

ASPEKTY ROZWOJU KONSTRUKCJI PODUSZKOWCÓW W RAMACH PROGRAMU REALIZOWANEGO W INSTYTUCIE LOTNICTWA W LATACH 1998–2008

Janina Dąbrowska, Mirosław Ptaszyński
Instytut Lotnictwa

Streszczenie

Omówienie trendu rozwoju konstrukcji poduszkowców opracowanych w Instytucie Lotnictwa w latach 1998–2008 na podstawie wyników badań przeprowadzonych na poduszkowcach z zastosowaniem zespołów o różnych rozwiązaniach konstrukcyjnych.

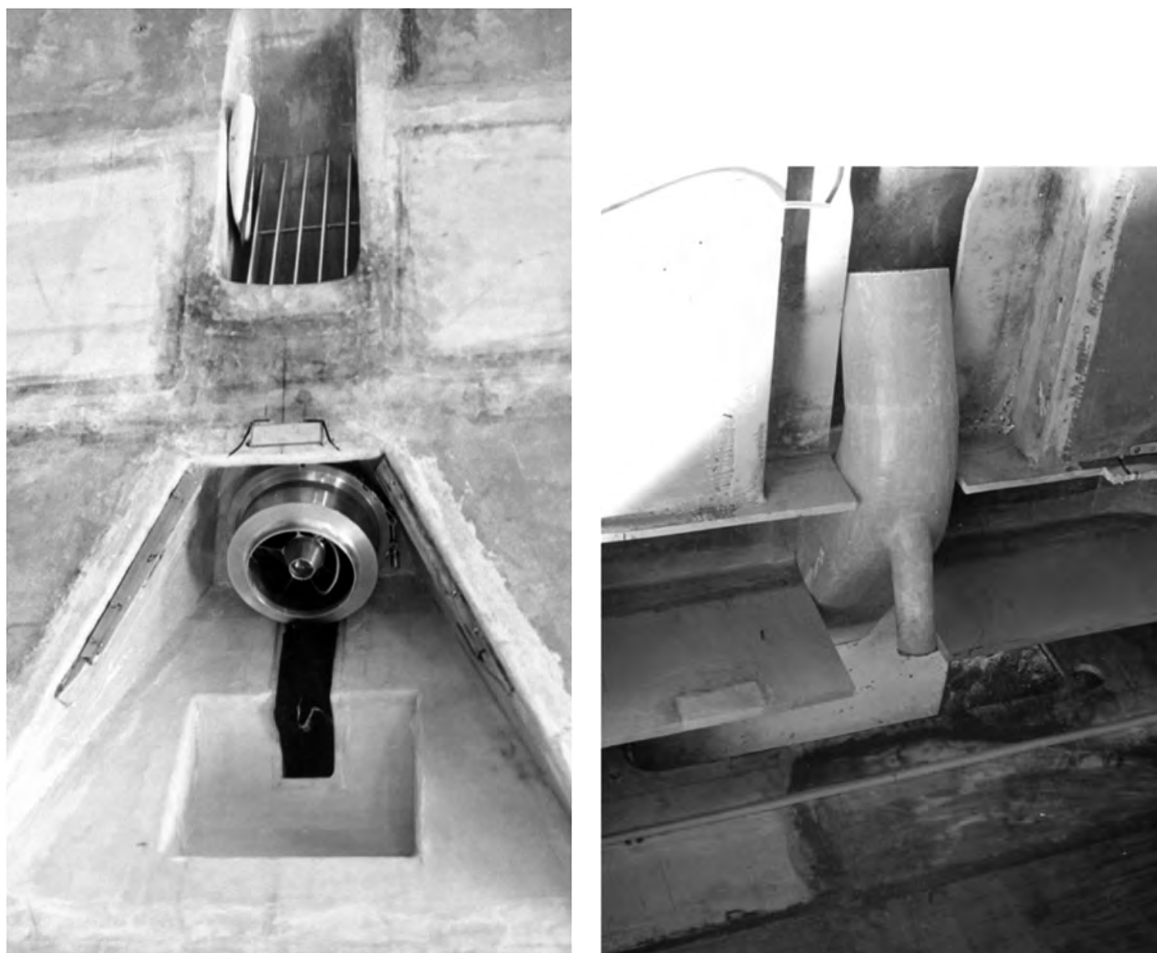
W ramach programu budowy poduszkowców w Instytucie Lotnictwa trwającego w latach 1998–2008 została zaprojektowana i wykonana seria poduszkowców ratowniczo-patrolowych. Poduszkowce typu PRP–560 uzyskały certyfikat Polskiego Rejestru Statków i jako produkt rynkowy zostały sprzedane kilku klientom, głównie jednostkom ratownictwa wodnego.

