

# Problemy rozwoju statków autonomicznych

**Paweł Zalewski**

**Akademia Morska w Szczecinie,**

Wydział Nawigacyjny, Katedra Symulacji Morskich

Wały Chrobrego 1-2, 70-500 Szczecin, Poland

e-mail: [p.zalewski@am.szczecin.pl](mailto:p.zalewski@am.szczecin.pl)

**Słowa kluczowe:** MASS, autonomiczność, statki autonomiczne

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono problematykę rozwoju autonomicznych statków pełnomorskich MASS. Opisano klasyfikację MASS według Międzynarodowej Organizacji Morskiej oraz scharakteryzowano najważniejsze w opinii autora wyzwania stawiane przed MASS.

## Wstęp

W ciągu ostatnich dziesięcioleci poczyniono znaczne postępy w rozwoju autonomicznych jednostek pływających zarówno nawodnych (ASV – autonomous surface vehicle), jak i podwodnych (AUV – autonomous underwater vehicle). ASV i AUV są współcześnie produkowane w zależności od przeznaczenia operacyjnego w różnych rozmiarach, od małych „kieszonkowych” platform, które można przewieźć w bagażniku samochodu, po większe pełnomorskie jednostki [1]. ASV są najczęściej wykorzystywane do pomiarów hydrograficznych na płytkich wodach, monitorowania obszaru i środowiska w pobliżu brzegu lub konstrukcji morskich, a AUV do prac offshore związanych z monitoringiem i budową instalacji podwodnych oraz przeszukiwaniem dna. Statki morskie lub oceaniczne o rozmiarach porównywalnych ze konwencjonalnymi statkami transportowymi zwykle nie są zaliczane do tych grup. Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) nazwała je morskimi statkami autonomicznymi (MASS – maritime autonomous surface ship) odwołując się do analiz [2–7] oraz opisów i definicji różnych typów statków w konwencji SOLAS [8].

Podsumowanie i wnioski z ustaleń pięciu projektów UE dotyczących kwestii MASS przedstawiono w [9]. Za wielkie wyzwanie dla projektantów i konstruktorów MASS uznano 1) wykazanie, że statek bezzałogowy będzie co najmniej tak samo bezpieczny jak statek załogowy oraz 2) zapewnienie odpowiedniej świadomości sytuacyjnej kontrolującym go operatorom na lądzie. Zaproponowano opracowanie standardu opartego na doświadczeniach z autonomicznymi samochodami, problemami są jednakże wielkość, możliwości manewrowe statków oraz poważniejsze konsekwencje ewentualnych wypadków.

Klasyfikacja MASS pod względem możliwości operacyjnych, problematyki sterowania i podziału obowiązków pomiędzy ludzi a system komputerowy została zaprezentowana w [10].

Przykładowe badania koncentrujące się na adaptacyjnej nawigacji MASS w niepewnym otoczeniu opisano w [2,11]. W celu inteligentnego unikania przeszkód na wodach przybrzeżnych lub w porcie zaproponowano autonomiczne modele decyzyjne oparte na metodach programowania dynamicznego i głębokiego uczenia maszynowego. Jako główny problem zidentyfikowano konieczność zgodności wykonywanych manewrów z międzynarodowymi przepisami o zapobieganiu zderzeniom na morzu (COLREGS) [12] oraz interakcję MASS z klasycznymi statkami załogowymi.

Wykorzystanie technik sztucznej inteligencji (AI) jako sposobu integracji wielu czujników i systemów w nawigacji statków autonomicznych przedstawiono w [11]. Technologicznie stworzenie systemu sensorów opartych o radiolokację, detekcję za pomocą sensorów optycznych, laserowych czy infradźwiękowych nie wydaje się być problemem, gdyż wspomniane technologie funkcjonują już na morzu, w szczególności na jednostkach dynamicznego pozycjonowania (DP). Problemami są koszt i integracja sensorów w jednolity system detekcji uwzględniający redundancję niezbędną w sytuacjach awaryjnych.

