

14. Perspektywy wykorzystania metodyki badań diagnostycznych w układach technicznych

Diagnostyka układów technicznych umożliwia racjonalną ekonomicznie i bezpieczną ich eksploatację. Jej rozwój wspierany jest rozwojem metodologii, w głównej mierze w obszarze badań nieniszczących. Badania te zmierzają do budowy relacji diagnostycznych wiążących w możliwie jednoznaczny sposób dostępne nieinwazyjnie charakterystyki układu, w szczególności charakterystyki materiałowe, z wielkościami, których określenie jest podstawą oceny stanu badanego obiektu. Rozszerzenie zbioru klasycznych metod diagnostycznych o techniki symulacyjne w obszarze modeli wirtualnych to nowy kierunek badań diagnostycznych mogący mieć znaczenie zarówno na etapie eksploatacji jak też koncepcyjno-projektowym.

Do podstawowych kryteriów jakości materiałów konstrukcyjnych należą kryteria wytrzymałościowe. Prowadzone badania wykazały możliwość budowy relacji diagnostycznych wiążących charakterystyki procesów akustycznych oraz cieplnych, stanowiących istotę stosowanych metod, z charakterystykami wytrzymałościowymi – przykładowo wytrzymałością doraźną czy resztkową wytrzymałością zmęczeniową. Budowa takich relacji w ujęciu ilościowym wymaga realizacji obszernego programu badań podstawowych testowanego materiału. Badania prowadzone są w warunkach laboratoryjnych, zatem próbki materiału bada się w umownych warunkach obciążenia. Wyniki mają wartość porównawczą, lecz uogólnienie wniosków na elementy konstrukcyjne w warunkach eksploatacyjnych, w ogólnym przypadku, nie jest łatwe.

W części poświęconej badaniom eksperymentalnym wykazano możliwość budowy relacji diagnostycznych wykorzystujących charakterystyki akustyczne – wyniki badań ultradźwiękowych – do oceny stopnia obniżenia wytrzymałości materiałów polimerowych. Zastosowanie wskazanej metodyki uwarunkowane jest znajomością ilościowych cech charakterystyki diagnostycznej, możliwych do wyznaczenia, ze zrozumiałych względów, jedynie dla wybranych, umownych i prostych warunków diagnostycznych. Oznacza to przykładowo wymóg prowadzenia pomiarów ultradźwiękowych w obszarach jednorodnych pod względem zaawansowania procesów utraty zdolności nośnych. Spełnienie takiego postulatu może być realizowane przez prowadzenie badań niewielkich obszarów o lokalnie jednorodnym przebiegu procesu zmian własności wytrzymałościowych. Wytypowanie stref konstrukcji miarodajnych dla całościowych ocen stanu układu jest problemem samym w sobie, dostępność takich lokalnych obszarów może być ograniczona w przypadku złożonych

konstrukcji, zaś wyniki opracowane z niewielkich obszarów obniża ich znaczenie z punktu widzenia diagnostyki badanej konstrukcji.

W celu wykorzystania metodyki badań termograficznych do określania stopnia wyczerpania własności wytrzymałościowych w procesach starzenia cieplnego bądź degradacji zmęczeniowej konieczne jest wyznaczenie relacji diagnostycznych wiążących wyniki badań starzeniowych i zmęczeniowych z wynikami badań termograficznych.

Określenie relacji diagnostycznych stanowiło podstawowy cel badawczy niniejszej pracy. Relacje takie wyznaczano oddzielnie dla badań starzeniowych i termograficznych oraz badań zmęczeniowych i termograficznych. Jednak i w tym wypadku pozostaje otwarty problem przeniesienia opracowanej metodyki na złożone układy lub choćby elementy konstrukcyjne, eksploatowane w trudnych do odwzorowania na stanowisku badawczym, przykładowo niejednorodnych i nieustalonych, warunkach eksploatacji.

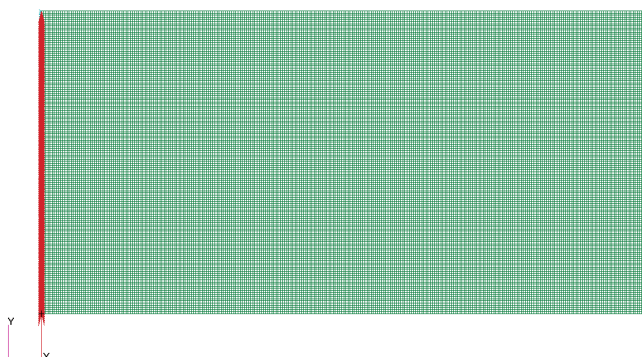
Możliwości rozwiązywania takich złożonych zadań diagnostycznych dostarczają komputerowe modele symulacyjne, w których upatruje się efektywnego narzędzia wspomagania procesu oceny, będących wynikiem postępującej degradacji materiału zmian wytrzymałościowych charakterystyk użytkowych obiektów badań.

Ocena stanu konstrukcji w aspekcie wytrzymałościowym wymaga, w uproszczeniu, określenia aktualnych granicznych wartości charakterystyk wytrzymałościowych układu, odpowiadających stanom krytycznym konstrukcji związanym ze spadkiem zdolności nośnej lub utratą stateczności. Stany takie możliwe są do rozpoznania w modelu fizycznym układu (w postaci numerycznej). Ich określeniu służy analiza stanu obciążeń wewnętrznych i deformacji układu, energii odkształcenia lub tym podobne. Wiarygodność wyników takich analiz zależy od poprawności modelu układu, w szczególności struktury i cech fizycznych materiału oraz warunków roboczych odpowiedzialnych za stan układu. Ocenie jakości dostępnego modelu fizycznego służą procedury identyfikacji własności fizycznych, stosunkowo proste do przeprowadzenia w stosunku do jednorodnego materiału, którego próbki można poddać pełnym badaniom wytrzymałościowym, z reguły niszczącym. W przypadku materiału z historią starzenia i zmęczenia, w sposób niejednorodny zapisaną w zmienionym rozkładzie własności, w warunkach uniemożliwiających przeprowadzenie badań podstawowych nawet wybranych fragmentów konstrukcji

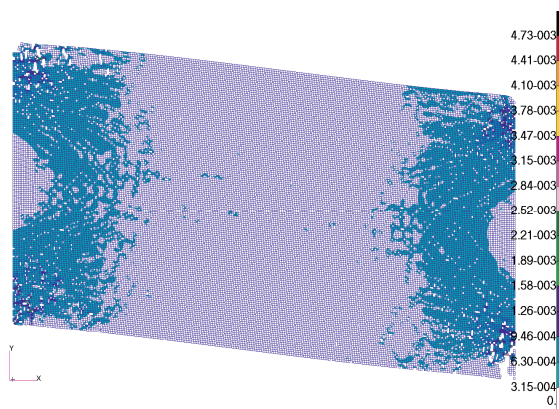
Wstępne wyniki badań symulacyjnych procesów fizycznych mających na celu weryfikację poprawności modelu fizycznego przeznaczonego do numerycznej oceny stanu wytrzymałościowego konstrukcji przedstawiono w [65,210,211]. Jako kryterium poprawności przyjęto zgodność charakterystyk fizycznych (akustycznych i cieplnych) materiału, których wartość diagnostyczna została potwierdzona badaniami omówionymi w pracy. Dla uzyskania

odpowiedniego rozkładu własności modelu opracowany został program symulacyjny procesu degradacji starzeniowo-zmęczeniowej materiałów, w szczególności kompozytów polimerowych [64,223]. Zawarta w programie sekwencyjno-iteracyjna procedura ewolucyjnej modyfikacji rozkładu własności modelu materiału przebiegała przy zachowaniu zgodności uzyskiwanych w wyniku jej zastosowania zmian przebiegu kontrolnych procesów fizycznych z rejestrowanymi w programie badań materialnych próbkami materiału.

Na rysunku 14.1. przedstawiono przykładowy model płaski (tarczowy) kompozytu z elementów skończonych z nałożonymi warunkami utwierdzenia i obciążenia, zaś na rysunku 14.2. finalny obraz destrukcji wraz z mapą naprężeń redukowanych Misesa modelowanego kompozytu.

