

---

Prof. dr hab. inż. Elżbieta Piesowicz  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny  
w Szczecinie

Szczecin 23.04.2026 r.

## **RECENZJA**

### **rozprawy doktorskiej mgr inż. Many Nabavian Kalat pt. „Thermomechanical Properties of Additively Manufactured Shape Memory Epoxy for Advanced Shape-Morphing Applications”**

(„Właściwości termomechaniczne drukowanego przyrostowo polimeru z pamięcią kształtu o matrycy epoksydowej do zastosowań w zakresie zaawansowanego morfingu kształtu”)

wykonana na podstawie postanowienia Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów  
Techniki PAN z dnia 05.02.2026 roku

Niniejsza recenzja ma na celu ocenę wartości merytorycznej przedstawionej rozprawy, trafności postawionych tez badawczych, adekwatności zastosowanych metod badawczych oraz przydatności uzyskanych wyników zarówno w kontekście teoretycznym, jak i praktycznym. Wykonana została w oparciu o wiedzę i doświadczenie jakie posiadam i nie istnieją żadne przeszkody natury technicznej i prawnej uniemożliwiające wykonanie tej recenzji.

#### **Aktualność tematyki rozprawy**

W ostatnich latach dynamiczny rozwój technologii wytwarzania przyrostowego (ang. additive manufacturing) umożliwił projektowanie i wytwarzanie materiałów funkcjonalnych o złożonych właściwościach, w tym polimerów z pamięcią kształtu (SMP – shape memory polymers). Materiały te charakteryzują się zdolnością do odwracalnej zmiany geometrii pod wpływem bodźców zewnętrznych, takich jak temperatura, co czyni je szczególnie atrakcyjnymi w kontekście zaawansowanych systemów morfingu kształtu.

Szczególną uwagę zwracają polimery o matrycy epoksydowej, które dzięki swojej wysokiej wytrzymałości mechanicznej, stabilności termicznej oraz możliwości precyzyjnego konstruowania właściwości sieci polimerowej, stanowią obiecującą bazę dla materiałów SMP. W połączeniu z technikami druku 3D możliwe jest uzyskanie struktur o kontrolowanej anizotropii oraz złożonej architekturze wewnętrznej, co bezpośrednio wpływa na ich odpowiedź termomechaniczną.

Analiza właściwości termomechanicznych, takich jak temperatura przejścia szklistego, moduł sprężystości czy zdolność odzyskiwania kształtu, jest kluczowa dla oceny przydatności tych

---

materiałów w aplikacjach wymagających precyzyjnej i powtarzalnej deformacji. Zrozumienie zależności między parametrami procesu wytwarzania, strukturą materiału a jego właściwościami użytkowymi stanowi podstawę do optymalizacji ich działania w zaawansowanych systemach inżynierskich, takich jak adaptacyjne struktury lotnicze, biomimetyczne mechanizmy czy inteligentne komponenty robotyczne.

Doktorantka w swojej pracy słusznie zwróciła uwagę na fakt, że w literaturze dostępne są prace opisujące poruszany temat, który jest aktualny i intensywnie rozwijany, z czym również się zgadzam, ale istniejąca luka badawcza w konkretnym obszarze materiałowym świadczy o słuszności podjętej tematyki badań.

### **Charakterystyka ogólna pracy**

Recenzowana rozprawa doktorska wykonana została pod kierunkiem promotora Pana profesora dr hab. inż. Zbigniewa Kowalewskiego w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN oraz częściowo pod kierunkiem byłego promotora Pani prof. dr hab. inż. Elżbiety Pieczyskiej- co zostało wyraźnie wyartykułowane w poszczególnych częściach pracy, przy współdziałaniu promotora pomocniczego prof. Andresa Diaz Lantada.

Rozprawa doktorska mgr inż. Many Nabavian-Kalat pt. „Thermomechanical Properties of Additively Manufactured Shape Memory Epoxy for Advanced Shape-Morphing Applications” („Właściwości termomechaniczne drukowanego przyrostowo polimeru z pamięcią kształtu o matrycy epoksydowej do zastosowań w zakresie zaawansowanego morfingu kształtu”) opracowana została w tradycyjnej formie i oparta jest na autorskich wynikach badań. Liczy łącznie 195 stron uwzględniając w tym spis rysunków, tabel oraz spis literatury.

Rozprawa ma typowy, klasyczny układ, z wyraźnym podziałem na część literaturową i część badawczą i napisana została w j.angielskim. Rozdziały 1 i 2 to 38 stronicowe omówienie zagadnień obszaru problemowego rozprawy, dotyczącego głównie przeglądu polimerów z pamięcią kształtu (SMP) i charakterystyki ich zachowania w zmieniających się warunkach termicznych. Następnie omówione zostały techniki produkcji addytywnej, ze szczególnym uwzględnieniem tych, które nadają się do przetwarzania SMP. Jako jedno z ostatnich zagadnień w przeglądzie literatury Autorka omówiła proces addytywnej produkcji elementów prototypowych w przemyśle bazujący na procesie fotopolimeryzacji (SLA). Rozdział kończy się identyfikacją kluczowych wyzwań i luk badawczych w obecnym stanie techniki.

---

Cel i zakres badań omówione zostały pod koniec rozdziału 1.

Część eksperymentalną (metody badawcze) opisano w rozdziale 3. Badania i ich wyniki omówione są w rozdziałach 4-6.

Podsumowanie dysertacji zamieszczono w rozdziale 7.

Doktorantka poprzez dogłębne studia literaturowe (164 pozycje literaturowe), wykazała, że zagadnienie związane z tematyką badań polimerowych materiałów z pamięcią kształtu i ich technik drukowania jest dość powszechnie opisywane, ale nie do końca uwzględnia problem badawczy, który postawiła Ona w swojej pracy.

Autorka w poprawny i przekonujący sposób sformułowała wnioski dotyczące wykonanych prac, chociaż trochę zabrakło ich potwierdzenia doniesieniami literaturowymi. Może to być jednak dowód na to, że tematyka, jakiej się podjęła nie była dotychczas opisywana. Pani mgr inż. Mana Nabavian-Kalat wykazała się doświadczeniem i poprawnością w ocenie swoich badań, między innymi dzięki prawidłowemu doborowi technik badawczych.

Rozprawa jest poprawnie i bardzo starannie napisana. Autorka używa naukowego języka, pojawiające się nieliczne potknięcia edycyjne lub stylistyczne nie zakłócają odbioru treści pracy. Opracowane rysunki i wykresy są bardzo szczegółowo opisane i czytelne w odbiorze.

Tytuł rozprawy w mojej ocenie, nakreślony jest prawidłowo ponieważ jednoznacznie wskazuje na problem naukowy oraz jego kontekst badawczy, zgodny z przyjętymi zasadami w obszarze badań nauk inżynierjno-technicznych.

### **Ocena merytoryczna pracy**

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska autorstwa mgr inż. Many Nabavian-Kalat dotyczy badań eksperymentalnych polimerów z pamięcią kształtu o osnowie epoksydowej (SMEp), wytwarzanych z wykorzystaniem technologii przyrostowych. Zakres pracy obejmuje analizę właściwości materiałowych badanych polimerów, jak i ocenę wpływu parametrów procesu wytwarzania – w szczególności orientacji druku – na ich właściwości mechaniczne oraz funkcjonalne. Istotnym elementem rozprawy jest również opracowanie koncepcji inteligentnych struktur zdolnych do kontrolowanej zmiany kształtu pod wpływem bodźców zewnętrznych, co wpisuje się w rozwijający się obszar materiałów i struktur czterowymiarowych (4D).

Podjęta tematyka ma charakter wysoce aktualny i interdyscyplinarny. Polimery z pamięcią kształtu (Shape Memory Polymers, SMP) stanowią jedną z najbardziej perspektywicznych grup materiałów inteligentnych, które dzięki zdolności do zapamiętywania i odzyskiwania

---

pierwotnej geometrii znajdują coraz szersze zastosowanie w inżynierii, medycynie czy robotyce. Ich integracja z technologiami druku 3D prowadzi do powstania struktur czterowymiarowych (4D), które – poza określoną geometrią – posiadają także zaprogramowaną funkcję zmiany kształtu w czasie, w odpowiedzi na bodźce środowiskowe, takie jak np. temperatura.

W rozdziale 2 części literaturowej pracy, szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu charakterystyki termomechanicznej materiałów przed ich zastosowaniem praktycznym. Jak wynika z tej części pracy, jest to zagadnienie kluczowe, często pomijane w analizach aplikacyjnych, a jednocześnie determinujące niezawodność i efektywność projektowanych rozwiązań. Autorka trafnie identyfikuje tę lukę badawczą i podejmuje próbę jej systematycznego uzupełnienia.

Oceniając tę część dysertacji należy podkreślić spójne podejście do zagadnienia badawczego, począwszy od ogólnego przeglądu literatury i prawidłowego sformułowania celu i zakresu pracy, zaprojektowania stanowisk, przeprowadzenia eksperymentów, a skończywszy na wnikliwej analizie otrzymanych wyników, aż do efektu finalnego w postaci monolitycznych prototypów połączeń o zmiennej formie, drukowanych metodą SLA 4D.

Część doświadczalna niniejszej rozprawy doktorskiej zawiera szereg rozbudowanych prac eksperymentalnych. Program badań został zaplanowany w sposób logiczny i etapowy. W początkowej fazie pracy Doktorantka do prac wytypowała termoplastyczny poliuretan z pamięcią kształtu (PU-SMP MM4520), co pozwoliło na opracowanie i dobranie odpowiedniej metodyki badawczej oraz przygotowanie aparatu pamięciowego i eksperymentalnego dla dalszych analiz. W ramach tych badań dokonano oceny właściwości termicznych, mechanicznych oraz mikrostrukturalnych materiału, a także jego zachowania pod wpływem obciążeń rozciągających i cyklicznych zmian temperatury. Szczególny nacisk położono na analizę trwałości efektu pamięci kształtu oraz efektywności jego odzyskiwania. Przeprowadzone przez Doktorantkę badania termomechaniczne PU-SMP potwierdziły znaczenie wpływu historii termicznej i reorganizację segmentów twardych i miękkich podczas przemian termicznych przy zastosowaniu cyklu skokowego grzania i chłodzenia polimeru wykazano zmianę temperatury  $T_g$  z  $\sim 29$  °C do  $\sim 45$  °C. Charakterystyka mechaniczna przeprowadzona w warunkach temperatury pokojowej wykazała wysoką wartość wydłużenia przy zerwaniu w temperaturze znacznie poniżej temperatury zeszklenia ( $T_g$ ). Potwierdziło to tym samym możliwość programowanie właściwości materiału w warunkach otoczenia bez ogrzewania. Autorka nie poprzestając na tym wniosku

---

przeprowadziła badania wpływu obróbki cieplnej na zachowanie mikrostruktury PU-SMP, dowodząc, że próbki podgrzane przed odkształceniem wykazały zwiększoną sztywność, wyższy moduł i odmienne zachowanie plastyczne, podczas gdy próbki niepodgrzewane wykazały krzywe naprężenia i odkształcenia z niezbyt wyraźną granicą plastyczności, potwierdzając ten wynik badaniami SEM, które ujawniły rozległe pęknięcia w podgrzanych próbkach, w przeciwieństwie do drobnych uszkodzeń w próbkach programowanych na zimno. Najjednym z ważniejszych wniosków tej analizy było zaobserwowane zjawisko samoistnej naprawy pęknięć. Oznacza to, że temperatura pracy ma duży wpływ na odzyskiwanie kształtu i tryb odkształcenia. W przypadku analizowanej serii próbek PU-SMP zdolność utrwalania kształtu przekroczyła 98%, natomiast odzyskiwanie kształtu sięgnęło 84%.

Autorka pomimo ograniczonej możliwości drukowania metodą FDM PU-SMP (ze względu na jakość filamentu i niestabilność termiczną materiału), wytworzyła i przetestowała dwa prototypy konstrukcji, wykazujące dobre odzyskiwanie kształtu i samonaprawę pęknięć po procesie działania sił rozciągających.

