

Kraków, 22.09.2026r.

Prof. dr hab. inż. Sławomir Grądział
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Energetyki
ul. Warszawska 24
31-155 Kraków

OCENA

dorobku naukowo-dydaktycznego i organizacyjnego oraz osiągnięcia naukowego
pt. „*Komplementarne podejście do badań termicznego przetwarzania biomasy*
***i odpadów: od kinetyki reakcji po ocenę cyklu życia (LCA)*”**
dr. inż. Szymona Sobka

I. Podstawa opracowania

Podstawą opracowania niniejszej recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr. hab. Krzysztofa Labusa z dn. 8.07.2026 r. informującego o powołaniu mnie na recenzenta w komisji habilitacyjnej w postępowaniu habilitacyjnym dr. inż. **Szymona Sobka**, wszczętym w dniu 24 lutego 2026 r. w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżyniera środowiska, górnictwo i energetyka.

II. Informacje ogólne

Pan dr inż. Szymon Sobek w latach 2012 – 2017 studiował na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej, na kierunku Energetyka, w specjalności Modernizacja instalacji energetycznych. Tematem pracy dyplomowej był: „Badanie wpływu zmiany temperatury na własności wybranych materiałów podczas prób wytrzymałościowych”, a promotorem był dr inż. Krzysztof Nawrat.

W latach 2017 – 2021 dr inż. Szymon Sobek realizował rozprawę doktorską na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej. Rozprawa doktorska pt.: „Badania eksperymentalne procesu solarnej pirolizy biomasy odpadowej” została obroniona w dniu 24.06.2021. Promotorem rozprawy doktorskiej był prof. dr hab. inż. Sebastian Werle.

Od roku 1.10.2021 do chwili obecnej jest zatrudniony na Politechnice Śląskiej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki w Katedrze Ogrzewnictwa, Wentylacji i Technik Odpylania na stanowisku adiunkta badawczo – dydaktycznego.

III. Ocena osiągnięcia naukowego dr. inż. Szymona Sobka

Osiągnięciem naukowym Habilitanta stanowi jednotematyczny cykl publikacji (według Autora oznaczony w autoreferacie od A1 do A11) zatytułowany: „Komplementarne podejście do badań termicznego przetwarzania biomasy i odpadów: od kinetyki reakcji po ocenę cyklu życia (LCA)”. Sumaryczny Impact Factor przedstawionych publikacji wynosi IF = 95,6 oraz łączna liczba punktów ministerialnych MNiSW: 1920.

Celem naukowym Habilitanta było opracowanie kompleksowej, komplementarnej metodyki oceny procesów termochemicznego przetwarzania biomasy i różnego rodzaju odpadów – od analizy kinetyki i mechanizmów reakcji, poprzez identyfikację produktów oraz optymalizację parametrów procesowych, aż po ocenę wpływu tych technologii na środowisko w ujęciu gospodarki o obiegu zamkniętym. Istotnym elementem celu było stworzenie uniwersalnych narzędzi badawczych, możliwych do zastosowania dla zróżnicowanych materiałów odpadowych.

Do najważniejszych osiągnięć można zaliczyć:

- **opracowanie i zastosowanie zaawansowanych metod modelowania kinetycznego**, w tym metod izokonwersyjnych Friedmana i Vyazovkina oraz dekonwolucji Fraser-Suzuki, pozwalających na opis złożonych, wieloetapowych procesów rozkładu termicznego;
- **opracowanie komplementarnego podejścia eksperymentalno-analitycznego**, wykorzystującego m.in. TGA (analiza termogravimetryczna), DSC (różnicowa kalorymetria skaningowa) oraz wspomagające wykorzystanie technik TGA-FTIR i Py-GC-MS do charakterystyki procesów oraz identyfikacji produktów przemian;
- **analizę i optymalizację procesów termochemicznego przetwarzania** różnorodnych surowców, obejmujących m.in. biomasę odpadową, odpady polimerowe, zużyte opony oraz trudne do zagospodarowania odpady kompozytowe z łopat turbin wiatrowych;
- **połączenie badań fundamentalnych z oceną środowiskową**, poprzez zastosowanie analizy cyklu życia (LCA) zgodnej z ISO 14040/14044;
- **wypracowanie uniwersalnej metodyki badawczej**, możliwej do wykorzystania dla różnych materiałów i technologii, takich jak piroliza, spalanie, hydrotermalna karbonizacja czy oksydatywne upłynianie.