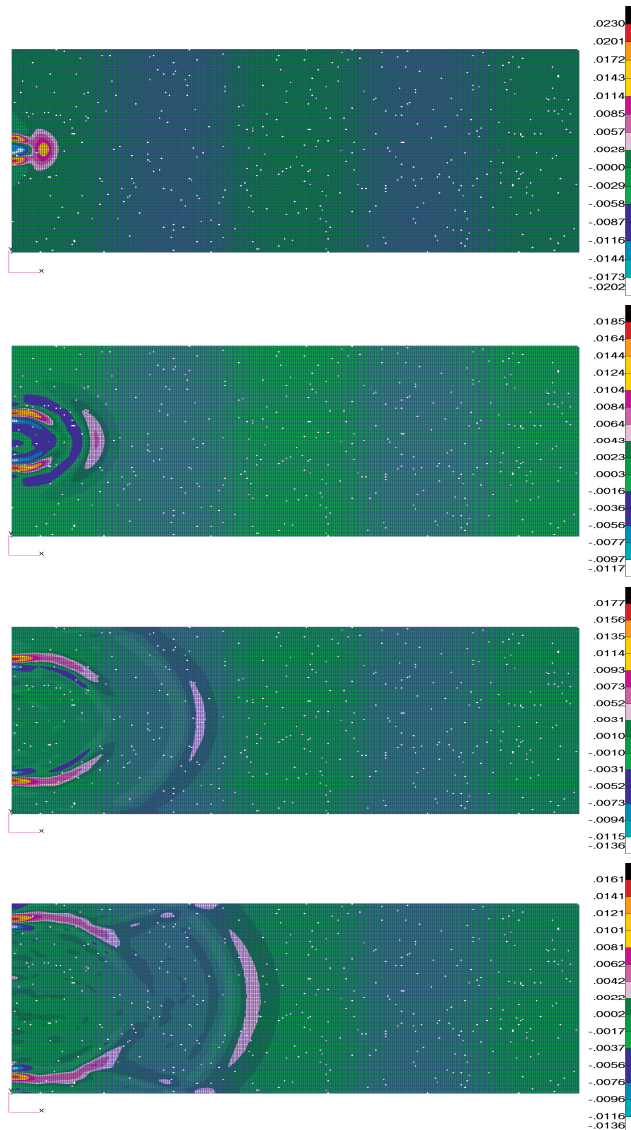


Rysunek 14.1. Model kompozytu z nałożonymi warunkami brzegowymi w przemieszczeniach na węzły należące do prawego i lewego krańca (oznaczone kolorem błękitnym) i w obciążeniach (oznaczonych kolorem czerwonym)

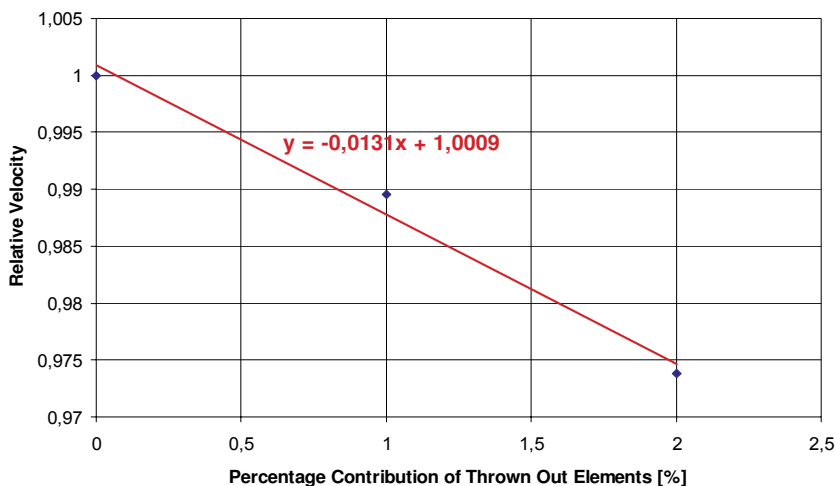


Rysunek 14.2. Obraz destrukcji oraz mapa naprężeń redukowanych Misesa modelowanego kompozytu

Na rysunku 14.3. zestawiono przykładowe obrazy deformacji stanowiące fazy propagacji fali akustycznej w modelowym ośrodku w wybranej fazie jego degradacji. Można na podstawie przebiegu symulacji określić np. prędkość propagacji fali. Względną zmianę prędkości rozchodzenia się fali akustycznej w funkcji procentowego stopnia degradacji materiału przedstawia wykres z rysunku 14.4.

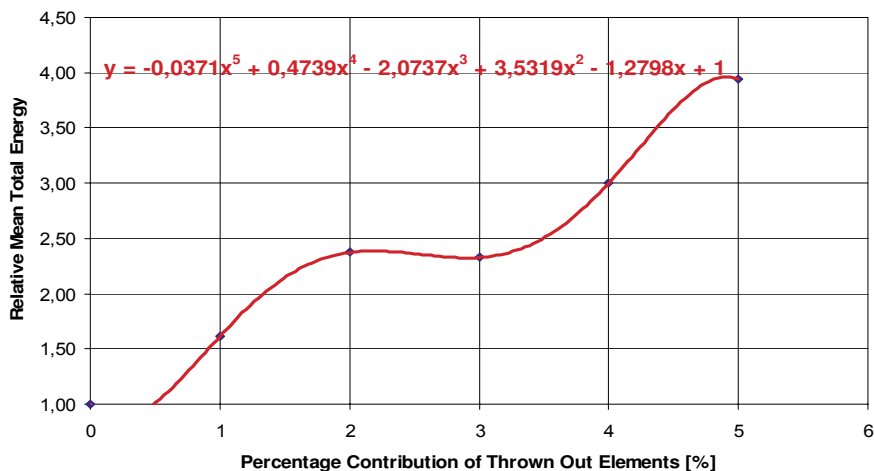


Rysunek 14.3. Mapy propagacji fali przemieszczeń wzdłuż kierunku propagacji fali w modelowanym kompozycie po czasie kolejno $5,0 \cdot 10^{-4}$ ms , $1,0 \cdot 10^{-3}$ ms , $2,0 \cdot 10^{-3}$ ms [μm], $2,5 \cdot 10^{-3}$ ms, $3,0 \cdot 10^{-3}$ ms



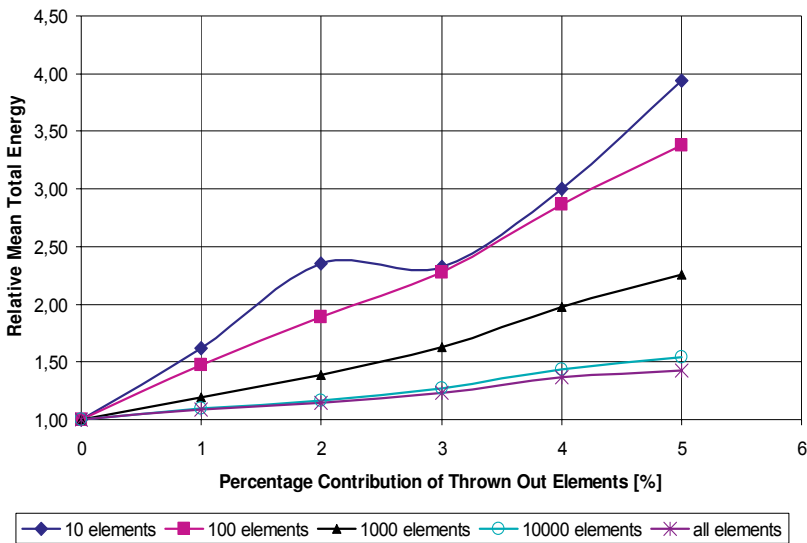
Rysunek 14.4. Względna zmiana prędkości rozchodzenia się fali akustycznej w funkcji procentowego stopnia degradacji materiału

Na rysunku 14.5 przedstawiona jest względna zmiana średniej wypadkowej energii odkształcenia w funkcji procentowego stopnia degradacji materiału.

