone obszary projektowe. Dzięki temu nie wybiera się układu, który poprawia jedną właściwość kosztem drugiej.

Predykcje wskazują, że układy pochodne ZrHfNb mają rozdzielone regiony wysokiej twardości i wysokiej plastyczności. Układy pochodne VNbTa mają szersze zrównoważone okno projektowe. Obiecujące obszary obejmują między innymi $\text{Mo}_{0.3}(\text{VNbTa})_{0.7}$ oraz wybrane kandydaty modyfikowane Cr-W.

Analiza CoCrNiNb_x sprawdza trend wzdłuż jednej osi składu. Wzrost zawartości Nb zwiększa twardość. Wydłużenie najpierw maleje, a następnie częściowo się odbudowuje. Zrównoważony obszar znajduje się blisko $\text{CoCrNiNb}_{0.6}$. Symulacje nanoindentacji wskazują, że próbka z Nb stawia większy opór penetracji niż CoCrNi. Wynik ten łączy predykcję właściwości z mechanizmem odkształcenia w skali atomowej.

Badanie pola fazowego Al-Cu-Ni uzupełnia tę ścieżkę o etap procesu [P-III]. W tym kroku stałe sprężystości z obliczeń DFT przeniesiono do opisu mezoskopowego. Tensory skalibrowane do 723 K zmieniają przewidywaną powierzchnię ziarna o 18,18% w porównaniu z parametrami z 0 K. Wynik ten wspiera stosowanie w symulacjach procesu parametrów zgodnych z temperaturą wytwarzania.

Badanie korozji addytywnie wytwarzanej stali superduplex rozszerza logikę skład-proces na trwałość powierzchniową [P-VI]. Wykorzystuje deskryptory obróbki cieplnej i składu do oceny odporności korozyjnej komponentów wytwarzanych metodą LPBF. Praca dotycząca obróbki cieplnej łączy także ścieżki post-processingu z odpowiedzią wytrzymałościowo-ciagliwą [P-VII].

Odpowiedź Urządzeń Piezoelektrycznych

Badania piezoelektryczne wykazują, że współczynniki skalarne nie wystarczają do projektowania komponentów. Odpowiedź urządzenia zależy od pełnego tensora, orientacji, właściwości sprężystych i dielektrycznych, geometrii, warunków brzegowych oraz obwodu elektrycznego.

PiezoTensorNet przewiduje pełny tensor piezoelektryczny zgodny z symetrią [P-II]. Klasyfikator grup punktowych kieruje kandydat do modułu regresji właściwego dla danej symetrii. Predykcja obejmuje tylko te składowe tensora, które są dozwolone przez symetrię. Dzięki temu wynik jest fizycznie dopuszczalny i może zostać obrócony do układu urządzenia.

Ekranowanie wskazuje AlN domieszkowany B-Er jako obiecujący kandydat do oceny na

poziomie urządzenia. W pobliżu składu $B_{0.3}Er_{0.5}Al_{0.2}N$ norma tensora e_{mod} osiąga $4,37 \text{ C m}^{-2}$. Dla AlN bez domieszkowania wartość wynosi $1,67 \text{ C m}^{-2}$. Obrót tensora wskazuje korzystne orientacje. Symulacja belki metodą elementów skończonych wskazuje, że zoptymalizowany i zorientowany kandydat może zwiększyć symulowaną moc pozyskiwania energii 9,96-krotnie względem materiału bazowego.

Badanie PVDF/SnO₂ dotyczy elastycznych urządzeń piezoelektrycznych przy ograniczonej liczbie danych [P-V]. Łączy warunki elektroprężenia, zawartość napełniacza, średnicę włókien, udział fazowy i efektywną odpowiedź piezoelektryczną. Przewidywana wartość d_{33} wzrasta z 18 do 29 pC N^{-1} dla zoptymalizowanych warunków wytwarzania.

Symulacje elementów skończonych wykazują, że architektura urządzenia wpływa na odpowiedź użytkową. Pasywne pozyskiwanie energii daje średnią moc $0,359 \text{ nW}$. Układ P-SSHI zwiększa ją do $1,251 \text{ nW}$. W trybie aktuatora boczne ograniczenia zwiększają skok osiowy z $44,41 \text{ nm}$ do $69,60 \text{ nm}$. Wzrost wynosi około 57%. Wyniki wspierają łączne projektowanie procesu, morfologii, obwodu i warunków brzegowych.

Niezawodność Interfejsów Litowych

Badanie interfejsów litowych koncentruje się na niezawodności układów energetycznych [P-IV]. Dendryty mogą zużywać materiał aktywny, uszkadzać interfejs i powodować zwarcia. Ich wzrost zależy od sprzężonych pól transportowych, elektrycznych i międzyfazowych.

