

## STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Macieja Cichockiego

### **pt. „Badania nad identyfikacją parametrów lotu rakiety poprzez pomiary pola ciśnienia na korpusie w czasie rzeczywistym”**

przygotowanej pod kierunkiem

dr hab. inż. Jana Kindrackiego, prof. uczelni (promotor)

oraz dr inż. Dariusza Sokołowskiego (promotor pomocniczy)

Przedmiotem pracy jest analiza możliwości zastosowania pomiarów ciśnienia na korpusie rakiety do identyfikacji wybranych parametrów lotu. Spośród standardowo stosowanych w lotnictwie czujników nie znaleziono odpowiedniego dla zastosowania w obiektach poruszających się tak szerokich zakresach prędkości, kątów natarcia, ślizgu i na tak zmiennych wysokościach jak rakiety.

Głównym założeniem pracy jest możliwość odwzorowania istotnych z punktu widzenia optymalnego sterowania wartości kąta natarcia i ślizgu, a także prędkości lotu i ciśnienia barometrycznego. W celu udowodnienia tezy zaproponowano metodę pomiarów ciśnień w dyskretnych na korpusie i dobrano do niej odpowiedni schemat układu. Opracowano układ pomiarowy, który zainstalowano na pokładzie pocisku raketowego. Zbudowano pełną bazę rozkładu ciśnień na korpusie pocisku w oparciu o metody obliczeniowej mechaniki płynów, które następnie posłużyły do kalibracji pełnego zakresu lotu rakiety. Wykonano badania tunelowe na modelu nosa i części korpusu pocisku w naddźwiękowym reżimie prędkości, aby ocenić przydatność tych danych w procesie kalibracji oraz zweryfikować wyniki pól ciśnień otrzymanych z analiz numerycznych dla przepływu na dużych kątach natarcia. Rozwinięto algorytm obliczeniowy, właściwy wybranemu układowi punktów pomiarowych oraz zweryfikowano jego możliwości w odniesieniu do realnych scenariuszy użycia na pokładzie rakiety. W podsumowaniu uzyskanych rezultatów udowodniono prawidłowość przeprowadzonego procesu i uzyskanych wyników prac pośrednich. W badaniach w locie zmierzono punktowo pole ciśnień na korpusie pocisku, a następnie odwzorowano przebieg kątów toru lotu. Uzyskane wyniki bardzo dobrze odwzorowały oczekiwane rezultaty w porównaniu z danym z sensora bezwładnościowego. Uzyskana średnia kwadratowa błędów (RMSE) wskazania opracowanego sensora podczas realizacji rzeczywistego scenariusza lotu wersją poddźwiękową rakiety wyniosła  $0,386^\circ$  dla kąta natarcia i  $0,313^\circ$  dla kąta ślizgu.

W pierwszym rozdziale przedstawiono motywację autora i kontekst pracy na tle czujników pomiarowych w pociskach raketowych. W rozdziale drugim zaprezentowano przegląd literatury, gdzie omówiono metody pomiarów stosowane w lotnictwie. Szczególny nacisk położono na układy typu FADS, które nie były stosowane dotychczas w technice raketowej. W wybranym przypadku użycia na rakiecie Wojskowego Instytutu Technicznego Uzbrojenia aplikacja bezpośrednia układu FADS prezentowanego w literaturze nie była możliwa. Dalsza część pracy traktuje o możliwości jej dostosowania. W trzecim rozdziale postawiono tezę pracy i omówiono jej główne cele. W czwartym rozdziale omówiono metody badawcze, które wykorzystano do uzyskania wyników. Omówiono także sposób modelowania numerycznego CFD, badań tunelowych, a także konstrukcję, dobór układu pomiarowego i przedstawiono podwaliny do rozwoju algorytmu. Zwrócono uwagę na aspekty praktyczne prowadzonej badań i zauważone trudności w procesie konstrukcji, badań i kalibracji. Istotne dla autora rozprawy było to, aby wypracowany w pracy tok postępowania był możliwy do reprodukcji w jak najwyższym stopniu dla kolejnych rakiet, a rozprawa stanowiła także swoistą instrukcję wstępnego projektowania rakiet.

W rozdziale piątym zaprezentowano uzyskane wyniki prowadzonego procesu symulując przebiegi ciśnień w lotach naddźwiękowym i poddźwiękowym. Bardzo ważną częścią rozprawy było sprawdzenie działania układu w środowisku rzeczywistym. Dokonano tego na podstawie badań w locie rakiety poddźwiękowej z zainstalowanym czujnikiem. Przedstawiono odczyty, porównano z symulowanymi przebiegami i uzyskano wysoką zgodność wartości eksperymentalnych z danymi numerycznymi. Wpływ naturalnych częstotliwości, szumów i zakłóceń wprowadzanych na sensor na drodze od odczytu do zapisu przez cały tor komunikacji był istotnym testem dla stabilności pracy algorytmu.

W podsumowaniu omówiono uzyskane rezultaty i wskazano plany na przyszłość rozwoju systemu w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia.