

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko **Dariusz Mariusz Perkowski**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania.

magistra inżyniera: specjalność Mechanika i Informatyka Stosowana, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, czerwiec 2005 r.

doktora: Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka – dyscyplina naukowa: mechanika; specjalność: mechanika ciała stałego, czerwiec 2009 r. Temat pracy *Zagadnienia brzegowe termosprężystych periodycznych kompozytów warstwowych o brzegach prostopadłych do uwarstwienia*, promotor prof. zw. dr hab. Stanisław Jan Matysiak (Politechnika Białostocka).

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

- 2004 – 2005 – staż asystencki w Katedrze Informatyki Stosowanej Politechniki Białostockiej,
- 01.10.2005 – 30.09.2006 – asystent na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej,
- 29.09.2006 – 30.06.2010 – doktorant na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej,
- Od 01.10.2009 - adiunkt na Wydziale Mechanicznym Politechniki Białostockiej

4. Wskazanie osiągnięcia* wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późn. zm.):

a) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa),

Moje osiągnięcie zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r. (art. 16 ust. 2) stanowi cykl prac naukowych pt.

WYBRANE ZAGADNIENIA BRZEGOWE OŚRODKÓW O ZMIENNYCH WŁAŚCIWOŚCIACH TERMOMECHANICZNYCH

opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora samodzielnie lub we współautorstwie w cyklu jednotematycznych artykułów naukowych:

1. Dariusz M. Perkowski, (2014), On axisymmetric heat conduction problem for FGM layer on homogeneous substrate, *Int. Comm. Heat Mass Transf.*, Vol. 57, pp. 157-162
2. Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2014), O termicznych zagadnieniach kompozytowej półprzestrzeni z niejednorodnym pokryciem, *Modelowanie struktur i konstrukcji inżynierskich: Monografia jubileuszowa z okazji 45-lecia pracy profesora Wiesława Nagórko*, rozdział w monografii, s. 177-188.
3. Stanisław J. Matysiak, Roman Kulchytsky-Zhyahailo, Dariusz M. Perkowski, (2011), Reissner-Sagoci problem for a homogeneous coating on a functionally graded, *Mechanics Research Communications*, Vol.38, 320-325
4. Sebastian Kowalczyk, Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2016), On some problems of SH wave propagation in inhomogeneous elastic bodies, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, (in course of publication)
5. Stanisław J. Matysiak, Radosław Mieszkowski, Dariusz M. Perkowski, (2014), SH Waves in a Layer with Temperature Dependent Properties, *Acta Geophysica*, 10.2478/s11600-013-0196-z
6. Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2013), Green's function for an elastic layer with temperature dependent properties, *Materials Science*, Vol. 48, nr 5, 607-613
7. Roman Kulchytsky-Zhyahailo, Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2013), On axisymmetrical problem of layer with temperature dependent properties, *Mechanics Research Communications*, Vol. 50, 71-76

- b) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Główne cele badań podjętych w powyższym cyklu prac jednotematycznych to opracowanie analitycznych metod rozwiązywania zagadnień dotyczących ośrodków, których:

- a) właściwości termomechaniczne zmieniają się wraz z odległością od powierzchni czyli tzw. ośrodki o funkcjonalnej gradacji właściwości;
- b) właściwości termomechaniczne są zależne od temperatury.

Zmiany właściwości materiału mogą pochodzić od wielu czynników, między innymi od samej struktury materiału (np. nowoczesne kompozyty funkcjonalne są nimi materiały o funkcjonalnej gradacji właściwości). Ponadto zmiana właściwości materiału może zachodzić w trakcie eksploatacji elementów maszyn lub konstrukcji, na przykład pod wpływem oddziaływania pola temperatury. Powodować może ono zmianę tych właściwości zarówno spadek jak i wzrost odpowiednich stałych materiałowych.

Nowoczesne materiały kompozytowe o funkcjonalnej gradacji właściwości (FGM), mają złożoną strukturę wewnętrzną, z uwagi na fakt, że składają się one z kilku różnych faz. Ich mechaniczne i termiczne właściwości zależą zarówno od właściwości wchodzących w skład takich materiałów, jak również od ich rozmieszczenia przestrzennego. Istnieją dwa typowe rodzaje materiałów FGM: z ciągłą lub skokową (dyskretną) zmianą właściwości materiału. Przykładem pierwszego typu FGM jest tak zwana strefa gradientowa stworzona w trakcie procesu technologicznego pomiędzy pokryciem a podłożem.

W przypadku takich ośrodków mamy do czynienia z ciągłą zmianą właściwości mechanicznych materiału wraz z głębokością. W literaturze znane jest podejście do takich ośrodków, a mianowicie materiał rdzimy (rdzeń) traktuje się jako podłoże jednorodne, zaś strefę przejściową od powierzchni opisuje się materiałem niejednorodnym o funkcjonalnej gradacji właściwości.