Wyniki potwierdzają praktyczny potencjał PU-SMP w inteligentnych, programowalnych na zimno systemach zastosowań i zapewniają metodologię do oceny zachowania pamięci kształtu w tworzywach termoplastycznych systemów.

Ograniczenia technologii FDM, związane m.in. z trudnościami przetwarzania materiałów w wysokich temperaturach oraz niewystarczającą dostępnością danych eksperymentalnych, skłoniły Autorkę do rozszerzenia badań o technologię stereolitografii (SLA), czemu poświęciła dalsze części pracy. Zastosowała Ona termoutwardzalne polimery epoksydowe (żywicę SOMOS Water Shed R X 11122) z pamięcią kształtu (SMEp), które stanowiły zasadniczy materiał badawczy rozprawy. Podejście to należy uznać za w pełni uzasadnione, zarówno z punktu widzenia metodologicznego, jak i aplikacyjnego.

Na szczególne podkreślenie zasługuje fakt opracowania przez Doktorantkę autorskiej metodyki badań oraz skutecznej realizacji eksperymentów w warunkach obciążeń termomechanicznych. Badania tego typu należą do szczególnie trudnych i wymagających dużego doświadczenia, zarówno pod względem technicznym, jak i interpretacyjnym. Wymagają one precyzyjnego sterowania aparaturą badawczą, odpowiedniego przygotowania próbek oraz zaawansowanej analizy wyników, w tym uwzględnienia efektów nieliniowości materiałowych czy anizotropii strukturalnej. Aczkolwiek w bardzo szerokim i dokładnym opisie wyników badań trochę skromne było odniesienie do prac innych naukowców.

---

W końcowej części pracy (rozdział 6) uzyskane wyniki zostały wykorzystane do projektowania oraz wytwarzania monolitycznych struktur 4D z wbudowanymi elementami podatnymi na oddziaływanie czynników zewnętrznych, takimi jak połączenia kinematyczne czy sprężyste przeguby. Struktury te zostały zaprojektowane w środowisku CAD i wytworzone w jednym etapie procesu drukowania, co stanowi istotny walor technologiczny i zapewne ekonomiczny. Opracowano również strategie aktywacji umożliwiające lokalne odkształcenia konstrukcji pod wpływem temperatury. Przeprowadzone badania eksperymentalne, podobnie jak w przypadku PU-SME, wykazały bardzo wysoką skuteczność odzyskiwania pierwotnego kształtu, sięgającą poziomu około 95%, co potwierdza wysoką jakość zaproponowanych rozwiązań.

Uzyskane wyniki wskazują jednoznacznie, że orientacja druku w technologii SLA odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu właściwości mechanicznych oraz funkcjonalnych materiałów SMEp. Jak podkreśliła Doktorantka, materiały te, dzięki lepszej rozdzielczości warstw oraz poprawionemu wiązaniu międzywarstwowemu, wykazują korzystniejsze właściwości w porównaniu z materiałami przetwarzanymi metodą FDM. Czyni je to szczególnie atrakcyjnymi dla zastosowań wymagających wysokiej precyzji i niezawodności, takich jak robotyka miękka, systemy adaptacyjne czy mikromechanika a nawet biomechanika.

Na uwagę zasługuje również bogaty materiał badawczy zgromadzony w pracy, obejmujący zarówno wyniki testów termomechanicznych, jak i analizy mikrostrukturalne. Materiał ten został następnie efektywnie wykorzystany do projektowania funkcjonalnych prototypów struktur 4D, co świadczy o wysokim poziomie integracji badań podstawowych i aplikacyjnych.

W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr inż. Many Nabavian Kalat reprezentuje wysoki poziom naukowy i stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, w szczególności w obszarze badań nad właściwościami polimerów z pamięcią kształtu poddawanych obciążeniom termomechanicznym. Podjęta problematyka ma charakter aktualny i interdyscyplinarny. Polimery z pamięcią kształtu stanowią jedną z najbardziej perspektywicznych grup materiałów inteligentnych, które dzięki zdolności do zapamiętywania i odzyskiwania pierwotnej geometrii łańcuchów znajdują szerokie zastosowanie w różnych dziedzinach techniki. Integracja tych materiałów z technologiami druku 3D umożliwi tworzenie struktur 4D, charakteryzujących się zdolnością do zmiany kształtu w czasie pod wpływem bodźców środowiskowych, takich jak temperatura. Autorka wykazała się nie tylko szeroką wiedzą teoretyczną, ale także umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań eksperymentalnych oraz krytycznej analizy uzyskanych wyników,

---

przedstawiając w rozdziale 6.9 potencjał przyszłych badań, co świadczy o jej dojrzałości a zarazem skromności naukowej.

