

**Edward Chlebus, Tomasz Boratyński,
Damian Opozda, Paweł Roczniak**

Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny, Instytut Technologii Maszyn i Automatyzacji, CAMT
50-370 Wrocław, ul. Łukasiewicza 5
e-mail: camt@camt.pl

Jan Bokszczanin, Tomasz Kruk

Korporacja Wschód Sp. z o.o.
04-703 Warszawa, ul. Pożaryskiego 28
e-mail: biuro@korporacjawschod.pl

Tomasz Stencel, Maciej Sajkowski

Politechnika Śląska
Wydział Elektryczny, Katedra Energoelektroniki, Napędu Elektrycznego i Robotyki
44-100 Gliwice, ul. B. Krzywoustego 2
e-mail: tomasz.stencel@polsl.pl; maciej.sajkowski@polsl.pl

**PROJEKT, BADANIA I WYKONANIE
DEMONSTRATORA ZINTEGROWANEGO
SYSTEMU KIEROWANIA AKCJĄ
WYTWORZONEGO TECHNOLOGIAMI
RAPID MANUFACTURING**

STRESZCZENIE

W artykule zaprezentowano wyniki projektu, którego celem były prace badawczo-rozwojowe nad opracowaniem i przetestowaniem w warunkach laboratoryjnych i morskich modelu zintegrowanego systemu kierowania akcją (ZSKA). Wytworzony za pomocą technologii Rapid Manufacturing demonstrator ZSKA wraz z opracowanym oprogramowaniem specjalistycznym zintegrowano z gyro-stabilizowanym morskim systemem monitoringu i innymi urządzeniami nawigacyjnymi statku. ZSKA jest w pełni funkcjonującym systemem, stwarzającym ogromne możliwości prowadzenia prac nad zaprojektowaniem, skonstruowaniem i wdrożeniem jednego lub kilku modeli prototypowych systemów wspomagających sprawowanie nadzoru nad różnymi obszarami, zarówno w zakresie bezpośredniej obserwacji, jak i wspomagania procesu decyzyjnego.

Słowa kluczowe:

systemy bezpieczeństwa, systemy wizyjne, projektowanie, CAD, technologie szybkiego prototypowania.

WSTĘP

W artykule zaprezentowano wyniki projektu, którego celem było opracowanie i przetestowanie w warunkach laboratoryjnych i morskich wytworzonego za pomocą innowacyjnych technologii Rapid Manufacturing (technologii szybkiego prototypowania) modelu zintegrowanego systemu kierowania akcją (ZSKA) oraz modelu oprogramowania specjalistycznego, integrującego ten system z girostabilizowanym morskim systemem monitoringu i innymi urządzeniami nawigacyjnymi statku.

Do zasadniczych zadań realizowanych przez szeroko pojmowane morskie systemy monitoringu należą poprawa bezpieczeństwa żeglugi morskiej oraz ochrona środowiska naturalnego na obszarach morskich. Sprawne wykonywanie tych zadań wymaga gromadzenia, przetwarzania i dystrybucji aktualnych danych o sytuacji w strefie własnej odpowiedzialności, zgodnie z posiadanymi przez poszczególne służby nadzoru obszarów morskich kompetencjami. Analiza wykonanych na tej podstawie opracowań umożliwia ostrzeganie o zagrożeniach i przekazywanie informacji dotyczących bezpieczeństwa morskiego w celu zapobiegania wypadkom morskim i zagrożeniom ekologicznym oraz sprawne podejmowanie działań w przypadku ich zaistnienia, w tym: wspomaganie akcji poszukiwawczo-ratowniczych, wspomaganie akcji zwalczania zanieczyszczeń, wspomaganie procesu decyzyjnego lub reagowania na zagrożenia niestandardowe, wspomaganie zarządzania bezpieczeństwem oraz wspomaganie dochodzeń powypadkowych i wykrywania sprawców zanieczyszczeń poprzez wykorzystanie systemów śledzenia, identyfikacji i archiwizacji danych.