W [13] zastosowano systemową metodę analizy bezpieczeństwa (STPA) w celu opracowania modelu MASS oraz zaleceń dotyczących bezpieczeństwa rzeczywistego systemu.

Wszystkie dotychczasowe badania wskazują, że dostępność i wiarygodność (integralność) danych pozycyjnych, nawigacyjnych i czasu (PNT) mają kluczowe znaczenie dla bezpiecznej eksploatacji MASS. W przypadku niewielkiego ASV ryzyko wynikające z błędnych danych PNT może być stosunkowo nieduże, ale w przypadku MASS konsekwencje będą już poważne.

## **1. Statki autonomiczne według IMO**

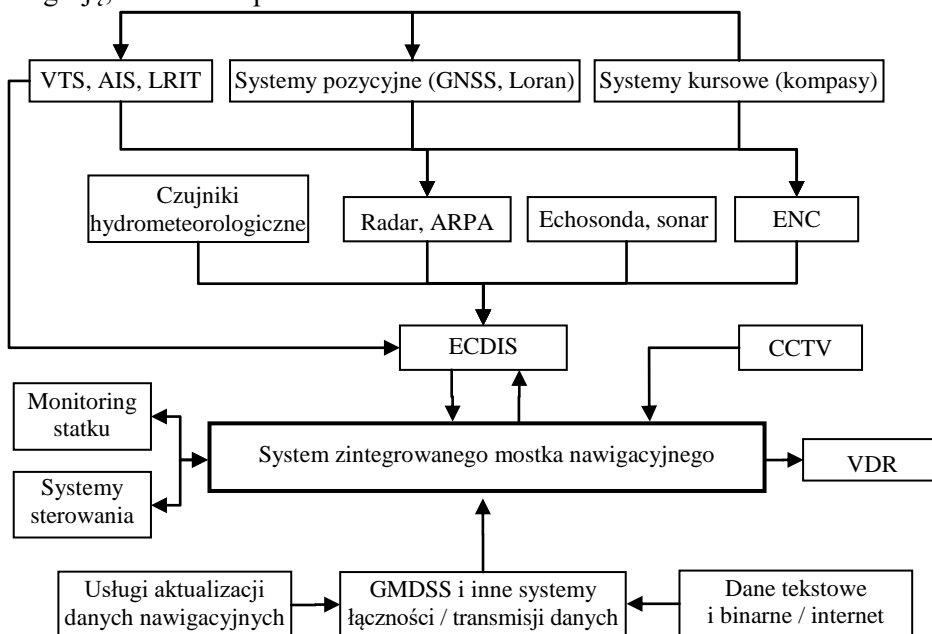
Budowę zasad prawnych regulujących eksploatację statków autonomicznych rozpoczęto na forum IMO w 2018 r. Do 2020 r. ustalono definicję MASS, ich cztery stopnie autonomiczności (autonomiczność w języku polskim określa „autonomię” systemów technicznych) oraz tymczasowe wytyczne dotyczące prób statków autonomicznych [14].

MASS został zdefiniowany jako statek, który w różnym stopniu może funkcjonować niezależnie od człowieka. Stopnie autonomiczności przyjęto następująco [14]:

1. stopień: Statek ze zautomatyzowanymi procesami i systemami wsparcia decyzyjnego. Marynarze są na pokładzie, aby obsługiwać i nadzorować systemy pokładowe, maszynowe i ładunkowe. Niektóre operacje mogą być zautomatyzowane i przez pewien czas nienadzorowane, ale z marynarzami na pokładzie gotowymi do przejęcia kontroli.
2. stopień: Zdalnie sterowany statek z marynarzami na pokładzie. Statek jest monitorowany i obsługiwany zdalnie, ale marynarze są dostępni na pokładzie, aby przejąć kontrolę w sytuacjach awaryjnych.

3. stopień: Zdalnie sterowany statek bez marynarzy na pokładzie. Statek jest monitorowany i obsługiwany zdalnie. Na pokładzie nie ma marynarzy.
4. stopień: W pełni autonomiczny statek. System operacyjny statku jest w stanie samodzielnie podejmować decyzje i wykonywać działania.