Postęp w technologii powłokowej spowodowały szerokie wykorzystywanie twardych pokryć dla poprawienia właściwości trybologicznych powierzchni ślizgowych. Wiele uwagi poświęca się pokryciom gradientowym, czyli pokryciom, których właściwości termomechaniczne zmieniają się wzdłuż jego grubości.

Wybrane funkcje stanu opisujące pokrycie, takie jak przemieszczenie powierzchni ciała mogą być zmierzone eksperymentalnie. Natomiast, co należy podkreślić, wyznaczenie naprężeń wymaga wykorzystania odpowiednich modeli matematycznych oraz rozwiązania powstałych zagadnień brzegowych mechaniki ciała stałego, w szczególności teorii przewodnictwa ciepła, teorii sprężystości i termosprężystości. Podstawowymi czynnikami odpowiedzialnymi za zniszczenie pokrycia są: maksymalne naprężenie rozciągające, zredukowane naprężenie Hubera

- Misesa (lub maksymalne naprężenie styczne) oraz naprężenie ścinające na granicy rozdziału pomiędzy pokryciem a podłożem. Zatem istotnym problemem jest określenie rozkładów temperatury, przemieszczeń i naprężeń oraz ich wykorzystanie w prognozowaniu wytrzymałości takich ośrodków.

Ośrodki o ciągłej zmianie właściwości termomechanicznych są opisywane równaniami różniczkowymi w pochodnych cząstkowych o zmiennych współczynnikach, których analityczne rozwiązanie jest możliwe w szczególnych przypadkach. Przegląd badań zagadnień teorii sprężystości dotyczących obciążenia ośrodka gradientowego modelowanego półprzestrzenią gradientową znajdziemy w monografii Gladwella (1980). Znane są analityczne metody rozwiązywania takich równań w przypadku, gdy współczynnik Poissona jest stały, a zależność modułu Younga od odległości z do powierzchni ośrodka opisuje funkcja potęgowa ($E(z)=E^*(c+z)^\beta$, E^* , c i β – stałe materiałowe, Kassir i Chuaprasert, 1974) lub wykładnicza ($E(z)=\exp(\alpha z)$, Тер-Мкртчян, 1961).

Wykorzystując podejście analityczne, rozwiązano dwuwymiarowe i osiowosymetryczne zagadnienia kontaktowe teorii sprężystości dotyczące wciskania walca lub kuli w półprzestrzeń z pokryciem gradientowym, którego moduł Younga opisuje funkcja wykładnicza (prace: Guler i Erdogan, 2004, 2006, 2007; Liu i Wang, 2008; Kulchytsky-Zhyhailo i Rogowski, 2009). Liniową zależność modułu Younga od współrzędnej z rozpatrzono w pracy Fischera-Crippsa (2003). Zagadnienie badano za pomocą metody elementów skończonych.

Równoległe z analitycznymi metodami rozwiązywania zaproponowano podejście, w którym pokrycie gradientowe jest modelowane pakietem lamin (Ke i Wang, 2006, 2007 – zagadnienie dwuwymiarowe, Liu i inni, 2008 – zagadnienie osiowosymetryczne, Liu i Wang, 2009 – zagadnienie skręcania). Współczynnik Poissona każdej warstewki jest stały, a moduł Younga opisuje funkcja liniowa. Rozwiązanie w każdej warstewce konstruuje się analitycznie. Należy zaznaczyć, że proponowane podejście może być stosowane dla dowolnej wartości współczynnika Poissona jedynie w przypadku zagadnień dwuwymiarowych i skręcania. W przestrzeni przekształcenia całkowego Fouriera (zagadnienie dwuwymiarowe) lub Hankela (zagadnienie skręcania) rozwiązanie jest zapisane za pomocą funkcji specjalnych: Whittakera (zagadnienie dwuwymiarowe) lub modyfikowanych funkcji Bessela (zagadnienie skręcania).

W wielu pracach autorzy zajmują się analizą naprężeń termicznych oraz naprężeń resztkowych. Określenie rozkładu temperatury i strumieni ciepła w ośrodkach o funkcjonalnej gradacji właściwości odgrywa ważną rolę w przypadku analizy naprężeń termicznych oraz naprężeń resztkowych wywołanych oddziaływaniem pola temperatury (Masoud i inni, 2009, Khosaravifard i inni, 2011).

Analityczne rozwiązanie jednowymiarowego zagadnienia przewodnictwa ciepła dla materiału FGM dla którego współczynnik przewodnictwa ciepła opisany jest funkcją liniową uzyskali Tanigawa i inni (1996). Rozwijane są również metody macierzowe do opisu kompozytów o funkcjonalnej gradacji właściwości. Voevodin i inni (2001) zastosowali tą metodę do analizy przewodnictwa ciepła dla rury składającej się z materiału FGM i laminatu. Do analizy zagadnień przewodnictwa ciepła dla ośrodków o funkcjonalnej gradacji właściwości stosowane są również metody numeryczne (Byrd i Birman, 2010 oraz Sutradhar i Paulino, 2002 i 2004).

