

„Monitorowanie kompozytów włóknistych przy pomocy światłowodowych siatek Bragga na światłowodach dwójłomnych”

Głównym celem rozprawy była możliwość efektywnego wykorzystania zintegrowanych siatek Bragga na światłowodzie o wysokiej dwójłomności (HB FBG) do pomiaru odkształceń na etapie wytwarzania oraz eksploatacji kompozytów i konstrukcji kompozytowych wzmacnianych włóknami ciągłymi. **Celem aplikacyjnym** z kolei było zaprezentowanie sposobów wykorzystania czujników HB FBG w dwóch wybranych współczesnych technologiach polimerowych, a mianowicie resin transfer molding (RTM) and automated tape layup (ATL).

Przyjęto tezę, iż zaproponowana generacja czujników HB FBG umożliwi monitorowanie procesów wytwarzania kompozytów z matrycą duroplastyczną oraz termoplastyczną, pozwoli na pomiar złożonego stanu odkształceń, w tym wewnątrz struktury kompozytu, zarówno w warunkach obciążenia quasi-statycznego jak również zmiennego w czasie

Uznano, iż osiągnięcie celów pracy i udowodnienie tezy rozprawy, wymagało **podjęcia następujących zadań o znaczeniu kluczowym**:

- Wytworzenie układu pomiarowego ze światłowodem dwójłomnym typu side-hole (SH) na który wpisano siatkę Bragga,
- Zastosowanie czujników światłowodowych typu HB FBG do monitorowania kinetyki procesu wytwarzania kompozytów technologią RTM oraz badania kompozytów w warunkach zginania,
- Zastosowywanie czujników HB FBG w zakresie monitorowania kompozytu wytworzonego metodą ATL.

Dokonano przeglądu stanu wiedzy głównie z zakresu monitorowania kompozytów wzmocnionych włóknami, stosowanych do tego czujników i technik ich integracji. W literaturze przedmiotu podkreśla się, iż anizotropowość kompozytów, różnorodność technologii ich wytwarzania, złożone warunki eksploatacji powodują, iż ocena żywotności, dalszej przydatności i przewidywania awarii w strukturach kompozytowych jest wyzwaniem dla systemów monitorowania. Dlatego widoczny jest trend do tworzenia dedykowanego strukturalnego monitorowania (SHM) procesu wytwarzania kompozytów oraz późniejszej eksploatacji konstrukcji kompozytowych. Wiadomo przy tym, iż zaawansowane systemy SHM składają się z czujników rozmieszczonych zarówno na powierzchni jak i wewnątrz kompozytu, co wymaga ich integracji z kompozytem. Ponieważ integracja odbywa się na etapie produkcyjnym, można czujniki również wykorzystać do monitorowania procesu technologicznego. Istnieje wiele rodzajów czujników, które mogą być używane do monitorowania SHM. Przeanalizowano dokładniej literaturę przedmiotu dotyczącą czujników światłowodowych, które są w stanie mierzyć odkształcenie, monitorować różne fazy procesu produkcyjnego, a ich kształt i rozmiar umożliwiają zintegrowanie ich ze strukturą bez uszczerbku dla właściwości mechanicznych kompozytu. Spośród różnych rodzajów czujników światłowodowych za szczególnie przydatne w badaniach kompozytów uważane są fiber Bragg grating (FBG), w tym także i te ostatnio rozwijane typu HB FBG. Przeprowadzona analiza literatury ułatwiła w rezultacie sformułowanie programu badań własnych z uwzględnieniem aktualnego state of the art.

Przeprowadzono następnie badania własne. Pierwsza część dotyczyła wytworzenia układu pomiarowego ze światłowodem dwójłomnym. Pozyskano niezbędny światłowod i wpisano nań siatki Bragga przy użyciu techniki maski fazowej. Działania te możliwe były dzięki wsparciu dwóch ośrodków naukowych w Lublinie i w Warszawie. Następnie wyznaczono czułość wytworzonego czujnika HB FBG, co wymagało budowy oryginalnego stanowiska badawczego i oprogramowanie wspomagającego. Do kalibracji wytworzonego czujnika wykorzystano znane parametry czujnika komercyjnego. W rezultacie wykazano pełną przydatność układu pomiarowego z oryginalnym czujnikiem HB FBG do

pomiaru odkształceń przy obciążaniu czujnika wzdłuż jego długości i w poprzek średnicy oraz o czułości na odkształcenia poprzeczne znacznie większej jak w czujnikach na włóknie komercyjnym.

Druga część dotyczyła zastosowania czujników światłowodowych typu HB FBG do monitorowania kinetyki procesu wytwarzania kompozytów na osnowie duroplastycznej technologią RTM oraz badania otrzymanych w ten sposób kompozytów w warunkach zginania. Na wstępie niezbędne było zbadanie wpływu ściskania występującego w formie stalowej do RTM na czujnik zagrzebany we włóknie wzmacniającym i ocenienie możliwej degradacji widma odbicia. W kolejnym kroku zbadano kinetykę utwardzania kompozytu w czasie procesu RTM przez identyfikację punktu żelowania, oraz wyznaczenia złożonego stanu odkształceń w następstwie procesu utwardzania żywicy. Wytworzone w ten sposób kompozytowe płyty były następnie badane w warunkach zginania, w celu wykazania możliwości pomiaru odkształceń w badaniach quasi-statycznych. Wykazano w rezultacie, iż zagrzebane czujniki HB FBG mogą służyć do monitorowania procesu technologicznego RTM oraz pomiaru odkształceń kompozytów wykonanych tą metodą.

Trzecia część dotyczyła zastosowania czujników HB FBG do monitorowania kompozytu na osnowie termoplastycznej wytworzonego metodą ATL. Zadanie wymagało najpierw oceny wpływu temperatury procesu i siły nacisku rolki na właściwości pomiarowe czujników FBG. Następnie zmierzono stan odkształceń resztkowych w płaszczyźnie płyty kompozytowej i w kierunku prostopadłym, zarówno w trakcie nakładania kolejnych warstw kompozytu jak i po zakończeniu procesu. Możliwa była zatem obserwacja kumulowania się odkształceń w trakcie procesu ATL. Dodatkowo przeprowadzono pomiar odkształceń w warunkach obciążeń cyklicznych. Wykazano możliwość wykorzystania czujników HB FBG do badania zmiany sztywności materiału oraz pomiaru pola pętli histerezy mechanicznej, co pozwala badać lokalnie proces zmęczenia struktur kompozytowych.

W części końcowej rozprawy sformułowano wnioski i uwagi oraz wskazano kierunki dalszych badań.