

dr hab. inż. st. of. pokł. Lucjan Gucma
dr inż. st. of. pokł. Maciej Gucma
mgr Robert Terczyński
inż. Bartosz Muczyński

Badanie głowic laserowych w warunkach laboratoryjnych celem określania ich przydatności do systemu PNDS

słowa kluczowe: PNDS, system dokujący, dokowanie statku, dalmierze laserowe

W artykule zaprezentowano wstępne wyniki badań laserowych modułów pomiaru odległości wchodzących w skład systemu PNDS (Pilot Navigation and Docking System) stworzonego w ramach POIG (Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka) w Akademii Morskiej w Szczecinie. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych oraz rzeczywistych, jakie mogą panować w trakcie pracy systemu. Porównano moduły laserowych dalmierzy cyfrowych dostępnych na rynku cywilnym. Przedstawiono analizę statystyczną porównującą dokładność dalmierzy laserowych wykorzystanych w przedprototypie systemu PNDS.

Wstęp

System pomiaru odległości składający się z dalmierzy laserowych stanowi kluczowy element modułu pomiarowego w systemie PNDS [3]. Jako podstawowe źródło informacji o odległości statku od nabrzeża, głowice muszą gwarantować zarówno odpowiednią dokładność wskazań jak i niezawodność pracy w różnych warunkach pomiarowych. Jak wykazały badania, dalmierze laserowe mogą różnić się znacząco między sobą nie tylko w obrębie modeli różnych producentów, lecz także pomiędzy dwoma modelami jednej marki i z jednej serii [2]. W świetle otrzymanych wyników niezbędnym staje się przeprowadzenie dokładnej analizy dostępnych dalmierzy przed ich wykorzystaniem w ramach komercyjnego produktu.

W ramach badań istniejącego przedprototypu przeprowadzono testy na pięciu głowicach:

1. Głowice 01, 02 – dalmierze laserowe LD-301, producent: Jenoptic;
2. Głowica 03 – dalmierz laserowy ILM-500, producent: MDL;
3. Głowice 04, 05 – dalmierze laserowe LD90-3300, producent: Riegl.

Metodologia badań

Badania podzielono na dwa etapy. Etap pierwszy obejmował pomiary w pomieszczeniu zamkniętym przy natężeniu światła słonecznego poniżej 2000 lx. Warunki różnicowano ze względu na:

1. Odległość (liczona od frontu głowicy do powierzchni pomiarowej) dokładność pomiaru +/-2mm:
 - a. 5 metrów,
 - b. 20 metrów,
 - c. 100 metrów.
2. Kąt nachylenia płaszczyzny, dokładność pomiaru +/-0.1°:
 - a. 0°,
 - b. 10°,
 - c. 30°.
3. Rodzaj powierzchni:
 - a. Blacha aluminiowa,
 - b. Powierzchnia biała, matowa,
 - c. Powierzchnia czarna, połyskowa.

Etap drugi sprawdzał dokładność pomiarów w warunkach rzeczywistych przy natężeniu światła słonecznego powyżej 20 000 lx i obejmował badania:

1. Symulowanego opadu atmosferycznego na odległości 20 metrów, dla trzech różnych powierzchni odbicia i przy kącie pochylecia 0°.
2. Dynamicznej zmiany kąta nachylenia powierzchni pomiarowej nad powierzchnią wody.
3. Bezpośredniego odbicia promieni słonecznych w kierunku soczewki lasera (próba refleksyjności).

Z każdej dziesięciominutowej serii pomiarowej zostały pobrane równoliczne próby, które posłużyły do przeprowadzenia analizy statystycznej. Odrzucane zostały serie przy których laser nie zarejestrował poprawnej odległości na skutek zbyt słabej siły sygnału zwrotnego bądź też z powodu podwójnego odbicia od powierzchni mierzonej [4].

Z powodu niezdałwalności testów na jednorodność wariancji nie można było skorzystać z procedury analizy wariancji (ANOVA) do porównania skuteczności dalmierzy. Przy analizie porównawczej kierowano się różnicami wartości parametrów rozrzutów i odchyłeń standardowych oraz znormalizowanymi rozkładami zmiennej mierzonej.

Wyniki analizy

Wyniki analizy statystycznej pokazują jednoznacznie, że głowice cechujące się największą dokładnością (czyli najmniejszymi wartościami rozrzutów i odchyłeń standardowych) są jednocześnie najbardziej zawodne przy pomiarach w zróżnicowanych warunkach. Na 27 laboratoryjnych serii pomiarowych aż 7 z nich zostało odrzuconych w przypadku głowic 01 i 02, cechujących się największą dokładnością wskazań. Te dwa dalmierze są jednocześnie najbardziej podatne na wpływ opadów atmosferycznych – lekki deszcz spowodował średnio 20-krotne pogorszenie wartości rozrzutów i odchyłeń standardowych względem pomiarów laboratoryjnych na tej samej odległości.

Odwrotną tendencję zaobserwowano w przypadku dalmierzy marki Riegl. Nie wykazano znaczących zmian wskaźników statystycznych w trakcie opadów, a z pomiarów laboratoryjnych odrzucono tylko 2 serie pomiarowe dla głowicy 05 i 3 serie dla głowicy 04. Natomiast wartości rozrzutów i odchyłeń standardowych są znacząco wyższe niż w modelach marki Jenoptic i potrafią sięgać od 20 do 600 milimetrów.

Głowica 03 nie przeszła 7 prób laboratoryjnych. W pozostałych uzyskała dokładność zbliżoną do głowic laserów marki Riegl.

Zestawienie podstawowych charakterystyk przedstawiono w tabeli nr 1.

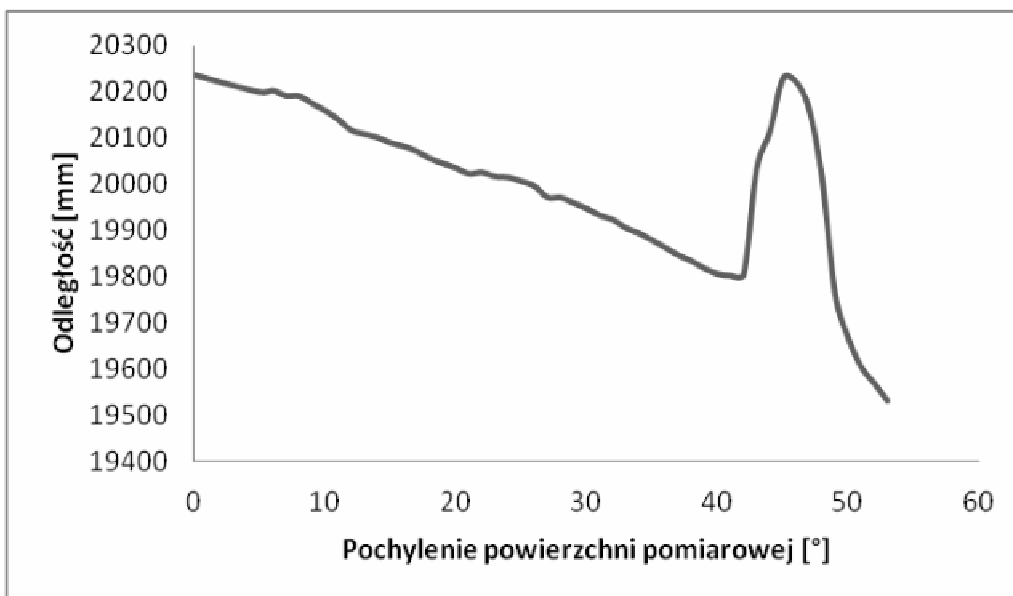
Spośród wszystkich badanych warunków najwyższą dokładność i skuteczność pomiaru uzyskano na odległości 20 metrów. Powierzchnia biała sprawdziła się, jako gwarantująca poprawne odbicie na każdej badanej konfiguracji odległości i kąta nachylenia. Najtrudniejszymi okazały się pomiary przy odległości 100 metrów, kącie nachylenia 30° oraz przy użytej czarnej powierzchni.

Żadna z głowic nie przeszła pomyślnie testów przy opadzie symulującym ulewny deszcz. Próbę refleksyjności przeszły najlepiej głowice 04 i 05, rejestrując poprawnie wartości odległości od powierzchni białej oraz od powierzchni czarnej. Głowice 01 oraz 03 poradziły sobie tylko w warunkach odbicia od powierzchni białej.

Pomiary przy dynamicznej zmianie kąta pochylenia powierzchni mierzonej nad powierzchnią wody wykazały, że każda z głowic rejestruje poprawną odległość do kąta około 40°. Powyżej tej wartości obserwowane jest podwójne odbicie i nagły wzrost wartości odległości [Rys. 1].

Tabela 1. Zestawienie wartości rozrzutów oraz odchyłeń standardowych dla głowic 01-05.
Wyniki podane w milimetrach.