W pracach Shodja i Ghahremaninejad (2006) oraz Choi i Paulino (2008) rozważane były problemy dotyczące analizy naprężeń termicznych w ramach płaskiego stanu odkształcenia. Ponadto w pracach rozważany był jedynie przypadek, gdy właściwości termomechaniczne są opisane funkcją wykładniczą. Brakuje rozwiązań dla przypadku gdy właściwości termomechaniczne opisane są zależnością potęgową.

Dyskretne zmiany właściwości uzyskuje się przez wykorzystanie wielowarstwowych kompozytów, co jest popularne w zastosowaniach technicznych. W przypadku pokryć o dyskretnej zmianie właściwości materiału w literaturze prowadzone są badania nad modelami pozwalającymi opisywać taki ośrodek uśrednionymi równaniami. Problemy opisu tych struktur pod wpływem różnego rodzaju oddziaływań mechanicznych i termicznych są bardzo ważne. W ramach klasycznego opisu staje się mało przydatne. Istnieje więc potrzeba tworzenia nowych modeli uśrednionych pozwalający spełnić warunki ciągłości na powierzchniach łączących składniki kompozytu. Modele te powstają poprzez zastosowanie różnych procedur uśredniających. Wymienimy tu niektóre z nich: podejście oparte na teorii płyt grubych, Achenbach J. D. (1975), oparte na teorii mieszanin, Bedford i Stern (1971), homogenizacja asymptotyczna, Bensoussan i inni (1978), Bakhlov i Panasenko (1984), Jikov i inni (1994), pewnych fizycznych założeniach, Guz i inni (1982), metodach macierzowych Bufler H. (1971, 2000), Bufler i Krennerkcht (1999), teorii

tolerancji Woźniak i Wierzbicki (2000), modelu homogenizowanego z parametrami mikrolokalnymi Woźniak (1986, 1987), Matysiak i Woźniak (1987, 1988).

Rozważane były również materiały, których właściwości mechaniczne zależą od temperatury. Uwzględniony został wpływ czynników termicznych na właściwości mechaniczne materiału. Teoria termosprężystości z uwzględnieniem wymienionej wyżej cechy materiału jest bardziej odpowiednia do opisu takich ośrodków. Jednym z pierwszych badaczy, który rozwinął teoretyczne podstawy ciał sprężystych z uwzględnieniem wpływu temperatury na właściwości mechaniczne był J. L. Nowiński (1959, 1960 oraz 1962). W monografii Nowińskiego (1978) zawarto szeroki przegląd literatury związany z tą problematyką. Badania doświadczalne pozwalające określić właściwości termomechaniczne ciał stałych w funkcji temperatury przedstawiono w monografii Schreibera i innych, 1973 (głównie metali) oraz w pracach: Lee i Saravanos (1998), Tao (1989), Czaplewski i inni (2005), Speriatu (2005), Emery i Fadale (1997), Tillman i inni (2008). Niektóre badania teoretyczne dotyczące mechaniki ciała stałego z uwzględnieniem właściwości zależnych od temperatury podane są w pracach Matysiak 1988, Ezzat i inni 1986, Hata 1979, 1981. Szeroki przegląd literatury dotyczącej niestacjonarnych jednowymiarowych problemów przewodnictwa ciepła dla ośrodków termoczułych można znaleźć w monografii Jewtuszenko (2014). Kolejną z prac poświęconą analizie problemów termosprężystości dla walca oraz rury wykonanej ośrodka o właściwościach zależnych od temperatury na przykładzie stali jest artykuł Argeso i Erslan (2008). Autorzy wykazali, że zmiana modułu Younga, rozszerzalności cieplnej i współczynnika przewodnictwa ciepła stali w zakresie temperatur od 0 do 400 °C powinny być brane pod uwagę przy rozwiązywaniu zagadnień termosprężystych. Jednocześnie zaznaczono, że zależność współczynnika Poissona od temperatury może być pominięta.

Na podstawie prezentowanego przeglądu literatury wskazującego na istotność badań podjętych w prezentowanym cyklu prac związanych z modelowaniem ośrodków niejednorodnych, możemy wnioskować:

- Większość rozwiązań analitycznych dotyczących ośrodków FGM uzyskano w przypadku zagadnień dwuwymiarowych. Zagadnienia przestrzenne, w tym zagadnienia osiowoosymetryczne były rozpatrywane dużo rzadziej.

- W małym stopniu są analizowane zagadnienia poruszania się fal w ośrodkach niejednorodnych.
- Zagadnienia dotyczące ośrodków z właściwościami termomechanicznymi zależnymi od temperatury są głównie zagadnieniami jednowymiarowymi.

