



**POLITECHNIKA
GDAŃSKA**

Imię i nazwisko autora rozprawy: Michał Stopa

Dyscyplina naukowa: Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport

ROZPRAWA DOKTORSKA

Tytuł rozprawy w języku polskim: Wpływ czynników ergonomicznych na mostku nawigacyjnym na efektywną pracę nawigatora i bezpieczeństwo statku

Tytuł rozprawy w języku angielskim: The influence of ergonomic factors on navigation bridge on the navigator's effective work and safety of the ship

Promotor

Podpis

dr hab. inż. Rafał Szłapczyński

Gdańsk, rok 2025



OŚWIADCZENIE

Autor rozprawy doktorskiej: Michał Stopa

Ja, niżej podpisany(a), oświadczam, iż jestem świadomy(a), że zgodnie z przepisem art. 27 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (t.j. Dz.U. z 2021 poz. 1062), uczelnia może korzystać z mojej rozprawy doktorskiej zatytułowanej:

„Wpływ czynników ergonomicznych na mostku nawigacyjnym na efektywną pracę nawigatora i bezpieczeństwo statku”

do prowadzenia badań naukowych lub w celach dydaktycznych.¹

Świadomy(a) odpowiedzialności karnej z tytułu naruszenia przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych i konsekwencji dyscyplinarnych określonych w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2021.478 t.j.), a także odpowiedzialności cywilno-prawnej oświadczam, że przedkładana rozprawa doktorska została napisana przeze mnie samodzielnie.

Oświadczam, że treść rozprawy opracowana została na podstawie wyników badań prowadzonych pod kierunkiem i w ścisłej współpracy z promotorem dr. hab. inż. Rafałem Szlāpczyńskim.

Niniejsza rozprawa doktorska nie była wcześniej podstawą żadnej innej urzędowej procedury związanej z nadaniem stopnia doktora.

Wszystkie informacje umieszczone w ww. rozprawie uzyskane ze źródeł pisanych i elektronicznych, zostały udokumentowane w wykazie literatury odpowiednimi odnośnikami, zgodnie z przepisem art. 34 ustawy o prawie autorskim i prawach pokrewnych.

Potwierdzam zgodność niniejszej wersji pracy doktorskiej z załączoną wersją elektroniczną.

Gdańsk, dnia

.....
podpis doktoranta

Ja, niżej podpisany(a), wyrażam zgodę na umieszczenie ww. rozprawy doktorskiej w wersji elektronicznej w otwartym, cyfrowym repozytorium instytucjonalnym Politechniki Gdańskiej.

Gdańsk, dnia

.....
podpis doktoranta

¹ Art. 27. 1. Instytucje oświatowe oraz podmioty, o których mowa w art. 7 ust. 1 pkt 1, 2 i 4–8 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, mogą na potrzeby zilustrowania treści przekazywanych w celach dydaktycznych lub w celu prowadzenia działalności naukowej korzystać z rozpowszechnionych utworów w oryginale i w tłumaczeniu oraz zwielokrotniać w tym celu rozpowszechnione drobne utwory lub fragmenty większych utworów.

2. W przypadku publicznego udostępniania utworów w taki sposób, aby każdy mógł mieć do nich dostęp w miejscu i czasie przez siebie wybranym korzystanie, o którym mowa w ust. 1, jest dozwolone wyłącznie dla ograniczonego kręgu osób uczących się, nauczających lub prowadzących badania naukowe, zidentyfikowanych przez podmioty wymienione w ust. 1.

OPIS ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Autor rozprawy doktorskiej: Michał Stopa

Tytuł rozprawy doktorskiej w języku polskim: Wpływ czynników ergonomicznych na mostku nawigacyjnym na efektywną pracę nawigatora i bezpieczeństwo statku

Tytuł rozprawy w języku angielskim: The influence of ergonomic factors on navigation bridge on the navigator's effective work and safety of the ship

Język rozprawy doktorskiej: polski

Promotor rozprawy doktorskiej: dr hab. inż. Rafał Szlępczyński

Data obrony:

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku polskim: ergonomia mostka nawigacyjnego; problemy ergonomiczne nawigatorów; świadomość ergonomiczna nawigatorów; ergonomiczne wspomaganie; mostek nawigacyjny; środowisko pracy

Słowa kluczowe rozprawy doktorskiej w języku angielskim: navigation bridge ergonomics; navigators' ergonomic problems; navigators' ergonomic awareness; ergonomic support; navigation bridge; work environment

Streszczenie rozprawy w języku polskim: Rozprawa ma na celu zbadanie wpływu ergonomii mostka nawigacyjnego na efektywność pracy nawigatorów i określenie w jakim stopniu powinno się ich wspierać w utrzymywaniu sprzyjających warunków w pomieszczeniu. Przeprowadzono studia literaturowe i analizę przepisów, dwa badania ankietowe wśród 200 marynarzy, obserwowano poruszanie się oficerów podczas wacht, a także zamodelowano ćwiczenie na symulatorze mostka nawigacyjnego, które zostało wykonane przez 30 nawigatorów.

Uzyskane wyniki wskazują na niekorzystny wpływ złych warunków ergonomicznych na detekcję niektórych obiektów wokół własnego statku. Stwierdzono też, że zakłócenia takie jak hałas lub nieodpowiednie oświetlenie w pomieszczeniu mają wyraźny wpływ na zwiększone poczucie uciążliwości wykonywania obowiązków. Świadomość nawigatorów odnośnie wpływu ergonomii na ich pracę była stosunkowo wysoka, a większość zgodziła się, że dostosowanie mostka do ich potrzeb ergonomicznych wpłynęłoby pozytywnie na ich lojalność wobec firmy.

Rozprawa zawiera opracowane rozwiązania problemów ergonomicznych na mostkach, weryfikację możliwości ich wdrożenia, a także metodę oceny zasadności ich implementacji. Wyniki badań wskazują, że ergonomia sterówki wpływa na pracę nawigatora w różnorodny sposób, a inwestowanie w nią może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa statku oraz do zwiększenia przywiązania wykwalifikowanych oficerów do firmy.



Streszczenie rozprawy w języku angielskim: This dissertation aims to investigate the influence of navigation bridge ergonomics on effectiveness of navigators and assess the support they need to maintain favourable conditions in the room. The research process included literature studies and analysis of the regulations, two questionnaire studies among 200 seafarers, observations of movement of officers on the watch and development of the exercise on navigation bridge simulator, completed by 30 navigators.

The results suggest negative influence of ergonomic factors on detection of some type of objects around own ship. It was observed that interferences like noise or improper lighting in the room have a significant impact on increased feeling of nuisance during the duties. The level of navigators' awareness regarding the effects of ergonomics on their performance was relatively high and majority of them agreed that adapting of the bridge subject to their ergonomic needs would result in increased loyalty to the company.

The developed solutions of ergonomic problems on the navigation bridges were described, along with the implementability verification and the method for assessment of the validity of their implementation. The findings suggest that bridge ergonomics influences navigators' performance in various ways, while investing in it may contribute not only to increased safety of the ship but also enhanced employee loyalty.

SPIS TREŚCI

STRESZCZENIE	9
ABSTRACT	11
Prace opublikowane w toku doktoratu	13
Udział w konferencjach naukowych w toku doktoratu.....	14
Oświadczenia współautorów artykułów.....	15
Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów.....	16
1. WPROWADZENIE	19
1.1. Cel pracy i hipotezy badawcze	21
1.2. Proces nawigacji	24
1.3. Mostek jako centrum dowodzenia statkiem	26
1.4. Czynniki ludzkie i problemy ergonomiczne na mostku nawigacyjnym	28
1.4.1. Problem oświetlenia pomieszczenia i światła zewnętrznego	29
1.4.2. Problem wyświetlaczy urządzeń i ich jasności	30
1.4.3. Problem hałasu i akustyki	31
1.4.4. Problem zmęczenia	31
1.4.5. Problem wibracji oraz postawy podczas pracy stojącej i siedzącej	31
2. MATERIAŁY I METODY	33
2.1. Przegląd literatury i przepisów dotyczących projektowania mostków nawigacyjnych.....	33
2.2. Wywiady eksperckie	34
2.2.1. Struktura wywiadu i dobór ekspertów	34
2.3. Badania ankietowe nawigatorów	36
2.3.1. Okres zbierania odpowiedzi i próba badawcza	36
2.3.2. Niedoskonałości i ograniczenia badania	38
2.4. Badanie świadomości ergonomicznej nawigatorów i warunków pracy na mostkach nawigacyjnych (ankieta badawcza numer 1)	38
2.4.1. Środowisko do obliczeń statystycznych i analiza wyników	39
2.5. Ocena satysfakcji nawigatorów z proponowanych rozwiązań ergonomicznych (ankieta badawcza numer 2)	40
2.5.1. Kategorie rozwiązań według modelu Kano i ich przypisywanie	40
2.5.2. Współczynnik zadowolenia i niezadowolenia	41
2.6. Poruszanie się nawigatorów podczas wacht	42
2.6.1. Wizyty na statkach	43
2.6.2. Przypisywanie pozycji i proces zbierania danych.....	43
2.6.3. Zobrazowanie przebywania nawigatorów i wygenerowanie map cieplnych	45
2.6.4. Niedoskonałości i ograniczenia badania	46
2.7. Badanie symulacyjne wpływu czynników ergonomicznych na nawigatora	46
2.7.1. Przebieg ćwiczenia i opis występujących czynników ergonomicznych	47
2.7.2. Charakterystyka próby badawczej.....	53
2.7.3. Założenia badania i rejestrowanie wyników	53

2.7.4. Niedoskonałości i ograniczenia badania.....	54
2.7.5. Środowisko do obliczeń statystycznych i analiza wyników.....	55
2.7.6. Oszacowanie wpływu ergonomii mostka na występowanie wykrycia obiektu podczas eksperymentu	56
2.7.7. Oszacowanie wpływu ergonomii mostka na czas wykrycia obiektu podczas eksperymentu	58
2.7.8. Oszacowanie wpływu ergonomii mostka na poziom uciążliwości podczas wykrywania obiektów	58
3. WYNIKI	60
3.1. Wyniki analizy literatury i przepisów.....	60
3.1.1. Zmiany w wyposażeniu mostka nawigacyjnego	62
3.1.2. Przegląd standardów w kontekście zmian technologicznych	63
3.2. Opinie ekspertów na temat ergonomii mostka nawigacyjnego i pokrewnych problemów	63
3.3. Ocena świadomości ergonomicznej nawigatorów	66
3.3.1. Epizody bólu w trakcie lub po pracy na mostku.....	67
3.3.2. Środowisko pracy i główne czynniki zakłócające.....	68
3.3.3. Ergonomia mostka a zmęczenie nawigatorów	69
3.3.4. Odbyte szkolenia i chęć nauki ergonomii	70
3.3.5. Spełnienie indywidualnych potrzeb w zakresie komfortu na mostkach i jego wpływ na przywiązanie pracowników do firmy	72
3.4. Ocena satysfakcji nawigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych...	72
3.5. Obszary przebywania nawigatorów w czasie wacht	75
3.6. Wpływ ergonomii mostka na obserwację i poczucie uciążliwości podczas wykonywania obowiązków w badaniu symulacyjnym	78
3.6.1. Wpływ warunków ergonomicznych na skuteczność wykrywania obiektów wokół własnego statku	78
3.6.2. Wpływ warunków ergonomicznych na czas wykrywania obiektów wokół własnego statku	82
3.6.3. Wpływ warunków ergonomicznych na odczuwaną uciążliwość wykrywania obiektów wokół własnego statku.....	85
4. DYSKUSJA.....	88
4.1. Znaczenie przeglądu przepisów i literatury naukowej w kontekście problemów badawczych	88
4.2. Świadomość nawigatorów w zakresie ergonomii i czynników ryzyka – określona na podstawie ankiety badawczej numer 1	89
4.2.1. Problemy nawigatorów wynikające z nieodpowiedniej ergonomii	90
4.2.2. Główne czynniki zakłócające na mostku i brak wsparcia szkoleniowego	90
4.2.3. Czy inwestowanie w ergonomię może pomóc w utrzymaniu pracownika w firmie?	92
4.3. Współczesne potrzeby ergonomiczne nawigatorów – określone na podstawie modelu Kano (ankiety badawczej numer 2)	92
4.4. Użyteczność poszczególnych obszarów mostka – wyniki obserwacji nawigatorów podczas ich pracy	93
4.4.1. Ocena zasadności zabrania siedzenia podczas wacht	95

