

W ostatnich latach notuje się znaczny wzrost zainteresowania badaniami prowadzonymi w celu wyjaśnienia zjawisk fizycznych zachodzących na skutek kontaktu. Najwięcej tego rodzaju badań dotyczy zjawisk zachodzących w strukturach z uszkodzeniami typu kontaktowego. Do tego rodzaju uszkodzeń możemy zaliczyć między innymi uszkodzenia zmęczeniowe czy delaminacje. Pierwsze próby określenia mechanizmów powodujących nieliniowe zachowania materiałów na skutek kontaktu powierzchni/krawędzi uszkodzenia datuje się na wczesne lata 60-te. Już wtedy zaczęło interesować się nieliniowościami materiałowymi wynikającymi z niedoskonałości wiązań atomowych lub ich lokalnego braku, zwanego np. z mikropęknięciami. Znanymi zjawiskami doprowadzającymi w efekcie do opracowania pierwszych teorii związanych z dynamiką kontaktu. W ciągu ostatnich 15 lat zaczęło zajmować się zjawiskami związanymi z niesymetrycznymi, termo-elastycznymi zachowaniami generowanymi przez interakcje dynamiczne krawędzi uszkodzenia. Tego rodzaju nieliniowość należą do grupy nieliniowości lokalnych a ich analiza jest dużo bardziej złożona niż analiza nieliniowości globalnych. Wspomniane powyżej zjawiska mogą w rezultacie uaktywniać mechanizmy nieliniowe przejawiające się w postaci: generacji wyszczególnionych jak również sub- i super harmonicznych, „mieszaniu się” komponentów częstotliwościowych sygnału odpowiedzi (ang. Frequency mixing effect), przesuwaniu się częstotliwości rezonansowych ze wzrostem amplitudy wymuszenia, modulacji sygnału odpowiedzi, efektu „slow dynamics” i wielu innych. Pomimo wielu badań prowadzonych w tym zakresie, wciąż nie wyjaśniono do końca jakie mechanizmy fizyczne związane są z powyższymi nieliniowościami. Tabela 1. podsumowuje dotychczasowe badania nad zjawiskami nieliniowymi związanymi z występowaniem uszkodzenia.

Skala	Poziom odkształceń	Mechanizmy nieliniowe	Rodzaj nieliniowości	Przykłady materiałów
Atomowa	10^{-10} - 10^{-8}	Wewnętrzna nieliniowość elastyczna wynikająca z aharmoniczności potencjału międzyatomowego	Sprężystość	Homogeniczne ciała stałe
	$<10^{-8}$	Beztrarciowa i niehisterezowa lokalna dyssypacja związana ze sprzężeniem termoelelastycznym i gradientem temperatury	Dyssypacja	Szkło, miedź glass, cooper
Mezoskopowa		Lokalna zmienność sprężystości uszkodzenia wynikająca z czysto elastycznych (nie dyssypacyjnych i niehisterezowych) nieliniowości (tzw. Mechanizm kaskadowy)	Sprężystość Dyssypacja	Skaly
	Nieliniowość w sprężystości uszkodzenia, koncentracja naprężeń z powodu zerwania wiązań międzyatomowych	Sprężystość		
	Histerezowa charakterystyka odkształcenie-naprężenie, dyssypacja zależna od amplitudy	Sprężystość		
	Tarcie, adhezja	Dyssypacja Dyssypacja		
Makroskopowa	10^{-7} - 10^{-6}	Tarcie typu „Stick-slip” pomiędzy powierzchniami uszkodzenia	Dyssypacja Dyssypacja	Skaly, materiał metaliczne z uszkodzeniami zmęczeniowymi
	10^{-6} - 10^{-5}	Nieliniowości powodowane przez pęknięcie (zmiana wartości modułu sprężystości)	Dyssypacja	
		Kontakt pomiędzy powierzchniami uszkodzenia	Sprężystość	
	$> 10^{-6}$	Lokalna zmiana sztywności (przesunięcie częstotliwości)	Sprężystość Sprężystość	Skaly, materiały niejednorodne, ciała stałe ze szczelinami zmęczeniowymi
		Bi-liniowa sztywność (zamykanie – otwieranie szczeliny)	Sprężystość	
10^{-5} - 10^{-3}	Zjawisko „Clapping mechanism”	Sprężystość		
10^{-4} - 10^{-2}	Modulacja sygnału odpowiedzi spowodowana niedopasowaniem impedancyjnym	Dyssypacja		