Pierwszy stopień autonomiczności dotyczy inteligentnych systemów technicznych, w które są już wyposażane współczesne statki morskie. Te systemy mogą dokonywać automatycznej analizy sytuacji, biorąc pod uwagę informacje o pochodzące z wielu źródeł takich jak radar, AIS i dane elektronicznej mapy nawigacyjnej (rys. 1). Mogą one nawet uwzględniać w ograniczonym zakresie zasady zapobiegania zderzeniom wymagane przez COLREGS i wspomagać decyzyjnie człowieka. W niedalekiej przyszłości, należy spodziewać się dodania do zintegrowanych systemów mostka nawigacyjnego wyrafinowanych sensorów optycznych wspomagających nawigatora poprzez prezentację rozszerzonej rzeczywistości (augmented reality). Tego rodzaju systemy umożliwią w określonych sytuacjach autonomiczną nawigację, ale zawsze pod nadzorem człowieka.



Rys. 1. Schemat blokowy podsystemów zintegrowanego mostka nawigacyjnego na statku autonomicznym pierwszego stopnia

Drugi i trzeci stopień autonomiczności dotyczy statków sterowanych i nawigowanych z lądu (zdalnie) przez wykwalifikowanych operatorów wspomaganą automatyką. Koniecznością staje się zapewnienie w centrum nadzoru bądź kontroli pełnej i kompletnej wizualizacji optycznej statku i jego otoczenia statek przez cały czas, a także dostępu do wszystkich konwencjonalnych urządzeń nawigacyjnych. Główna różnica pomiędzy drugim a trzecim stopniem autonomiczności występuje w sposobie reakcji na sytuację, w której zdalny operator nie będzie w stanie sterować i

kontrolować statku. W systemach drugiego stopnia nawigator zaokrętowany na MASS natychmiast przejmie dowodzenie w pomieszczeniu awaryjnego ręcznego sterowania. Natomiast w systemach trzeciego stopnia sterowanie przejmie specjalny system automatycznego sterowania. Centrum nadzoru MASS rozpocznie odpowiednie procedury awaryjne, poinformuje odpowiednie władze i pomoże w podjęciu optymalnej decyzji ratunkowej. Zapewnienie bezpieczeństwa statku i ładunku do czasu znalezienia się na jego burcie ekipy ratunkowej lub automatycznego przywrócenia sprawności stanowi wyzwanie zarówno w aspekcie technologicznym, jak i prawnym.

Czwarty stopień autonomiczności dotyczy statków, które w pełni samodzielnie podejmują decyzje i wykonywają działania. Osiągnięcie tego stopnia w przewidywalnej przyszłości wydaje się wątpliwe, przede wszystkim ze względu na kwestie prawne i ewentualnej odpowiedzialności odszkodowawczej i karnej oraz aspekt psychologiczny. Historia rozwoju DP, ASV, AUV, ROV (remotely operated vehicle) od lat siedemdziesiątych XX w. utwierdza w przekonaniu, że armatorzy i operatorzy jednostek pływających od monitoringu i możliwości przejścia sterowania przez człowieka jeszcze długo nie odejdą.

Należy spodziewać się, że prace na forum IMO dotyczące MASS będą kontynuowane jeszcze przez co najmniej kilka kolejnych lat, zanim zostaną opracowane szczegółowe standardy. Co ważne dla dzisiejszych nawigatorów, pierwsze trzy stopnie autonomii nadal wymagają w pełni wykwalifikowanej załogi nawigacyjnej bez względu na to, czy jest ona na pokładzie, czy w odległej lokalizacji. W przypadku jednostek pasażerskich obecność kapitana na pokładzie będzie wręcz nieodzowna, podobnie jak na pokładzie samolotu, dopóki systemy autonomiczne nie zdobędą zaufania zdecydowanej większości podróżujących. Nawigator będzie jednakże musiał nabyć dodatkowe umiejętności i kompetencje do sterowania MASS, co sukcesywnie powinny włączać w swoje programy kształcenia uczelnie morskie.