Poduszkowce typu PRP–560 [1] były jednostkami przystosowanymi do przewozu 5 osób, z jednostką napędową w postaci silnika samochodowego GM Holden 2,0 l DOHC, masie własnej 1100 kg, ze sterami pionowymi i poziomymi i zdolnością pokonywania przeszkód o wysokości do 30 cm.

Ten typ pojazdu został dobrze przebadany w ramach badań własnych producenta w trakcie wyjazdów zimowych na pokrywach lodowych i śnieżnych na dużych zbiornikach wodnych (Jezioro Śniardwy, Zalew Zegrzyński k/W-wy, Zalew Siemianówka), a także latem na wodzie i terenach mieszanych, bagiennych i innych.

W wyniku uwag dostarczanych na bieżąco od użytkowników tych pojazdów w ich konstrukcji dokonywano stosownych poprawek i wprowadzano pewne modernizacje. Nie zmieniały jej one w sposób zasadniczy, a jedynie poprawiały osiągi, własności eksploatacyjne i żywotność urządzenia [2].

W 2005 roku w ramach projektu celowego zostały zakończone prace nad nowym typem poduszkowca PRC–600C, nazywanego „Cichym”, pod kierownictwem mgr. inż. Mirosława Ptaszyńskiego (głównego konstruktora). Wprowadzone zmiany konstrukcyjne polegały głównie na zastosowaniu niezależnego napędu strumieniowego (pędnika hydrodynamicznego), który miał zapewnić możliwość cichego pływania w warunkach portowych lub w akcjach specjalnych. Tego typu rozwiązanie w założeniach miało łączyć zalety poduszkowca z walorami tradycyjnej łodzi wypornościowej.



Rys. 1. Pędnik w poduszkowcu PRC-600 (z lewej – widok od spodu kadłuba, z prawej – zabudowany od strony kabinowej)

Prototyp poduszkowca PRC-600 został przebadany na wodzie, na Wiśle latem 2005 roku. Badania te wykazały prawidłowe działanie pędnika, natomiast okazało się, że w niewielkim stopniu poprawiał on manewrowość poduszkowca w stosunku do pracy urządzenia przy klasycznym rozwiązaniu i wentylatorze „marszowym” pracującym na niskich obrotach (rzędu 2500–3000 obr/min). Spodziewany zysk na zmniejszeniu stopnia hałasu też był stosunkowo niewielki, gdyż wentylator i tak musiał działać w celu takiego wypełnienia fartucha, aby unieść go nad powierzchnię wody, aby uniknąć zakłócenia pracy pędnika. Z tego względu zaniechano dalszych prac w tym kierunku.

Podjęto natomiast intensywniejsze prace nad rozwiązaniem zagadnienia opracowania systemu „odwracania ciągu” w poduszkowcu, który umożliwiłby jazdę „wstecz”. Ponieważ system ten jest przedmiotem zgłoszonego patentu więc zasada jego działania zostanie omówiona w sposób mocno uproszczony. Został on zastosowany na kolejnej wersji poduszkowca PRP-C600 „Sawia”.



Rys. 2. Poduszkowiec PRP-C600 „Sawia” w trakcie badań na Zalewie Zegrzyńskim

System ten składał się z odpowiednio ukształtowanego otunelowania wentylatora marszowego, współpracujących z nim odchylanych sterów pionowych i płyt odwracacza ciągu. Ponadto poduszkowiec wyposażony był w trymery poziome, o powierzchni zwiększonej w stosunku do wersji poprzednich.



Rys. 3. System „odwracacza ciągu” na poduszkowcu PRP-C600 „Sawia” w trakcie badań

O ile badań i informacji na temat poduszkowców PRP-560 jest wiele, co też zostało kilkakrotnie ujęte w postaci odpowiednich sprawozdań i publikacji [1], to poduszkowiec „Cichy”, był prze-testowany w znacznie mniejszym stopniu, a poduszkowiec PRP-C600 „Sawia” w sposób metodyczny, ze stosownymi pomiarami właściwie tylko raz w warunkach zimowych na zamrożonym Zalewie Zegrzyńskim, a wyniki tych badań nie zostały dotąd upublicznione, a cały program zamknięty.