4.5. Wpływ czynników ergonomicznych na mostku nawigacyjnym na pracę nawigatora – określony na podstawie badania symulacyjnego	96
4.5.1. Wpływ czynników ergonomicznych na skuteczność detekcji obiektów	97
4.5.2. Wpływ czynników ergonomicznych na czas detekcji obiektów	98
4.5.3. Wpływ czynników ergonomicznych na poczucie uciążliwości podczas obserwacji	99
5. ROZWIĄZANIA PROBLEMÓW ERGONOMICZNYCH NA MOSTKU I WSPOMAGANIE NAWIGATORA	100
5.1. Rozwiązania szkoleniowe	100
5.1.1. Utrzymywanie poprawnej postury	100
5.1.2. Ćwiczenia oczu	101
5.1.3. Zadanie symulacyjne uświadamiające nawigatorom wpływ niekorzystnych warunków ergonomicznych	103
5.2. Rozwiązania wyposażeniowe	104
5.2.1. Szyby fotochromowe – rozwiązanie odrzucone	104
5.2.2. Zasłonki przeciwsłoneczne	104
5.2.3. Panele akustyczne	106
5.2.4. Ergonomiczne krzesła na stanowisku nawigacji i manewrowania	111
5.2.5. Podłogowe maty przeciwmęczeniowe	114
5.2.6. Nawilżacze powietrza	116
5.3. Rozwiązania systemowe	120
5.3.1. Algorytm wyznaczający wzniesienie Słońca i rzeczywisty azymut	120
5.3.2. Automatyczne rozwijanie i zwijanie zasłonek przeciwsłonecznych	121
5.3.3. Aktywne tłumienie hałasu – rozwiązanie odrzucone	125
5.3.4. Automatyczne dostrajanie głośności radia GMDSS – rozwiązanie odrzucone	125
5.3.5. Automatyczna regulacja oświetlenia pomieszczenia – rozwiązanie odrzucone	126
5.3.6. Automatyczne dostrajanie luminancji ekranów na mostku	126
5.3.7. „Energetyczna” muzyka – rozwiązanie odrzucone	133
5.3.8. Automatyczna praca wycieraczek	134
5.4. Podsumowanie możliwości wdrożenia proponowanych rozwiązań	137
6. OCENA ZASADNOŚCI IMPLEMENTACJI PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ	138
7. PODSUMOWANIE	141
7.1. Podsumowanie weryfikacji hipotez i odpowiedzi na pytania badawcze	141
7.2. Plany przyszłych badań	146
8. WNIOSKI	149
Wykaz literatury	152
Wykaz rysunków	167
Wykaz tabel	170
Załącznik A: Kwestionariusz badania świadomości ergonomicznej nawigatorów i warunków pracy na mostkach nawigacyjnych (ankieta badawcza numer 1)	171

Załącznik B: Kwestionariusz badania satysfakcji nawigatorów z proponowanych rozwiązań ergonomicznych (ankieta badawcza numer 2).....	174
Załącznik C: Kwestionariusz odczuwanej uciążliwości podczas ćwiczenia symulacyjnego	178
Załącznik D: Przeprowadzone wywiady eksperckie na temat ergonomii mostka nawigacyjnego	179
Załącznik E: Statyczne i dynamiczne pozycje zarejestrowane podczas obserwacji poruszania się nawigatorów na mostkach	188
Załącznik F: Obliczanie wskaźnika transmisji mowy (STI).....	197
Załącznik G: Obliczanie czasu pogłosu i chłonności akustycznej pomieszczenia.....	202
Załącznik H: Algorytm wyznaczający wzniesienie i azymut rzeczywisty Słońca.....	203
Załącznik I: Patronat Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego.....	207

STRESZCZENIE

Niniejsza rozprawa została zrealizowana w ramach V edycji programu „Doktorat Wdrożeniowy”, we współpracy z Polską Żeglugą Morską P.P. Praca na statkach, ze względu na trudne środowisko, wiąże się z wieloma problemami, które nie są charakterystyczne dla zawodów lądowych. Głównymi celami tej rozprawy były poznanie wpływu ergonomii mostka nawigacyjnego na efektywną pracę nawigatorów, a także ustalenie w jakim stopniu potrzebują oni wsparcia w utrzymywaniu korzystnych warunków środowiskowych w pracy. Problematyka ta zyskuje na znaczeniu w związku z postępującym rozwojem technologicznym w branży morskiej, a odpowiednia ergonomia może wspomóc człowieka w ocenie sytuacji i przetwarzaniu otaczających go informacji, zwiększając tym samym bezpieczeństwo statku.

W celu zbadania problemu zastosowano analizę literatury naukowej i obowiązujących przepisów, dwa badania ankietowe, badania symulacyjną z wykorzystaniem symulatora mostka nawigacyjnego oraz obserwowano poruszanie się nawigatorów podczas wykonywania rzeczywistej pracy. Przegląd przepisów pozwolił na wykazanie luki regulacyjnej w zakresie czynników środowiskowych na mostku.

Badania ankietowe, przeprowadzone wśród 200 nawigatorów, pozwalają na stwierdzenie, że świadomość ergonomiczna oficerów jest na stosunkowo wysokim poziomie, lecz wiedza ta rzadko wykorzystywana jest w praktyce. Wykazano także, że nawigatorzy bardzo rzadko są wspierani w tym zakresie przez szkolenia na etapie swojego kształcenia, a później również u swoich pracodawców. Większość respondentów zgodziła się ze stwierdzeniem, że dostosowanie warunków na mostku do ich potrzeb ergonomicznych wpłynęłoby pozytywnie na lojalność wobec pracodawcy. W drugim badaniu ankietowym zastosowano model Kano, co pozwoliło na określenie, jak dane rozwiązanie ergonomiczne byłoby odebrane przez nawigatorów i w jaki sposób wpłynęłoby na ich zadowolenie z pracy.

Przeprowadzone badanie symulacyjne wykazało, że niekorzystne warunki ergonomiczne na mostku miały negatywny wpływ na detekcję niektórych obiektów wokół własnego statku. Odnotowano także wyraźny, niekorzystny efekt hałasu i nieodpowiedniego oświetlenia w pomieszczeniu na poczucie uciążliwości wykonywania obowiązków związanych z nawigacją. Obserwacja nawigatorów w rzeczywistych warunkach, podczas wizyt na statkach w eksploatacji, pozwala na stwierdzenie, że nawigatorzy chętnie korzystają z krzesła, lecz nie wpływa ono na obniżoną mobilność oficera podczas pracy. Wynik ten oznacza, że niezasadnym może być zabranianie siadania podczas wachty, co wciąż ma miejsce w praktyce, a naraża człowieka na niekorzystny wpływ wibracji.

We wdrożeniowej części pracy przedstawiono opracowane rozwiązania problemów ergonomicznych na mostkach nawigacyjnych, a także dokonano weryfikacji pod kątem możliwości ich implementacji na statkach z firmowej floty. Ze względu na złożoność problemu, rozwiązania podzielono na szkoleniowe, wyposażeniowe oraz systemowe (automatyzujące czynności wykonywane przez człowieka). Opracowano też metodę wpierającą proces decyzyjny przy ocenie zasadności inwestycji w ergonomię.

Wyniki i wnioski zawarte w tej rozprawie mogą być przydatne nie tylko dla Polskiej Żeglugi Morskiej P.P., ale także dla innych armatorów, projektantów statków, czy samych nawigatorów, chcących stosować proaktywne podejście do problemów związanych z ergonomią mostka nawigacyjnego. Rozprawa ta stanowi dobry punkt wyjściowy do dalszych badań w tej dziedzinie. Wykazano, że wciąż istnieje przestrzeń do poprawy w dziedzinie ergonomii mostka i nakreślono kierunek przyszłych prac.

ABSTRACT

This doctoral dissertation was carried out as a part of the V edition of “Doktorat Wdrożeniowy” program, in cooperation with Polska Żegluga Morska P.P. (POLSTEAM). Working onboard ships, because of difficult environment, is related to many problems which are not characteristic for land jobs. The main goals of this dissertation were to understand the influence of navigation bridge ergonomics on the effectiveness of the navigators and to assess how much support they need to maintain optimal work environment. The research problems gain on the importance in time of rapid technological development in the maritime industry, while appropriate ergonomics may support human in situation assessment and in processing of surrounding information, leading to increased safety of the ship.

To investigate the problem, the author performed the analysis of the scientific literature and present regulations, carried out two questionnaire studies, conducted simulation exercise on the navigation bridge simulator and observed the movement of the navigators during real work onboard ships. The review of regulations revealed the regulatory gap related to environmental factors on the wheelhouse.

The questionnaire studies were carried out among 200 navigators. The results suggest that navigators' ergonomic awareness is at relatively high level, however this knowledge is not frequently used in practice. Based on this research it can be said that bridge crews are rarely supported by the trainings in this field, both during the studies and at their companies. A majority of respondents agreed that adaptation of navigation bridge subject to their ergonomic needs would result in their increased loyalty to the employer. The second questionnaire study, based on the Kano model, allowed to assess the influence of proposed ergonomic solutions on the job satisfaction of navigators.

The results of the exercise conducted on the navigation bridge simulator indicated that improper ergonomic conditions had a negative influence on detection of some kind of objects around the own ship. The study revealed also a significant negative effect of noise and improper lighting in the room on the feeling of nuisance when performing the duties related to navigation. The visits on the ships were performed to understudy navigators' routines during the real work. Observed movement of the officers showed that they frequently used chairs during the duties, however seating did not result in reduced overall mobility during the watch. Therefore, this finding suggests that it is not reasonable to disallow seating during the watch, however such practice, exposing human to excessive levels of transmitted vibrations, still occurs on ships nowadays.

In the implementational section of this dissertation, the developed solutions of ergonomic problems on the navigation bridges are presented and verified in terms of possibility of their implementation on the ships in the company fleet. Due to the complexity of the problem, the solutions were divided into three categories: training, equipment and system (automating activities performed by humans). The method for assessment of the validity of ergonomic investments was provided with a decision support guide.