Istnieją dwa główne problemy związane z analizą nieliniowych zjawisk dynamicznych będących efektem kontaktu. Pierwszy to mnogość proponowanych modeli oraz fakt, że podobne efekty nieliniowe mogą objawiać się w różny sposób i odwrotnie – różne nieliniowe mechanizmy mogą objawiać się w bardzo podobny sposób. Dla przykładu dyssypacja energii może być modelowana przy użyciu mechanizmów związanych z tarciem, histerezą w relacji naprężenie – odkształcenie oraz zjawiskiem termoelelastycznym. Z kolei histerezowa zależność pomiędzy odkształceniem a naprężeniem może wynikać ze sprężystości lub dyssypacji. Dodatkowo może być liniowa lub nieliniowa. Drugim problemem jest fakt, że istnieje wiele różnych dowodów eksperymentalnych związanych z tymi nieliniowymi mechanizmami. Bardzo trudno jest odseparować wszystkie te nieliniowe mechanizmy. Ważne jest również, że nieliniowości mogą pochodzić od innych elementów struktury, które nie są związane z uszkodzeniem. Mogą to być np. zjawiska tarcia w złaczach czy warunki brzegowe.

Celem niniejszego projektu jest analiza zjawisk fizycznych zachodzących w strukturach z nieliniowościami typu kontaktowego. Najważniejszą hipotezą badawczą, która zostanie potwierdzona/obalona jest teoria dotycząca sprężenia pola temperatur generowanego na skutek wymuszenia harmonicznego struktury z polem odkształceń. Badania prowadzone w ramach projektu doprowadzą do:

- Zbudowania teorii dotyczącej związku pomiędzy gradientem temperatury w okolicach szczeliny a polem odkształceń
- Poznania mechanizmów nieliniowych ujawniających się na skutek uszkodzenia typu kontaktowego oraz próby zdefiniowania rodzaju tych mechanizmów w zależności od rodzaju kontaktu.
- Opracowania metodologii i metodyki badań nad podobnymi zjawiskami fizycznymi

Poznanie ww. zjawisk jest bardzo ważne z dwóch powodów. Po pierwsze, wszystkie dotychczasowe badania w tym zakresie prowadzone są na podstawie hipotez stawianych jako wynik czystych badań nad tymi zjawiskami. Brak jest kompleksowej wiedzy obejmującej zarówno teorię, modelowanie numeryczne, badania eksperymentalne oraz walidację. Dodatkowo autorzy wniosku na podstawie wstępnych badań udowodnili, że istnieje związek pomiędzy polem temperatury a polem odkształceń w przypadku wymuszania uszkodzonej zmęczeniowo struktury wymuszeniem harmonicznym. Rezultaty prac zostały opublikowane

w prestiżowych czasopiśmie naukowych oraz były prezentowane na tematycznych konferencjach międzynarodowych. Po drugie, poznanie i analiza tych zjawisk doprowadziło do powstania wielu ciekawych i przydatnych metod detekcji uszkodzeń o charakterze kontaktowym. Obecnie, metody nieliniowe stosowane do detekcji i lokalizacji uszkodzeń są na etapie badań eksperymentalnych. Pomimo, że techniki te wykazują bardzo duży potencjał związany głównie z czułością na wystąpienie uszkodzenia kontaktowego, brak jest spójnych procedur określających przeprowadzenie testów. Kolejnym problemem jest brak jednolitej teorii pozwalającej na separację nieliniowości związanych z uszkodzeniem od nieliniowości wynikających z budowy struktury (np. nieliniowości materiałowych).