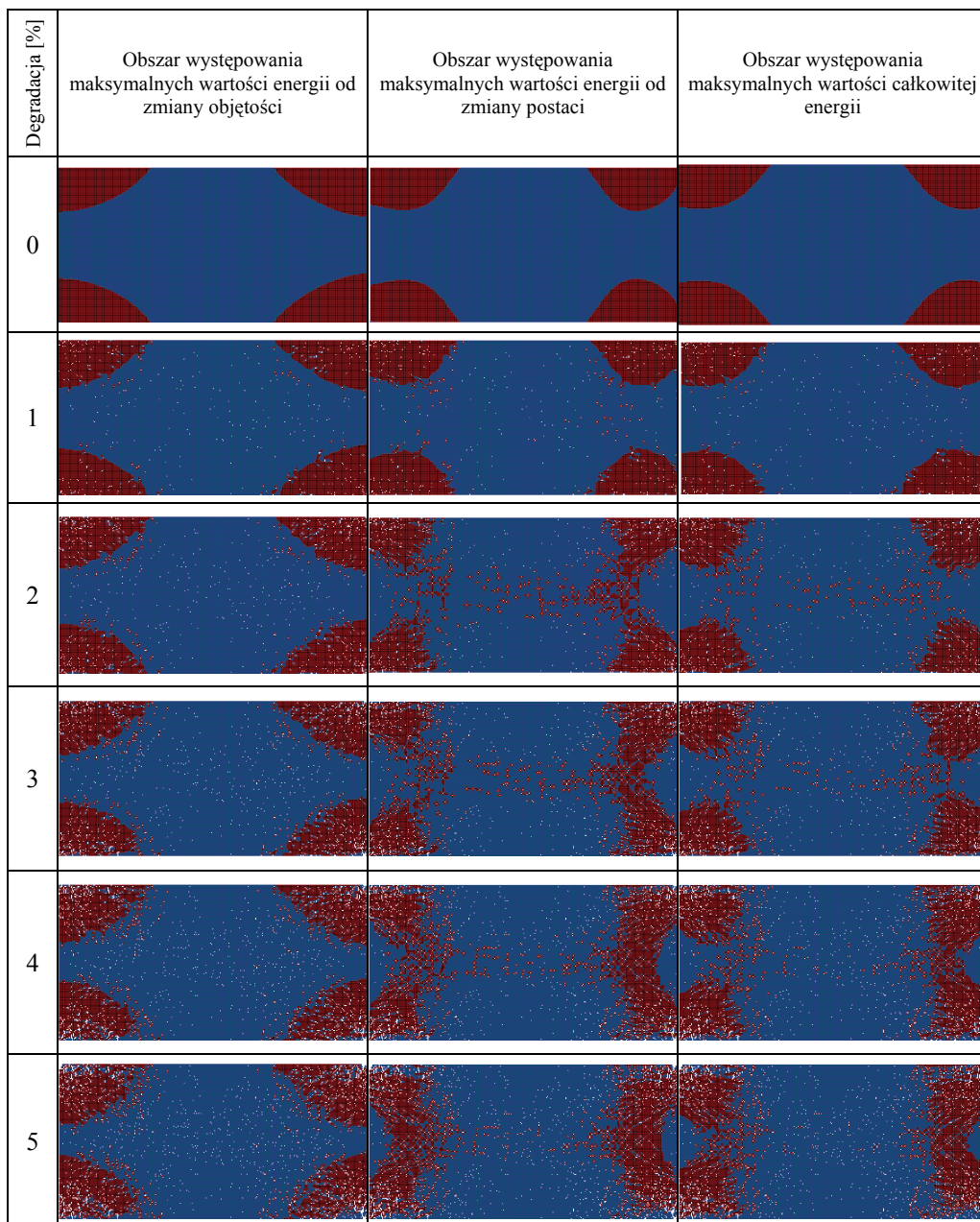


Rysunek 14.5. Względna zmiana średniej wypadkowej energii odkształcenia w funkcji procentowego stopnia degradacji materiału

Porównanie względnych średnich maksymalnych wypadkowych energii odpowiednio dla: dziesięciu, stu, tysiąca, dziesięciu tysięcy i wszystkich (40898) elementów skończonych w funkcji procentowego stopnia degradacji materiału przedstawia zestawienie wykresów (rys. 14.6). Na rysunku 14.7. uwidoczniło zestawienie obrazów lokalizacji maksymalnych wartości energii pochodzącej od zmiany objętości, postaci i energii całkowitej oznaczonej kolorem czerwonym, odpowiadającej dziesięciu tysiącom elementów skończonych w zależności od procentowego stopnia degradacji.



Rysunek 14.6. Porównanie względnych - średnich maksymalnych wypadkowych energii odpowiednio dla: dziesięciu, stu, tysiąca, dziesięciu tysięcy i wszystkich elementów skończonych w funkcji procentowego stopnia degradacji materiału



Rysunek 14.7. Lokalizacja maksymalnych wartości energii pochodzącej od: zmiany objętości, postaci i energii całkowitej oznaczona kolorem czerwonym, odpowiadająca dziesięciu tysiącom elementów skończonych w zależności od procentowego stopnia degradacji

Powyższe wyniki ilustrują możliwości badań symulacyjnych zarówno w zakresie reprezentacji własności badanego materiału, ich identyfikacji, jak również wykorzystania charakterystyk diagnostycznych do sterowania ewolucyjnymi procedurami modyfikacji własności modelu w sposób spełniający kryteria zgodności z procesami degradacji rozpoznanymi w warunkach eksperymentalnych badań niszczących próbek materiału.

Przewidywane jest wykorzystanie analogicznego modelu procesu przepływu ciepła w warunkach stanowiska diagnostycznego procesu degradacji materiału badanych próbek jako narzędzia oceny wpływu charakteru zmian strukturalnych badanego materiału na charakterystyki termograficzne wykorzystywane w procedurze diagnostycznej. Czynniki degradacji istotne w większości zastosowań konstrukcyjnych materiałów tej klasy to procesy starzenia i zmęczenia. Przejawem zaawansowania tych procesów jest między innymi znaczący spadek charakterystyk wytrzymałościowych, zarówno statycznych jak dynamicznych i zmęczeniowych. Skutki przebiegu tych procesów w znacznym zakresie mają charakter rozproszony. Zmiana własności mechanicznych materiału, spadek charakterystyk użytkowych jest wynikiem zmian strukturalnych tworzywa. Zachodzą one w obszarze polimerowej osnowy kompozytu - zrywanie wiązań w łańcuchach cząstek polimeru, powstawanie i propagacja mikronieciągłości, penetracja aktywnych cząstek agresywnego środowiska itp. Mogą powstawać i kumulować się w strefie kontaktowej osnowy i cząstek napełniacza lub włókien wzmocnienia. Mogą wreszcie dotyczyć głównie wzmocnienia - w przypadku płytek, a szczególnie włókien, może następować ich rozrywanie. Można oczekiwać wpływu tych procesów na własności cieplne materiału. Spodziewanym efektem rozproszonych nieciągłości osnowy jest spadek przewodności cieplnej tworzywa. Kumulacja nieciągłości w strefie kontaktu osnowy z napełniaczem utrudnia wymianę ciepła pomiędzy żywicą osnowy a cząstkami napełniacza, co przy nieustalonym przepływie ciepła może skutkować spadkiem przewodności z jednoczesną zmianą średniego ciepła właściwego kompozytu. Specyficznego wpływu mechanizmów degradacji należy oczekiwać również w odniesieniu do charakterystyk mechanicznych i wytrzymałościowych materiału. Opracowany model przepływu ciepła, w warunkach opisanego eksperymentu, umożliwia weryfikację pod względem zgodności z wynikiem doświadczalnej analizy termograficznej modelowego procesu rejestrowanego w materiale wyjściowym. Rejestrowane zmiany charakterystyk termograficznych, symulowane w modelu obliczeniowym procesem sposobem zmian uśrednionych charakterystyk cieplnych tworzywa próbki, umożliwią kontrolę zgodności modelu po modyfikacji z wynikami eksperymentu, dostarczając materiału do oceny przyczyn strukturalnych i mechanizmów

ich rozwoju. Zweryfikowane tą drogą hipotezy można dodatkowo ocenić na podstawie bezpośredniego pomiaru zmian własności mechanicznych materiału.