The outcomes of this doctoral dissertation may be beneficial not only to Polska Żegluga Morska P.P. (POLSTEAM) but also to other shipowners, ship designers and even navigators

adopting proactive attitude towards the ergonomic problems on the wheelhouses. The findings indicate that there is still room for further improvements in the area of bridge ergonomic design. The dissertation provides a good starting point for further research in this field and the direction for further studies has been proposed.

Prace opublikowane w toku doktoratu

Poniżej zamieszczono listę opublikowanych artykułów naukowych, opracowanych na podstawie badań przeprowadzonych w toku tej rozprawy doktorskiej. Zawarto także informację dotyczącą punktacji danego czasopisma w momencie ogłoszenia publikacji, na podstawie wykazu czasopism punktowanych, wydawanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW).

1. Stopa M. i Szlarczyński R.: *Bridge Ergonomic Design: A Review*, TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 16(4), 2022, s. 701–707. <https://doi.org/10.12716/1001.16.04.11>. (70 pkt. na Liście MNiSW)
Wkład w publikację (80%): Analiza aktualnych przepisów, zaleceń i literatury naukowej. Opisanie procesu nawigacji, układu mostka nawigacyjnego oraz wyposażenia na statkach.
2. Stopa M.: *Approach to understanding navigators' ergonomic needs based on the Kano model*, Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin-Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 73(145), 2023, s. 64–72. <https://doi.org/10.17402/556>. (70 pkt. na Liście MNiSW)
3. Stopa M.: *Assessment of navigators' ergonomic awareness and working conditions on navigation bridges*, International Shipbuilding Progress, 71(1), 2024, s. 29–47. <https://doi.org/10.3233/isp-230014>. (140 pkt. na Liście MNiSW)
4. Stopa M.: *Do Chairs Reduce a Navigator's Mobility? Pilot Study on the Influence of Navigation Bridge Design on Lookout Routines*, Polish Maritime Research, 31(3), 2024, s. 142–153. <https://doi.org/10.2478/pomr-2024-0044>. (100 pkt. na Liście MNiSW)

Udział w konferencjach naukowych w toku doktoratu

Poniżej wypisano referaty wygłoszone na międzynarodowych konferencjach, opracowane na podstawie badań przeprowadzonych w toku tego „doktoratu”.

1. **XIXth International Scientific and Technical Conference on Marine Traffic Engineering MTE 2022**, Maritime University of Szczecin, Kołobrzeg, 12–14 października 2022, tytuł referatu: *„Approach to understanding navigators’ ergonomic needs based on the Kano model”*.
2. **15th International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation TransNav 2023**, the Faculty of Navigation of the Gdynia Maritime University and The Nautical Institute, Gdynia, 21–23 czerwca 2023, tytuł referatu: *„Bridge Ergonomic Design: A Review”*.

Wzięto także bierny udział (bez wygłoszenia referatu) w poniższej konferencji naukowej.

1. **I Konferencja Transport Autonomiczny (AUTTRANS)**, Uniwersytet Morski w Gdyni, Gdynia, 10 grudnia 2024.

Oświadczenie o wkładzie autorskim doktoranta w artykuł naukowy

Niniejszym oświadczam, że jestem współautorem publikacji:

„Stopa M. i Szlarczyński R.: *Bridge Ergonomic Design: A Review*, TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 16(4), 2022, s. 701–707.
<https://doi.org/10.12716/1001.16.04.11>”.

Oświadczam również, że procentowy wkład autorski w ww. publikację **mgr. inż. Michała Stopy** wynosi **80%**.

Potwierdzam, że **mgr inż. Michał Stopa** jest współautorem wiodącym i autorem korespondencyjnym tej publikacji.

.....

Data i miejscowość

.....

Podpis współautora

Wykaz ważniejszych oznaczeń i skrótów

A_m – natężenie oświetlenia otoczenia [lx]
 CS^- – współczynnik niezadowolenia otrzymany w badaniu modelem Kano [-]
 CS^+ – współczynnik zadowolenia otrzymany w badaniu modelem Kano [-]
 e – liczba Eulera
 f – częstotliwość modulująca [Hz]
 H – wysokość oczu obserwatora [m]
 H_c – wzniesienie Słońca [°]
 K – kurs statku [°]
 k – pasmo oktafowe [Hz]
 L_p – poziom ciśnienia akustycznego w danej odległości od źródła [dB]
 L_w – poziom mocy akustycznej emitowanej ze źródła [dB]
 Mdn – mediana
 m – wartość funkcji przenoszenia modulacji [-]
 m_i – wskaźnik modulacji sygnału wejściowego [-]
 m_o – wskaźnik modulacji sygnału wyjściowego [-]
 N – liczebność próby badawczej
 n – liczebność grupy
 OP – optymalna wartość luminancji wyświetlaczy [cd/m^2]
 P – prawdopodobieństwo wykrycia obiektu
 $Q1$ – pierwszy kwartył
 $Q3$ – trzeci kwartył
 R_{inf} – ilość promieniowania podczerwonego, która zostanie odbita od powierzchni [%]
 r – odległość od źródła [m]
 S_{odds} – szansa
 T_{inf} – ilość promieniowania podczerwonego, która przejdzie do następnego ośrodka [%]
 u_i – efekt losowy dla uczestników badania symulacyjnego
 V_{CRA} – współczynnik V Cramera
 v_j – efekt losowy dla etapów badania symulacyjnego
 w – współczynnik kategorii otrzymany w badaniu modelem Kano [-]
 w_k – efekt losowy dla wariantów badania symulacyjnego
 Z – wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora [-]
 Z_p – poprawiony wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora [-]
 Z_n – azymut rzeczywisty Słońca [°]
 α – przyjęty poziom istotności statystycznej
 β – współczynnik regresji dla zmiennej niezależnej
 ε – błąd losowy (reszty) w modelu statystycznym
 μ – średni czas wykrycia obiektu podczas badania symulacyjnego
 σ^2 – wariancja
 X^2 – statystyka testu chi-kwadrat

α_i – kąt padania promieni podczerwonych [°]
 α_k – kąt kursowy na Słońce [°]
 α_r – kąt załamania promieni podczerwonych [°]
 A – kategoria Atrakcyjna według modelu Kano
 ABS – *American Bureau of Shipping*
 AIS – *Automatic Identification System*, System Automatycznej Identyfikacji
 ANOVA – Analysis of Variance, analiza wariancji
 ARPA – *Automatic Radar Plotting Aid*, urządzenie do automatycznego prowadzenia nakresów radarowych
 BNWAS – *Bridge Navigational Watch Alarm System*, System Kontroli Czujności Oficera Wachtowego
 CI – *Confidence Interval*, przedział ufności
 COLREG – *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*, Konwencja w sprawie międzynarodowych przepisów o zapobieganiu zderzeniom na morzu
 D – pozycja dynamiczna
 DIP – kąt obniżenia horyzontu prawdziwego względem astronomicznego [°]
 ECDIS – *Electronic Chart Display and Information System*, System Obrazowania Elektronicznych Map i Informacji Nawigacyjnych
 EMM – *Estimated Marginal Means*, szacowane średnie krańcowe
 FTP Code – *International Code for Application of Fire Test Procedures*, Międzynarodowy kodeks stosowania procedur prób ogniowych
 GLMM – *Generalised Linear Mixed Model*, uogólniony model liniowy w ujęciu mieszanym
 GMDSS – *Global Maritime Distress and Safety System*, Światowy Morski System Łączności Alarmowej i Bezpieczeństwa
 GPS – *Global Positioning System*
 GT – *Gross Tonnage*, pojemność rejestrowa brutto
 HRA – *High Risk Area*, obszar wysokiego ryzyka
 I – kategoria Obojętna według modelu Kano
 IACS – *International Association of Classification Societies*, Międzynarodowe Stowarzyszenie Towarzystw Klasyfikacyjnych
 IBS – *Integrated Bridge System*, System Mostka Zintegrowanego
 ILO – *International Labour Organization*, Międzynarodowa Organizacja Pracy
 IMO – *International Maritime Organization*, Międzynarodowa Organizacja Morska
 INS – *Integrated Navigation System*, Zintegrowany System Nawigacji
 LCD – *Liquid Crystal Display*, wyświetlacz ciekłokrystaliczny
 LED – *Light Emitting Diode*, dioda elektroluminescencyjna
 M – kategoria Obowiązkowa według modelu Kano
 MLC – *Maritime Labour Convention*, Konwencja o pracy na morzu
 MSC – *Maritime Safety Committee*, Komitet Bezpieczeństwa Morskiego
 MTF – *Modulation Transfer Function*, funkcja przenoszenia modulacji

O – kategoria Jednowymiarowa według modelu Kano
OR – iloraz szans
PVC – *Polyvinyl Chloride*, polichlorek winylu
Q – kategoria Wątpliwa według modelu Kano
R – kategoria Odwrotna według modelu Kano
REML – *Restricted Maximum Likelihood*, ograniczona metoda największej wiarygodności
RLMM – *Robust Linear Mixed-Effects Model*, odporny liniowy model z efektami mieszanymi
Ro-Pax – *Roll-on/Roll-off Passenger*, prom samochodowo-pasażerski
Ro-Ro – *Roll-on/Roll-off*, statek do przewozu ładunków toczonych
S – pozycja statyczna
SBR – *Styrene-Butadiene Rubber*, kauczuk butadienowo-styrenowy
SMS – *Safety Management System*, System Zarządzania Bezpieczeństwem
SOLAS – *International Convention for the Safety of Life at Sea*, Międzynarodowa konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu
STCW – *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*, Międzynarodowa konwencja o wymaganiach w zakresie wykształcenia marynarzy, wydawania im świadectw oraz pełnienia wacht
STI – *Speech Transmission Index*, wskaźnik transmisji mowy
UKHO – *United Kingdom Hydrographic Office*, Biuro Hydrograficzne Wielkiej Brytanii
UNCLOS – *United Nations Convention on the Law of the Sea*, Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza
UTC – *Coordinated Universal Time*, Uniwersalny czas koordynowany
UV – *Ultraviolet radiation*, promieniowanie ultrafioletowe
UX – *User experience*, doświadczenie użytkownika
VDR – *Voyage Data Recorder*, Rejestrator Danych z Podróży
ZRW – zasięgowa regulacja wzmocnienia

1. WPROWADZENIE

Transport morski jest zarówno najtańszą i największą odnogą transportu, ponieważ towary przewożone w ten sposób odpowiadają za około 80% wolumenu handlu międzynarodowego, a wartość ta może być jeszcze większa dla krajów rozwijających się [1]. Od momentu prowadzenia statystyk przez powyższe źródło, liczba statków na świecie stale rośnie, a w 2024 roku wyniosła ponad 112 tys. jednostek [2]. Jednocześnie, mediana czasu przebywania w porcie wyniosła w 2023 roku zaledwie 0,99 dnia [3]. Globalizacja w żegludze przyspiesza i intensyfikuje interakcje między ludźmi, firmami i rządami, co promuje także postęp technologiczny [4]. Minimalizacja czasu spędzonego w porcie oraz skrócenie procesu cumowania i operacji ładunkowych zmniejsza koszty zarówno dla armatorów i charterujących. Z drugiej strony, może to skutkować zwiększonym zmęczeniem marynarzy, również nawigatorów podczas wachty na mostku w trakcie podróży morskich [5]. Do problemu ogólnego zmęczenia bezpośrednio odnosi się ergonomia – dyscyplina zajmująca się zrozumieniem interakcji między człowiekiem i innymi elementami systemu [6, 7]. W ergonomii, niedopuszczalnie wysoki poziom błędów ludzkich i urazów jest uważany za problem systemu, nie operatora [8]. W związku z tym, głównym celem ergonomii jest poprawa bezpieczeństwa, zdrowia, komfortu i wydajności ludzi poprzez odpowiednie projektowanie systemów i miejsc pracy [9]. Można zauważyć, że ergonomia jest kluczowa w kontekście nawigacji, gdzie ze względu na swoją złożoność, System Mostka Zintegrowanego (ang. IBS – *Integrated Bridge System*) można opisywać jako system systemów [10] i gdzie błędy ludzkie mogą być szczególnie kosztowne oraz niebezpieczne. Wdrożenie nowego sprzętu, narzędzi i technologii, w tym koncepcji e-Nawigacji, ma w założeniu zwiększyć bezpieczeństwo żeglugi [11]. Jednak złożoność systemów i nadmiar informacji przekazywanych do nawigatora może mieć wręcz odwrotny skutek.