Z tego względu wydaje się wskazane zebranie i omówienie tych wyników, co pozwoli na wy-ciągnięcie odpowiednich wniosków wskazujących w jakim kierunku warto i należałoby dalej rozwijać konstrukcje poduszkowców typu PRP (ratowniczo-patrolowych).

Badania przeprowadzono w lutym 2006 roku na lodzie pokrytym zleżałym i zmrożonym śnie-giem. Celem badań było głównie określenie skuteczności i jakości sterowania poduszkowcem z systemem odwracacza ciągu i jego wpływu na manewrowość poduszkowca.

Badanie dynamiki poduszkowca przeprowadzili pracownicy Zakładu Awioniki i Elektrotechniki i Integracji Systemów Instytutu Lotnictwa według ustalonego programu [3].

ZAŁOŻENIA I WARUNKI PRZEPROWADZONYCH BADAŃ NA PODUSZKOWCU PRP-C600 „SAWIA”

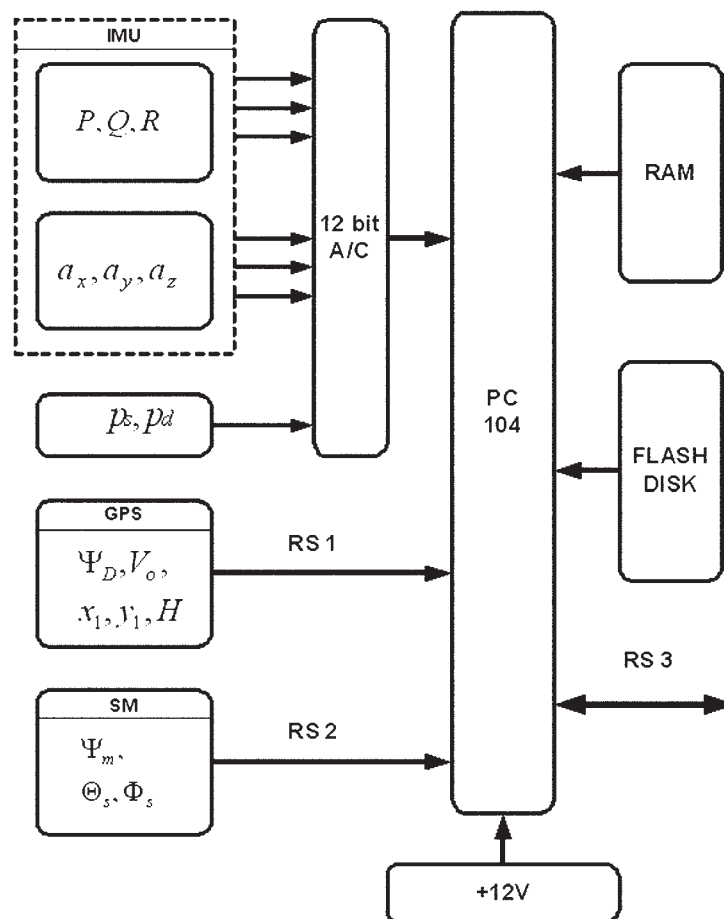
Na pokładzie poduszkowca mierzono podstawowe parametry ruchu takie jak: prędkości kątowne, przyspieszenia liniowe, orientację kątową. Dokonywano też opisu stanu pracy silnika (obr/min) i położenie urządzeń sterowych, a także filmowano niektóre z wykonywanych manewrów. Pomiarów dokonywano za pomocą systemu pomiarowego, który został adoptowany z samolotu bezpilotowego CHR-CP i odbiornika Lassen LP GPS firmy Trimble.



Rys. 4. Zdjęcie aparatury wewnątrz poduszkowca PRP-C600 „Sawia”

Podstawowy system pomiarowo-rejestrujący (schemat na rysunku poniżej) umożliwił jednoczesny pomiar i rejestrację następujących parametrów:

- trzech ortogonalnych składowych prędkości kątowych w układzie obiektu (P, Q, R),
- trzech ortogonalnych składowych przyspieszeń liniowych (a_x, a_y, a_z),
- siły (F),
- kąta drogi (Ψ_D),
- prędkości podróżnej (V_D),
- współrzędnych geograficznych (x_1, y_1),
- wysokości bezwzględnej (H),
- kursu magnetycznego (Ψ_m),
- kątów pochylenia i przechylenia (Θ_s, Φ_s).