			01 - Jenoptic		02 - Jenoptic		03 - ILM		04 - Riegl		05 - Riegl	
			roz.	od.st.	roz.	od.st.	roz.	od.st.	roz.	od.st.	roz.	od.st.
5m	0st	bl	8	1,33	25	3,96	100	15,87	0	0,00	20	6,80
		pb	12	2,16	38	6,69	70	11,57	100	12,65	20	0,83
		pc	11	1,65	53	7,34	80	10,73	200	44,94	40	1,43
	10st	bl	17	2,88	60	10,86	120	16,66	0	0,00	20	3,46
		pb	14	2,24	47	7,63	100	12,50	50	11,71	20	3,55
		pc	0	0,00	0	0,00	0	0,00	500	97,24	20	7,16
	30st	bl	119	11,43	224	18,36	210	35,81	50	11,04	20	5,98
		pb	14	2,51	51	8,92	90	14,79	0	0,00	40	2,74
		pc	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	174,47	40	10,05
20m	0st	bl	7	1,07	20	3,32	140	25,37	250	40,66	20	9,97
		pb	12	1,99	32	4,18	140	20,38	50	1,89	40	2,48
		pc	10	1,87	24	3,73	120	18,68	0	0,00	40	8,83
	10st	bl	8	1,38	25	3,84	140	21,52	200	38,13	20	6,50
		pb	9	1,50	25	4,10	140	24,57	0	0,00	20	2,68
		pc	70	11,58	544	86,56	1E+08	#####	100	4,97	40	5,43
	30st	bl	17	2,40	40	6,48	160	24,45	700	251,32	40	3,90
		pb	8	1,41	26	4,22	160	22,52	0	0,00	20	7,68
		pc	0	0,00	7408	#####	0	0,00	100	17,05	40	8,92
100m	0st	bl	8	1,35	22	3,66	570	78,26	250	39,25	20	4,44
		pb	12	1,93	33	5,61	410	70,24	50	21,17	20	8,48
		pc	17	2,85	26	4,25	400	57,35	8095	#####	40	6,01
	10st	bl	18	2,40	55	8,44	530	90,58	650	201,81	40	6,02
		pb	12	2,12	33	5,72	510	85,76	50	9,96	40	4,89
		pc	3781	#####	52767	#####	0	0,00	200	38,36	2040	#####
	30st	bl	2296	342,34	4824	392,83	1E+08	#####	50	24,99	60	10,22
		pb	14	2,15	39	6,66	480	86,61	50	17,51	20	9,62
		pc	0	0,00	0	0,00	1E+08	#####	3800	#####	0	0,00
20m deszcz	0st	bl	67	6,82	191	8,78	140	26,07	250	40,02	20	9,91
		pb	265	18,01	31	5,45	140	23,78	150	12,96	20	8,26
		pc	117	10,87	258	15,35	170	21,56	50	21,22	40	5,95



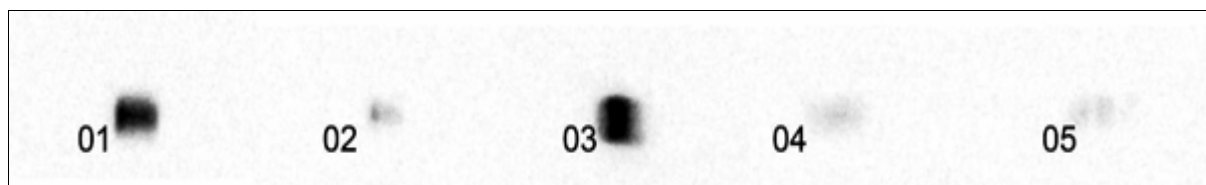
Rys. 1. Zależność odległości od kąta przy próbie dynamicznej zmiany kąta nachylenia.

Wnioski

Na obecnym stanie badań wykorzystanie laserów Riegl LD90-3300, jako urządzeń gwarantujących największą niezawodność w zróżnicowanych warunkach pomiarowych, przyniesie zdecydowanie największą niezawodność.

Przed ostatecznym wyborem typu dalmierzy laserowych z przeznaczeniem do modułów pomiaru odległości w komercyjnej wersji systemu PNDS konieczne będzie przeprowadzenie dalszych badań laboratoryjnych i rzeczywistych, kładąc szczególny nacisk na symulowane warunki hydrometeorologiczne oraz użycie powierzchni zbliżonych do powierzchni burty statku.

Należy zwrócić uwagę na różnice w dokładności wskazań dalmierzy tych samych typów, co znalazło odzwierciedlenie w rozmiarze oraz natężeniu plamki laserowej padającej na obiekt, zaobserwowanych podczas kalibracji urządzeń (Rys. 2). Istotność tych testów podkreśla m.in: [1]. Kalibrację przeprowadzano w komorze bez odbiciowej na 20 metrach przy wpływie światła zewnętrznego poniżej 0.001lx. Czas naświetlania wynosił 15s.



Rysunek 2. Zdjęcia plamek laserów głowic 01-05. Zachowana jednakowa skala zdjęć. Obraz negatywowo.

LITERATURA

- [1] Dorsch R., Häusler G., Herrmann J., *Laser triangulation: fundamental uncertainty in distance measurement*, Applied Optics 03/1994
- [2] Gucma L., *Recent Advances in Supporting Port Operations - 'Pilot Navigation - Docking System'. Reduction of Maneuvering Time in Ports* - Abstract. BIT's 1st Annual MarineTech Summit - Dalian, China, 2010.
- [3] Gucma L., Bak A., Gucma M., Jankowski S., Zalewski P., Perkovic M. , *Laser docking system integrated with Pilot Navigation Support System. Background to high precision, fast and reliable vessel docking*, 17th St.Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, St. Petersburg, 2010.
- [4] Gucma S., Gucma M., *Specialized Navigational System Used in LNG Terminals*, Proceedings of XIII International Scientific and Technical Conference on Marine Traffic Engineering, Journals Maritime University of Szczecin, pp. 291–296, 2009.