Istnieje wiele różnych, uzupełniających się lub częściowo pokrywających się definicji ergonomii [12]. Ostatecznie, głównym celem ergonomii jest zastosowanie wiedzy o cechach ludzkich przy projektowaniu systemów lub miejsc pracy. Ludzie w pracy są wystawieni na różne bodźce, dlatego ergonomia środowiskowa zajmuje się tym, w jaki sposób wchodzi oni w interakcję ze środowiskiem [13]. Obejmuje to wszystkie czynniki fizyczne, chemiczne, biologiczne, organizacyjne, społeczne i kulturowe otaczające pracownika [14]. Można wyróżnić następujące typy ergonomii:

- ergonomia fizyczna – obejmująca takie tematy jak, między innymi, układ miejsca pracy i dostosowanie go do naturalnych ruchów ciała, bezpieczeństwo fizyczne, zdrowie oraz związane z pracą zaburzenia układu mięśniowo-szkieletowego,
- ergonomia kognitywna (poznawcza) – obejmująca zagadnienia związane z procesami myślowymi, takimi jak pamięć, poznawanie, czy reakcje człowieka,
- ergonomia organizacyjna – zajmująca się optymalizacją działania systemów socjotechnicznych, takich jak struktury organizacyjne, procedury i procesy [6].

Ergonomiczne projektowanie można zdefiniować jako przełożenie możliwości i ograniczeń człowieka na wymagania systemowe i jego działanie [15]. Oprócz zaplanowania, organizacji i aranżacji miejsca niezbędne jest także przeszkolenie pracowników, aby mogli

wykonywać swoje obowiązki w sposób jak najbardziej efektywny i odpowiedni dla zdrowia. W tym przypadku świadomość ergonomiczna nie powinna ograniczać się do wiedzy, że ergonomia istnieje. Konieczne jest zrozumienie i przestrzeganie jej głównych zasad, aby zoptymalizować wydajność w zależności od obecnej sytuacji i poprawić własne samopoczucie podczas pracy. W niniejszej pracy koncentrowano się na ergonomii związanej ze środowiskiem pracy, to znaczy z hałasem, wibracjami, oświetleniem, temperaturą i wilgotnością powietrza, ale także z wpływem konstrukcji mostka i umiejscowieniem krzesła na nawyki i poruszanie się nawigatorów.

Spośród wszystkich operacji w transporcie morskim, uważanym za sektor wysokiego ryzyka, za najbardziej krytyczną uznawana jest nawigacja [16]. Nawigatorzy są bezpośrednio odpowiedzialni za bezpieczeństwo statku, ładunku, załogi i pasażerów, dlatego należy oczekiwać, że ich miejsce pracy pozwala na najbardziej efektywne wykonywanie obowiązków. Mostki nawigacyjne i proces ich projektowania są często krytykowane za to, że koncentrują się na technologii i nie uwzględniają potrzeb związanych z eksploatacją statku przez człowieka [17]. Pomimo ogromnego postępu technologicznego i testów bezzałogowych, autonomicznych jednostek pływających, człowiek nadal pozostaje operatorem statków handlowych. Statki można uznać za złożone systemy społeczno-techniczne, w których marynarze wchodzi w interakcję z technologią mającą na celu zwiększenie efektywności działania [18]. Zaletą mostku obsadzonego przez wykwalifikowanego oficera jest możliwość weryfikowania otrzymywanych informacji z rzeczywistą sytuacją [19]. Nowe rozwiązania techniczne mają na celu zwiększenie świadomości sytuacyjnej nawigatorów i poprawę bezpieczeństwa statku [20]. Za podjęcie ostatecznej decyzji dotyczącej unikania kolizji odpowiedzialny jest nawigator, który korzysta ze wsparcia technologii. Na niekorzyść nawigatorów w przypadku awarii sprzętu przemawia brak odpowiedzialności ze strony ludzi stojących za urządzeniami, podczas gdy operator na pokładzie statku zwykle zostaje uznany za winnego w razie wypadku [21]. Wyznaczenie granicy polegania i nadmiernego polegania na pomocach nawigacyjnych może być bardzo trudne, niemniej jedną ze skutecznych metod weryfikacji działania przyrządów nawigacyjnych jest niewątpliwie obserwacja wzrokowa. Problem niepoprawnej obserwacji może narastać w XXI wieku, ponieważ nadmierne poleganie na pomocach technicznych obniża standardy prowadzenia wacht [22]. Na bezpieczeństwo żeglugi morskiej wpływają dodatkowo pozatechniczne umiejętności załogi, w tym świadomość sytuacyjna, szybkość podejmowania decyzji i umiejętności zarządzania [23]. Ponadto, czynniki ludzkie, technologiczne, ekonomiczne, środowiskowe i organizacyjne również oddziałują na zachowanie i działania ludzi w pracy [24]. Biorąc pod uwagę, że za decyzje związane z bezpieczeństwem statku odpowiadają nawigatorzy, rozwiązanie problemów ergonomicznych na mostku może nie tylko poprawić komfort pracy i ogólny dobrostan marynarzy, ale także zmniejszyć liczbę wypadków spowodowanych błędami ludzkimi. Zarówno projektanci mostków, jak i producenci urządzeń, powinni szukać równowagi między zmniejszeniem obciążenia pracą, a wystarczającym zaangażowaniem człowieka w prowadzenie nawigacji.

Rynek morski boryka się obecnie z globalnym niedoborem wykwalifikowanych oficerów, koniecznych do obsady statków [25]. Co więcej, globalny kryzys związany z podmianami załóg w latach 2020 i 2021, spowodowany pandemią COVID-19, ma wciąż duży wpływ na zdrowie

i samopoczucie marynarzy, gdyż mógł on prowadzić do przemęczenia, niepokoju i problemów ze zdrowiem psychicznym [26]. Zmniejszająca się liczba osób wchodzących w skład załogi prowadzi tym samym do zwiększonego obciążenia pracą i zmęczenia [27]. Certyfikat bezpiecznej obsługi statku (ang. *Minimum Safe Manning Certificate*) wyznacza minimalne standardy w tym zakresie, jednak pozostawienie jedynie szkieletowej załogi może skutkować obniżeniem poziomu bezpieczeństwa. Biorąc pod uwagę, że niektóre prace (takie jak cumowanie lub operacje ładunkowe) są nieuniknione, a załoga statku może wykonywać swoje obowiązki nawet przez kilka miesięcy, bez ani jednego dnia wolnego, zmęczenie już teraz uważane jest za poważny problem w branży morskiej. Armatorzy powinni szukać więc rozwiązań, które przyciągną nowych pracowników oraz utrzymają w eksploatacji obecne załogi, przy czym to drugie może okazać się nawet istotniejsze [28].

Wiele publikacji naukowych związanych z ergonomią i czynnikiem ludzkim w transporcie morskim dotyczy mostka nawigacyjnego. Obejmuje to między innymi analizę alarmów na mostku jako rozpraszaczy, którą przeprowadzili Maglić i Zec [29] lub badania użyteczności ECDIS (ang. *Electronic Chart Display and Information System*), których autorami są Arslan i in. [30]. Rzadko jednak badany jest wpływ konstrukcji sterówki, jej układu, czy warunków panujących w pomieszczeniu na efektywność pracy nawigatora, a także badania satysfakcji marynarzy z ich pracy [31]. Podobnie, obowiązki związane z obserwacją wśród zawodowych nawigatorów były już przeprowadzane w przeszłości, między innymi przez Wynn i in. [32], ale rzadko uwzględniany jest wpływ czynników ergonomicznych lub ograniczeń przestrzennych. Duże obciążenie pracą i brak przeszkolenia w zakresie utrzymywania sprzyjających warunków ergonomicznych, mogą prowadzić do wystąpienia okoliczności utrudniających lub nawet uniemożliwiających prowadzenie efektywnej obserwacji. Przy obecnej liczbie statków i natężeniu ruchu, nawet kilka minut nieskutecznej obserwacji dziennie może stanowić poważne niebezpieczeństwo. Problem jest o tyle istotny, że dotyczyć może niemal wszystkich statków na świecie, a konsekwencje popełnionych błędów mogą powodować zagrożenie dla bezpieczeństwa statku, życia ludzi oraz środowiska.

1.1. Cel pracy i hipotezy badawcze

Głównymi celami pracy były poznanie skali wpływu warunków ergonomicznych panujących na mostku nawigacyjnym na efektywność pracy nawigatora, a także ustalenie, w jakim stopniu nawigatorzy potrzebują wsparcia w utrzymywaniu korzystnych warunków środowiska pracy, które są niezbędne dla zapewnienia bezpieczeństwa statku. Do osiągnięcia założonych celów potrzebne było zrealizowanie szeregu powiązanych badań. Ogólny przebieg prac zrealizowanych w toku tej rozprawy przedstawiono na rys. 1.1.



Rys. 1.1. Przebieg prac zrealizowanych w toku tej rozprawy doktorskiej.

Rozpoczęto od przeglądu przepisów w zakresie ergonomicznego projektowania mostków, aby ocenić, czy nawigatorzy otrzymują wystarczające wsparcie od organów legislacyjnych dla zapewnienia im ergonomicznego miejsca pracy, a także skonfrontowania obecnych przepisów i zaleceń z postępem technologicznym w tej dziedzinie. Kolejnym krokiem było przeprowadzenie wywiadów eksperckich z doświadczonymi nawigatorami, które były

wstępem do dalszych badań. Na podstawie wyników wywiadów opracowano część pytań ankiety badawczej oraz scenariusz ćwiczenia symulacyjnego, wzbogacając je o praktyczną perspektywę specjalistów z branży. Dokonano oceny satysfakcji nawigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych, co pozwoliło na ukierunkowanie prac nad rozwiązaniem problemów i nadanie im priorytetów. Następnie, za pomocą badania ankietowego zbadano świadomość ergonomiczną profesjonalnych nawigatorów i warunki panujące na ich statkach. Dało to pogląd na skalę problemu, pozwoliło zauważyć niepokojące trendy oraz ogólny stosunek do ergonomii. Zrealizowano serię wizyt na statkach w rutynowej eksploatacji, gdzie obserwowano potencjalne problemy oraz nawyki i poruszanie się oficerów wachtowych podczas pracy. Zamodelowano specjalne zadanie na symulatorach mostka nawigacyjnego, uwzględniające oświetlenie, hałas i różne typy obiektów wokół własnego statku. Następnie zostało ono wykonane przez grupę 30 nawigatorów umożliwiając ocenę wpływu warunków ergonomicznych na detekcję obiektów oraz subiektywną uciążliwość wykonywania obowiązków. Po zbadaniu problemu przystąpiono do opracowania rozwiązań poprawiających ergonomię mostka nawigacyjnego, analizy możliwości ich implementacji na statkach handlowych oraz do oceny zasadności ich wprowadzania.