Rys. 5. Schemat podstawowego systemu pomiarowego

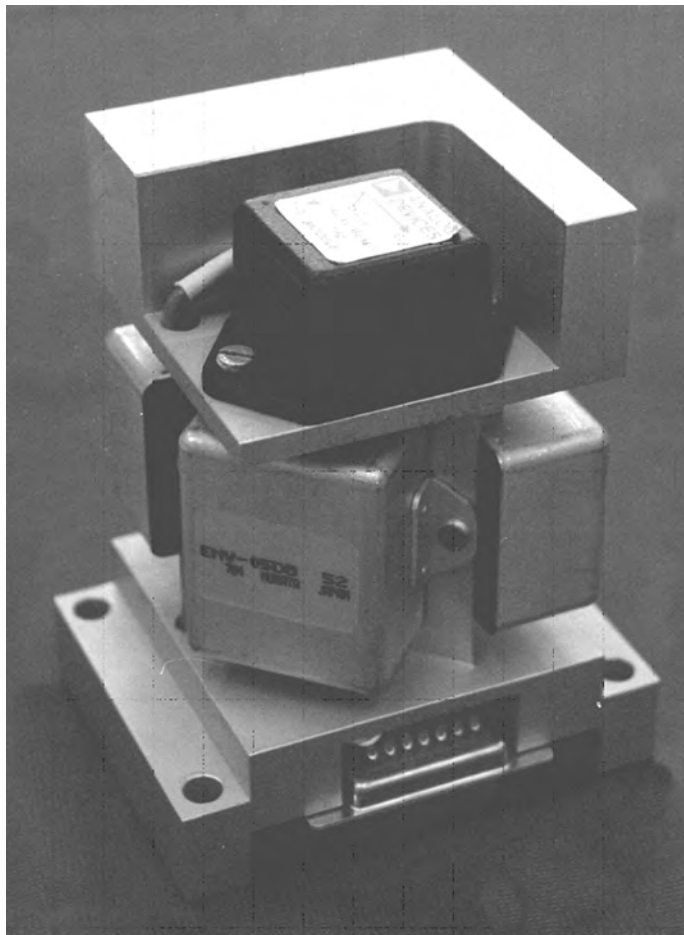
Pomiar prędkości kątowych (P, Q, R) realizowany jest za pomocą trzech giroskopów wibracyjnych typu ENV-05 firmy Murata. Zakresy pomiarowe tych giroskopów wynoszą ± 80 . Dokładność pomiaru oszacowano na $0.1 \div 0.3$ deg/s. Pomiaru przyspieszeń liniowych dokonano za pomocą krzemowych czujników typu ADXL-05 firmy Analog Devices przy zakresie pomiarowym ± 5 g i z dokładnością około 0,05g.

Czujniki giroskopowe prędkości kątowej i czujniki przyspieszeń liniowych zabudowane są w jeden zespół w sposób zapewniający zachowanie wzajemnie prostopadłych osi pomiarowych. Zespół ten jest ponadto izolowany termicznie od otoczenia w celu zwiększenia stabilności termicznej oraz zamocowany jest na amortyzowanej podstawie ograniczającej wpływ wibracji na pracę układu. Taki zespół tworzy inercjalny układ pomiarowy zwany w literaturze IMU (Inertial Measurement Unit).

Do pomiaru prędkości obiektu względem powietrza zaopatrzonego w czujnik ciśnienia dynamicznego, a do pomiaru wysokości dodano czujnik ciśnienia statycznego.

Powyżej wymienione czujniki pomiarowe (7 szt.) dołączono do karty 12-bitowych przetworników analogowo-cyfrowych przez filtry antyaliasingowe. Częstotliwość filtrów dla przyspieszeniomierzy i czujników ciśnienia ustalono na 5 Hz, a dla giroskopów na 20 Hz. Filtry wykonano jako filtry analogowe, aktywne. Częstotliwość próbkowania została ustalona na poziomie 50 Hz.