Jednostką centralną ZSKA jest wielofunkcyjny panel operatorski TDS-84 ze specjalistycznym oprogramowaniem, dzięki któremu możliwa jest realizacja następujących funkcji:

- sterowanie głowicą optoelektroniczną stanowiącą autonomiczne źródło informacji wizyjnej dla jednostki pływającej; głowica może być sterowana zarówno w trybie zautomatyzowanym, jak i ręcznym;
- dokonywanie kalkulacji czasowo-przestrzennych wspomagających prace nawigatorskie;
- integracja ZSKA z urządzeniami pokładowymi jednostki pływającej, takimi jak GPS, busola, MRU (czujnik kołysania jednostki pływającej);
- przyjmowanie informacji o wykrytych obiektach (współrzędne tych obiektów) z radaru pokładowego;

- przyjmowanie informacji z innych systemów zewnętrznych o aktualnej sytuacji na morzu, takich jak na przykład system mapy elektronicznej;
- wyświetlanie obrazów z kamery światła widzialnego oraz kamery termowizyjnej, a także wyników pomiarów odległości do wykrytych obiektów za pomocą dalmierza laserowego.

ZSKA jest wyposażony w rejestrator umożliwiający archiwizację obrazu, na którym pracuje operator, w czasie rzeczywistym. Wyjście sygnałów wizyjnych z rejestratora zapewnia przesyłanie zobrazowania na zewnętrzny monitor umożliwiający podgląd aktualnej sytuacji przez inne osoby pracujące na jednostce pływającej. ZSKA ma też zespół konwerterów umożliwiających jego współpracę z urządzeniami i systemami zewnętrznymi, w tym współpracę w zakresie wymiany danych obejmujących aktualną sytuację w rejonie będącym przedmiotem zainteresowania jednostki ratowniczej. Demonstrator ten umożliwia ponadto przesyłanie do głowicy optoelektronicznej sygnałów sterowania z aparatów zewnętrznych. W zależności od potrzeb mogą to być:

- joystick, do sterowania głowicą optoelektroniczną;
- przycisk dalmierza laserowego, umożliwiający wykonywanie pomiarów odległości do obserwowanych obiektów;
- potencjometr sterowania odległością podświetlacza laserowego pracującego na rzecz niskozakresowego systemu aktywno-impulsowego.

ANALIZA KONSTRUKCYJNA I FUNKCJONALNA ZINTEGROWANEGO SYSTEMU KIEROWANIA AKCJĄ (ZSKA) POD KĄTEM TECHNOLOGII WYTWARZANIA

Należało kompleksowo sprawdzić demonstrator systemu ZSKA wraz z pulpitem sterowniczym w warunkach rzeczywistych. Kaszubski Dywizjon Straży Granicznej w Gdańsku i Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa w Gdyni udostępniły kilka jednostek, na których możliwe było zainstalowanie i przetestowanie systemu ZSKA. Wizja lokalna jednoznacznie wykazała, że najlepszy do przeprowadzenia badań będzie „Kapitan Poinc”.

Na jednostce wskazano potencjalne lokalizacje zarówno dla pulpitu operatora, jak i głowicy optoelektronicznej, która była wykorzystywana jako podstawowe źródło informacji w systemie podczas badań na morzu. Głównym ograniczeniem przy doborze miejsca instalacji głowicy była konieczność wykorzystania istniejącej infrastruktury bez możliwości wykonywania dodatkowych otworów montażowych.

**BADANIA NIEZAWODNOŚCI KOMPONENTÓW I PODZESPOŁÓW
SYSTEMU Z WYKORZYSTANIEM METOD MES I CFD.
OPTIMALIZACJA KONSTRUKCJI
NA PODSTAWIE UZYSKANYCH WYNIKÓW**

Na podstawie założeń koncepcyjnych zamodelowano w środowisku CAD kilkanaście różnych rozwiązań pulpitu z systemem uchwytów/relingów, z których — po wcześniejszym przedstawieniu w systemie wirtualnej rzeczywistości — wybrano dwa modele (rys. 1.), najlepiej odpowiadające z punktu widzenia ergonomii przyszłemu środowisku pracy.