Dla lepszego opisanego podjętego problemu badawczego, sformułowano poniższe hipotezy, a także postawiono następujące pytania badawcze:

HIPOTEZY:

- **Hipoteza 1:** „Ergonomia mostka ma wpływ na efektywność pracy nawigatora i bezpieczeństwo statku”,
- **Hipoteza 2:** „Doświadczenie nawigatora wpływa na jego świadomość ergonomiczną”,
- **Hipoteza 3:** „Warunki środowiskowe w pomieszczeniu i doświadczenie nawigatora wpływają na czas zauważania obiektów wokół statku własnego”,
- **Hipoteza 4:** „Wpływ ergonomii mostka na odczuwanie uciążliwości prowadzenia nawigacji zależy od występowania i typu zakłóceń w pomieszczeniu”.

PYTANIA BADAWCZE:

- **Pytanie badawcze 1:** „Jaki jest wpływ ergonomii mostka na efektywną pracę nawigatora?”,
- **Pytanie badawcze 2:** „Jaki jest poziom świadomości nawigatorów w zakresie wpływu ergonomii na ich pracę?”,
- **Pytanie badawcze 3:** „Jakie są możliwości i koszt automatycznej poprawy czynników ergonomicznych na mostku stosownie do panujących warunków?”.

W trakcie prowadzonych prac, obejmujących badanie poruszania się nawigatorów na mostkach nawigacyjnych podczas rutynowych wacht, pojawiła się możliwość zweryfikowania dwóch hipotez dodatkowych, a mianowicie:

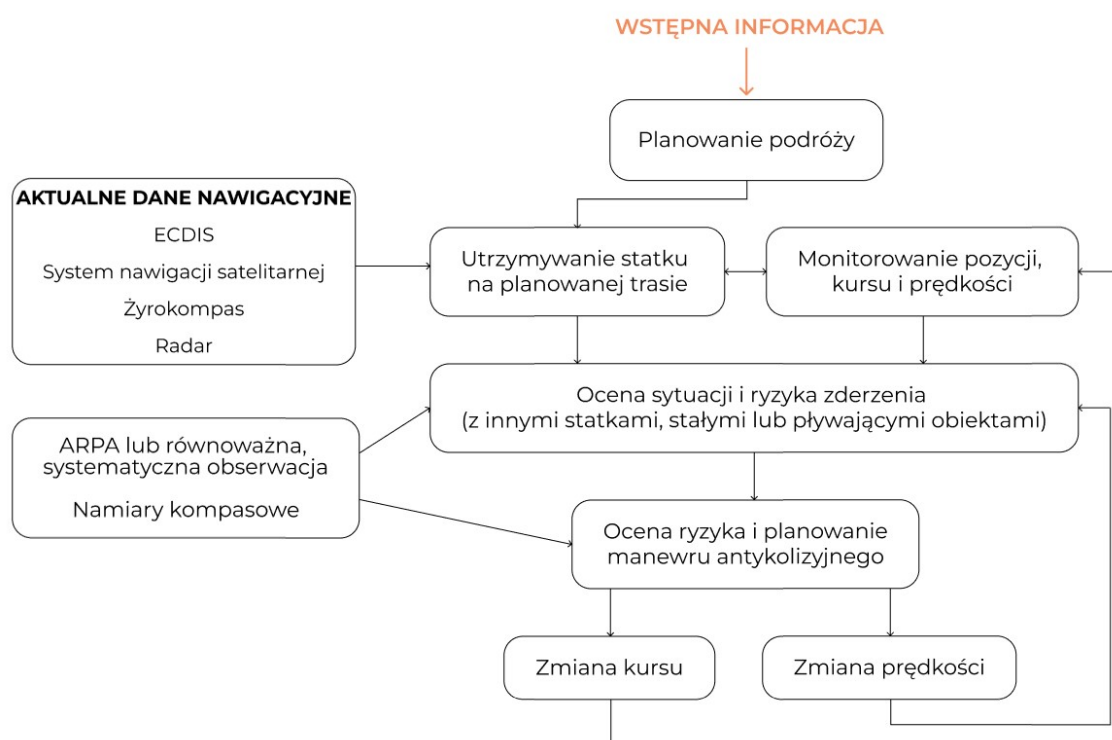
- **Hipoteza dodatkowa 1:** „Najczęściej użytkowanymi częściami mostka są jego centralne obszary”,

- **Hipoteza dodatkowa 2:** „Jeśli na mostku znajduje się krzesło, nawigator spędzi więcej czasu na nim niż gdzie indziej”.

Wyniki badań prowadzonych w toku tej rozprawy mogą doprowadzić do lepszego zrozumienia wpływu konstrukcji i ergonomii mostka na nawigatorów, prowadząc do poprawy wydajności ich pracy oraz zdrowia i bezpieczeństwa, poprzez rozwiązanie współczesnego problemu nieefektywności i zmęczenia. Postęp technologiczny jest bardzo szybki, dlatego warto badać obecne problemy, potrzeby i przyzwyczajenia profesjonalistów, porównywać je z przeszłością i próbować przewidzieć ergonomiczną konstrukcję przyszłych statków. Praca ta ma w założeniu doprowadzić do poprawy bezpieczeństwa oraz ogólnego dobrostanu marynarzy poprzez zrozumienie i spełnienie ich potrzeb ergonomicznych.

1.2. Proces nawigacji

Nawigację morską można zdefiniować jako proces bezpiecznej i efektywnej eksploatacji statku na morzu [33]. Sam proces żeglugi można również rozłożyć na poszczególne składowe: plany i czynności wykonywane w należyтым porządku, sekwencyjnie i zgodnie z okolicznościami, zdarzeniami i zagrożeniami występującymi wokół statku [34]. Uproszczony model wyjaśniający proces prowadzenia bezpiecznej nawigacji zaprezentowano na rys. 1.2.



Rys. 1.2. Uproszczony model procesu prowadzenia nawigacji.
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Jurdziński [37].

Jednym z najważniejszych czynników dla zapewnienia bezpiecznej żeglugi jest obserwacja otoczenia statku. Obserwacja wymaga ludzkich zmysłów, dostarczających dane wejściowe do procesu podejmowania decyzji przez nawigatora [35]. Zgodnie z prawidłem 5

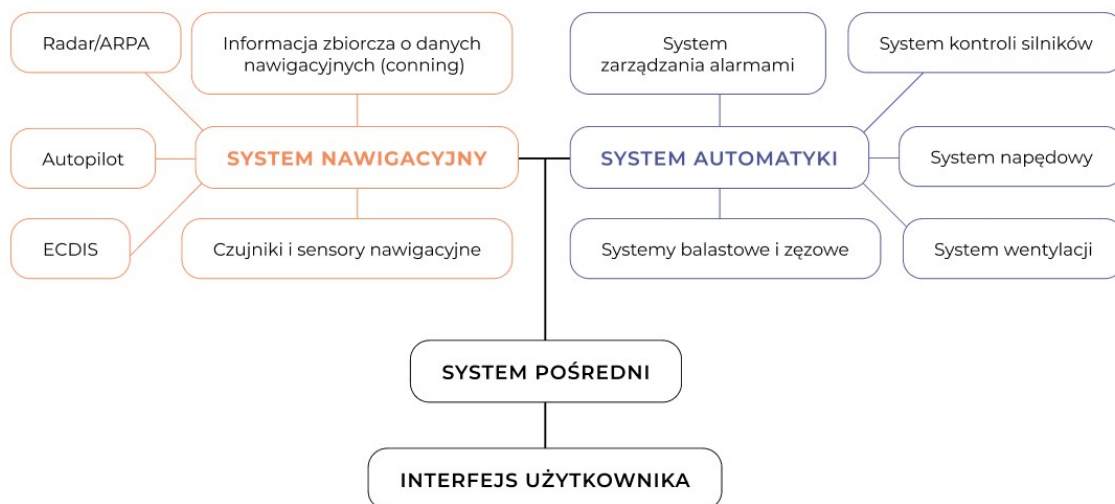
Konwencji COLREG (ang. *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea*): „Każdy statek powinien stale prowadzić właściwą obserwację zarówno wzrokową i słuchową, jak i za pomocą wszystkich dostępnych środków w istniejących okolicznościach i warunkach odpowiednich do pełnej oceny sytuacji i ryzyka zderzenia.” [36]. Jednak statek, jako konstrukcja, nie prowadzi obserwacji otoczenia i nie ocenia sytuacji, obowiązki te wykonuje dowodzący, wykwalifikowany oficer. W tym kontekście, ani wzrok, ani słuch nie może być obecnie zastąpiony technologią. Ergonomiczna konstrukcja mostka nawigacyjnego jest zatem niezbędna do pełnienia wachty, a także do prowadzenia bezpiecznej nawigacji.

Uwzględniając czynniki potrzebne do prowadzenia nawigacji, nowoczesna technologia zapewnia informacje dotyczące między innymi aktualnej sytuacji statku, pozycji, prędkości i kursu własnego statku, a także pozwala na predykcję ruchu jednostki. Zintegrowany System Nawigacji (ang. INS – *Integrated Navigation System*) gromadzi szeroką gamę danych, które są potrzebne do osiągnięcia pełnego zobrazowania sytuacji nawigacyjnej, integrując pracę wielu urządzeń [38]. Główne funkcje, jakie powinien oferować INS to: przeciwdziałanie kolizjom, planowanie i monitorowanie podróży, kontrola toru ruchu, status nawigacyjny i wyświetlanie danych nawigacyjnych, a także zarządzanie alarmami [39]. W przypadku uszkodzenia jednego z elementów składających się na INS powinno być możliwe indywidualne używanie każdego z poszczególnych części tego systemu [40].

IBS, będący rozwinięciem INS [41], można zdefiniować połączenie systemów w celu zcentralizowanego dostępu do informacji z czujników oraz umożliwienia wykwalifikowanemu personelowi sterowania i dowodzenia ze stanowisk roboczych, prowadząc do zwiększenia bezpieczeństwa i efektywności zarządzania statkiem [42]. Integracja powinna obejmować systemy odpowiadające za co najmniej dwa z poniższych aspektów:

- prowadzenie nawigacji podczas podróży,
- komunikację,
- kontrolę maszynowni statkowej,
- operacje ładunkowe,
- bezpieczeństwo i ochronę (ang. *safety and security*) [43].