W modelu pola fazowego granica lit-elektrolit jest ewoluującym rozmytym interfejsem. Parametr porządku, pole stężenia i pole potencjału elektrycznego są rozwiązywane razem. Niewielka wypukłość lokalizuje pola. Osadzanie przyspiesza wtedy na wierzchołku. Rosnący wierzchołek jeszcze silniej skupia lokalne siły napędowe. Powstaje sprzężenie zwrotne między geometrią, transportem i osadzaniem elektrochemicznym.

Praca przeglądowa przekłada ten mechanizm na cele projektowe [P-IV]. Strategie materiałowe, międzyfazowe i operacyjne pogrupowano w dziesięć sprzężonych wskaźników. Obejmują one transport, sztywność, gęstość prądu, sprawność, gęstość defektów, retencję pojemności i stabilność temperaturową. Takie ujęcie traktuje tłumienie dendrytów jako wspólną przestrzeń projektową, a nie jako zbiór niezależnych usprawnień.

Perspektywiczne Ekranowanie Komponentów Aktywnych

Rozprawa zawiera także perspektywiczne badanie przesiewowe. Pule kationów pochodzące ze stopów wykorzystano do poszukiwania tlenków i azotków o odpowiedzi elektromechanicznej, dielektrycznej i polarnej. Ten fragment zawęża przestrzeń poszukiwań dla przyszłych komponentów aktywnych, ale nie jest przedstawiany jako zweryfikowany projekt materiału.

Ekranowanie łączy przestrzeń kationów metali przejściowych z regułami symetrii z badania

tensora piezoelektrycznego. Obszary tlenkowe Nb-Ti-Zr oraz Nb-Ta-Ti pojawiają się jako obiecujące. Mapy ujawniają także kompromisy. Szersza przerwa energetyczna zwykle wiąże się z niższą polaryzacją spontaniczną. Odpowiedź elektromechaniczna ma tendencję do nasycania się przy wysokiej przenikalności. Wynikiem użytecznym projektowo jest więc zrównoważone okno Pareto, a nie maksimum pojedynczej właściwości.

Wnioski

Rozprawa wykazuje, że zachowanie materiału można włączyć do obliczeniowych procedur projektowych, gdy deskryptory niższej skali są powiązane z odpowiedzią komponentu przez jawny stan pośredni.

Dla stopów konieczna jest wspólna specyfikacja składu i procesu. Równowaga twardości i wydłużenia nie może być wiarygodnie przewidywana tylko na podstawie składu. Ważne są także temperaturowo zgodne tensory sprężystości, ponieważ zmieniają przewidywaną mikrostrukturę podczas symulacji procesu.

Dla komponentów piezoelektrycznych potrzebna jest pełna informacja tensorowa. Symetria, orientacja, morfologia, warunki brzegowe i obwody elektryczne wspólnie określają odpowiedź użytkową.

Dla interfejsów bateryjnych tłumienie dendrytów wymaga uwzględnienia pól sprzężonych. Stabilna praca wymaga wspólnych celów dla materiału, interfejsu, jakości wytwarzania i warunków eksploatacji.

We wszystkich obszarach wkład rozprawy polega na opracowaniu ścieżek obliczeniowych, które przekształcają informację materiałową w predykcję odpowiedzi użytkowej. Ścieżki te wspierają specyfikację komponentu, ocenę pracy w eksploatacji i projektowanie zorientowane na niezawodność, bez traktowania charakterystyki materiałowej jako odrębnego celu.

Lista Publikacji

Rozprawa opiera się na siedmiu recenzowanych publikacjach przedstawionych poniżej. Wkład własny opisano po liście publikacji, a podpisane oświadczenia współautorów są częścią dokumentacji rozprawy.