Wyniki opisanych w pracy badań wytrzymałościowych materiału poddanego degradacji zmęczeniowej zostały wykorzystane w opracowaniu planu badań projektu badawczego własnego z udziałem Autora [227] którego okres realizacji rozpoczyna się w drugiej połowie 2011 roku. W badaniach zmęczeniowych przewidziano sposób realizacji polegający na pulsacyjnym obciążeniu w układzie hydraulicznym kompozytowych próbek rurowych. Zamocowanie próbek umożliwi realizację stanu obciążenia zbliżonego do jednorodnego zarówno na powierzchni, jak i grubości materiału – powłoka cienkościenna. W wyniku oczekuje się poprawy korelacji badanych charakterystyk wytrzymałościowych z wielkościami diagnostycznymi wykorzystywanymi w metodzie ultradźwiękowej oraz termowizyjnej. Planowane są również badania zmian charakterystyk cieplnych kompozytów w warunkach postępującej degradacji, w celu oceny stopnia korelacji ich zmian z charakterystykami wytrzymałościowymi. Program badań obejmuje procesy starzeniowo-zmęczeniowe wybranych elementów konstrukcyjnych – rur kompozytowych – z wykorzystaniem modeli symulacyjnych, których identyfikacja prowadzona będzie na podstawie wyników uzyskanych w ramach projektu badań ultradźwiękowych, cieplnych oraz niszczących.

Literatura

1. Abu-Sharkh B.F., Hamid H.: Degradation study of date palm fibre/polypropylene composites in natural and artificial weathering: mechanical and thermal analysis. *Polymer Degradation and Stability*. Vol. 85 (2004) pp. 967-973.
2. Ammar-Khodja I., Picard C., Fois M., Marais C., Netchitaïlo P.: Preliminary results on thermo-oxidative ageing of multi-hole carbon/epoxy composites. *Composites Science and Technology*. Vol. 69 (2009) pp.1427-1431.
3. Avdelidis N.P., Hawtin B.C., Almond D.P.: Transient thermography in the assessment of defects of aircraft composites. *NDT & E International*. Vol. 36 (2003) pp.433-439.
4. Avdelidis N.P., Ibarra-Castanedo C., Maldague X., Marioli-Riga Z.P., Almond D.P.: A thermographic comparison study for the assessment of composite patches. *Infrared Physics & Technology*. Vol. 45 (2004) pp. 291-299.
5. Bakar M.: Własności mechaniczne materiałów polimerowych. Wydawnictwo Politechniki Radomskiej. Radom 2000.
6. Bamford C.H.: Degradation of polymers. Amsterdam – Oxford – New York 1975.
7. Bamford C.H., Tipper C.F.H.: *Comprehensive Chemical Kinetics*. Vol 14.: Degradation of Polymers. Elsevier 1975.
8. Barczyk J., Leszkowicz F., Michnowski W.: System zapewniania wysokiej niezawodności spoin obwodowych rur w energetycznych kotłach blokowych a aktualne normy na ultradźwiękowe badania spoin. *Zalecenia Dozoru Technicznego*. Nr 4/1992.
9. Bartonicek B., Hnat V., Placek V.: Radiation ageing of polymers. *Czechoslovak Journal of Physics*. Vol. 49 (1999) pp. 485-491.
10. Batdorf S.B.: *Strength of Composites: Statistical Theories*. Pergamon Press. Oxford 1989. pp. 245-261.
11. Bates D., Smith G., Lu D., Hewitt J.: Rapid thermal non destructive testing of aircraft components. *Composites: Part B*. Vol. 31 (2000) pp.175-185.
12. Beaumont P.W.R.: The failure of fibre composites: an overview. *Journal of Strength Analysis*. Vol. 24 (1989) pp. 189-205.
13. Bełzowski A.: Degradacja mechaniczna kompozytów polimerowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2002.
14. Bełzowski A.: Metoda oceny stopnia uszkodzenia kompozytów polimerowych. *Kompozyty*. Nr 2 (2002) p. 253.
15. Bełzowski A.: Metoda prognozowania intensywności uszkodzeń rurociągu z kompozytu polimerowego. *Zagadnienia Eksploatacji Maszyn*. Nr 36 Z. 4 (2001) s.69-87.
16. Berdowski J., Krzesińska M.: *Proc.Sem. GDRE Materiaux Carbones Fonctionalisés*, Zakopane 25-27 Sept. 1997. s. 100-107.

17. Błędzki A.K., Spychaj S., Kwasek A.: Mikrosfery jako napelniacze kompozycji polimerowych. *Polimery*. Nr. 3-4 (1985).
18. Blettner A., et all.: Radioscopy de soudures en milieu hyperbare, Konferencja COFREND 1997. <http://www.ndt-imb.com>
19. Boczkowska A., Kapuściński J., Lindemann Z., Witenberg-Perzyk D., Wojciechowski S.: *Kompozyty*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2003.
20. Boruszak A., Sygulski R., Wrześniowski K.: *Wytrzymałość materiałów – doświadczalne metody badań*. PWN. Warszawa – Poznań 1984.
21. Brojer Z., Hertz Z., Penczek P.: *Żywice epoksydowe*. WNT. Warszawa 1972.
22. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J.: *Metody badań i oceny własności tworzyw sztucznych*. WNT. Warszawa 2000.
23. Bursa J.: Delaminacja włóknistych kompozytów polimerowych. Konferencja *Polimery i Kompozyty Polimerowe*, Ustroń 2000.
24. Bursa J.: Podstawowe problem pękania polimerów. II Konferencja *Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne*, Ustroń 2000.
25. Cartledge, H.C.Y., Baillie, C.A.: Studies of microstructural and mechanical properties of Nylon/Glass composite. *J. Mater. Sci.* Vol. 34 (1999) pp. 5113-5126.
26. Charczenko Je.F. i in.: Vlijanija rasslojenija na procznost, odnonapravlennych oraganoplastikov pri rastzeženii. *Mechanika Kompozitnych Materialov*. Nr 2 (1987) s. 345-348.
27. Chłopek J., Błażejewicz M., Szaraniec B.: Wpływ sztucznego środowiska biologicznego na własności mechaniczne kompozytów węglowo-fosforanowych. *Kompozyty*. Nr 2 (2002) s. 163-166.
28. Chłopek J., Morawska A., Umańska L., Paluszkiwicz C.: Badanie procesu degradacji kompozytów z polimerów resorbowalnych w warunkach in vitro. *Inżynieria Biomateriałów*. Nr. 38-42 (2004) s. 132-136.
29. Chmielnicki B., Konieczny J.: Badania wytworów z poliamidów wzmocnionych włóknem szklanym i kompozytów PE z włóknami naturalnymi (WPC) techniką mikroskopii elektronowej skaningowej. *Przetwórstwo Tworzyw*. Nr 6 (2009).
30. Chmielnicki B.: Wybrane aspekty starzenia wzmocnionych poliamidów. Cz. 1. Podatność poliamidów na procesy starzenia. *Przetwórstwo Tworzyw*. Nr 3 (2009).
31. Chudzyński S., Puternicki J., Surowiak W.: *1000 słów o tworzywach sztucznych*. Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej. Warszawa 1975.
32. Ciesielska D.: *Fizykochemia polimerów*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej. Poznań 1997.
33. Cook W.D., Mehrabi M., Edward G.H.: Ageing and yielding in model epoxy thermosets. *Polymer*. Vol. 40 (1999) pp. 1209-1218.
34. Cox D.S.: Subsea flooded member radiography, *Insight*, June 1997. <http://www.ndt-imb.com>
35. Dąbrowski H.: Dynamika procesu złomu kompozytów włóknistych w ujęciu modelu statystycznego i statycznie – strukturalnego. III Szkoła kompozytów, Wisła, 10-12 grudnia 2001.