W celu przeprowadzenia wirtualnej prezentacji modele CAD zaimportowano do programu EON Studio. W programie zostały nałożone odpowiednie kolory, a na ekrany wyświetlaczy nałożono tekstury. W drzewie symulacji EON ustawiono kolor światła padającego na model. Dodatkowo ustawiono port widzenia, definiując zakres, w którym wirtualny obiekt będzie widoczny w prostokątnym układzie współrzędnych. Do oglądania obrazów 3D wymagane są aktywne okulary (migawkowe) typu DLP Link.

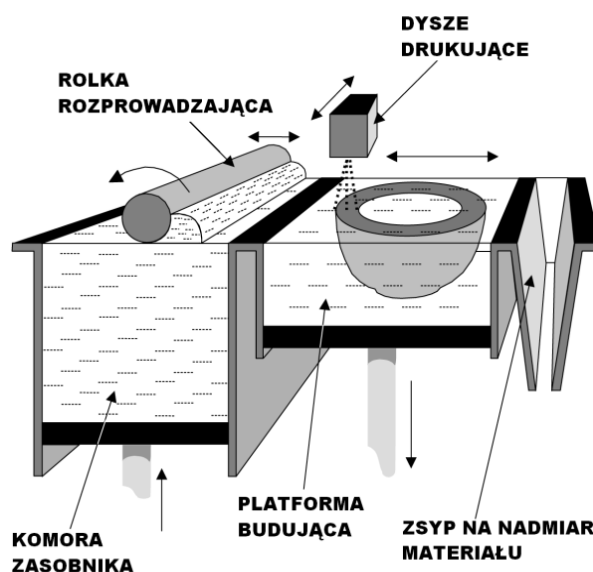


Rys. 1. Wybrany model wirtualny pulpitu sterowania oraz jego prototyp fizyczny

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będza, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczanin, T. Kruk, T. Tyszka, T. Stencel, M. Sajkowski, Projekt, badania i wykonanie demonstratora Zintegrowanego Systemu Kierowania Akcją Ratowniczą z wykorzystaniem technologii Rapid Manufacturing, raport serii SPR, Wrocław 2012.

Wirtualna prezentacja pozwoliła na dokładne i szczegółowe przedstawienie załódze modeli i ich komponentów. Aby jednak przybliżyć przyszłym użytkownikom efekt wprowadzonych zmian, wykonano dwa prototypy demonstratorów ZSKA

w technologii druku przestrzennego wraz ze zoptymalizowanymi uchwytami, dodatkowo do jednego z prototypów dodając funkcję regulacji (dostosowania pulpitu do operatora). Użyto do tego celu technologii addytywnej 3D Printing (urządzenie Spectrum Z510, rys. 2.), która w krótkim czasie pozwala uzyskać modele pokazowe o praktycznie dowolnym kształcie ograniczonym wielkością przestrzeni roboczej. Zasada wytwarzania tą metodą opiera się na warstwowym spajaniu materiału w postaci proszku (skrobia, proszek celulozowo-gipsowy, proszki ceramiki) za pomocą trójbarwnego i przezroczystego spoiwa (lepiszcza) nanoszonego przez głowicę drukującą. Modele budowane są poprzez nakładanie około 2–4 warstw/min o grubości od 0,089 do 0,203 mm. Modele w celu uzyskania większej wytrzymałości zostały utwardzone poprzez przesycenie materiału żywicą epoksydową, a następnie obrobione (łączenie, szlifowanie, malowanie).



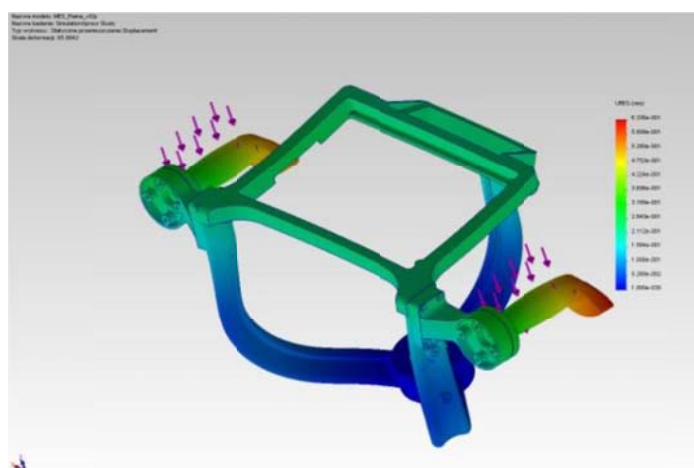
Rys. 2. Schemat urządzenia do generatywnego wytwarzania

Źródło: M. Rusińska, G. Ziółkowski, E. Chlebus, *Application of innovative manufacturing technologies in surgical planning*, International Conference 'Production Engineering 2011', Wrocław, 30.06 — 01.07.2011.