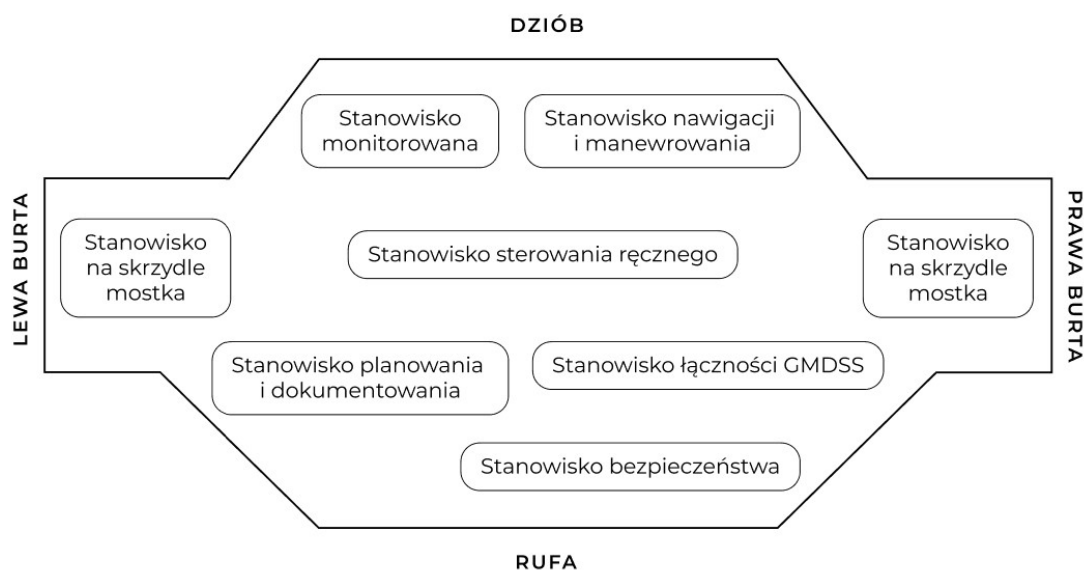
IBS powinien być zaprojektowany tak, żeby uszkodzenie jednego z podsystemów nie powodowało uszkodzenia innych, a także informowało operatora za pomocą alarmu audiowizualnego [40]. Można uznać, że składa się on z dwóch oddzielnych składowych: systemu nawigacyjnego i systemu automatyki, co zaprezentowano na rys. 1.3, spełniając tym samym różne wymagania towarzystw klasyfikacyjnych [44]. System nawigacyjny składa się między innymi z radaru z przystawką ARPA (ang. *Automatic Radar Plotting Aid*), ECDIS, autopilota, informacji zbiorczej o danych nawigacyjnych (ang. *conning display*), a także innych sensorów i urządzeń nawigacyjnych. Za składowe systemu automatyki można uznać systemy odpowiadające za kontrolę silników, napędu, balastów, zenz, wentylacji, a także system zarządzania alarmami [45]. Należy zaznaczyć, że IBS nie jest obecnie obowiązkowy na statkach handlowych [46]. Oferowane są więc różne projekty, tak by w założeniu uwzględniać konkretne potrzeby danego statku.



Rys. 1.3. Uproszczony schemat Systemu Mostka Zintegrowanego.
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Perera i Guedes Soares [44].

1.3. Mostek jako centrum dowodzenia statkiem

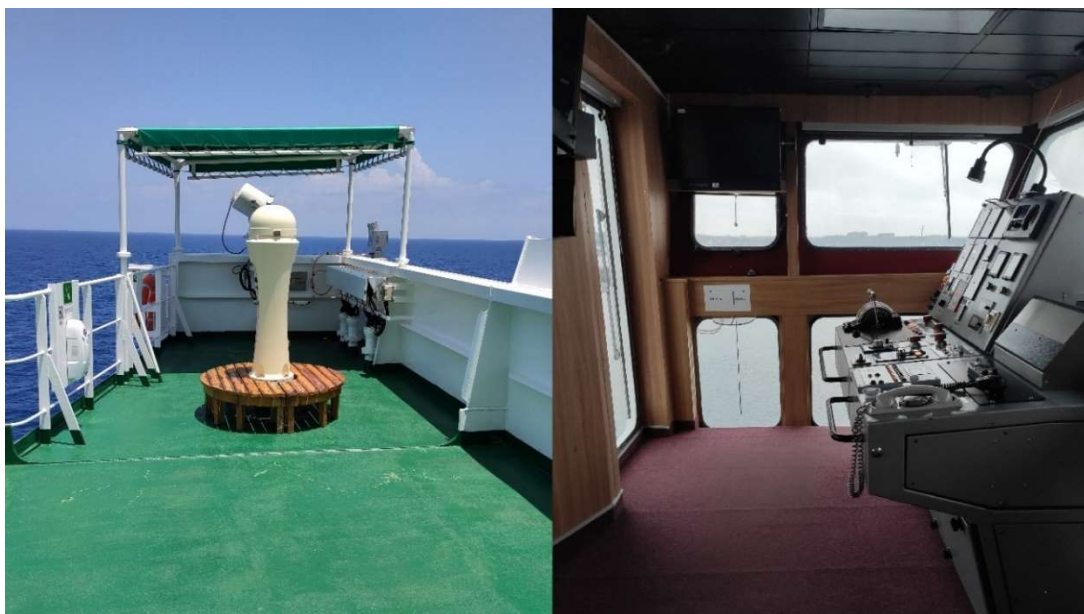
Mostek jest centrum dowodzenia statkiem, a tym samym jego kluczową częścią [47]. Do obowiązków nawigatora, oprócz tych omówionych wcześniej, należy także wiele innych czynności, jak dokumentowanie podróży, rutynowe testowanie sprzętu oraz nadzór nad pracami prowadzonymi na pokładzie. Obowiązki oficera pokładowego są złożone, dlatego na mostku znajdują się stanowiska pracy o różnym wyposażeniu i przeznaczeniu. Wymagania dotyczące sektorów widoczności horyzontu z każdego stanowiska pracy są opisane w Konwencji SOLAS (ang. *International Convention for the Safety of Life at Sea*), rozdziale V, prawidło 22, natomiast ich proponowane wyposażenie i sugerowany układ całej sterówki, który przedstawiono na rys. 1.4, można znaleźć w cyrkularzu MSC/Circ.982 lub w standardzie ISO 8468:2007.



Rys. 1.4. Sugerowany układ stanowisk roboczych na mostku nawigacyjnym.
Źródło: opracowanie własne na podstawie: International Maritime Organization [48] i International Organization for Standardization [49].

Można wyszczególnić kilka rodzajów stanowisk roboczych na mostku, a dokładnie:

- stanowisko nawigacji i manewrowania – główne stanowisko pracy nawigatora, rekomendowane usytuowanie w kierunku prawej burty, blisko osi symetrii statku. Powinno umożliwiać pracę w pozycji zarówno siedzącej jak i stojącej. W tym miejscu powinna być zapewniona wystarczająco dobra widoczność, odpowiednia prezentacja informacji i dostęp do urządzeń koniecznych do sterowania i określania ruchu statku. Stanowisko to powinno umożliwiać bezpieczną obsługę statku, zwłaszcza gdy wymagana jest szybka sekwencja działań,
- stanowisko monitorowania – rekomendowane umiejscowienie w kierunku lewej burty, w pobliżu osi symetrii statku, pozwalające na wykonywanie obowiązków zarówno w pozycji siedzącej jak i stojącej. Głównym założeniem tego stanowiska jest umożliwienie stałej obserwacji otoczenia oraz sprawdzania decyzji podejmowanych przez osobę na stanowisku nawigacji i manewrowania. Może być ono używane przez oficera wachtowego, kapitana lub pilota w celach doradczych, wspomagając osobę głównodowodzącą i weryfikując jej działania. Konieczna na tym stanowisku jest odpowiednia widoczność i prezentacja informacji na temat ruchu statku,
- stanowiska na skrzydłach mostka – stanowiska te powinny znajdować się na obu skrzydłach mostka i umożliwiać nawigatorowi (i pilotowi, jeśli jest obecny na mostku) obserwację wzrokową sytuacji na zewnątrz statku oraz otrzymywanie informacji o parametrach ruchu. Skrzydła mostka mogą być otwarte lub zamknięte, co skutkuje ich różną konstrukcją i wyposażeniem. Przykładowe otwarte i zamknięte skrzydło mostka przedstawiono na rys. 1.5,



Rys. 1.5. Przykładowe stanowiska na skrzydłach mostka nawigacyjnego na skrzydle otwartym (z lewej) i na skrzydle zamkniętym (z prawej).

Źródło: zdjęcia autorskie.

- stanowisko sterowania ręcznego – z tego stanowiska sternik może sterować statkiem, zgodnie z komendami dowodzącego nawigatora. Powinno ono zapewniać dobre pole widzenia i zawierać odpowiednie wskaźniki na temat ruchu statku. Jego zalecaną lokalizacją jest linia osi symetrii statku. Najlepiej, gdy zaprojektowane jest ono tak, by umożliwiała pracę na siedząco,
- stanowisko planowania i dokumentowania – stanowisko przeznaczone do planowania operacji statku oraz dokumentowania istotnych wydarzeń (np. planowania trasy lub wypełniania dziennika pokładowego w trakcie rejsu),
- stanowisko bezpieczeństwa – w tym miejscu proponowane jest umieszczenie wyświetlaczy i innych elementów związanych z systemami bezpieczeństwa. Może to obejmować dostęp do komunikacji wewnętrznej lub zewnętrznej, monitoringu statkowego i tym podobne,
- stanowisko łączności GMDSS (ang. *Global Maritime Distress and Safety System*) – stanowisko przeznaczone do obsługi i kontroli łączności oraz urządzeń GMDSS [48, 49].

1.4. Czynniki ludzkie i problemy ergonomiczne na mostku nawigacyjnym

Chociaż standaryzacja wyposażenia statków w ramach Konwencji SOLAS jest niezbędna w sektorze morskim [50], nadal nie rozwiązuje w pełni problemu czynnika ludzkiego. Niestety, wiele badań, jak te przeprowadzone przez Wang'a i Dai'a [51], wykazało, że błąd ludzki jest najczęstszą przyczyną wypadków morskich. Niewłaściwa obserwacja jest zdecydowanie klasyfikowana do tej kategorii, a w latach 2002–2016 była także najczęstszą bezpośrednią przyczyną kolizji, nadmiernych zbliżeń i wypadków na morzu, przyczyniając się aż do 24,6% tych zdarzeń [52]. Chociaż publikowane statystyki pokazują, że odsetek błędów ludzkich nieznacznie spada w ostatnich latach, to wciąż stanowi od 60% do 80% wszystkich przyczyn wypadków morskich [53]. Należy zaznaczyć, że błędy te dotyczą nie tylko ergonomii, ale także braku wiedzy, zaniedbania obowiązków czy nieporozumień w komunikacji. Czynniki ludzkie jest obecnie zawarty w planie strategicznym Międzynarodowej Organizacji Morskiej (ang. IMO – *International Maritime Organization*) na lata 2024-2029, podobnie jak miało to miejsce w poprzednim planie na lata 2018–2023, tym samym będzie brany pod uwagę podczas rewizji, opracowywania i wdrażania wymagań i przepisów. Ogólny dobrostan i inne potrzeby marynarzy również mają być uwzględniane przez IMO [54, 55].