- [P-I] **S. Poudel**, U. Subedi, M. O. Hamid, K. Gyanwali*, N. Moelans, A. Timofiejczuk, and A. Kunwar*, “AlloyManufacturingNet for discovery and design of hardness-elongation synergy in multi-principal element alloys,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 132, p. 107902, 2024.
DOI: [10.1016/j.engappai.2024.107902](https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.107902)
(IF: 9.0, MNiSW: 140)#
- [P-II] **S. Poudel***, R. Thapa, R. Basnet, A. Timofiejczuk, and A. Kunwar, “PiezoTensorNet: Crystallography informed multi-scale hierarchical machine learning model for rapid piezoelectric performance finetuning,” *Applied Energy*, vol. 361, p. 122901, 2024.
DOI: [10.1016/j.apenergy.2024.122901](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122901)
(IF: 12.2, MNiSW: 200)
- [P-III] **S. Poudel***, N. Moelans, R. Thapa, A. Timofiejczuk, D. Panthi, and A. Kunwar, “Unraveling elastochemical effects in microstructural evolution of Al–Cu–Ni system through DFT-informed multi-phase field simulations,” *International Journal of Solids and Structures*, vol. 300, p. 112894, 2024.
DOI: [10.1016/j.ijsolstr.2024.112894](https://doi.org/10.1016/j.ijsolstr.2024.112894)
(IF: 4.6, MNiSW: 140)
- [P-IV] Y. Li, **S. Poudel***, S. Kumari, E. Azqadan, A. Kunwar*, and N. Moelans*, “Roadmaps for dendrite suppression in next generation lithium-ion batteries: Toward sustainable energy solutions,” *Energy Storage Materials*, vol. 86, p. 105000, 2026.
DOI: [10.1016/j.ensm.2026.105000](https://doi.org/10.1016/j.ensm.2026.105000)
(IF: 19.3, MNiSW: 200)
- [P-V] **S. Poudel***, W. Smok, R. Thapa, A. Timofiejczuk, N. Moelans, and A. Kunwar, “Physics-guided machine learning for enhanced piezoelectric performance in electrospun PVDF/SnO₂ nanofibers,” *Sustainable Materials and Technologies*, p. e02008, 2026.
DOI: [10.1016/j.susmat.2026.e02008](https://doi.org/10.1016/j.susmat.2026.e02008)
(IF: 9.7, MNiSW: 200)
- [P-VI] M. Dagnaw, **S. Poudel***, U. Subedi*, R. Thapa, Ł. Reimann, A. N. S. Appiah, P. M. Nuckowski, M. Król, Z. Brytan, N. Moelans, et al., “Integrating experiments and phase field method through

informatics for tailored corrosion performance of additively manufactured steel microstructures,” *Metals and Materials International*, 2026.

DOI: [10.1007/s12540-026-02369-4](https://doi.org/10.1007/s12540-026-02369-4)

(IF: 4.5, MNiSW: 70)

[P-VII] M. Dagnaw, **S. Poudel**^{*}, M. Król, and Z. Brytan, “Post-process heat treatment design for tunable strength and toughness in L-PBF 2507 super duplex stainless steel,” *Materialia*, p. 102799, 2026.

DOI: [10.1016/j.mtla.2026.102799](https://doi.org/10.1016/j.mtla.2026.102799)

(IF: 3.1, MNiSW: 20)

Dodatkowe Publikacje Powiązane

Poniższe publikacje stanowią uzupełniający kontekst metodyczny rozprawy.

[AP-I] R. Thapa, **S. Poudel**, K. Krukiewicz, and A. Kunwar^{*}, “A topical review on AI-interlinked biodomain sensors for multi-purpose applications,” *Measurement*, vol. 227, p. 114123, 2024.

DOI: [10.1016/j.measurement.2024.114123](https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114123)

(IF: 6.1, MNiSW: 200)[#]

[AP-II] S. Neupane^{*}, **S. Poudel**^{*}, A. Ghimire, and S. Shakya, “Enhanced mechanical performance and biodegradability in filler-reinforced potato biopolymers for sustainable packaging,” *Materials Today Communications*, p. 114081, 2025.

DOI: [10.1016/j.mtcomm.2025.114081](https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.114081)

(IF: 4.9, MNiSW: 70)

^{*} Osoba korespondencyjna.

[#] IF: Impact Factor, wartości z 2025 r. MNiSW: punktacja Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Wkład Własny

Ta część podsumowuje rolę kandydata (**Sachin Poudel**) w siedmiu publikacjach. Obejmuje pozycję publikacyjną, udział procentowy, role CRediT oraz główne zadania wykonane przez kandydata. Podpisane oświadczenia o wkładzie są częścią dokumentacji rozprawy.

Publikacja I [P-I]

Pozycja: Pierwszy. **Wkład:** 51%.

CRediT roles: Conceptualization, methodology, software, investigation, formal analysis, validation, data curation, visualization, funding acquisition, writing: original draft.

- Ujął specyfikację stopu konstrukcyjnego jako wspólny wybór składu i drogi wytwarzania dla wymagań twardości oraz wydłużenia.
- Umożliwił predykcję i projektowanie odwrotne z użyciem uporządkowanych danych dla wielu dróg wytwarzania oraz funkcji celu $F(x, y)$.
- Zastosował fizycznie uzasadnione deskryptory (ΔB , ΔG , VEC), aby zachować interpretację mechaniczną.
- Powiązał trendy właściwości z atomistycznymi mechanizmami odkształcenia w symulacjach nanoindentacji CoCrNiNb_x oraz prowadził przygotowanie tekstu, rysunków i finansowania.