Habilitant swoje osiągnięcie dotyczące modelowania kinetycznego procesów termochemicznych przetwarzania oraz recyklingu odpadów kompozytowych i biomasy odpadowej na cele zrównoważonego odzysku energii i produkcji materiałów alternatywnych przedstawił w sześciu publikacjach:

1. **Sobek S, Mumtaz H, Sajdak M, Schmölder S, Muzyka R, Werle S.** Kinetic study of the decommissioned wind turbine blade oxidative liquefaction based on differential scanning calorimetry. *Energy* 2025;316.
2. **Sobek S, Lombardi L, Mendecka B, Mumtaz H, Sajdak M, Muzyka R, Werle S.** A life cycle assessment of the laboratory — scale oxidative liquefaction as the chemical recycling method of the end-of-life wind turbine blades. *J Environ Manage* 2025;361.

3. **Sobek S**, Zeng K, Werle S, Junga R, Sajdak M. Brewer's spent grain pyrolysis kinetics and evolved gas analysis for the sustainable phenolic compounds and fatty acids recovery potential. *Renew Energy* 2022; 199: 157–68.
4. Mlonka-Mędrala A, **Sobek S**, Mariusz W, Werle S, Ionescu G, Mărculescu C, Magdziarz A. Energy and material recovery from bone waste: Steam gasification for biochar and syngas production in a circular economy framework. *Energy* 2025;325.
5. Mlonka-Mędrala A, **Sobek S**, Mariusz W, Werle S, Pătraşcu M., Ionescu G, Mărculescu C, Magdziarz A. Kinetics study and Py-GC-MS analysis of pyrolysis in chicken bone waste for sustainable utilisation in thermal conversion. *J Environ Manage* 2025;373.
6. Mumtaz H, **Sobek S**, Sajdak M, Muzyka R, Drewniak S, Werle S. Oxidative liquefaction as an alternative method of recycling and the pyrolysis kinetics of wind turbine blades. *Energy* 2023; 278:127950.

Oryginalność tych prac polega na komplementarnym wykorzystywaniu najnowszych metod kinetycznych opartych na pomiarach ubytku masy próbki (TGA) jak i wydzielaniu ciepła (DSC), wspieranych analizą uwalniania i charakterystyki produktów procesów (GC-FID, Py-GC-MS), co pozwala na jednoznaczne określenie kinetyki badanych procesów złożonych substancji takich jak odpady kompozytowe czy biomasa odpadowa. Dodatkowym atutem jest zastosowanie analizy oceny cyklu życia do oceny oddziaływania na środowisko proponowanych metod, co moim zdaniem jest kluczowe do całkowitej oceny kryteriów zrównoważonego rozwoju proponowanych metod recyklingu oraz przetwarzania biomasy.

Habilitant w kolejnych pracach był odpowiedzialny za opracowanie metodyki oraz wykonanie obliczeń kinetycznych na potrzeby modelowania procesów spalania i współspalania biomasy odpadowej oraz produktów jej przetwarzania m.in., hydrotermalnej karbonizacji (HTC), toryfikacji i pirolizy. Osiągnięcie to zostało udokumentowane w pięciu publikacjach:

1. **Sobek S**, Tran KQ, Junga R, Werle S. Hydrothermal carbonization of the waste straw: A study of the biomass transient heating behavior and solid products combustion kinetics. *Fuel* 2022;314:122725.
2. Junga R, **Sobek S**, Mizerna K, Wzorek M, Moskal-Zaucha H, Wróbel-Iwaniec I. Evaluation of the reactivity of co-combustion of wheat straw and waste rubber thermolysis char. *Renew Energy* 2024;237:121570.
3. Junga R, **Sobek S**, Sajdak M, Yilmaz E. Co-pyrolysis of animal manure and plastic waste study using TG-FTIR analysis. *J Anal Appl Pyrolysis* 2024;181:13–6.
4. Dudziak M, Werle S, Marszałek A, **Sobek S**, Magdziarz A. Comparative assessment of the biomass solar pyrolysis biochars combustion behavior and zinc Zn (II) adsorption. *Energy* 2022;261.
5. Szufa S, Piersa P, Junga R, Błaszczuk A, Modliński N, **Sobek S**, et al. Numerical modeling of the co-firing process of an in situ steam-torrefied biomass with coal in a 230 MW industrial-scale boiler. *Energy* 2023;263.