Analiza, którą przeprowadzili Bielić i in. [56] pokazuje, że aż 31% wypadków morskich ma związek z technologią. Nie ulega wątpliwości, że wypadki morskie są złożone i często spowodowane są ciągiem następujących po sobie zdarzeń [57], jednak źle zaprojektowane stanowisko pracy lub obniżona koncentracja nawigatorów z pewnością zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia nieprawidłowości. Z uwagi na to, że w dzisiejszych czasach operatorami statków handlowych wciąż pozostają ludzie, ważniejsze może okazać się zwiększenie wydajności, dobrego samopoczucia i pobudzenie zmysłów człowieka, niż ukierunkowanie wszystkich wysiłków na poszukiwanie nowych urządzeń i technologii. W sytuacji,

gdy obserwacja otoczenia odgrywa kluczową rolę w bezpieczeństwie, odpowiednio zaprojektowane miejsce pracy może być także znaczącym wsparciem procesów decyzyjnych operatora. Ważne jest, aby wspierać nawigatorów odpowiednim środowiskiem pracy na mostku, dostosowanym do indywidualnych potrzeb ergonomicznych i wymagań dotyczących komfortu, aby umożliwić wydajną i niezakłóconą pracę. Najważniejsze problemy ergonomiczne, z którymi mogą spotkać się nawigatorzy podczas pracy na mostku, zostały opisane w podrozdziałach 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3, 1.4.4 oraz 1.4.5.

1.4.1. Problem oświetlenia pomieszczenia i światła zewnętrznego

Światło słoneczne i wynikające z niego oświetlenie pomieszczenia powinno być uwzględniane w projektowaniu biur i innych miejsc pracy [58]. Z uwagi na specyfikę pracy na statku, wynikające z jego normalnej eksploatacji, położenie mostka nawigacyjnego względem Słońca zmienia się wraz ze zmianami kursu, co dodatkowo utrudnia wykorzystanie światła słonecznego podczas pracy w porównaniu z budynkami na lądzie. Mostek nawigacyjny, jak większość pomieszczeń, może być oświetlony przez światło naturalne, a także sztuczne, pochodzące z różnych źródeł [59]. Natężenie oświetlenia (ang. *illumination*) jest definiowane jako gęstość powierzchniowa strumienia światła padającego na daną powierzchnię, a jego jednostką jest luks (lx), czyli lumen na metr kwadratowy [48, 60]. Natężenie oświetlenia jest więc wypadkową wszystkich źródeł światła i ich kierunków [61]. Oświetlenie otoczenia (ang. *ambient light*) jest opisywane w zaleceniach MSC/Circ.982 jako wszelkie światło pochodzące z innych źródeł niż wyświetlacze operatora, wliczając w to światło słoneczne, oświetlenie sufitowe i lampki [48]. Oświetlenie takie może odbijać się od ekranów urządzeń i tym samym obniżać kontrast wyświetlaczy od tła, powodując dyskomfort w użytkowaniu lub nawet niemożliwość odczytywania informacji [62].

Z uwagi na odległość od okien, rozkład światła naturalnego nie jest zwykle równomierny w pomieszczeniu, dlatego stosowane jest dodatkowo oświetlenie sztuczne, które można podzielić na ogólne, miejscowe oraz złożone. Zadaniem oświetlenia ogólnego jest równomierne oświetlenie pomieszczenia lub danej przestrzeni [63] i zapewnienie człowiekowi dobrej orientacji we wszystkich jego częściach [64]. Ściemniacz (ang. *dimmer*) pozwala natomiast na dostosowanie natężenia oświetlenia ogólnego w pomieszczeniu [65]. W praktyce stosuje się zwykle oświetlenie złożone, składające się z oświetlenia ogólnego i miejscowego [66]. Oświetlenie można rozdzielić także na bezpośrednie (światło padające na powierzchnię pracy wprost ze źródła) oraz pośrednie (padające na powierzchnię pracy po odbiciu od innych powierzchni) [67].

Okna są istotnym elementem wielu konstrukcji budowanych przez człowieka. Zapewniają one oświetlenie pomieszczenia, a także widok na zewnątrz. W przypadku mostka nawigacyjnego, gdzie obserwacja otoczenia jest niezbędna do zapewnienia bezpieczeństwa statku, okna można niewątpliwie uznać za ważny element całej konstrukcji. Przykład budynków pokazuje jednak, że częstą wadą okien jest nieefektywna termoizolacja, powodująca wychładzanie pomieszczenia lub jego nadmierne nagrzewanie. Okna obecnie są uznawane za element o najgorszej efektywności

energetycznej budynków [68], co przekłada się także na zwiększone zapotrzebowanie na energię wykorzystywaną do zapewnienia komfortowych warunków dla człowieka. Niekorzystne warunki pogodowe, takie jak opady deszczu, śniegu lub oszranianie szyby mogą utrudnić nawigatorowi prowadzenie obserwacji. Krople znajdujące się na szybach mogą nie tylko zniekształcać obraz, działając jak soczewka, ale także załamywać światło i skutkować mniejszą ilością światła przechodzącego przez szybę, zaciemniając tym samym pomieszczenie [69].

1.4.2. Problem wyświetlaczy urządzeń i ich jasności

Praca nawigatora polega w dużym stopniu na odbiorze i przetwarzaniu informacji, nie tylko nawigacyjnych, ale także dotyczących ładunku, prac pokładowych, czy zabezpieczeń przeciwpożarowych. Dlatego powinny być one otrzymywane w sposób przystępny i komfortowy dla operatora. Dotyczy to także informacji wyświetlanych na ekranach, tym samym istotne jest odpowiednie oświetlenie pomieszczenia i luminancja wyświetlaczy urządzeń nawigacyjnych. Luminancja (ang. *luminance*) jest miarą jasności postrzeganych obiektów, opisującą ilość emitowanego, przechodzącego przez daną powierzchnię lub odbitego od niej światła, wyrażana w kandelach na metr kwadratowy (cd/m^2) [48]. Luminancja zależy od natężenia oświetlenia na obserwowanym obiekcie, jego właściwości odbiciowych oraz pola pozornej powierzchni świecącej [61]. Pozorna powierzchnia świecąca jest natomiast zależna od kierunku jej obserwacji, tym samym, jeśli patrzy się na obiekt pod kątem prostym, pole pozornej powierzchni świecącej jest równe polu powierzchni obiektu, a zmniejsza się ona zgodnie z cosinusem kąta, pod którym patrzy na nią obserwator [60]. Jasność (ang. *brightness*) jest natomiast subiektywnym postrzeganiem tego, jak mocno świeci lub odbija światło dany obiekt, co jest ściśle powiązane z jego luminancją, będącą obiektywną miarą [70].

Wysoka luminancja ekranów w warunkach niskiego oświetlenia może powodować zjawisko olśnienia przykrego, natomiast niska luminancja wyświetlaczy przy silnym oświetleniu ogólnym obniża czytelność wyświetlanych informacji [71]. Olśnienie (ang. *glare*) jest zjawiskiem, które występuje gdy luminancja w obrębie pola widzenia jest znacząco większa niż ta, do której zaadaptowane jest obecnie oko [48]. Ten niekorzystny dla obserwatora efekt może zostać wywołany także światłem słonecznym, które dostaje się do pomieszczenia przez szyby w oknach [72]. Olśnienie powoduje uczucie przykrości i dyskomfortu widzenia [73]. Ponadto, powodować może ono obniżenie zdolności rozpoznawania szczegółów lub przedmiotów [74].

Kontrast luminancji jest względną różnicą luminancji przedmiotu zadania wzrokowego oraz luminancji tła, wyrażana jako iloraz tej pierwszej wartości przez drugą [48, 60]. Przy pracy z ekranami istotne jest zachowanie odpowiedniego kontrastu wyświetlacza w stosunku do tła, będącego w polu widzenia. Wysoka luminancja w najbliższych okolicach monitora może potencjalnie wpłynąć na zmniejszenie czytelności wyświetlanych informacji, powodować dyskomfort oraz nadmierne zmęczenie wzroku [75]. Zarówno zbyt duża, jak i zbyt mała luminancja tła jest rozpraszająca, dlatego istotne jest stałe utrzymywanie odpowiedniego poziomu kontrastu luminancji [76].

1.4.3. Problem hałasu i akustyki

Hałas można zdefiniować jako niepożądany dźwięk, odbierany przez daną osobę w danym miejscu i czasie [77]. Dobra komunikacja między członkami załogi nawigacyjnej jest podstawą efektywnego dowodzenia statkiem i prowadzenia wachty [78]. Dotyczy to nie tylko braku przeszkadzającego hałasu na mostku, ale także znajomości języka, korzystania z profesjonalnych zwrotów frazeologicznych używanych na morzu i zrozumiałości samej mowy. Jest to kwestia związana bezpośrednio z bezpieczeństwem statku, ponieważ często nie ma czasu lub przestrzeni na naprawienie pomyłki wynikającej z niezrozumienia komendy na ster lub do maszyny. Częstym problemem jest ponadto niezrozumienie lub nieusłyszenie komunikacji radiowej [79].

1.4.4. Problem zmęczenia

Zmęczenie jest obecnie powszechnym problemem wśród marynarzy, co zauważyła również IMO, czego efektem jest opublikowanie w 2019 roku „MSC.1/Circ.1598: Guidelines on Fatigue”. W dokumencie podkreślono znaczenie odpowiedniej ergonomii i warunków środowiskowych na pokładzie statków dla utrzymania optymalnego poziomu czujności i wydajności, ale także odpowiedniego odpoczynku po godzinach pracy [80]. Samo zmęczenie jest uważane za zagrożenie dla bezpieczeństwa, zdrowia oraz dobrego samopoczucia i może powodować lub pogłębiać brak koncentracji, senność, czy zwiększać poczucie monotonii. Wpływa ono na zdolność marynarzy do efektywnego i bezpiecznego wykonywania swoich obowiązków [80], degraduje zdolności poznawcze, spowalnia czas reakcji, zmniejsza czujność i wpływa na podejmowanie decyzji [81].

Badania przeprowadzone przez Luenga i in. [82] dowodzą, że nawigatorzy pracujący na nocnej zmianie cierpią z powodu ogólnego zmęczenia bardziej niż osoby pracujące w ciągu dnia. Statki działają nieprzerwanie przez całą dobę i polegają na systemie zmianowym (wachtach), dlatego brak odpowiedniego odpoczynku i praca w hałaśliwym, niekorzystnym lub stresującym środowisku może poważnie wpłynąć na wydajność człowieka. Od nawigatorów oczekuje się przecież zapewnienia bezpieczeństwa statku i utrzymania najwyższego poziomu skupienia przez cały czas trwania ich wachty.

Zmęczenie oczu jest częstym problemem ludzi pracujących przy ekranach komputerów. Może wiązać się z tym dyskomfort, którego poziom jest związany z różnymi czynnikami, takimi jak oświetlenie, jakość wyświetlaczy, postawa przy pracy, a także regularność przerw [83]. Badania, które przeprowadzili Wang i Cui [84] pokazały, że bóle oczu są często powiązane z ich zmęczeniem.