Podsumowując, mogę stwierdzić, że Pani mgr inż. Mana Nabavian Kalat osiągnęła w pełni cele postawione na początku swoich planów badawczych.

Najważniejsze konkluzje jakie przedstawione zostały w monografii to:

- przeprowadzenie szczegółowej analizy właściwości termomechanicznych wybranych polimerów termoplastycznych i termoutwardzalnych z pamięcią kształtu,
- opracowanie kompleksowej metodyki badań materiałów w układzie próbka–maszyna wytrzymałościowa,
- ocenę możliwości ich zastosowania w technologiach druku 3D i 4D, ze szczególnym uwzględnieniem struktur adaptacyjnych.

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr inż. Many Nabavian Kalat stanowi oryginalne i wartościowe rozwiązanie istotnego problemu naukowego w dyscyplinie inżynieria materiałowa. Podjęta tematyka badań, obejmująca właściwości termomechaniczne polimerów z pamięcią kształtu oraz ich zastosowanie w technologiach przyrostowych, wpisuje się w aktualne kierunki rozwoju nauki i techniki, a uzyskane wyniki mają zarówno znaczenie poznawcze, jak i istotny potencjał aplikacyjny.

Rozprawa wyróżnia się wysokim poziomem merytorycznym, konsekwentnie zaplanowaną i zrealizowaną metodyką badawczą oraz dużym zakresem przeprowadzonych analiz eksperymentalnych. Autorka wykazała się bardzo dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy, umiejętnością krytycznej analizy literatury oraz zdolnością do formułowania trafnych wniosków naukowych. Na szczególne podkreślenie zasługuje opracowanie autorskiej metodyki badań materiałów w warunkach obciążeń termomechanicznych, jak również umiejętność jej skutecznego zastosowania w praktyce.

Istotnym osiągnięciem rozprawy jest zaprojektowanie oraz wytwarzenie funkcjonalnych struktur 4D z wykorzystaniem badanych materiałów. Opracowane rozwiązania, obejmujące strategie aktywacji oraz konstrukcję inteligentnych układów z wbudowanymi połączeniami, stanowią znaczący wkład w rozwój nowoczesnych materiałów i technologii adaptacyjnych.

Uzyskane wyniki badań, w tym potwierdzenie kluczowej roli orientacji druku w technologii SLA dla właściwości mechanicznych i funkcjonalnych polimerów SMEp, mają istotne znaczenie dla dalszego rozwoju technologii przyrostowych. Wysoka skuteczność odzyskiwania pierwotnego kształtu oraz dobre właściwości mechaniczne badanych

---

materiałów wskazują na ich duży potencjał wdrożeniowy, szczególnie w obszarach takich jak robotyka miękka, mikromechanika czy systemy inteligentne.

Rozprawa została przygotowana w sposób staranny i przejrzysty, a jej struktura jest logiczna i spójna. Przedstawione wyniki są dobrze udokumentowane i poddane właściwej analizie, co świadczy o dojrzałości naukowej Autorki oraz jej zdolności do samodzielnego prowadzenia badań na wysokim poziomie.

Biorąc pod uwagę wysoki poziom naukowy rozprawy, jej oryginalność, znaczenie uzyskanych wyników oraz potencjał aplikacyjny, stwierdzam, że praca mgr inż. Many Nabavian Kalat spełnia z nadmiarem wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w obowiązujących przepisach prawa.