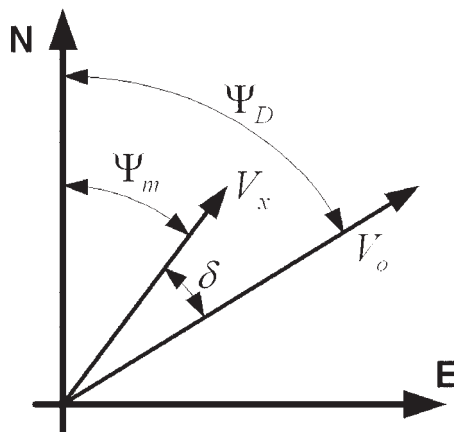
Pomiary analogowe wymienione wyżej z przetwarzaniem na cyfrę stanowią jedno z trzech źródeł informacji, które są następnie przetwarzane i rejestrowane. Drugim źródłem jest odbiornik nawigacji satelitarnej GPS. W opisywanym systemie zastosowano moduł Lassen LP GPS firmy Trimble. Za pomocą łącza szeregowego RS 1 z odbiornika tego przekazywane są informacje do przelicznika o współrzędnych położenia (x_1, y_1, H), kącie drogi (Ψ_D) i prędkości podróży (V_o). Częstotliwość zbierania tych danych wynosi 1 Hz.



Rys. 6. Układ giroskopów i przyśpieszeniomierzy, IMU (Inertial Measurement Unit)

Trzecim źródłem informacji jest sonda magnetyczna, która mierzy kurs magnetyczny (Ψ_m) oraz za pomocą przetworników elektrolitycznych przybliżone wartości kątów pochylenia i przechylenia (Θ_s, Φ_s). Informacje z sondy również za pomocą łącza szeregowego RS 2 z częstotliwością 10 Hz są przesyłane do przelicznika.

W roli przelicznika zastosowano modułowy komputer typu PC-104. W przeliczniku tym następuje złożenie wszystkich zmierzonych parametrów. Może być również uruchomiony program skalowania tych wielkości z uwzględnieniem oszacowanych błędów oraz program przetwarzania na potrzebne wielkości. Typowo wielkościami przetwarzanymi są kąty orientacji, parametry pilotażowe (kąt dryfu δ) i dane nawigacyjne.

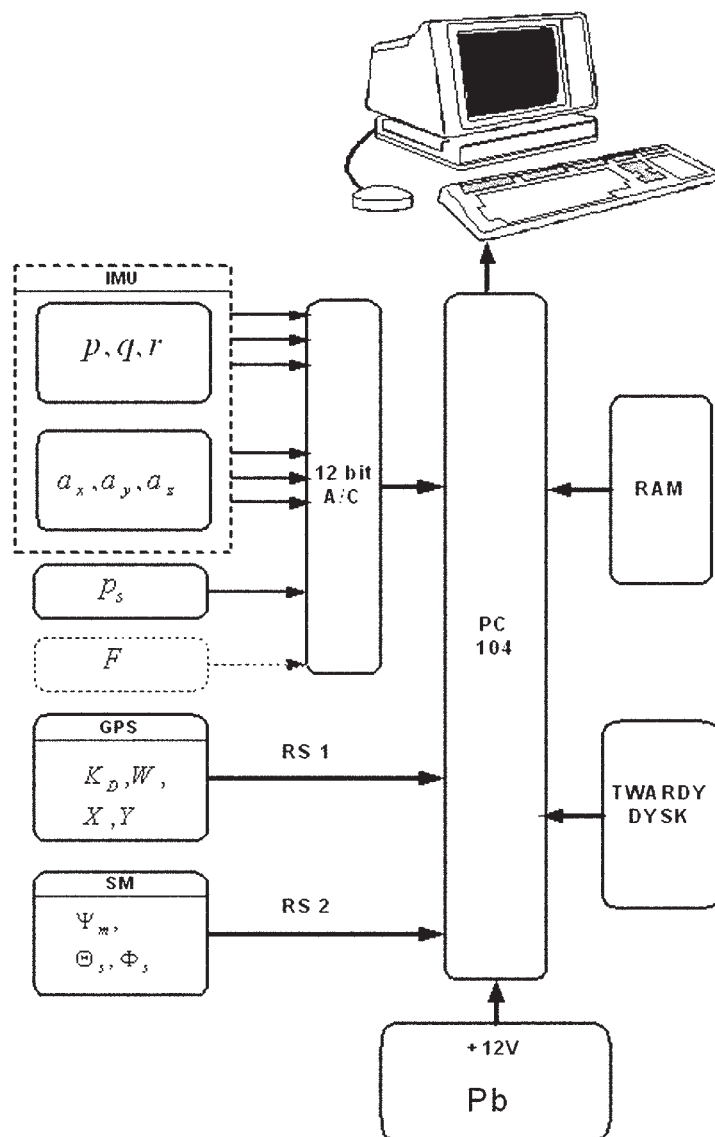


Rys. 7. Pomiar kąta dryfu (δ), kąta drogi (Ψ_D), kąta kursu (Ψ_m) i wektora prędkości podróźnej (V_0)