Uwzględniając charakterystykę obciążenia pulpitu (jednostka ratunkowa podczas akcji w trakcie sztormu), należało wykonać obliczenia wytrzymałościowe MES konstrukcji nośnej przy warunku kilkukrotnego chwilowego obciążenia pochodzącego od operatora w trakcie użytkowania. Konstrukcja nośna z elementów aluminiowych powinna być lekka, a zarazem zaprojektowana z kilkukrotną wartością

współczynnika bezpieczeństwa. Przeprowadzono zatem obliczenia MES wstępnych koncepcji nośnych pulpitu sterowania, na podstawie których dobrano kształt i przekroje elementów składowych konstrukcji tak, aby uzyskać relatywnie niską masę konstrukcji przy jednoczesnym zachowaniu założonego współczynnika bezpieczeństwa. Konstrukcje nośne wykonano ze stopu aluminium 1060.

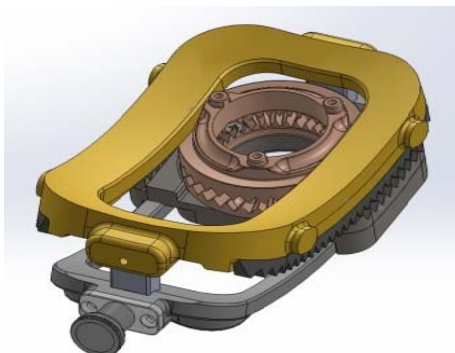
Konstrukcję stelażu poddawano wielokrotnym obliczeniom optymalizującym, których diagramy pokazano na rysunku 3. Ostatecznie za najlepsze rozwiązanie uznano konstrukcję w formie zwartej, wykonanej ze stopu aluminium, w której od wspornika rozchodzą się trzy ramiona, zapewniające swobodny dostęp do wszystkich części wewnętrznych pulpitu. Zwieńczeniem górnym jest rama mocowania wyświetlacza i klawiatury. Po bokach konstrukcji zaplanowano montaż uchwytów dla operatora. Te miejsca są najbardziej narażone na odkształcenia, ale dzięki temu przenoszą obciążenia w strefę ramion, nie deformując przestrzeni wewnętrznej pulpitu. Tu należało również zweryfikować konstrukcję uchwytów tak, aby spełniały wymagania wytrzymałościowe.



Rys. 3. Model MES stelażu pod obciążeniem

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będza, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczanin, T. Kruk, T. Tyszka, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

Zaprojektowano ponadto mechanizm obrotowy (rys. 4.), którego zadaniem jest optymalne położenie części górnej pulpitu zgodnie z preferencją użytkownika. Ważne było, aby rozwiązanie zapewniało swobodę pozycjonowania w dwóch kierunkach: obrót względem osi pionowej i poziomej.

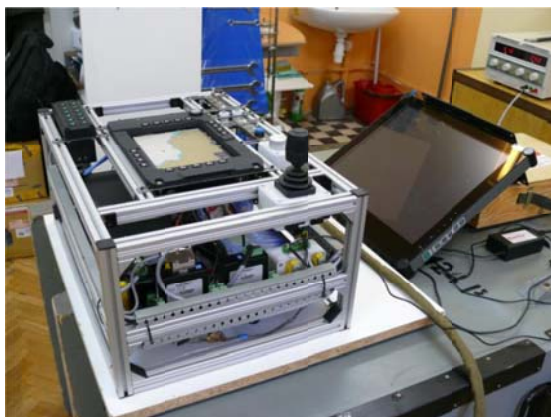


Rys. 4. Mechanizm obrotowy

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będzka, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczyński, T. Kruk, T. Tyszczyk, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

WYKONANIE PODZESPOŁÓW SYSTEMU ZSKA, BADANIA WYTRZYMAŁOŚCIOWE I FUNKCJONALNE DEMONSTRATORÓW

Aby zrozumieć istotę usytuowania poszczególnych elementów składowych pulpitu ZSKA (rys. 5.), tj. monitora TDS, klawiatury, dżojstików itp., zaprojektowano aluminiowy stelaż, na którym zamontowano komponenty ZSKA. Rozmieszczono je zgodnie z wytycznymi przyszłych użytkowników.