## **2. Wyzwania przed MASS**

Aby statki autonomiczne trzeciego i czwartego stopnia stały się codziennością rozwiązane musi zostać wiele problemów natury technologicznej i prawnej. Najistotniejsze z nich przedstawiono poniżej. Obejmują one kwestie: bezpieczeństwa nawigacji – w MASS nastąpi przejście od systemów informacyjnych do systemów decyzyjnych i inteligentnych systemów adaptacyjnych; łączności (komunikacji) - od wymiany danych do inteligentnej komunikacji (wysyłanie i przetwarzanie dużych zbiorów danych, cyberbezpieczeństwo); zapobiegania zderzeniom, ratownictwa życia i mienia, organizacji centrów lądowych oraz odpowiedzialności.

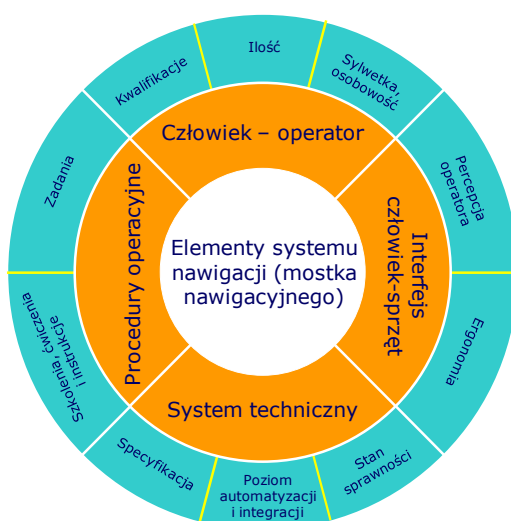
### **2.1 Transmisja danych**

Wyzwaniem technologicznym dla MASS jest sposób transmisji danych łączami radiowymi, w szczególności plików wizyjnych o wysokiej rozdzielczości lub zbiorów danych o znacznych rozmiarach (dane radarowe, echosond i innych czujników teledetekcyjnych, ładunkowe). Należy spodziewać się, że informacje przekazywane

do i z MASS będzie trzeba zaliczyć do tzw. big data. Obecnie większość morskich systemów łączności zapewniających możliwości transmisji rzędu kilku Mb/s wykorzystuje łącza satelitarne, których ekonomiczna opłacalność może nie być konkurencyjna w stosunku do zmniejszenia obsady ludzkiej statku i sterującego ośrodka lądowego. Łącza radiowe oparte o anteny kierunkowe ograniczają zasięg przesyłu danych do odległości ok. 100-300 km. Problemem jest wykorzystanie w pobliżu lądu częstotliwości fal ultrakrótkich i mikrofal, najbardziej skutecznych do przesyłu danych, ponieważ są one zajęte przez sieci telefonii komórkowej. Konieczność stosowania technologii szerokopasmowych oraz szyfrowania danych dodatkowo podniesie koszt eksploatacji łączy radiowych. Należy spodziewać się, że w celu eksploatacji MASS będzie musiała być wdrożona nowa generacja systemu AIS umożliwiająca przesyłanie znacznie większej ilości danych, między innymi danych radarowych oraz niektórych danych map elektronicznych i innych urządzeń nawigacyjnych i czujników.

## 2.2 Redundancja urządzeń i lądowe centrum nadzoru

Zwiększenie bezpieczeństwa nawigacji MASS zapewnią nadmiarowe, wielosystemowe odbiorniki nawigacyjne zintegrowane z magnetometrami, żyrokompasami, systemami inercyjnymi, radarami, czujnikami laserowymi i optycznymi (kamerami). Podobnie jak w przypadku systemów DP należy spodziewać się różnych klas MASS w ramach poszczególnych stopni i związanych z nimi różnej ilości systemów redundantnych. Redundancja wynikająca ze względów bezpieczeństwa oraz wyposażenie i utrzymanie centrum nadzoru będą miały bezpośredni wpływ na koszt produkcji i eksploatacji MASS. Dodatkowym wyzwaniem będzie konstrukcja centrum nadzoru według metodyki systemowej odpowiadającej systemowi mostka nawigacyjnego przedstawionej na rys. 2. To centrum zintegruje dotychczasowe zadania wykonywane na mostku statku przez załogę i pilota oraz na lądzie przez system nadzoru ruchu statków (VTS – vessel traffic system).