36. Dąbrowski H.: Wstęp do mechaniki materiałów kompozytowych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1989.
37. Dance W.E., Middlebrook J.B.: Neutron Radiographic Non-Destructive Inspektion in Bonded Composite Structures. ASTM STP 696, 1979, 57-71.
38. Daniel I.M., Liber T.: Non-destructive Evaluation Techniques for Composite materials, Proceedings of the 12th Symposium on NDE, ASNT and NTIAC. San Antonio, TX, April 1979, 226-244.
39. Deputat J.: Nieniszczące metody badań własności materiałów. Wydawnictwo Biuro GAMMA. Warszawa 2002.
40. Deputat J.: Nieniszczące metody badań własności materiałów. Wydawnictwo Biuro GAMMA. Warszawa 1997.
41. Deputat J.: Nowe techniki badań ultradźwiękowych. Wykłady 10 seminarium szkoleniowego „Nieniszczące badania materiałów”. Zakopane 16-19.03.2004.
42. Dobrzański L.A. i in.: Zasady doboru materiałów inżynierskich. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2001.
43. Dobrzański L.A.: Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach. Wydanie piąte zmienione. WNT. Warszawa 1999.
44. Dobrzański L.A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Materiały inżynierskie z podstawami projektowania materiałowego. WNT. Warszawa 2002.
45. Duke J.S., Henneke H.E.G., Stinchcomb W.W.: Ultrasonic stress wave characterization of composite materials. NASA CR-3976, 1986.
46. Ewert U., Redmer B., Muller J.: Mechanized weid inspection for detection of planar defects and depth measurement by tomosynthesis and planartomography. Review of Progress in Quantitative NDE, July 99 Canada. <http://www.ndt-imbn.com>
47. Fayolle B., Verdu J.: Effect of chemical ageing on polymers mechanical properties. *Materiaux & Techniques*. Vol. 88 No. 11-12 (2000) pp.3-10.
48. Fioderczyk Z., Pęczka S.: Chemia polimerów, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1997.
49. Forster, Knappe: Experimentale und teoretische. Untersuchungen zur Kunnstoff. Vol. 9 (1978) pp. 263-271.
50. Garbarski J.: Materiały i kompozyty niemetalowe. Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2001.
51. Grassie N., Scott G.: Polymer degradation and stabilisation. Cambridge University Press. Cambridge 1985.
52. Guarrotxena N., Millan J.: Chemical aging of polymers: general aspects and their effect on functional properties. *Revista de Plasticos Modernos*. Vol. 77 No. 517 (1999) pp. 45-54.
53. Guarrotxena N., Millan J.: Radiation-iduced ageing. II Kinetics of the evolution of mechanical properties. *Revista de Plasticos Modernos*. Vol. 78 No. 518 (1999) pp. 143-151.

54. Hancox N.L.: Thermal effects on polymer matrix composites: Part 1. Thermal cycling. *Materials and Design*. Vol. 19 (1998) pp. 85-91.
55. Hancox N.L.: Thermal effects on polymer matrix composites: Part 2. Thermal degradation. *Materials and Design*. Vol. 19 (1998) pp. 93-97.
56. Hanneke E.G., Reifsnider K.L., Stinchcomb W.W.: Thermography-An NDI Method for Damage Detection. *Journal of Metals*. Vol. 31 (1979) pp. 11-15.
57. Harris B.: Accumulation of Damage and Non destructive Testing of Composite Materials and Structures. *Annales de Chemie – Science de Materiaux*. Vol. 5 (1980) pp. 327-339.
58. Hoskin B.C., Baker A.A.: *Composite Materials for Aircraft Structures*. AIAA Education Series. New York.
59. Hyla I., Lizurek A.: Zastosowanie badań dynamicznych do analizy mechanizmu pęknięcia udarowego kompozytów warstwowych. *Kompozyty*. Nr 2 Z. 5 (2002) 374-377.
60. Hyla I.: *Elementy mechaniki kompozytów*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1995.
61. Janecki J.: *Zużycie części samochodowych wykonanych z tworzyw sztucznych*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności. Warszawa 1982.
62. Jędrzejowski A., Jaszczuk Z.: Raport wewnętrzny. IEA. <http://www.ndt-imbn.com>
63. White J.R.: Polymer ageing: physics, chemistry or engineering? Time to reflect. *C.R. Chimie*. Vol. 9 (2006) pp. 1396-1408.
64. Kaczkowski J.: Komputerowe wspomaganie obliczeń konstrukcji kompozytowych. III Szkoła kompozytów, Wisła 1-12.XII.2001.
65. Kaczmarczyk J., Rojek M., Wróbel G., Stabik J.: Numerical models of polymeric composite to simulate fatigue and ageing processes. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 34 Issue 1 (2009) pp. 31-38.
66. Kaczmarek H.: Efekty przyspieszenia fotochemicznego rozkładu polimerów przez substancje mało- i wielkocząsteczkowe. Wydawnictwo Uniwersytetu Mikołaja Kopernika. Toruń 1998.
67. Kittel C.: *Wstęp do fizyki ciała stałego*. PWN. Warszawa 1974.
68. Kockott D.: Factors influencing the reliability of results in accelerated weathering tests. *ASTM Special Technical Publication STP 1294*. 1996. pp. 24-39.
69. Kozakowski T.: *Elementy mechaniki pęknięcia w badaniach nieniszczących*. Seminarium Ultradźwiękowe Badania Materiałów, Zakopane 1997 IPPT PAN i Biuro Gamma.
70. Korneta A., Rojek B.: *Instrukcja obsługi defektoskopu ultradźwiękowego UMT-17*. Radom 2005.
71. Kosińska W.: *Terminologia tworzyw sztucznych*. PKN. Warszawa 1988.
72. Kotnarowska D.: *Erozja powłok epoksydowych i kompozytowych*. Postęp w Przetwórstwie Materiałów Polimerowych. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej. Częstochowa 2002.
73. Kozłowski M.: *Podstawy recyklingu tworzyw sztucznych*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1998.
74. Krishnapillai M., Jones R., Marshall I.H., Bannister M., Rajic N.: Thermography as a tool for damage assessment. *Composite Structures*. Vol. 67 (2005) pp. 149-155.

75. Królikowski W., Kłosowska-Wołkowicz Z., Penczek P.: *Żywnice i laminaty poliestrowe*. WNT. Warszawa 1986.
76. Królikowski W.: *Tworzywa wzmocnione i włókna wzmacniające*. WNT. Warszawa 1988.
77. Krywult B.: *Źródła uszkodzeń i zniekształceń wytworów z tworzyw wzmocnionych włóknami*. Polimery. Nr 1 (2002) str. 48.
78. Krzysińska M.: Hypersonic properties of undoped and Cr-doped bismuth germanium oxide. *Ultrasonics*. Vol. 3 (1986) pp. 88-92.
79. Krzysińska M.: *IstInt. Cont. „New Carbon Materials’99”*, Jaszowiec, Poland 11-15 Jan. 1999.
80. Krzysińska M.: Propagation of ultrasound in pyridine extracts of bituminous coals. *Fuel*. Vol. 75 (1996) pp. 1267-1270.
81. Krzysińska M.: The use of ultrasonic wave propagation parameter in the characterization of extracts from coal. *Fuel*. Vol. 77 (1998) pp. 649-653.
82. Krzysińska M.: Three-phonon interactions in bismuth germanium oxide, *Phys. Stat. Sol.: Part B*. Vol. 136 (1986) 475-479.
83. Krzysińska M.: Ultrasonic studies of outburst-prone coals, *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*. Vol. 34 (1997) pp. 167-171.
84. Krzysińska M.: Ultrasound velocity in infinitely dilute tetrahydrofuran and pyridine solutions of coal and lignine extracts. *Acoust. Lett.*. Vol. 19 (1995) pp. 116-119.
85. Kumari A., Roy R.S., Jha H.K.: Study of photoradical ageing of polymers. *Acta Ciencia Indica, Physics*. Vol. 23 No. 1 (2001) pp. 195-200.
86. Kurzeja L., Szeluga U., Rojek M., Stabik J.: *Badania procesu starzenia kompozytu epoksydowego o wysokiej wytrzymałości mechanicznej*. Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn Nr 1/2000, seria: Konferencje: "Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne". Ustroń 31.05. - 2.06.2000, s. 145-148.
87. Łączyński B.: *Tworzywa wielkocząsteczkowe. Rodzaje i własności*. WNT. Warszawa 1982.
88. Leda H.: *Współczesne materiały konstrukcyjne i narzędziowe*. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1996.
89. Ledbetter H.M.: Dynamic elastic modulus and internal friction in G-10CR and G-11CR fiberglass-cloth-epoxy composites. *Cryogenics*. Vol. 11 (1980) pp. 637-640.
90. Lewińska-Romicka A.: *Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii*. WNT. Warszawa 2001.
91. Lewińska-Romicka A.: *Defektoskopia wiropładowa*. WNT. Warszawa 1997.
92. Lewitowicz J.: *Współczesne metody badań nieniszczących w praktyce eksploatacyjnej obiektów technicznych na przykładzie statków powietrznych*. 32 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, R-27, IPPT PAN, Warszawa, Międzyzdroje 2003.
93. Liber T., Daniel I.M., Schraum S.W.: *Ultrasonic Techniques for Inspecting Flat and Cylindrical Composite Cylinders*, ASTM STP 696, 1979 pp. 5-25.
94. Lichtbau A., Zäh M.: Stabilisierung von Landwirtschaftsfolien. *Kunststoffe*. Vol. 88 (1998) p. 719.
95. Mackiewicz S.: *Badania ultradźwiękowe materiałów kompozytowych*. Seminarium: *Ultradźwiękowe badania materiałów*, Zakopane 1995.