Zarówno bezpośrednio zmierzone wielkości, jak i przetworzone są rejestrowane w pamięci przelicznika RAM, a po zakończonej próbie po kompresji przepisywane do pamięci FLASH, a następnie łączem szeregowym RS 3 zapisane dane mogą zostać przepisane do przenośnego komputera. Cały system zasilany jest napięciem 12 V.

Powyżej przedstawiony system został specjalnie dostosowany do potrzeb pomiarowych na pokładzie poduszkowca (schemat poniżej). Najważniejsze zmiany w stosunku do systemu podstawowego (pracującego na bezzałogowym samolocie) to:

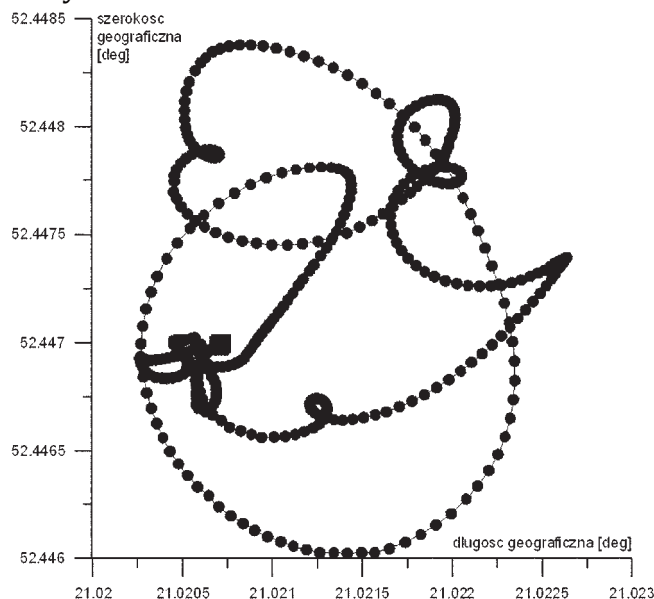
- rezygnacja z pomiaru ciśnienia dynamicznego,
- wprowadzenie toru pomiaru siły,
- zastosowanie dużych akumulatorów ołowiowych, o dużej pojemności
- praca bezpośrednio na twardym dysku, (rejestracja)
- wykorzystanie monitora (podgląd mierzonych wartości) jak i klawiatury w trakcie prowadzenia badań.



Rys. 8. Schemat zmodyfikowanego systemu pomiarowego na poduszkowcu

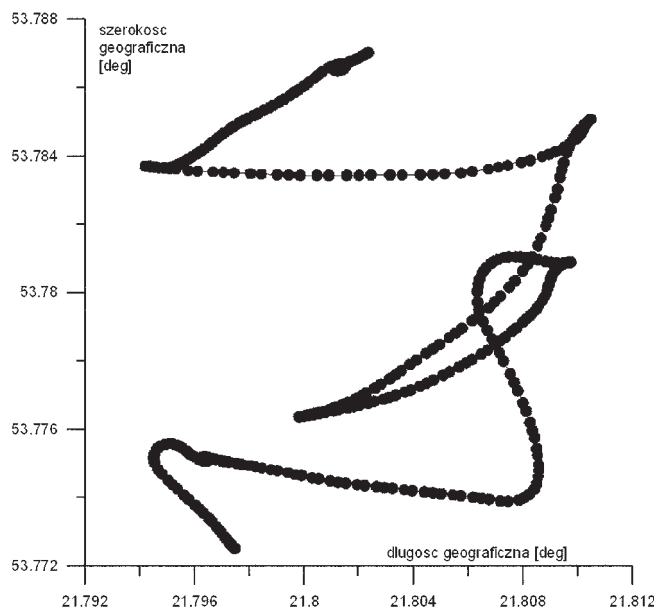
Pomiarów wartości siły (F) dokonuje się za pomocą potencjometrycznego czujnika siły o zakresie 800 N. Czujnik ten pozwala na rejestrowanie wartości siły zewnętrznej oddziałującej na poduszkowiec i rejestrację pozostałymi czujnikami zachowania się poduszkowca. Takie pomiary pomocne są przy identyfikacji modelu poduszkowca, np. do określenia momentu bezwładności.