W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Many Nabavian Kalat do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Jednocześnie, mając na uwadze wysoki poziom naukowy pracy, jej innowacyjny charakter, znaczący dorobek publikacyjny i rozpoznawalność dzięki cytowaniom (90 cytowań, Indeks H 4) oraz znaczący wkład w rozwój dyscypliny inżynieria materiałowa, **wnioskuję o jej wyróżnienie.**

#### **Uwagi dodatkowe**

Przedstawiona do recenzji rozprawa w sposób przejrzysty prezentuje badania prowadzące od postawionego celu do jego zrealizowania. Dzięki zaprojektowaniu i przetestowaniu prototypów połączeń w kształcie litery S i skrętnych umożliwiających nowatorskiej metody łączenia ruchomych elementów konstrukcji praca Pani Many Nabavian Kalat wpisuje się w pełni w dyscyplinę inżynieria materiałowa, aczkolwiek jest to dziedzina bardzo interdyscyplinarna, łączącą wiedzę również po części z zakresu inżynierii mechanicznej- co przejawiało się w opracowaniu prototypów.

Praca napisana jest poprawnym językiem. Można spotkać nieliczne niedociągnięcia edycyjne lub błędy stylistyczne ( w rozdziale 4.1 omyłkowo przedstawiono zakres badań DSC od 0 do 74,31 zamiast do 110)

Doktorantka udowodniła umiejętność analizy stanu wiedzy jak również zdolność interpretacji wyników badań, co świadczy o jej postawie naukowej oraz umiejętności współpracy z innymi badaczami a w szczególności zapewne z Promotorem.

Podczas lektury powierzonej mi do recenzji pracy nasunęły mi się również pytania:

- 
1. Czy zamiana osnowy z poliuretanu na żywicę podyktowana była tylko dostępnością materiału czy też bardziej problemami technicznymi podczas drukowania?
  2. Jakiego użyto rozpuszczalnika do oczyszczania próbek podczas obróbki końcowej?
  3. W pracy Doktorantka pokazuje badanie zachowania próbek pod wpływem wody przez 50 godzin. Czy po tym czasie nic się nie działo z próbkami czy nie było to badane, bo zazwyczaj konstrukcje na jakie byłyby przeznaczone ruchome połączenia pracować powinny dłużej niż badany czas?
  4. W rozdziale 5.5 opisane zostały badania TGA dla próbek SMEp1 jako reprezentatywnych dla wykorzystywanego materiału do druku w obu orientacjach. Autorka napisała, że orientacja drukowanej żywicy nie zmienia podstawowego składu chemicznego samej żywicy (z czym się zgodzę), ale czy napewno można oczekiwać, że zachowanie obu próbek podczas degradacji termicznej będzie takie same? W części 5.6 pracy Doktorantka napisała natomiast, że sposób w jaki warstwy podczas drukowania są osadzone i połączone może prowadzić do różnic we właściwościach termicznych, wskazując na podstawie wyników badań SMEp1 z nadrukiem bocznym nieznacznie lepszą stabilność termiczną, co zgadzałoby się z wynikami badań FTIR, gdzie wykazano również wyższy stopień usieciowania próbki. Czy zatem napewno nie ma wpływu sposób drukowania na stabilność termiczną?
  5. Czy efekt samonaprawiania dla próbek PU-SME był badany po jednokrotnym cyklu czy serii badań odkształceniowych?

### **Wniosek końcowy**

Praca Pani mgr inż. Many Navbavian-Kalat mieści się w dyscyplinie inżynieria materiałowa, szczególnie podkreślone zostało to w zakresie badanie struktury, analizy właściwości (mechanicznych, fizycznych, chemicznych) oraz techniki przetwarzania termoplastycznych poliuretanów i termoutwardzalnych żywic. Postawiony przez Doktorantkę cel pracy został osiągnięty.

Rozprawa doktorska pani Many Nabavian-Kalat stanowi również interesujące rozwinięcie badań dotyczących wytwarzania urządzeń w jednolitym procesie bez konieczności montażu lub integracjisilowników zewnętrznych. Doktorantka wykazał się umiejętnością prowadzenia pracy badawczej oraz konstruktorskiej na bardzo wysokim poziomie. Wobec powyższego stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Many

---

Nabavianian-Kalat spełnia wymogi określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r.,  
Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z późniejszymi zmianami i wnoszę o jej przyjęcie i  
dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

  
**Prof. dr hab. inż. Elżbieta Piesowicz**