96. Madura H.: Thermovision measurements in practice. Ag. Wyd. Paku. Warszawa 2004 (in Polish).
97. Mallick P.K.: Nondestructive tests. Composites Engineering Handbook. New York, Basel, Hong Kong 1997.
98. Marchant M.: Holographic Interferometry of CFRP Wing Tips. Royal Aeronautic Establishment, TR-78105, Aug. 1978
99. Nowak M.: Wytrzymałość tworzyw sztucznych. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1987.
100. Mason W.P., Thurston R.W.: Physical acoustics. vol. I-XVIII. Academic Press. London 1964-1984.
101. Melnikov M., Seropagina E.N.: Photoradical ageing of polymers. International Journal of Polymeric Materials. Vol. 31 No. 1-4 (1996) pp. 41-93.
102. Meola G.M., Carlomagno A., Squillace A., Vitiello A.: Non-destructive evaluation of aerospace materials with lock-in thermography. Engineering Failure Analysis. Vol. 13 (2006) pp. 380-388.
103. Meola G.M., Carlomagno L., Giorleo L.: Geometrical limitations to detection of defects in composite by means of infrared thermography. Journal of Nondestructive Evaluation. Vol. 23 No. 4 (2004).
104. Miękina W., Rutkowski P., Wild D.: Basics of thermovision measurements. Ag. Wyd. Paku. Warszawa 2004 (in Polish).
105. Mitchell J.R.: Testing for flaws in reinforced plastics by acoustic emission. Plast. Eng.. Vol. 40 (1984).
106. Monchalain J.P., Neron C., Bouchard P., Choquet M., Heon R., Padioleau C.: Inspection of Composite Materials By Ultrasonics. Canadian Aeronautics and Space Journal. Vol. 43 No. 1 (1997).
107. Mool D., Stephenson R.: Ultrasonic Inspection of Boron/Epoxy-Aluminium Composite Panel. Material Evaluation. Vol. 29 (1971) pp. 159-164.
108. Moon S.M., Jerina K.L., Hahn H.T.: Acousto-ultrasonic wavepropagation in composite laminates. in: „Acousto-Ultrasonics. Theory and Applications” (ed. J.C. Duke, Jr.). Pergamon. New York 1989.
109. Muzia G., Rdzawski Z., Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Diagnostic basis of thermographic investigation of epoxy-glass composites’ degradation process. Machine Building and Technosphere of XXI Century Conference, Donieck 2007.
110. Muzia G., Rdzawski Z., Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Thermographic diagnosis of fatigue degradation of epoxy-glass composites. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 24 Issue 2 (2007) pp. 123-126.
111. Nayfeh A.H.: Wave Propagation in Layered Anisotropic Media with Applications to Composites. Elsevier. Amsterdam 1995.
112. Neining S.M., Staggs J.E.J., Horrocks A.R., Hill N.J.: A study of the global kinetics of thermal degradation of fibre-intumescent mixture. Polymer Degradation and Stability. Vol. 77 (2002) p. 187.

113. Nejman M.B. (red.) praca zbiorowa: Starzenie i stabilizacja polimerów, WNT, Warszawa 1996.
114. Nevadunsky J.J., Lucas J.J., Salkind M.J.: Early Fatigue Damage Detection in Composites Materials, *Journal of Composite Materials*. Vol. 9 (1975) pp. 394-408.
115. Nicholson J.W.: Chemia polimerów. WNT. Warszawa 1996.
116. Nicholson J.W.: Chemia polimerów. WNT. Warszawa 1996.
117. Norma EN ISO 4600:1997: Tworzywa sztuczne - Oznaczanie odporności na środowiskową korozję.
118. Norma PN ISO 4599:1996: Tworzywa sztuczne - Oznaczanie odporności na środowiskową korozję naprężeniową (ESC) - Metoda zgiętej taśmy.
119. Norma PN-EN ISO 6252:2002: Tworzywa sztuczne Oznaczanie środowiskowej korozji naprężeniowej (ESC) Metoda stałego naprężenia rozciągającego.
120. Tai N.-H., Yip M.-C., Tseng C.-M.: Influences of thermal cycling and low-energy impact on the fatigue behavior of carbon/PEEK laminates. *Composites: Part B*. Vol. 30 (1999) pp. 849-865.
121. Obraz J.: Ultradźwięki w technice pomiarowej. WNT. Warszawa 1983.
122. Ochęduszek S.: Applied thermodynamics. WNT. Warszawa 1970 (in Polish).
123. Ochelski S.: Metody badań nieniszczących. Wojskowa Akademia Techniczna. Warszawa 2002.
124. Ochelski S.: Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych. WNT, Warszawa 2004.
125. Ochelski S.: Metody badań nieniszczących kompozytów. V Konferencja Naukowo Techniczna "Polimery i kompozyty konstrukcyjne", Gliwice 5-7.06.2002.
126. Ochelski S.: Niektóre ograniczenia w pomiarach własności mechanicznych kompozytów włóknistych. Konferencja Naukowo Techniczna „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, Ustroń 31.05.-2.06.2000.
127. Ochelski S.: Zmęczenie kompozytów. III Szkoła Kompozytów - 10-12 grudnia 2001, Wisła. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2001.
128. Oliferuk W.: Nieniszczące badania materiałów, Materiały XII Seminarium „Termografia aktywna w badaniach materiałów” IPPT PAN, Zakopane 2006.
129. Oliferuk W.: Termografia podczerwieni w nieniszczących badaniach materiałów i urządzeń. Wydawnictwo Biuro GAMMA. Warszawa 2008.
130. Parvatareddy H., Wang J.Z., Dillard D.A., Ward T.C., Rogalski M.E.: Environmental ageing of High-performance polymeric composites: effects on durability. *Composites Science and Technology*. Vol. 53 (1995) pp. 399-409.
131. Pawłowski Z.: Badania nieniszczące – Poradnik. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Mechaników Polskich. Ośrodek Doskonalenia Kadr SIMP. Warszawa 1988.
132. Pawłowski Z.: Ultradźwiękowe badania materiałów. ODK. Warszawa 1978.
133. Pielichowski J., Puszyński A.: Technologia tworzyw sztucznych. WNT. Warszawa 1998.
134. Pilecki S.: Badania stali metodą emisji akustycznej w świetle występowania zakłóceń zewnętrznych. *Elektr. Akust. Met. Badań Mater. I Struk. Biol. IPPT PAN SEP*, Warszawa – Jabłonna 1984, s. 215-242.