Rys. 5. Stelaż pulpitu sterowania wraz z oprzyrządowaniem

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będzka, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczyński, T. Kruk, T. Tyszczyk, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

Ze względu na to, iż docelowe, ergonomiczne rozmieszczenie elementów nie jest znane, stelaż zaprojektowano tak, aby w czasie badań możliwa była jego szybka rekonfiguracja w celu znalezienia optymalnego rozmieszczenia elementów, oszacowania minimalnego gabarytu pulpitu operatorskiego, sposobu upakowania przewodów elektrycznych, a także przeanalizowania procesu montażu i serwisu.

Model rzeczywisty stelaża posłużył do przeprowadzenia testów funkcjonalnych (sterowanie girostabilizowaną głowicą optoelektroniczną, odbiór informacji z sensorów zainstalowanych w tej głowicy oraz ich zobrazowywanie zarówno na wielofunkcyjnym monitorze wchodzącym w skład pulpitu operatora, jak i na monitorze zewnętrznym), na podstawie których określono nowe założenia konstrukcyjne.

WYKONANIE DEMONSTRATORA ZSKA

Uchylno-obrotowa głowica, wybrana do dalszych prac, umożliwia operatorowi zmianę położenia ekranu, dzięki czemu następuje polepszenie warunków obserwacji ekranu monitora przy zmiennym oświetleniu. Kolejną zaletą takiego rozwiązania jest możliwość zmiany usytuowania względem innych członków załogi, co polepsza warunki do wzajemnej wymiany informacji.

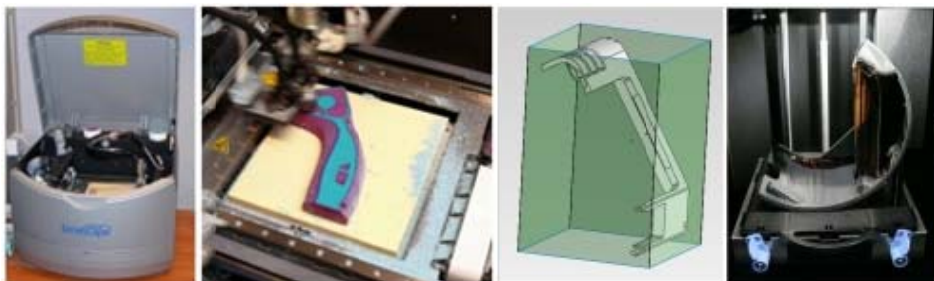
Wersja ostateczna stała się podstawą do opracowania konstrukcji pulpitu sterowania zgodnie z technologią wykorzystywaną w Laboratorium Szybkiego Rozwoju Produktu LRPD Politechniki Wrocławskiej. Na rysunku 6. przedstawiono najważniejszy widok konstrukcji 3D CAD pulpitu oraz jego fizyczną wersję — demonstrator.



Rys. 6. Widok izometryczny pulpitu sterującego:
po lewej model CAD, po prawej model rzeczywisty

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będza, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczanin, T. Kruk, T. Tyska, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