### **2.3 Ratowanie ludzi na morzu**

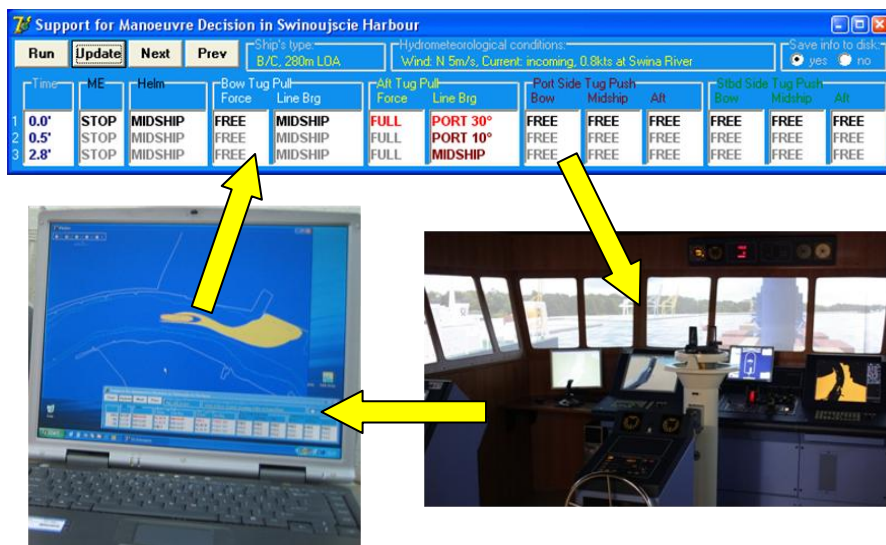
Kolejnym wyzwaniem będzie zapewnienie przez MASS możliwości pomocy ludziom, którzy na morzu zawsze będą. Na otwartym oceanie MASS może być jedynym dostępnym środkiem ratunkowym dla człowieka oczekującego pomocy, w związku z czym powinien on zapewnić możliwość przewozu ograniczonej liczby pasażerów, ich wyżywienia itp. Z drugiej strony MASS powinien być zabezpieczony przed niepowołanym dostępem osób trzecich, w szczególności przed piractwem. Te dwa wymagania nie powinny się wzajemnie wykluczać.

### **2.4 Cyberbezpieczeństwo**

Zapewnienie wiarygodności lub integralności danych cyfrowych przychodzących, przetwarzanych i wychodzących z MASS jest kluczowe dla bezpieczeństwa nawigacji. Poza koniecznością opracowania standardów zabezpieczeń sygnałów cyfrowych podobnie jak w przypadku kierowania statkiem załogowym wyzwaniem pozostanie porównywanie i integrowanie wszystkich dostępnych źródeł danych oraz podejmowanie optymalnych pod względem ryzyka decyzji. Źródła informacji dalej obejmować będą czujniki i źródła danych cyfrowych oraz analogowych na pokładzie statku i w lądowym centrum nadzoru oraz zmysły ludzkie - szczególnie nasze oczy. Zdalny operator pozostanie ostatnim ogniwem nadzoru, dlatego jego interfejs musi umożliwić uzyskanie takiej świadomości sytuacyjnej, która pozwoli zidentyfikować błędne lub fałszowane dane i podjąć odpowiednie działania, takie jak zwiększenie marginesu bezpieczeństwa poprzez zmianę kursu lub prędkości. Przykładem może być porównywanie danych wizyjnych, radarowych i AIS.