Na rysunku 9 przedstawiono wykres trajektorii ruchu poduszki PRP-C600 „Sawia” we współrzędnych geograficznych.



Rys. 9. Trajektorja ruchu poduszki PRP-C600 „Sawia” na powierzchni zamrożonego jeziora (rejestracja z prób na Zalewie Zegrzyńskim 23.02.06)

Dla porównania na rysunku 10 przedstawiono wykres trajektorii ruchu poduszki typu PRP-560 we współrzędnych geograficznych wykonany w podobnych warunkach, w trakcie badań wykonanych na powierzchni zamrożonego Jeziora Śniardwy.



Rys. 10. Trajektorja ruchu poduszki PRP-560 na powierzchni zamrożonego Jeziora Śniardwy (rejestracja w dniu 11.03.04)

WNIOSKI

Badania poduszki PRP-C600 „Sawia” wykazały bardzo dobrą skuteczność sterów pionowych, a działanie mechanizmu odwracania ciągu prawidłowe, dające ruch „wsteczny” przy średnich obrotach silnika (ok. 4000 obr/min).

Analiza wykresów w niezwykle spektakularny sposób wskazuje w jakim stopniu system odwracacza ciągu wpłynął na wzrost zdolności manewrowej poduszki „Sawia” w porównaniu do typu PRP-560.

Jest to możliwe dzięki wykorzystaniu, działających niezależnie od siebie, płyt bocznych „odwracacza”. Ich przydatność uwidacznia się zwłaszcza przy manewrowaniu w trudnym terenie przy niewielkiej prędkości lub w miejscu. Próby skrętu i obrotu w miejscu przeprowadzono za pomocą tylko sterów pionowych wspomaganych otwartą płytą „odwracacza”. Jest to zdecydowanie bardziej skuteczne i umożliwia obrót praktycznie w miejscu nawet na bardzo śliskiej powierzchni, co dla poduszkowców jest niezwykle trudnym zadaniem do wykonania.

Bardzo istotną zaletą jest też fakt, że użycie obu płyt „odwracacza” jednocześnie pozwala na bardzo skuteczne hamowanie poduszkowca w trakcie jazdy „na wprost”. Ułatwia to precyzyjne podejście do celu i znakomicie poprawia sterowność pojazdu. Przy obu otwartych płytach „odwracacza” możliwe jest także nieruchome „stanie” na poduszce powietrznej.

Warto wspomnieć, że w trakcie tych badań przeprowadzone były pomiary hałasu zewnętrznego i w kabinie poduszkowca Sawia, które wykazały, że jest on porównywalny do emitowanych przez poduszkowce innych produkcji w tej samej klasie.

Bez względu na to czy Instytut Lotnictwa powróci jeszcze do tematu poduszkowców należy zaznaczyć, że rozwiązania konstrukcyjne zastosowane w zakresie „odwracaczy ciągu” są godne kontynuowania i dalszego rozwijania.

***W artykule wykorzystano dane z badań przeprowadzonych przez
dra inż. Stanisława Popowskiego i mgr. inż. Piotra Masłowskiego na poduszkowcu
PRP-C600 „Sawia” w 2006 r.***

LITERATURA

- [1] *Poduszkowce Instytutu Lotnictwa*. Praca zbiorowa pod redakcją J. Dąbrowskiej. Prace Instytutu Lotnictwa 2004, nr 1(176).
- [2] **Szafran K., Kończak J.:** *Przegląd poduszkowców Instytutu Lotnictwa*.
- [3] *Identyfikacja podstawowych charakterystyk dynamicznych ruchu poduszkowca i analiza możliwości wyposażenia go w aktywny układ poprawy stabilności i sterowności kierunkowej*. Sprawozdanie BO nr BO2/PK/03/52.

J. Dąbrowska, M. Ptaszyński

REGARDS OF HOVERCRAFT STRUCTURE PROGRESS WITHIN IOA 1998-2008 PROJECT

Abstract

Overview of IoA hovercrafts design development according the project at 1998–2008, based on results of experiments over hovercrafts with different construction devices.