W przedstawionych powyżej publikacjach były również zawarte inne osiągnięcia opracowane przez Habilitanta, np.:

- opracowanie i weryfikacja uniwersalnej metodyki łączącej metody izokonwersji z dekonwolucją funkcjami Gaussa oraz Frasera-Suzukiego, metodami identyfikacji modeli reakcji z wynikami badań;
- kompleksowa ocena środowiskowa metodą LCA (na podstawie LCA procesu oksydacyjnego upłynniania biomasy odpadowej);
- pionierskie zastosowanie DSC do badań kinetyki oksydacyjnego upłynniania odpadów kompozytowych (na przykładzie odpadów z łopat turbin wiatrowych);
- identyfikacja i kwantyfikacja zjawisk egzotermicznych w procesie HTC
- wykorzystanie modelowania kinetycznego na potrzeby oceny wpływu parametrów procesów termochemicznego biomasy i odpadów na zmiany mechanizmów spalania i pirolizy produktów procesowych oraz optymalizacji składu nowych mieszanek paliwowych
- wdrożeniowe zastosowanie modeli kinetycznych w skali przemysłowej (na przykładzie współspalania toryfikatu pszenicznego z węglem w kotle OP-230).

Przeprowadzone i przedstawione w cyklu jedenastu publikacji badania dr. inż. Szymona Sobka oceniam wysoko i uważam, że są one potwierdzeniem znaczącego wkładu w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, w tym szczególnie w zakresie stworzenia spójnego warsztatu badawczego łączącego modelowanie kinetyczne, eksperymentalną charakterystykę procesów termochemicznych i ocenę środowiskową LCA, który pozwala kompleksowo oceniać możliwości efektywnego i zrównoważonego zagospodarowania biomasy oraz problematycznych odpadów.

IV. Ocena pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych dr. inż. Szymona Sobka

Dr inż. Szymon Sobek podczas swojej pracy na Politechnice Śląskiej, aktywnie uczestniczył w realizacji projektów badawczych krajowych i zagranicznych oraz odbył liczne staże naukowe w jednostkach zagranicznych.

Udział w krajowych i zagranicznych projektach badawczych:

1. **Doktorant-stypendysta** w projekcie OPUS-12 „*Badania procesu pirolizy solarnej biomasy odpadowej*”, Narodowe Centrum Nauki (NCN), kierownik projektu prof. dr hab. inż. Sebastian Werle, budżet projektu 825400 zł, okres realizacji 2017-10-16 – 2021-12-15, nr rej. 2016/23/B/ST8/02101.
2. **Wykonawca** w projekcie OPUS-21 „*Oksydacyjne upłynnianie odpadowych tworzyw sztucznych. Badania eksperymentalne wraz z wielowymiarową analizą danych z wykorzystaniem metod chemometrycznych*”, Narodowe Centrum Nauki (NCN), kierownik projektu prof. dr hab. inż. Sebastian Werle, budżet projektu 1 385 300 zł, okres realizacji 2022-02-04 - 2025-04-03, nr rej. 2021/41/B/ST8/01770.
3. **Kierownik działania badawczego** w projekcie MINIATURA-6 „*Środowiskowa ocena cyklu życia zastosowania procesów hydrotermalnych i solwolizy jako metod*

recyklingu chemicznego i materiałowego odpadów z tworzyw sztucznych”, Narodowe Centrum Nauki (NCN), budżet projektu 49 500 zł, okres realizacji 2022-08-06 - 2023-07-26, nr rej. 2022/06/X/ST8/00301.

4. **Wykonawca** w projekcie OPUS-26 *„Recykling chemiczny odpadów tekstylnych metodą oksydacyjnego upłynniania oraz solwolizy- od odpadów do zrównoważonej mody”*, Narodowe Centrum Nauki (NCN), kierownik projektu prof. dr hab. inż. Sebastian Werle, budżet projektu 1 421 300 zł, okres realizacji 2024-11-28 - 2027-11-27 (projekt trwający obecnie), nr rej. 2023/51/B/ST8/02414
5. **Wykonawca** w pakiecie badawczym w projekcie międzynarodowym *„European recycling and circularity in large composite components”* EuReComp, Horyzont Europa, koordynator projektu prof. Costas Charitidis, National Technical University of Athens (NTUA), budżet projektu 8.9 mln EUR, okres trwania 2022-04-01 – 2026-03-31, nr umowy o grant 101058089.
6. **Kierownik projektu** w projekcie międzynarodowym *„Promoting life cycle thinking in higher education”* LIFE-C, Erasmus+ Akcja 2 Partnerstwa Współpracy, Partnerstwa na Rzecz Szkolnictwa Wyższego, budżet dofinansowania 400 000 EUR, okres realizacji 2022-09-01-2026-08-31, nr umowy 2022-1-PL01-KA220-HED-000085853.
7. **Wykonawca** w pakiecie badawczym w projekcie międzynarodowym *„Integrated oxy-combustion solutions for flexible, bio-based combined heat and power”*, BioNETZero Horizon RIA, koordynator projektu Amy Brunsvold-Hellemans, SINTEF Energy Research, Norwegia, budżet projektu 4 mln EUR, czas trwania 2024-2027 (36 miesięcy), numer umowy 101146616.
8. **Wykonawca** w pakiecie badawczym projekcie międzynarodowym *„Supporting Energy Transition and Decarbonisation in District Heating Sector”*, SET_HEAT, LIFE, koordynator dr hab. inż. Jacek Kalina, Prof. PŚ, Politechnika Śląska (Polska), budżet projektu 1.56 mln EUR, czas trwania 1.10.2023. – 30.09.2026, numer projektu LIFE22-CET-SET_HEAT/101119793.

Dr inż. Szymon Sobek odbywał staże w zagranicznych ośrodkach naukowych:

1. 15.08.2020 – 15.11.2020 – trzymiesięcznego **staż badawczy** na Norweskim Uniwersytecie Naukowo-Technicznym (NTNU) w Trondheim w Norwegii. Opiekunem stażu był prof. Quang Khanh Tran. Przeprowadził szeroko zakrojone badania eksperymentalne procesu hydrotermalnej karbonizacji (HTC) słomy odpadowej oraz szybkiego upłynnienia hydrotermalnego (HTL). Badania miały na celu rozwój technologii konwersji dla priorytetowego pod względem badawczym rodzaju biomasy - ligniny w formie lignosulfonatu;
2. 07.02.2024 – 31.07.2026 – staż badawczy w National University of Science and Technology POLITEHNICA Bucharest, UPB, (Bukareszt, Rumunia) w ramach Funduszu na rzecz Odbudowy i Zwiększania Odporności Komisji Europejskiej dla Rumunii. Głównym zadaniem Habilitanta były zaawansowane obliczenia kinetyczne na podstawie pomiarów termogravimetrycznych (TGA) oraz kalorymentrii różnicowej (DSC), analiza oceny cyklu życia (LCA) badanych metod konwersji biomasy odpadowej do produkcji wodoru, oraz obliczenia termodynamiczne (ciepło

pochłonięte przez próbkę) oraz transportu ciepła (straty ciepła) w celu określenia warunków pracy instalacji pilotażowych.

3. 01.09.2022 – 09.12.2022 - staż badawczy Uniwersytet Niccolò Cusano, Unicusano (Rzym, Włochy) w zespole badawczym prowadzonym przez prof. L. Lombardi. Habilitant badał metody oceny środowiskowej cyklu życia do zastosowania w procesach hydrotermalnych i solwolizy jako metod recyklingu chemicznego i materiałowego odpadów z tworzyw sztucznych, w tym łopat turbin wiatrowych.

Dr inż. Szymon Sobek brał udział w pracach zleconych na rzecz otoczenia społeczno-gospodarczego (4 prace), wykonał jedną ekspertyzę oraz jest współautorem zgłoszenia patentowego (P.454354).

Dorobek publikacyjny Habilitanta:

- Cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych: 11
- Inne publikacje naukowe: 41
- Członkostwo w redakcjach naukowych monografii: 43

Dorobek bibliometryczny (dane z dnia 24.02.2026):

- *h-index*: 18 (Scopus), 18 (Web of Science)
- liczba cytowani: 1022 (Scopus), 938 (Web of Science)
- *Sumaryczny Impact Factor*: 307,667
- *Sumaryczna punktacja MNiSW*: 6870

Liczba konferencji z czynnym udziałem:

- konferencje krajowe i międzynarodowe: 14

Przedstawione przez Habilitanta znaczące osiągnięcia w aktywności naukowej udokumentowane: publikacjami, realizacją projektów badawczych, odbytych stażach naukowych oraz dużą sumaryczną liczbą punktów MNiSzW, uważam za wystarczające do nadania mu statusu samodzielnego pracownika naukowego.