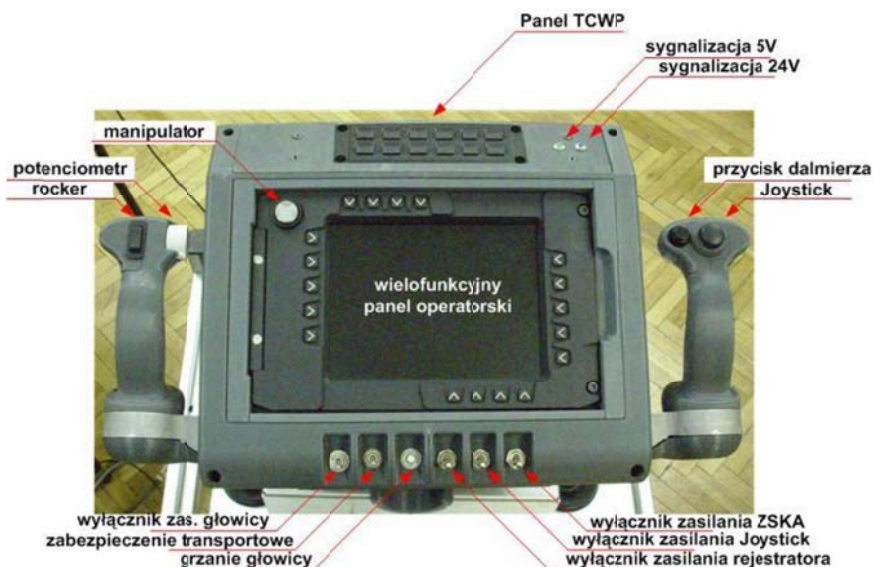
Zastosowanie technologii szybkiego prototypowania znacząco skróciło czas rozwoju demonstratora, tj. czas od momentu pojawienia się pomysłu do wykonania modelu rzeczywistego, co w przypadku konwencjonalnych technologii wytwórczych trwałoby znacznie dłużej [2].



Rys. 7. Wybrane przykłady wytwarzania części pulpitu sterowniczego

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będa, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczyński, T. Kruk, T. Tyszka, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

Model demonstratora ZSKA został wykonany zgodnie ze wstępnie przyjętą koncepcją (rys. 8.), dopracowaną w szczegółach podczas prac analitycznych i prób funkcjonalnych przeprowadzonych z wykorzystaniem konstrukcji przejściowych [3].



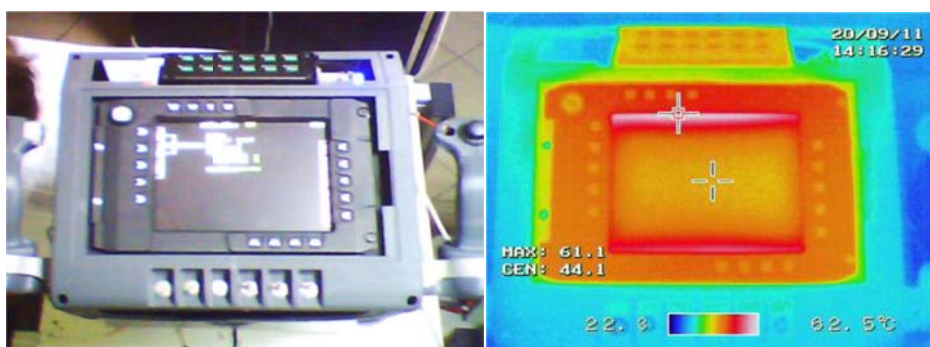
Rys. 8. Opis rozmieszczenia poszczególnych elementów funkcjonalnych pulpitu sterowniczego

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będa, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczyński, T. Kruk, T. Tyszka, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

BADANIA LABORATORYJNE I LĄDOWE

Przed badaniami właściwymi (tj. w warunkach morskich) przeprowadzono symulację sygnałów urządzeń pokładowych na mobilnym stanowisku laboratoryjnym, wykonano pomiary temperatury różnych obszarów pulpitu sterowania systemu ZSKA (rys. 9.) oraz przeprowadzono analizę stanów logicznych w protokołach transmisji danych pomiędzy TDS-84 i wszystkimi współpracującymi z TDS urządzeniami.

Celem tych pomiarów było określenie miejsc najbardziej rozgrzewających się podczas pracy systemu. Uzyskane wyniki zostały wykorzystane do opracowania systemu wentylacji pulpitu operatora ZSKA. System przewidywany jest do wykorzystywania podczas nieprzerwanej wielogodzinnej pracy i musi być zabezpieczony przed przegrzaniem, które może spowodować jego niekontrolowane zawieszenie się, wyłączenie lub awarię.