135. Piech T.: Badania magnetyczne. Wykorzystanie efektu Barkhausena. Wydawnictwo Biuro GAMMA. Warszawa 1982.
136. Poloszyk S.: Active thermovision in non-destructive testing. Proceedings of the Conference Manufacturing'01, Poznań, 2001, Vol. 2, pp. 221-228 (in Polish).
137. Płowiec R.: Lepkość i sprężystość cieczy określona za pomocą ultradźwiękowych fal ścinania. PWN. Warszawa - Poznań 1990.
138. Porejko S., Zakrzewski L.: Chemia związków wielkocząsteczkowych. WNT. Warszawa 1974.
139. Praca zbiorowa: Comprehensive Chemical kinetics – volume 14: Degradation of polymers. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam 1975.
140. Prakash R.: Non-destructive Testing of Composites. Composites. Vol. 11 (1980) pp.217-224.
141. Rajic N.: Principal component thermography for flaw contrast enhancement and flaw depth characterization in composites structures. Composite Structures. Vol. 58 (2002) pp. 521-528.
142. Rajlakshmi N., Tarkes D.P., Alok S.: A computational and experimental investigation on thermal conductivity of particle reinforced epoxy composites. Computational Materials Science. Vol. 48 (2010) pp. 576-581.
143. Ranachowski J., Malecki I.: Wyznaczanie metodami akustycznymi dynamicznych modułów sprężystości. IPPT PAN Warszawa. Zeszyt 7/1999.
144. Renbi B., Rabek R.: Fotodestrukcja, fotookislenie, fotostabilizacja polimerov. Mir. Moskwa 1978.
145. Rojek M., Stabik J., Muzia G.: Termowizja w ocenie procesów zgrzewania tworzyw sztucznych. Kompozyty konstrukcyjne. Wydawnictwo Logos Press. Cieszyn 2010. s. 333-343.
146. Rojek M., Stabik J., Kurzeja L., Ketliński T.: Kompozyty napełnione węglem. Cz. II – Badania mechaniczne. Mat. VI Konferencji Naukowo Technicznej „Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne” Ustroń, Październik 2004.
147. Rojek M., Stabik J., Makselon M.: Badania nieniszczące niektórych własności laminatów epoksydowo – szklanych. Zeszyty Naukowe Nr 246 Akademii Techniczno – Rolniczej im. J. i J. Śniadeckich w Bydgoszczy „Chemia i technologia chemiczna”. s. 91-95.
148. Rojek M., Stabik J., Muzia G.: Thermography in plastics welding processes assessment. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 41 (2010) pp.40-47.
149. Rojek M., Stabik J., Sokół S.: Fatigue and ultrasonic testing of epoxy-glass composites. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 20 (2007) pp. 183-186.
150. Rojek M., Stabik J., Wróbel G., Kaczmarczyk J.: A model of heat transfer taking place in thermographic test stand. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 27 Issue 1 (2008) pp.7-14.
151. Rojek M., Stabik J., Wrobel G.: Ultrasonic methods in diagnostics of epoxy-glass composites. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 162-163 (2005) p. 121.
152. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Ultrasonic methods in diagnostics of epoxy-glass composites. Proc. Inter. Conf. „Nondestructive Testing of Materials and Structures” II AMAS Workshop-NTM'03, Warsaw 2003, p. 197.

153. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Ultrasounds in diagnostics of polymer materials. Mat. Konf. "Progressivnye tehnologii i sistemy mašinostroenia", Doneck 2002.
154. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Ultrasonic methods In diagnostics of epoxy- glass composites. Journal of Materials Processing Technology. Vol. 162-163 (2005) pp. 121-126.
155. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Badania nieniszczące w diagnostyce własności kompozytów. Mat. XLVII Sympozjonu „Modelowanie w Mechanice”, Wisła 2008.
156. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Investigation of polymer composites thermal degradation using non-destructive method. Masinostroenie i Technosfera XXI veka Sbornik trudov XV mezdunarodnoj naucna - techniceckoj konferenciji Doneck, Ukraina 2008. s. 311-314.
157. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Non-destructive testing of thermal degradation of polymer composites. Proc 2nd Int. Conf. "Modern Achievements in Science and Education", Israel 2008. pp. 53-59.
158. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Ultradźwięki w diagnostyce laminatów epoksydowo – szklanych. Materiały seminarium „Nieniszczące badania materiałów”, Zakopane 2003. s. 203-211.
159. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Ultradźwięki w diagnostyce materiałów polimerowych. Materiały V Konferencji Naukowo Technicznej „Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne”, Ustroń 5-7 czerwca 2002. s. 183-190.
160. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Ultrasonic methods in diagnostics of epoxy – glass composites. Proceedings of the Conference "Non-destructive Testing of Materials and Structures II" Warsaw 2003.
161. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Badania nieniszczące w diagnostyce własności materiałowych polimerowych kompozytów konstrukcyjnych. Mat. XIV Seminarium „Nieniszczące badania materiałów”, Zakopane 2008.
162. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Non-destructive diagnosis of the state of degradation of polymer composites. Masinostroenie i Technosfera XXI veka Sbornik trudov XV mezdunarodnoj naucna - techniceckoj konferenciji Doneck, Ukraina 2008. s. 315-318.
163. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Non-destructive diagnostic methods of polymer matrix composites degradation. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. Vol. 31 Issue 1 (2008) pp.53-59.
164. Rojek M., Stabik J., Wróbel G.: Non-destructive diagnostic methods of polymer matrix composites degradation. Proceedings of the 12th International Materials Symposium, Denizil, Turkey 2008. pp. 932-940.
165. Rojek M., Stabik J.: Ciepłoodporność laminatu epoksydowo – szklanego TSE-6. Materiały V Konferencji Naukowo Technicznej „Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne”, Ustroń 5-7 czerwca 2002. s. 178-182.
166. Rojek M., Wróbel G., Stabik J., Muzia G.: Thermography applied as tool in polymer composites diagnosis. Proceedings of VIII International Conference "Improvement of the Quality, Reliability and long usage of Technical systems and Technological Processes", Egypt 2009. pp. 62-65.

167. Romanowski S.J.: Analiza wpływu wybranych czynników na własności fizyko – mechaniczne niektórych kompozytów polimerowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 1987.
168. Rutkowski W.: Kompozyty – zagadnienia ogólne. WEMA. Warszawa 1980.
169. Salkind M.J.: Early detection of Fatigue Damage in Composite Materials. *Journal of Aircraft*. Vol. 13 (1976) pp. 764-769.
170. Santulli C.: IR thermography study of the effect of moulding parameters on impact resistance in E-glass/polypropylene commingled laminates. *NDT & E International*. Vol. 35 (2002) pp. 377-383.
171. Sasov A.: High Resolution X-Ray Micro-CT, Review of Progress in Quantitative NDE, July 99 Canada. <http://www.ndt-imb.com>
172. Scott I.G., Scala C.M.: A review of Non-destructive Testing of Composite materials. *Non-Destructive Testing International*. Vol. 15 (1982) pp.75-86.
173. Seachtling: Tworzywa sztuczne. Poradnik. WNT. Warszawa 2000.
174. Senczyk D.: Metody badania materiałów. Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 1994.
175. Sheldon W.H.: Comparative Evaluation of Potential NDE Techniques for Inspection of Advanced Composite Structures. *Materials Evaluation*. Vol. 36 (1978) pp. 44-46.
176. Sikorski T.: Podstawy chemii i technologii polimerów. PWN. Warszawa 1985.
177. Sławiński J., Górski Z., Magdziarek I., Powierza M.: Szybka i czuła metoda badania polimerów degradowanych czynnikami środowiskowymi za pomocą ultraczułej kamery CCD obrazującej w technice zliczania pojedynczych fotonów, *Materiały II Konferencji „Energia odnawialna. Innowacyjne rozwiązania. Materiały i Technologie dla Budownictwa”*, Solina 2008.
178. Śliwiński A.: Ultradźwięki i ich zastosowania. WNT. Warszawa 2001.
179. Sobczyk K., Billie F.S. Jr.: Stochastyczne modele zmęczenia materiałów. Wydanie I. WNT. Warszawa 1996.
180. Sobków M., Czaja K.: Wpływ warunków przyspieszonego starzenia na proces degradacji poliolefin. *Polimery*. Nr 48 Z. 9 (2003) 627-632.
181. Soltani P.K., Wysniewski D.A.: Amorphous Selenium Direct Radiography for Industrial Imaging. *Review of Progress in Quantitative NDE*, July 99 Canada.
182. Sozański L.: Problemy związane z pomiarem grubości metodą ultradźwiękową. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław.
183. Speka M., Mattei S., Pilloz M., Ilie M.: The infrared thermography control of the laser welding of amorphous polymers. *NDT&E International*. Vol. 41 No. 3 (2008) 178-183.
184. Steinberger R., Leitao T.I.V., Ladstatter E., Pinter G., Bilinger W., Lang R.W.: Infrared thermographic techniques for non-destructive damage characterization of carbon fibre reinforced polymers during tensile fatigue testing. *International Journal of Fatigue*. Vol. 28 (2006) pp. 1340-1347.
185. Szala J.: Hipotezy sumowania uszkodzeń zmęczeniowych. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej. Bydgoszcz 1998.