V. Dorobek dydaktyczny, organizacyjny i popularyzujący naukę.

Dr inż. Szymon Sobek prowadzi zajęcia z przedmiotów z zakresu energetyki i inżynierii środowiska w języku polskim i angielskim:

- *Termodynamika techniczna,*
- *Termodynamika techniczna i energetyka,*
- *Odnawialne źródła energii,*
- *Introduction to Life cycle thinking,*
- *Podstawy przepływu ciepła i termodynamiki.*

Ponadto, w ramach działalności projektowej w ramach konsorcjum LIFE-C wdrożył na Politechnice Śląskiej innowacyjne kursy z zakresu oceny cyklu życia oraz dba o kształcenie młodych naukowców w zakresie zaawansowanych metod modelowania kinetycznego. W ramach projektu LIFE-C wypracował następujące osiągnięcia dydaktyczne:

- stworzenie oraz wdrożenie na Uczelniach Partnerskich 3 nowatorskich kursów dot. oceny cyklu życia (ang. *life cycle assessment*, LCA) dla studentów z przyznanymi punktami ECTS,
- przeszkolenie ponad 150 studentów uczelni partnerskich z zakresu oceny cyklu życia,
- promocja zastosowania analizy LCA na potrzeby oceny oddziaływania na środowisko,
- Stworzenie autonomicznej platformy edukacyjnej zawierającej kursy LCA wraz z kompletem materiałów edukacyjnych oraz egzaminów zaliczeniowych.
- wydanie darmowego podręcznika kursu „LIFE-C Course Handbook” mającego na celu ułatwienie wdrażania kursów na zainteresowanych uczelniach.

Habilitant pełnił lub pełni funkcję promotora pomocniczego prac doktorskich, która jedna z nich została obroniona z wyróżnieniem 4.02.2026r., był promotorem jednego projektu inżynierskiego oraz promotorem dwóch prac magisterskich, był wielokrotnie recenzentem prac inżynierskich i magisterskich.

Dr inż. Szymon Sobek brał udział w popularyzacji nauki:

- gość w debacie Czy naukowiec musi być użyteczny/pożyteczny? Rozmowa z uczestnikami prestiżowego programu Horyzont Europa, Śląski Festiwal Nauki Katowice 2024,
- udział w kampanii promocyjnej Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP) - Nauka pomaga - pomóż nauce. Kampania Fundacji na rzecz Nauki Polskiej,
- Wykład w ramach Europejskie Miasto Nauki Katowice 2024 pt. „Life cycle thinking in higher education”, 27.11.2024.

Habilitant podnosił swoje kompetencje biorąc udział w szkoleniach i kursach:

- MESco Sp. z o.o., szkolenie Ansys Fluent pt. TERMIKA (ośrodki porowate, źródła ciepła i masy zadawane UDFem, spalanie, cząstki stałe), 20-21.01.2021, warsztaty kontaktowe.
- Netzsch-Gerätebau GmbH, The basics of differential scanning calorimetry, 19.04.2022, szkolenie online.
- LEAD2 Young Academic Leadership, Blended Training program, marzec-maj 2022, warsztaty zdalne.
- Uniwersytet LUT, Finlandia, UNIPS: Pedagogics in Digital Learning, 03.03.2023, kurs online.
- Netzsch-Gerätebau GmbH, Kinetics for Polymers – Decomposition, Curing, and Crystallization, by Kinetics Neo, Session 1, 23.03.2023, szkolenie online.
- GreenDelta GmbH, Advanced openLCA Seminar, Berlin, 09.04.2025, warsztaty kontaktowe.

Habilitant jest także aktywnym recenzentem w prestiżowych czasopismach naukowych wydawnictwa Elsevier (ponad 55 recenzji), głównie *Energy* oraz *Applied Energy*, *Energy Conversion and Management*, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, *Waste Management*, *Applied Thermal Engineering*, *Bioresource Technology*, *Fuel*, *Renewable Energy*, *Resources, Conservation & Recycling*, *Cleaner Environmental Systems*, *Energy Conversion and Management X*, *International Journal of Heat and Mass Transfer*.

Powyższy wykaz prowadzonych zajęć dydaktycznych w macierzystej jednostce, a także udział w popularyzacji nauki potwierdzają zaangażowanie Habilitanta w działalność dydaktyczną oraz jego przygotowanie do samodzielnego prowadzenia zajęć dydaktycznych.

VI. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę pozytywną ocenę osiągnięcia naukowego przedstawionego w formie cyklu jedenastu publikacji oraz całego dorobku naukowego wyrażam pogląd, że wyniki prac badawczych **dr. inż. Szymona Sobka** stanowią zasadniczy wkład w rozwój dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

Znaczący dorobek naukowo-badawczy, a także działalność w zakresie dydaktyki i popularyzacji nauki wskazują na to, że **dr inż. Szymon Sobek** spełnia wszelkie warunki do uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego, w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, określone w art. 221 Ustawy *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. z 2024, poz. 1571, z późn. zm.).

Wnioskuje zatem o przyznanie doktorowi inżynierowi Szymonowi Sobkowi stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Kraków, dnia 22.09.2026r.