### **2.5 Inteligentny adaptacyjny system sterowania**

Zdefiniowanie problemu inteligentnego adaptacyjnego systemu (SAS – smart adaptive system) obejmuje specyfikację co najmniej pięciu funkcjonalnych elementów lub zadań [15]. Są nimi: wykrywanie, adaptacja, wykonanie / egzekucja, wskazywanie i ewaluacja. W przypadku MASS stopnia trzeciego i czwartego te pięć zadań powinien wykonywać autonomiczny zintegrowany system mostka nawigacyjnego wyposażony w systemy decyzyjne, które zastąpią systemy wspomagania decyzji.



Rys. 3. Przykład aplikacji wspomaganie decyzji manewrowej zaprojektowanej dla portu Swinoujscie w Akademii Morskiej w Szczecinie

Wykrywanie oznacza monitorowanie sygnałów, które aktywują adaptację systemu, czyli np. zmianę dotychczasowych nastaw pędników i urządzeń sterowych.

Adaptacja oznacza wybór i aktywację mechanizmu lub modelu zmieniającego stan systemu.

Wykonanie oznacza sposób w jaki zmieniony zostanie stan systemu, czyli algorytm lub model zmiany. W systemach technicznych wykonanie jest połączone z adaptacją i powinno zapewniać integralność systemu oraz zapobiegać zmianom niekorzystnym, szkodliwym, bądź niemożliwym do zrealizowania.

Wskazywanie oznacza proces informowania końcowego użytkownika (operatora ludzkiego lub sztuczną inteligencję) kiedy zostały aktywowane zmiany systemu i jaki mają one wpływ na jego wydajność. W praktyce zadanie to będzie prawdopodobnie wypełniać interfejs nawigatora korzystający z technologii rozszerzonej i wirtualnej rzeczywistości. Chodzi o uzyskanie jak najpełniejszej świadomości sytuacyjnej, często wymagającej prezentacji w przestrzeni trójwymiarowej zamiast w odwzorowaniu płaskim.

Ewaluacja oznacza ciągły monitoring i ocenę efektów adaptacji i wykonania.

## 2.6 System alertów i alarmów oraz wiarygodność danych

Automatyzacja alarmów na statkach już obecnie przyczynia się do uniknięcia wypadków. Alarmy są uruchamiane przez systemy, które stale monitorują krytyczne dla bezpieczeństwa statku procesy, w tym związane z nawigacją, zasilaniem, napędem, ładunkiem i ochroną. Operatorzy MASS muszą spodziewać się jeszcze większej ilości generowanych alertów dźwiękowych i wizualnych oraz wiedzieć jakie działania należy podjąć, gdy się pojawią. Istnieje wiele różnych rodzajów alarmów, które aktualnie IMO klasyfikuje w następujący sposób [16].

- Alarmy awaryjne - wskazują, że istnieje bezpośrednie zagrożenie dla życia ludzkiego lub statku oraz, że należy podjąć natychmiastowe działania, na przykład w sytuacjach pożaru i nabierania wody.
- Alarmy - wskazują na sytuacje wymagające natychmiastowej uwagi i działania w celu utrzymania bezpieczeństwa nawigacji i eksploatacji.
- Ostrzeżenia - wskazują na sytuacje, które mogą stać się niebezpieczne, jeśli nie zostaną podjęte żadne działania.
- Uwagi lub przestrogi – uświadamiają sytuacje, które nie wymagają alarmu lub ostrzeżenia, ale wymagają odpowiedniego rozważenia.

Problemem dla operatora MASS może być nadmiar, albo niedomiar informacji – wyzwaniem stanie się selekcja przekazywanej człowiekowi informacji w wyniku optymalizacji wielokryterialnej. W przypadku stopnia czwartego ilość załogi centrum nadzoru będzie taka sama lub większa od oficerskiej załogi pokładowej i maszynowej.

Kolejnym problemem mogą być limity alarmowe, w szczególności podczas interakcji MASS ze statkami załogowymi oraz wiarygodność danych nawigacyjnych zawsze obciążonych błędami pomiarowymi. Przykładem problematycznych limitów alarmowych ryzyka kolizji w formie CPA i TCPA może być interpretacja COLREGS, a wiarygodności ocena danych pozycyjnych według rezolucji IMO A.915 [17].