Publikacja II [P-II]

Pozycja: Pierwszy i Korespondencyjny. **Wkład:** 61%.

CRediT roles: Conceptualization, methodology, software, investigation, formal analysis, validation, data curation, visualization, writing: original draft.

- Wspierał dobór materiału dla czujników i układów do pozyskiwania energii przez połączenie pełnych tensorów piezoelektrycznych z ukierunkowanymi modelami elementów skończonych.
- Zapewnił fizycznie dopuszczalne wyniki tensorowe przez hierarchiczny klasyfikator grup punktowych, regresory zależne od symetrii, deskryptory krystalograficzne i metrykę e_{mod} .
- Wskazał AIN domieszkowany B-Er jako głównego kandydata dla układów MEMS, pokazał 9,96-krotny przewidywany wzrost mocy i prowadził przygotowanie tekstu oraz rysunków.

Publikacja III [P-III]

Pozycja: Pierwszy i Korespondencyjny. **Wkład:** 65%.

CRedit roles: Conceptualization, methodology, software, investigation, formal analysis, validation, data curation, visualization, writing: original draft.

- Potraktował ewolucję faz Al-Cu-Ni jako problem projektowania procesu wymagający predykcji mikrostruktury zgodnej z temperaturą.
- Umożliwił mezoskopową symulację przez implementację modelu pola fazowego w MOOSE i przeniesienie skalibrowanych stałych sprężystości z obliczeń DFT.
- Określił 18% różnicę morfologii względem parametrów z 0 K, ustalił procedurę transferu atomistyczno-mezoskopowego oraz prowadził interpretację, rysunki i tekst.

Publikacja IV [P-IV]

Pozycja: Drugi i Korespondencyjny. **Wkład:** 35%.

CRedit roles: Methodology, investigation, formal analysis, validation, visualization, writing: review & editing.

- Sformułował cele niezawodności dla litowych układów energetycznych przez współtworzenie mapy działań ograniczających wzrost dendrytów.
- Odwzorował mechanizmy degradacji na strategię materiałowe, międzyfazowe i operacyjne.
- Uporządkował rozproszone strategie tłumienia dendrytów w dziesięć sprzężonych wskaźników wydajności i stabilności.
- Współtworzył części dotyczące modelowania i interfejsów bateryjnych, przygotował rysunki i włączył wyniki pola fazowego do narracji przeglądowej.

Publikacja V [P-V]

Pozycja: Pierwszy i Korespondencyjny. **Wkład:** 50%.

CRedit roles: Conceptualization, methodology, software, investigation, formal analysis, validation, data curation, visualization, project administration, funding acquisition, writing: original draft.

- Sformułował problem projektowania elastycznych czujników, aktuatorów i układów do pozyskiwania energii przy ograniczonej liczbie danych.
- Połączył warunki elektroprzewodzenia, zawartość SnO₂, morfologię i efektywną odpowiedź PVDF.
- Przekształcił rozproszone dane literaturowe w uporządkowany zbiór modelowy z użyciem analizy literatury i deskryptorów procesu.
- Oceniał przewidywaną poprawę d_{33} w symulacjach urządzeniowych FERRET oraz prowadził tekst, zarządzanie projektem, rysunki i finansowanie.

Publikacja VI [P-VI]

Pozycja: Drugi i Korespondencyjny. **Wkład:** 14%.

CRedit roles: Conceptualization, methodology, software, data curation, visualization, writing: review & editing.

- Wspierał specyfikację odporności korozyjnej dla komponentów SDSS 2507 wytwarzanych metodą LPBF.
- Odzworował wpływ obróbki cieplnej i składu przez deskryptory wrażliwe na proces, w tym cechy PREN-temperatura oraz $T \times t$, w przepływie Matminer/Magpie.
- Współtworzył reprezentację stabilności fazowej SPER, kurację danych, walidację, rysunki i interpretację.

Publikacja VII [P-VII]

Pozycja: Drugi i Korespondencyjny. **Wkład:** 25%.

CRedit roles: Conceptualization, software, formal analysis, data curation, visualization, writing: review & editing.

- Wspierał dobór obróbki po procesie L-PBF dla komponentów 2507 przez powiązanie ścieżek obróbki cieplnej z odpowiedzią wytrzymałościowo-ciagliwą.
- Przygotował oprogramowanie analityczne i uporządkowany zbiór danych użyty do interpretacji procesu, rysunków i korekty manuskryptu.