Dlatego też do najważniejszych oryginalnych elementów pracy habilitacyjnej należą:

- **Dariusz M. Perkowski, (2014), On axisymmetric heat conduction problem for FGM layer on homogeneous substrate, Int. Comm. Heat Mass Transf., Vol. 57, pp. 157-162 (Impact factor: 2,124):** uzyskanie analitycznego rozwiązania osiowosymetrycznego zagadnienia przewodnictwa ciepła dla niejednorodnej warstwy o funkcjonalnie zmiennych właściwościach termicznych na jednorodnym podłożu. Przyjęto, iż właściwości termiczne (a więc, współczynnik przewodzenia ciepła) zależy od odległości do powierzchni rozważanej półprzestrzeni niejednorodnej i jest opisany funkcją potęgową. Analizowano stacjonarny problem nagrzewania niejednorodnej półprzestrzeni rozpatrując dwa rodzaje warunków brzegowych na jej powierzchni. Przyjęto, że: 1^o) jest zadana temperatura; 2^o) zadany strumień ciepła. Na pograniczu ośrodków założono idealne warunki termiczne. Ograniczono się do założenia, iż współczynnik przewodzenia ciepła maleje wraz z głębokością i na połączeniu ośrodków współczynniki przewodnictwa ciepła obu ośrodków są sobie równe. Rozpatrywane zagadnienia brzegowe są rozwiązywane za pomocą przekształcenia całkowitego Hankela. Na podstawie analizy zależności analitycznych ustalono, iż istotnym czynnikiem wpływającym na rozkłady pola temperatury oraz składowych strumieni ciepła jest stosunek wartości współczynnika przewodnictwa ciepła na górnej i na dolnej powierzchni warstwy FGM, a więc jego gradient określany za pomocą parametr β . Analizując wyniki w przypadku, gdy zadany na brzegu jest rozkład temperatury widzimy, iż wraz ze wzrostem parametru β temperatura na granicy ośrodków rośnie. Prowadzić to może do spiętrzenia naprężeń termicznych na połączeniu tych ośrodków, co jest efektem niepożądanym, który może w efekcie powodować powstawanie pęknięć. Odwrotne wnioski można sformułować w przypadku znanego rozkładu strumienia ciepła. Temperatura na powierzchni łączącej ośrodki maleje wraz ze wzrostem parametru β . Otrzymane wyniki są istotne z punktu widzenia procesu projektowania takich pokryć powłokowych oraz prognozowania rozkładów naprężeń termicznych wywołanych lokalnym nagrzewaniem. Ponadto,

prezentowane rozwiązanie ma charakter ogólnego rozwiązania analitycznego a więc może stanowić zagadnienie testowe do bezpośrednich metod numerycznych.

- **Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2014), O termicznych zagadnieniach kompozytowej półprzestrzeni z niejednorodnym pokryciem, Modelowanie struktur i konstrukcji inżynierskich: Monografia jubileuszowa z okazji 45-lecia pracy profesora Wiesława Nagórko, rozdział w monografii, s. 177-188:** niniejsza praca jest kontynuacją przedstawionej powyżej pracy i przeanalizowano tu wpływ podłoża na rozkłady temperatur i składowych strumienia ciepła. Rozpatrzono tu zagadnienie stacjonarnego przewodnictwa ciepła dla warstwy o funkcjonalnej gradacji właściwości na podłożu będącym dwuskładnikowym mikroperiodycznym kompozytem warstwowym. Zakładamy, że znamy rozkład temperatury lub strumienia ciepła na powierzchni półprzestrzeni jako funkcje promienia. W przypadku ośrodka kompozytowego naturalnym jest zastosowanie pewnych metod uśredniających. Jedną z nich jest model homogenizowany z parametrami mikrolokalnymi zaproponowany przez Woźniaka (1987) i Matysiaka i Woźniaka (1987). Model ten pozwala prognozować rozkłady pól temperatury i strumieni ciepła z dużą dokładnością (Kulchytsky-Zhyhailo i Matysiak (2005)), a ponadto w ramach tego modelu spełnione są warunki idealnego kontaktu termicznego na powierzchniach łączących różne składniki kompozytu. Prezentowane w pracy wyniki pokazują wzajemną interakcję pomiędzy podłożem kompozytowym i warstwą FGM. Zaobserwować można, że w obu przypadkach warunków brzegowych bardzo szybko maleje składowa radialna wraz z głębokością. Analogiczne jak w pracy Perkowski (2015) możemy wysnuć wnioski dla rozkładu pola temperatury i jego zachowania na powierzchni łączącej warstwę FGM i półprzestrzeń kompozytową. Podobnie jak w poprzedniej pracy Perkowski (2015), właściwości cieplne warstwy FGM reprezentowane są przez stosunek wartości współczynnika przewodnictwa ciepła na górnej i na dolnej powierzchni warstwy FGM (oznaczamy go jako parametr β). Analizując rezultaty dla przypadku zadanej na brzegu temperatury widzimy, iż wraz ze wzrostem parametru β temperatura na granicy ośrodków rośnie. Odwrotne wnioski można sformułować w przypadku znanego rozkładu strumienia ciepła, temperatura na powierzchni łączącej ośrodki maleje wraz ze wzrostem parametru β .
- **Stanisław J. Matysiak, Roman Kulchytsky-Zhyahailo, Dariusz M. Perkowski, (2011), Reissner-Sagoci problem for a homogeneous coating on a functionally graded materials, Mechanics Research Communications, Vol.38, 320-325**