## **2.7 Zapobieganie zderzeniom oraz żegluga na akwenach ograniczonych**

Środowisko marynarskie jest konserwatywne, w związku z czym nie można spodziewać się, iż IMO zgodzi się na zmianę obowiązujących od lat siedemdziesiątych XX w. COLREGS. To konstruktorzy MASS muszą dostosować algorytmy antykolizyjne do wymagań COLREGS. Niestety COLREGS nie ustala ścisłych limitów ryzyka kolizji, a nawet warunków widzialności, przy których stosuje się odmienne zasady postępowania. W szczególności stanowi to problem przy ocenie ryzyka kolizji więcej niż dwu jednostek. Ponadto odnosi sytuacje spotkaniowe statków do ich kursów, a nie kątów drogi nad dnem, które można precyzyjniej oceniać radarowo i za pomocą GNSS. Z tych względów sytuacje spotkaniowe MASS prawdopodobnie będą musiały być analizowane poprzez algorytmy sztucznej inteligencji uczonej maszynowo i przy pomocy logiki rozmytej. Zapewnienie bezpieczeństwa antykolizyjnego w 100% nie będzie możliwe i podobnie jak w przypadku statków załogowych nie będzie można przypisać 100% winy jednej jednostce.

Efektywne manewry będą wymagały bardzo dokładnego modelu hydrodynamicznego statku, który w systemie decyzyjnym wypracuje nastawy przekładające się na tożsamy z symulacją ruch statku w rzeczywistości. Będzie to także szczególnie istotne w żegludze MASS na akwenie ograniczonym, a w praktyce wymagać będzie bardzo precyzyjnych sensorów środowiska. Bez wiarygodnych i dokładnych danych o ruchu wody i naporze wiatru nawet najlepszy model będzie podawał jedynie znacznie przybliżone rozwiązania.



## 2.8 Odpowiedzialność prawna i finansowa

Ostatnim, ale w praktyce wdrażania MASS może najistotniejszym problemem będzie ustalenie zasad i ram odpowiedzialności prawnej i finansowej ewentualnych szkód wyrządzonych przez MASS i na pokładzie MASS. Bez ustalenia ścisłych standardów klasyfikacyjnych i certyfikacyjnych systemów MASS trudno będzie przekonać armatora do inwestycji, której ubezpieczenia nie podejmie się żaden P&I. Problemem, z którym przyjdzie zmierzyć się IMO będzie ustalenie w przypadku statków trzeciego i czwartego stopnia autonomiczności ewentualnej odpowiedzialności twórców oprogramowania i systemów decyzyjnych w przypadku kolizji lub innej sytuacji awaryjnej. Dlatego trudno wyobrazić sobie autonomiczność bez ciągłego nadzoru człowieka. Dla armatora zawsze liczył się będzie całkowity rachunek ekonomiczny wraz z czynnikiem behawioralnym – jeżeli koszty eksploatacji jednostki autonomicznej na tym samym poziomie ryzyka żeglugi nie będą niższe niż jednostki załogowej oraz zaufanie do systemu autonomicznego nie będzie większe to najpewniej nie zdecyduje się na taką inwestycję.

### Podsumowanie

W pełni autonomiczne statki będą musiały nawigować co najmniej tak samo bezpiecznie, jak załogowe statki konwencjonalne, nawet w sytuacjach awaryjnych. Rozwój technologiczny pozwoli z czasem na osiągnięcie tego celu, jednak obecnie przed MASS jest jeszcze długa droga do spełnienia wymagań IMO. Po ich spełnieniu nawigator i tak pozostanie ostatnim elementem nadzoru i sterowania, podobnie jak ma to miejsce od kilkudziesięciu lat na jednostkach DP. Wykwalifikowani nawigatorzy morscy będą więc nadal mogli liczyć na interesującą życiową karierę zarówno na morzu, jak i w ośrodkach lądowych.

W artykule nie podjęto kwestii autonomicznego cumowania, opieki nad ładunkiem oraz serwisowania systemów technicznych MASS (w tym energetycznych i napędowych), w których występuje wiele analogicznych do poruszonych problemów.