Rys. 9. Rozkład temperatur na płycie czołowej wielofunkcyjnego monitora TDS-84

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będa, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczanin, T. Kruk, T. Tyszka, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

BADANIA MORSKIE DEMONSTRATORA

Po zainstalowaniu i uruchomieniu całego systemu zjustowano symulator urządzeń pokładowych ze wskazaniem rzeczywistych urządzeń zainstalowanych na jednostce pływającej (kompas, żyrobosola i GPS). Dodatkowo do ZSKA podłączono symulację przyrządu przekazującego dane o przechyłach i przegłębieniach jednostki pływającej (jednostka pływająca, na której przeprowadzono badania nie ma na swoim wyposażeniu tego typu sprzętu). W ramach badań przeprowadzono testy i próby obserwacji z wykorzystaniem systemu ZSKA (rys. 10.).



Rys. 10. Obraz widoku obiektu (pracownik na rusztowaniu) w skali normalnej, widok z kamery termograficznej i obraz z kamery termograficznej w powiększeniu maksymalnym

Źródło: E. Chlebus, T. Boratyński, T. Będza, D. Opozda, P. Rocznik, P. Krowicki, M. Rusińska, J. Kurzac, M. Olejarczyk, J. Bokszczanin, T. Kruk, T. Tyszka, T. Stencel, M. Sajkowski, wyd. cyt.

PODSUMOWANIE

Wykonane próby morskie pozwoliły zauważyć, że przyjęta do realizacji koncepcja zintegrowanego systemu kierowania akcją charakteryzuje się bardzo rozległą funkcjonalnością. Pozwala to na stworzenie załozce jednostki ratowniczej możliwości bezpośredniego dostępu do kompleksowej informacji o sytuacji w rejonie działań na morzu. Zasób zgromadzonej oraz zobrazowywanej przez ZSKA informacji, która jest dostępna bez specjalnych ograniczeń dla wszystkich zainteresowanych osób funkcyjnych jednostki ratowniczej, pozwala na znaczne ograniczenie konieczności dokonywania uzgodnień słownych i wzajemnego przekazywania sobie informacji cząstkowych.

Niestety, rozległa funkcjonalność okupiona została bardzo dużą ilością informacji przetwarzanej przez jednostkę centralną systemu, czyli moduł operatorski ZSKA, oraz koniecznością wykonywania dużej ilości czynności manualnych, co wymaga dalszych prac badawczo-rozwojowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Chlebus E., Boratyński T., Będza T., Opozda D., Rocznik P., Krowicki P., Rusińska M., Kurzac J., Olejarczyk M., Bokszczanin J., Kruk T., Tyszka T., Stencel T., Sajkowski M., *Projekt, badania i wykonanie demonstratora Zintegrowanego Systemu Kierowania Akcją Ratowniczą z wykorzystaniem technologii Rapid Manufacturing*, raport serii SPR, Wrocław 2012.
- [2] Chlebus E., Boratyński T., Dybała B., Frankiewicz M., Kolinka P., *Innowacyjne technologie Rapid Prototyping — Rapid Tooling w rozwoju produktu*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.

- [3] Chlebus E., Boratyński T., Dybała B., *Zastosowanie technologii generatywnych w projektowaniu i wytwarzaniu*, [w:] *CAD systems and technologies: systems — equipment — proces*, Kraków 2008.
- [4] Rusińska M., Ziółkowski G., Chlebus E., *Application of innovative manufacturing technologies in surgical planning*, International Conference ‘Production Engineering 2011’, Wrocław, 30.06 — 01.07.2011.

DESIGN, TESTING AND IMPLEMENTATION AN INTEGRATED RESCUE COMMAND SYSTEM MANUFACTURED USING INNOVATIVE RAPID MANUFACTURING TECHNOLOGIES

ABSTRACT

This paper contains project results. The project goal was to research, develop and test (in laboratory and sea conditions) an Integrated Rescue Command System (IRCS) functional model. IRCS, manufactured using innovative Rapid Manufacturing technologies, along with specialized software that was also developed were integrated with gyro-stabilized Sea Monitoring System and other ship navigation devices. IRCS functional model that was developed is a fully operational system that creates opportunity to design, manufacture and implement one or several prototype multi-area supervision systems intended for both direct monitoring and aiding decision process.

Keywords:

security systems, vision systems, mechanical design, CAD, rapid prototyping technologies.