(Impact factor: 1,050): W niniejszym artykule rozwiązano problem Reissnera-Sagoci dla półprzestrzeni o funkcjonalnej gradacji właściwości pokrytej jednorodną izotropową warstwą. Badano wpływ właściwości mechanicznych pokrycia i podłoża oraz parametrów geometrycznych na rozkład naprężeń. Stosując całkowite przekształcenie Hankela sformułowane zagadnienie sprowadzono do równania całkowitego Fredholma drugiego rodzaju, które rozwiązano numerycznie. Założono, że moduł Kirchhoffa rośnie wraz z odległością od powierzchni rozważanej półprzestrzeni i jest opisany funkcją potęgową. Analizowano wpływ niejednorodności na rozkład naprężeń ścinających. Zauważono, że w przypadku, gdy materiał FGM wykazuje duże zmiany modułu Kirchhoffa otrzymane rozwiązanie nieznacznie różni się od rozwiązania zagadnienia w którym jednorodna warstwa spoczywa na nieodkształcalnym podłożu. Analogiczny wniosek możemy sformułować, gdy grubość pokrycia maleje w stosunku do promienia strefy kontaktu pomiędzy rozważaną półprzestrzenią a obracającym się stemplem.

- **Sebastian Kowalczyk, Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2016), On some problems of SH wave propagation in inhomogeneous elastic bodies, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, (in course of publication)**
(Impact factor: 0.636): Kolejnym etapem była analiza zagadnienia dynamicznego teorii sprężystości, dotyczącego propagacji fali powierzchniowej SH w półprzestrzeni kompozytowej pokrytej warstwą o funkcjonalnej gradacji właściwości. Podłoże jest dwuskładnikowym kompozytem mikroperiodycznym o strukturze warstwowej, zaś pokrycie jest wykonane z materiału o funkcjonalnej gradacji właściwości. Uzyskane wyniki wskazują wpływ rozpatrywanych niejednorodności na prędkości fali. Jednym ze sposobów weryfikacji rozwiązania analitycznego jest przejście do rozwiązania znanego w literaturze jak zagadnienie propagacji fali Love'a (patrz W. Nowacki (1970)). Na podstawie analizy uzyskanych zależności analitycznych wnioskujemy, iż prędkość fali w zasadniczy sposób zależy od parametru kH , gdzie k jest liczbą falową a H grubością pokrycia. W przypadku małych wartości tego parametru prędkość fali istotnie zależy od parametrów opisujących właściwości mechaniczne pokrycia oraz właściwości mechaniczne i strukturę podłoża kompozytowego. Gdy parametr kH dąży do nieskończoności rozwiązanie nieznacznie różni się od rozwiązania jednorodnego z parametrami mechanicznymi właściwościami na powierzchni pokrycia.