### Literatura

1. Stateczny, A.; Burdziakowski, P. Universal Autonomous Control and Management System for Multipurpose Unmanned Surface Vessel. *Polish Maritime Research* **2019**, *26*, 30–39, doi: [org/10.2478/pomr-2019-0004](https://doi.org/10.2478/pomr-2019-0004).
2. Geng, X.; Wang, Y.; Wang, P.; Zhang, B. Motion Plan of Maritime Autonomous Surface Ships by Dynamic Programming for Collision Avoidance and Speed Optimization. *Sensors* **2018**, *19*, 434, doi: [org/10.3390/s19020434](https://doi.org/10.3390/s19020434).
3. Porathe, T. A Navigating Navigator Onboard or a Monitoring Operator Ashore? Towards Safe, Effective, and Sustainable Maritime Transportation: Findings from Five Recent EU Projects. *Transp. Res. Procedia* **2016**, *14*, 233–342, doi: [org/10.1016/j.trpro.2016.05.060](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.060).

4. Rødseth, Ø. J.; Nordahl, H.; Hoem, Å. Characterization of Autonomy in Merchant Ships. In Proceedings of the 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO), Kobe, Japan, 29–31 May 2018; pp. 1–7.
5. Schwithal, A.; Tonhäuser, C.; Wolkow, S.; Angermann, M.; Hecker, P.; Mumm, N.; Holzapfel, F. Integrity monitoring in GNSS/INS systems by optical augmentation. In Proceedings of the 2017 DGON Inertial Sensors and Systems (ISS), Karlsruhe, Germany, 19–20 September 2017; pp. 1–22.
6. Wróbel, K.; Krata, P.; Montewka, J. Preliminary Results of a System-theoretic Assessment of Maritime Autonomous Surface Ships' Safety. *J. TransNav* **2019**, *13*, 717–723, doi: org/10.12716/1001.13.04.03.
7. Zhang, X.; Wang, C.; Liu, Y.; Chen, X. Decision-Making for the Autonomous Navigation of Maritime Autonomous Surface Ships Based on Scene Division and Deep Reinforcement Learning. *Sensors* **2019**, *19*, 4055, doi: org/10.3390/s19184055.
8. IMO. SOLAS Consolidated Edition, **2014** (IF110E)
9. Porathe, T. A Navigating Navigator Onboard or a Monitoring Operator Ashore? Towards Safe, Effective, and Sustainable Maritime Transportation: Findings from Five Recent EU Projects. *Transp. Res. Procedia* **2016**, *14*, 233–342, doi: org/10.1016/j.trpro.2016.05.060.
10. Rødseth, Ø. J.; Nordahl, H.; Hoem, Å. Characterization of Autonomy in Merchant Ships. In Proceedings of the 2018 OCEANS - MTS/IEEE Kobe Techno-Oceans (OTO), Kobe, Japan, 29–31 May **2018**; pp. 1–7.
11. Wright, R. G. Intelligent Autonomous Ship Navigation using Multi-Sensor Modalities. *J. TransNav* **2019**, *13*, 503–510, doi: org/10.12716/1001.13.03.03.
12. IMO. Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGSs), consolidated edition **2001**, amended in **2010**, **2016**.
13. Wróbel, K.; Krata, P.; Montewka, J. Preliminary Results of a System-theoretic Assessment of Maritime Autonomous Surface Ships' Safety. *J. TransNav* **2019**, *13*, 717–723, doi: org/10.12716/1001.13.04.03.
14. IMO. Framework for the Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS). *MSC 100/20/Add.1, Annex 2*. **2018**.
15. Gabrys B., Leiviska K., Strackeljan J. (Eds). Do Smart Adaptive Systems Exist? *Studies in Fuzziness and Soft Computing, Volume 173*, Springer **2005**.
16. IMO. Code on Alerts and Indicators. *A.1021(26)*. **2009**.
17. IMO. Revised Maritime Policy and Requirements for a Future Global Navigation Satellite System (GNSS). *A.915(22)*. **2001**.