186. Szczepanik M., Stabik J., Wróbel G., Wierzbicki Ł.: Wykorzystanie systemów termowizyjnych do badań materiałów polimerowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2008.
187. Tanaeva S.A., Bulgakova L.V., Domorod L.S., Evseeva L.E.: Effect of heat-aging on the thermal properties of glass-reinforced epoxy plastic. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. Vol. 29 No. 6 (1975) pp. 1057-1062.
188. Thomas W.F.: *Phys. Chem. Glasses*. Vol. 1 (1960) p. 4.
189. Topoliński T.: *Metody doświadczalne w zmęczeniu materiałów i konstrukcji*. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej. Bydgoszcz 2000.
190. Topoliński T.: *Analiza teoretyczna i badania kumulacji uszkodzeń zmęczeniowych konstrukcyjnych kompozytów polimerowych*. Wydawnictwo Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy. Bydgoszcz 1997.
191. Tumański S.: *Cienkowarstwowe czujniki magnetorezystancyjne*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej. Warszawa 1997.
192. Tuttle M.T.: *A framework for long term durability predictions of polymeric composites*. *Progress in Durability Analysis of Composite Systems*. Rotterdam 1996. pp. 196-176.
193. Van Dreumel W.H.M.: *Ultrasonic Scanning for Quality Control Advanced Fiber Composites*. *Non-Destructive Testing International*. Vol. 11 (1978) pp. 233-235.
194. Vengrinovich V. et al.: *Bayesian Restoration of Cracks fcgnages in Welds from Incomplete and Noisy X-Ray Data*. *Review of Progress in Quantitative NDE*, July 99 Canada. <http://www.ndt-imbn.com>
195. Weaver A.: *Composites: World Markets and Opportunities*. *Materials Today*. 1999.
196. Wichmann. E.H.: *Quantum Physics*. PWN. Warszawa 1973.
197. Wehr J.: *Pomiary prędkości i tłumienia fal ultradźwiękowych*. PWN. Warszawa 1972.
198. Wilczyński A.: *Zagadnienia optymalizacji struktury kompozytów włóknistych*. *Materiały konferencyjne „Komputerowe wspomaganie projektowania kompozytów do celów cywilnych i wojskowych”*, Wisła 7-9.XII.1999.
199. Wilczyński A.P., Klasztorny M.: *Modelowanie polimerowych kompozytów włóknistych w zakresie lepkosprężystym*. III Szkoła Kompozytów „Modelowanie i Analiza materiałów i elementów kompozytowych”, Wisła 10-12 grudnia 2001.
200. Wilczyński A.P.: *Polimerowe kompozyty włókniste*. WNT. Warszawa 1996.
201. Wróbel G., Rdzawski Z., Muzia G., Pawlak S.: *The Application of infrared Thermography for Quality Evaluation of CFRP Composites*. *Proceedings of VII International Conference The Improvement of the Quality, Reliability and Long usage of technical Systems and technological Processes*. Sharm el Sheikh, Egypt 2008. pp. 89-92.
202. Wróbel G., Rojek M.: *Thermographic method of fatigue assessment of polymeric materials*. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 42 (2010) pp. 88-93.
203. Wróbel G., Muzia G., Rdzawski Z., Rojek M., Stabik J.: *Thermographic diagnosis of fatigue degradation of epoxy-glass composites*. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 24 Issue 2 (2007) pp. 123-126.

204. Wróbel G., Muzia G., Rdzawski Z., Rojek M., Stabik J.: Thermographic diagnosis of fatigue degradation of epoxy-glass composites. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 24 Issue 2 (2007) pp. 123-126.
205. Wróbel G., Pawlak S.: Nieniszcząca metoda oceny udziału wzmocnienia w kompozytach epoksydowo-szklanych, XI Profesorskie Warsztaty Naukowe - Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych, *Zeszyty Naukowe nr 246, Chemia i Technologia Chemiczna 11, Bydgoszcz 2006*, s. 165-168.
206. Wróbel G., Pawlak S.: A comparison study of the pulse-echo and through-transmission ultrasonics in glass/epoxy composites. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 22 Issue 1 (2007) pp. 51-54.
207. Wróbel G., Pawlak S.: The effect of fiber content on the ultrasonic wave velocity in glass/polyester composites. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 20 (2007) pp. 295-298.
208. Wróbel G., Pawlak S.: Ultradźwiękowe wyznaczanie lokalnej zawartości włókna w kompozytach żywiczno-szklanych. *Mat. Konf. Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne, Kompozyty 2006, Istebna - Gliwice, 12-14.09.2006*, s. 145-150.
209. Wróbel G., Pawlak S.: Ultrasonic evaluation of the fiber content in glass/epoxy composites. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. Vol. 18 (2006) pp. 187-190.
210. Wróbel G., Rojek M., Kaczmarczyk J.: Random simulating model of the fatigue process. *Proceedings of III International Conference on modern achievements of science and education, Izrael 2009*. pp. 41-43.
211. Wróbel G., Rojek M., Szymiczek M.: Numeryczna symulacja procesu zmęczenia kompozytu polimerowego z wykorzystaniem diagnostycznej techniki ultradźwiękowej. *Materiały XV Seminarium "Nieniszczące badania materiałów"*, 2009. s. 119-126.
212. Wróbel G., Stabik J., Rojek M.: Diagnostyka procesu degradacji kompozytów polimerowych. *Mat. Konf. Polimery i kompozyty konstrukcyjne, Ustroń 2008*. s. 133-142.
213. Wróbel G., Wierzbicki Ł., Pawlak S.: Ultrasonic quality evaluation method for polyester glass laminated materials. *Proceedings of the 11th International Scientific Conference on Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science, Gliwice – Zakopane 2005*. pp. 1040-1044.
214. Wróbel G., Wierzbicki Ł., Szymiczek M.: Wpływ wody morskiej na wytrzymałość laminatów epoksydowo – szklanych. *Materiały konferencyjne Achievements in Mechanical and Materials Engineering, Gliwice 2003*, s. 1053-1056.
215. Wróbel G., Wierzbicki Ł.: Starzenie laminatu poliestrowo – szklanego w warunkach stałego odkształcenia. *Postęp w przetwórstwie materiałów polimerowych. Praca Zbiorowa pod redakcją J. Koszkuła i E. Bociągi, Częstochowa 2006*. s. 317-322.
216. Wróbel G., Wierzbicki Ł.: Ultradźwięki w diagnostyce zmian wytrzymałości laminatów warunkach starzenia. *Materiały konferencyjne Achievements in Mechanical and Materials Engineering, Gliwice 2005*. s. 601-610.

217. Wróbel G., Wierzbicki Ł.: Ultrasonic methods in diagnostics of glass-polyester composites. Proceedings of the International Conference on Contemporary Achievements in Mechanics, Manufacturing and Materials Science, Gliwice 2006.
218. Wróbel G., Wierzbicki Ł.: Ultrasounds in the diagnosis of strength changes in laminates put in ageing conditions. Materiały konferencyjne Achievements in Mechanical and Materials Engineering, Gliwice 2005.
219. Wróbel G.: Badania nieniszczące elementów instalacji z materiałów polimerowych. Materiały konferencyjne Konferencji Naukowo Technicznej Sieci i Instalacje z Tworzyw Sztucznych, Istebna 2005. s. 67-75.
220. Wróbel. G., Wierzbicki Ł., Zboch M.: Ultradźwiękowe badania składu laminatu epoksydowo-szklanego. Materiały konferencyjne Konferencji Naukowo Technicznej Sieci i Instalacje z Tworzyw Sztucznych, Istebna 2005. s. 61-66.
221. Wypych G.: Handbook of Material Weathering. Chemtec Publishing. Netanya 2007.
222. Żenkiewicz M.: Polimery. WNT. Warszawa 2003.
223. Żenkiewicz O.C.: Metoda elementów skończonych. Arkady. Warszawa 1972.
224. Żuchowska D.: Polimery konstrukcyjne. Przetwórstwo i własności. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 1993.
225. Żuchowska D.: Polimery konstrukcyjne. WNT. Warszawa 1995.
226. <http://kms.polbud.pl/instrukcje.WM-cw11.pdf>
227. Projekt badawczy: Charakterystyki cieplne w diagnostyce stopnia degradacji starzeniowo – zmęczeniowej polimerowych kompozytów konstrukcyjnych metodą termowizyjną. Zakwalifikowany do sfinansowania w 2011 r.