- **Stanisław J. Matysiak, Radosław Mieszkowski, Dariusz M. Perkowski, (2014), SH Waves in a Layer with Temperature Dependent Properties, Acta Geophysica, 10.2478/s11600-013-0196-z, (Impact factor: 1.365):** w pracy badano wpływ zmiany właściwości materiału wywołane polem temperatury na prędkość fali powierzchniowej propagującej w ośrodku. Rozpatrzono zagadnienie propagacji fali harmonicznego w warstwie zamocowanej na sztywno na jednej z powierzchni. Założone warunki termiczne są takie, że rozkład temperatury na przekroju warstwy jest liniowy. Ponadto przyjęto, że moduł Kirchhoffa oraz gęstość materiału zależą liniowo od temperatury. Na podstawie analizy numerycznej podobnie jak w pracy poprzedniej (Kowalczyk, Matysiak, Perkowski, 2016) wyciągnięto wnioski, iż prędkość fali powierzchniowej w warstwie oraz efekty związane z wpływem termoczułości materiału w istotny sposób zależą od parametru kH . Ze zmniejszeniem tego parametru jego wpływ rośnie. Dla dużych wartości tego parametru rozwiązanie jedynie nieznacznie różni się od rozwiązania dla warstwy jednorodnej.
- **Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2013), Green's function for an elastic layer with temperature dependent properties, Materials Science, Vol. 48, nr 5, 607-613, (Impact factor: 0,214):** W niniejszej pracy rozpatrzono pierwsze podstawowe zagadnienie teorii sprężystości dla warstwy obciążonej jednostkowymi skupionymi naciskami stycznymi przyłożonymi wzdłuż linii równoległej do kierunku nacisków. Naciski modelowano za pomocą delty Diraca. Warstwa wykonana jest z materiału o właściwościach mechanicznych zależnych od temperatury. Rozkład temperatury na przekroju warstwy jest liniowy. Przyjęto, iż moduł Kirchhoffa jest funkcją liniową temperatury. Analityczne rozwiązanie zagadnienia uzyskano wykorzystując technikę przekształcenia całkowitego Fouriera. Otrzymane zależności mają istotne znaczenie teoretyczne ponieważ pozwalają konstruować rozwiązania innych problemów mechaniki ciała stałego np. zagadnień kontaktowych, szczelin.
- **Roman Kulchytsky-Zhyahailo, Stanisław J. Matysiak, Dariusz M. Perkowski, (2013), On axisymmetrical problem of layer with temperature dependent properties, Mechanics Research Communications, Vol. 50, 71-76 (Impact factor: 1,050):** Praca dotyczy osiowoosymetrycznego problemu termosprężystości dla warstwy o właściwościach mechanicznych zależnych od temperatury. Zależność modułu Kirchhoffa od temperatury opisano funkcją potęgową, zaś współczynnik Poissona jest stały. Warstwa znajduje się na sztywnym podłożu i jest do niego sztywno przymocowana. Pole temperatury w warstwie powstaje na skutek

podtrzymywania stałej różnicy temperatury na jej powierzchniach. Warstwę obciążono naciskami normalnymi w obszarze kołowym. Zbadano wpływ parametrów opisujących właściwości materiału na rozkład naprężeń. Na przykładzie analizowanego problemu możemy wnioskować, że składowa termiczna naprężenia odgrywa bardzo istotną rolę w prognozowaniu wytrzymałości elementów konstrukcyjnych pracujących w podwyższonych temperaturach.

Opracowane analityczne i analityczno-numeryczne rozwiązania omówionych zagadnień oraz przeprowadzona na ich podstawie analiza naprężeń wywołanych czynnikami mechanicznymi i termicznymi może być wykorzystana przy opracowaniu hipotez wytrzymałościowych oraz ich weryfikacji dla badanych ośrodków.

Wyniki otrzymanych badań mogą także służyć jako materiał testowy do rozwiązywania zagadnień brzegowych teorii sprężystości lub termosprężystości dotyczących omawianych ośrodków niejednorodnych, za pomocą bezpośrednich metod numerycznych (na przykład metody elementów skończonych lub metody elementów brzegowych), w tym zagadnień kontaktowych oraz zagadnień mechaniki pękania.

Opracowane metody pozwalają na istotne rozszerzenie klasy badanych zagadnień teorii sprężystości lub termosprężystości, w szczególności uwzględnienie gradacji właściwości materiału w warstwie wierzchniej lub pokryciu wielowarstwowym. Ponadto, stworzone algorytmy mogą być także wykorzystane do analizy pól naprężeń w ośrodkach o właściwościach termomechanicznych zależnych od temperatury.

Literatura

1. Achenbach J.D., (1975), A Theory of elasticity with microstructure for directionally reinforced composites, CISM Courses and Lectures, Springer, New York.
2. Argeso H., Eraslan A.N., (2008), On the Use of Temperature-dependent Physical Properties in Thermomechanical Calculations for Solid and Hollow Cylinders. International Journal of Thermal Sciences 47, 136-146.
3. Bakhlov N.S., Panasenko G.P., (1984), Averaged processes in periodic media, Nauka, Moscow, (in Russian).
4. Bedford A., Stern M., (1971), Toward a diffusing continuum theory of composite materials, J. Appl. Mech., 38, 8-14.
5. Bensoussan A., Lions J. L., Papanicolaou G., (1978), Asymptotic analysis for periodic structures, North Holland, Amsterdam.

6. Bufler H., (1971), Theory of elasticity of a multilayered medium, J. Elasticity 1, 125-143.
7. Bufler H., Krennerkcht H., (1999), Prestrained elastic laminates: deformations, stability and vibrations, Acta Mech, 48, 1-30.
8. Bufler H., (2000), Planar elastic laminates and their homogenization, Acta Mechanica 141, 21-36.
9. Byrd L, Birman V., (2010), An investigation of numerical modeling of transient heat conduction in a one-dimensional functionally graded material [J]. Heat Transfer Engineering, 31(3): 212-221.
10. Choi H. J., Paulino G. H., (2008), Thermoelastic contact mechanics for a flat punch sliding over a graded coating/substrate system with frictional heat generation, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol. 56, Issue: 4, Elsevier, 1673-1692.
11. Czaplewski D. A., Sullivan J. P., Friedmann T. A., Wendt J. R., (2005), Temperature dependence of the mechanical properties of tetrahedrally coordinated amorphous carbon thin films, Applied Physics letters, 87, doi. 10.1063/1.2108132.
12. Emery A. F., Fadale T. D., (1997), Handling temperature dependent properties and boundary conditions in stochastic finite element analysis, Numerical Heat Transfer, Part A., 31, 1, 37-51.
13. Ezzat M., Zakaria M., Abdel-Bary A., (1986), Generalized thermoelasticity with temperature dependent modulus of elasticity under three theories, J. Appl. Math. & Computing Vol. 14, No. 1 - 2, pp. 193 – 212.
14. Fischer-Cripps A. C., (2003), Analysis of instrumented indentation test data for functionally graded materials, Surface & Coatings Technology, 168, 136-141.
15. Guler M. A., Erdogan F., (2004), Contact mechanics of graded coatings, Int. J. Solids Struct., 41, 3865-3889.
16. Guler M. A., Erdogan F., (2006), Contact mechanics of two deformable elastic solids with graded coatings, Mechanics of Materials, 38, 633-647.

17. Guler M. A., Erdogan F., (2007), The frictional sliding contact problems of rigid parabolic and cylindrical stamps on graded coatings, *Int. J. Mech. Sci.*, 49, 161-182.
18. Guz AN et al, (1982), *Mechanics of composite materials and elements constructions*. Naukova Dumka, Kiev (in Moscow).
19. Hata T., (1979), Thermoelastic problem for a Griffith crack in a plate with temperature-dependent properties under a linear temperature distribution, *Journal of Thermal Stresses* 2, 3-4, 353- 366.
20. Hata T., (1981), Thermoelastic problem for a Griffith crack in a plate whose shear modulus is an exponential function of the temperature, *ZAMM*, 61, 2, 81-87.
21. Jewtuszenko A., (2014), *Analityczne i numeryczne modelowanie procesu nieustalonej generacji ciepła w elementach tarcowych układów hamulcowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej.
22. Jikov V., Kozlov S. M., Oleinik O. A., (1994), *Homogenization of differential operators and integral functionals*, Springer-Verlag, Berlin.
23. Kassir M. K., Chuaprasert M.F., (1974), A rigid punch in contact with a non-homogeneous elastic solid, *Trans. ASME, J. of Appl. Mech.*, 41, 1019-1024.
24. Ke L.L., Wang Y.S., (2006), Two-dimensional contact mechanics of functionally graded materials with arbitrary spatial variations of material properties, *Int. J. Solids Struct.*, Vol. 43, 5779-5798.
25. Ke L.L., Wang Y.S., (2007), Two-dimensional sliding frictional contact of functionally graded materials, *Eur. J. of Mech. A/Solids*, Vol. 26, 171-188.
26. Khosravifard A, Hematiyan M R, Marin L., (2011), Nonlinear transient heat conduction analysis of functionally graded materials in the presence of heat sources using an improved meshless radial point interpolation method [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 35(9): 4157-4174.
27. Kowalczyk Sebastian, Matysiak Stanisław J., Perkowski Dariusz M., (2016), On some problems of SH wave propagation in inhomogeneous elastic bodies, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. (in course of publication)

28. Kulchytsky-Zhyhailo Roman, Matysiak Stanisław J., Perkowski Dariusz M., (2013), On axisymmetrical problem of layer with temperature dependent properties, *Mechanics Research Communications*, Vol. 50, 71-76.
29. Kulchytsky-Zhyhailo R., Rogowski G., (2010), Stresses in hard coating due to a rigid spherical indenter on a layered elastic half-space, *Tribology International*, 43, 1592-1601.
30. Lee H. J., Saravanos D. A., (1998), The effect of temperature dependent material properties on the response of piezoelectric composite materials, *Journal of Intelligent Material. System and Structures*, 9, 503-508.
31. Liu T. J., Wang Y. S., (2008), Axisymmetric frictionless contact problem of a functionally graded coating with exponentially varying modulus, *Acta Mechanica*, 199, 151-165.
32. Liu T.J., Wang Y.S., Zhang C., (2008), Axisymmetric frictionless contact of functionally graded materials, *Archive of Appl. Mech.*, Vol. 78, 267-282.
33. Liu T. J., Wang Y. S., (2009), Reissner-Sagoci problem for functionally graded materials with arbitrary spatial variation of material properties, *Mechanics Research Communications*, 36., 322-329.
34. Masoud A, Mehdi A, Seyed M H., (2009), Dynamic analysis of two-dimensional functionally graded thick hollow cylinder with finite length under impact loading [J]. *Acta Mechanica*, 208(3/4): 163–180.
35. Matysiak S. J., (1988), Wave fronts in elastic media with temperature dependent properties, *Applied Scientific Research* 45, 97-106.
36. Matysiak Stanisław J., Perkowski Dariusz M., (2014), O termicznych zagadnieniach kompozytowej półprzestrzeni z niejednorodnym pokryciem, *Modelowanie struktur i konstrukcji inżynierskich: Monografia jubileuszowa z okazji 45-lecia pracy profesora Wiesława Nagórko*, rozdział w monografii, s. 177-188.
37. Matysiak Stanisław J., Kulchytsky-Zhyhailo Roman, Perkowski Dariusz M., (2011), Reissner-Sagoci problem for a homogeneous coating on a functionally graded, *Mechanics Research Communications*, Vol.38, 320-325
38. Matysiak Stanisław J., Mieszkowski Radosław, Perkowski Dariusz M., (2014), SH Waves in a Layer with Temperature Dependent Properties, *Acta Geophysica*, 10.2478/s11600-013-0196-z.

39. Matysiak Stanisław J., Perkowski Dariusz M., (2013), Green's function for an elastic layer with temperature dependent properties, *Materials Science*, Vol. 48, nr 5, 607-613.
40. Matysiak S. J., Woźniak Cz., (1987), Micromorphic effects in a modeling of periodic multilayered elastic composites, *Int. J., Engng. Sci.*, 25, 549-559.
41. Matysiak S. J., Woźniak Cz., (1988), On the microlocal modelling of thermoelastic periodic composites, *J. of Techn. Physics*, 29, 88-97.
42. Nowiński J. L., (1959), Thermoelastic problem for an isotropic sphere with temperature dependent properties, *ZAMP*, 10, 565-575.
43. Nowiński J. L., (1960), A Betti-Rayleigh theorem for elastic bodies exhibiting temperature dependent properties, *Applied Scientific Research, Section A*, 9, 429-436.
44. Nowiński J. L., (1962), Transient thermoelastic problems for an infinite medium with a spherical cavity exhibiting temperature dependent properties, *Journal of Applied Mechanics*, 29, 399-
45. Nowiński J. L., (1978), *Theory of thermoelasticity with applications*, Sijthoff and Noordhoff Int. Publ., Alphen aan den Rijn.
46. Perkowski Dariusz M., (2014), On axisymmetric heat conduction problem for FGM layer on homogeneous substrate, *Int. Comm. Heat Mass Transf.*, Vol. 57, pp. 157-162
47. Schreiber E., Anderson O. L., Soga N., (1973), *Elastic constants and their measurement*, Mc Graw-Hill, New York.
48. Speriatu L., (2005), Temperature dependent mechanical properties of composite materials and uncertainties in experimental measurements Ph. D/, University of Floride, 159 pages.
49. Shodja H.M., Ghahremaninejad A., 2006, An FGM coated elastic solid under thermomechanical loading: a two dimensional linear elastic approach. *Surface and Coatings Technology*, 200, 12-13, 4050–4064.
50. Sutradhar A, Paulino G H., (2004), The simple boundary element method for transient heat conduction in functionally graded materials [J]. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 193(42/44): 4511–4539.

51. Sutradhar A, Paulino G H., Gray L J., (2002), Transient heat conduction in homogeneous and non-homogeneous materials by the Laplace transform Galerkin boundary element method [J]. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 26(2): 119–132.
52. Tanigawa, Y.; Akai, T.; Kawamura, R.; Oka, N., (1996), Transient heat conduction and thermal stress problems of a nonhomogeneous plate with temperature-dependent material properties. *J. Therm. Stress.*, 19, 77-102.
53. Ter-Mkrtičjan L. N., (1961), Nekotoryje zadači teorii uprugosti neodnorodnych uprugich sred ,*Prikl. Metematika i mechaniki*, 25, 6, 1120–1125.
54. Tao L. N., (1989), The heat conduction problem with temperature-dependent material properties, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 32, 487-491.
55. Tillmann A. R., Borges V. L., Guimaraes G., de Lima e Silva A. L. F., (2008), Identification of temperature-dependent thermal properties of solid materials, *Journal of the Brazil Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 4, 269-278.
56. Woźniak Cz., (1986), Nonstandard analysis in mechanics, *Advences in Mechanics*.
57. Woźniak Cz., (1987), A nonstandard method of modelling of thermoelastic periodic composites, *Int. J. Engng. Sci.*, 25, 483-499.
58. Woźniak Cz., Wierzbicki E., (2000), Averaging techniques in thermomechanics of composite solids, *Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa*.
59. Voevodin A.A., Larve E.V., Ragland W., Zabinski J.S. and Donaldson S., (2001), Stress analyses and in-situ fracture observation of wear protective multilayer coatings in contact loading, *Surface & Coatings Technology*, 148, 38–45.