1.4.5. Problem wibracji oraz postawy podczas pracy stojącej i siedzącej

Mostek nawigacyjny wpasowuje się w definicję siedząco-stojące miejsca pracy, gdyż wykonywane czynności zawierają, a przynajmniej mogłyby zawierać, w odpowiednio długich przedziałach czasowych, elementy pracy wymagające pozycji stojącej i siedzącej [66]. Istnieje wiele artykułów naukowych dotyczących negatywnych skutków wykonywania prac na stojąco,

a także poszukiwane są rozwiązania mogące pomóc w redukcji potencjalnego zmęczenia, dyskomfortu i bólu podczas wykonywania obowiązków [85]. Długotrwała praca w takiej pozycji, nawet statyczna i niewymagająca dużej ilości ruchu, ma przełożenie na bóle mięśniowe i zmęczenie [86]. W konsekwencji, może ona prowadzić do długotrwałych urazów i problemów ze zdrowiem, wliczając w to zaburzenia układu mięśniowo-szkieletowego, a szczególnie narażonymi częściami ciała są nogi, plecy oraz stopy pracowników [87, 88, 89]. Długotrwałe stanie może być określane jako stanie ponad cztery godziny dziennie lub ponad jedną godzinę, nie odchodząc od stanowiska pracy [90], jednakże istnieje wiele innych definicji.

Praca w pozycji siedzącej posiada szereg zalet w stosunku do tej w pozycji stojącej [8]. Badania wykazały, że samo siedzenie podczas pracy nie jest szkodliwe [91], jednakże długotrwałe siedzenie (przez ponad 95% dnia pracy) jest powiązane z bólem pleców [92]. Niestety, większość ludzi nie jest w stanie siedzieć prosto (z poprawnie wyprostowanym kręgosłupem) przez długi czas i przyjmuje pozycję zgarbioną, szczególnie jeśli krzesło nie ma oparcia pleców [8].

Ważną, choć i kontrowersyjną częścią mostka nawigacyjnego, jest więc krzesło, niezbędne do wykonywania pracy w pozycji siedzącej. W wielu przypadkach w przeszłości, takich jak ten badany i opisywany przez Britannia P&I Club [93], decyzja oficera wachtowego o skorzystaniu z krzesła na mostku i oglądaniu filmów na telefonie komórkowym skutkowałą ograniczoną możliwością monitorowania sytuacji. Drugi czynnik nie był oczywiście bezpośrednio powiązany z siedzeniem, jednakże pozycję siedzącą opisywano jako uniemożliwiającą obsługę urządzeń nawigacyjnych, a nawet stwarzającą możliwość zaśnięcia, biorąc pod uwagę warunki panujące w nocy. Sprawa jest bardziej złożona i opisuje pojedyncze zdarzenie, jednak problem nawigatora siedzącego lub śpiącego na krześle jest powszechnie znany w branży morskiej. Obecnie na wielu statkach nadal nie ma krzeseł na mostkach, a nawet jeśli są w nie wyposażone, zdarza się, że kapitanowie nie pozwalają siadać swoim oficerom. Takie zarządzenie może być wydane ustnie, a nawet przez umieszczenie odpowiedniego wpisu w pisemnych poleceniach kapitana, co zostało odkryte podczas wizyt na statkach i wywiadów z załogami. Z drugiej strony, liczy się nie tylko komfort, ale i zdrowie operatora. Nieneutralna postawa, przyspieszone ruchy, zewnętrzne siły i wibracje mogą oddziaływać na tkanki mięśniowo-szkieletowe, nerwowe i krążeniowe, przy czym ryzyko jest szczególnie zauważalne, gdy podczas pracy występuje połączenie dwóch lub więcej czynników [94]. Tego wszystkiego można doświadczyć na statku, zwłaszcza podczas mocnego kołysania lub podróży w złych warunkach pogodowych. Na statkach można zaobserwować różne rodzaje wibracji, drgania o wysokiej częstotliwości są często związane z pracującymi urządzeniami mechanicznymi, natomiast drgania o niskiej częstotliwości mogą być spowodowane ruchami statku na falach. Wszystkie osoby znajdujące się na burcie są narażone na wibracje całego ciała (ang. WBV – *whole-body vibration*), które według wielu badań są czynnikiem powodującym zaburzenia zdrowia kręgosłupa i dolnej części pleców. Wibracje są przenoszone na ciało przez stopy w pozycji stojącej, natomiast w pozycji siedzącej przez obręcz miedniczną [95]. Najwyższy poziom obciążeń, na jakie narażeni są marynarze, przenoszony jest właśnie przez stopy, podczas gdy odpowiednio amortyzujące siedzenia obniżą te wartości [96].

2. MATERIAŁY I METODY

W tym rozdziale zaprezentowano zastosowane metody i założenia badań zrealizowanych w toku tej rozprawy. Uzasadniono dobór narzędzi badawczych, wymieniono ograniczenia badań i przedstawiono proces gromadzenia danych. W badaniach z udziałem nawigatorów uwzględniono również charakterystykę grupy.

2.1. Przegląd literatury i przepisów dotyczących projektowania mostków nawigacyjnych

Niezbędnym elementem planowanej rozprawy doktorskiej był przegląd przepisów w zakresie warunków pracy, ergonomii i projektowania mostków, w celu sprawdzenia czy nawigatorzy otrzymują wystarczające wsparcie od organów regulacyjnych, w postaci ergonomicznego miejsca pracy. Następnie, obecne przepisy i ich rozwój można było skonfrontować z postępowaniem technologicznym w tej dziedzinie i literaturą naukową, by finalnie ocenić także potencjalny obszar, w którym możliwe są zmiany i usprawnienia.

Głównym źródłem informacji oraz regulacji dotyczących ergonomii i projektowania mostków są dokumenty wydawane przez IMO, czyli wyspecjalizowaną agendę Organizacji Narodów Zjednoczonych. Obejmuje to między innymi konwencje, rezolucje, wytyczne i okólniki. IMO odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu międzynarodowego prawa morskiego, a także jest najważniejszym ogniwem w procesie globalizacji standardów i przepisów żeglugowych [97]. W 2025 r. Organizacja liczyła 176 państw członkowskie i 3 członków stowarzyszonych [98]. W celu poprawy bezpieczeństwa ludzi, statków i środowiska, IMO promuje stosowanie konwencji, kodeksów, zaleceń i wielu innych dokumentów [99]. Konwencja SOLAS została przyjęta w 1974 roku i weszła w życie 25 maja 1980, a jej głównym celem jest określenie minimalnych norm dotyczących budowy, wyposażenia i eksploatacji statków. Konwencja STCW (ang. *International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers*) z 1978 roku jest powszechnie stosowana na całym świecie w celu uregulowania kwestii załogowych. Zawarte są tam między innymi ujednolicone standardy dotyczące świadectw zdrowia i szkolenia marynarzy [100]. Od czasu wejścia w życie Konwencji STCW, czyli 28 kwietnia 1984 roku, przyjęto do niej wiele poprawek [101]. Podobna sytuacja ma miejsce w przypadku Konwencji SOLAS, co pozwala na uaktualnianie przepisów [102]. Kolejny międzynarodowy dokument, Konwencja o pracy na morzu (ang. *MLC – Maritime Labour Convention*), została ustanowiona w 2006 roku przez Międzynarodową Organizację Pracy (ang. *ILO – International Labour Organization*). Określono tam minimalne standardy pracy i życia na statkach pływających pod banderami krajów, które ją ratyfikowały. Na chwilę obecną Konwencja MLC została podpisana przez 110 państw członkowskich, co obejmuje ponad 96% światowej floty [103]. Dla porównania, w roku 2018, konwencje SOLAS i STCW były ratyfikowane przez 164 rządów i obejmowały ponad 99% światowej floty handlowej pod względem pojemności rejestrowej brutto [104]. Innym powodem ogólnoświatowej akceptacji dokumentów IMO, poza zwiększeniem bezpieczeństwa i ujednoliceniem przepisów, są po prostu trudności, jakie mogą napotkać statki pod banderą państw, które nie są stronami konwencji międzynarodowych. Normy dotyczące bezpieczeństwa

statków, po ustaleniu przez IMO, są stosowane przez krajowe władze morskie oraz towarzystwa klasyfikacyjne, czyli organizacje znane ze świadczenia usług klasyfikacyjnych i certyfikacji. Klasyfikatorzy oferują również pomoc przemysłowi morskemu i organom regulacyjnym w zakresie bezpieczeństwa i zapobiegania zanieczyszczeniom środowiska, w oparciu o wiedzę, doświadczenie i technologię. Towarzystwa klasyfikacyjne mogą publikować i stosować własne przepisy, a nawet weryfikować przepisy międzynarodowe lub krajowe w imieniu administracji państwa bandery. Największe i najbardziej renomowane z tych organizacji mogą zostać członkami Międzynarodowego Stowarzyszenia Towarzystw Klasyfikacyjnych (ang. IACS – *International Association of Classification Societies*).

Po analizie dokumentów związanych z ergonomią mostka nawigacyjnego, dokonano przeglądu literatury naukowej, w celu uzupełnienia własnych obserwacji. Prześledzono zmiany w obowiązkowym wyposażeniu nawigacyjnym dla statków handlowych od wydania okólnika MSC/Circ.982, wskazując na potrzebę częstych aktualizacji tego typu dokumentów, aby nadążyć za postępem technologicznym w branży.

2.2. Wywiady eksperckie

Z uwagi na stosunkowo niewielką liczbę wypowiadających się ekspertów (5), nie sklasyfikowano wywiadów eksperckich jako odrębny materiał badawczy, a jako materiał pomocniczy. Praktyczną wiedzę doświadczonych nawigatorów, na podstawie udzielonych odpowiedzi, wykorzystano między innymi podczas tworzenia kwestionariusza ankiety badawczej numer 1 i ćwiczenia symulacyjnego, opisywanych kolejno w podrozdziałach 2.4 oraz 2.7. Udzielający wywiadów wskazywali trudne w obserwacji obiekty i warunki utrudniające prowadzenie wachty, co starano się następnie odwzorować na symulatorze mostka nawigacyjnego. Oprócz tego omówiono zasadność szkoleń w zakresie ergonomii, a także przedstawiono niektóre aktualne trendy i zachowania oficerów podczas wacht.

2.2.1. Struktura wywiadu i dobór ekspertów

Pięcioma wybranymi ekspertami byli nawigatorzy z wieloletnim doświadczeniem, którzy pływali na statkach marynarki handlowej na stanowisku kapitana, w tym niektórzy posiadający uprawnienia pilotażowe lub audytorskie. Dobrani profesjonaliści posiadają doświadczenie na różnych typach statków, wliczając w to masowce, zbiornikowce, statki pasażerskie, Ro-Ro i statki typu offshore. Charakterystykę ekspertów biorących udział w wywiadach przedstawiono poniżej.

- **Ekspert nr 1:** Instruktor w ośrodku badawczo-szkoleniowym, gdzie uczy manewrowania statkami o nietypowych charakterystykach manewrowych. Kapitan na statkach handlowych, szkoleniowych i jachtach, czynny zawodowo w latach 1987–2018. Ekspert sam siebie określa jako konserwatywnego nawigatora.
- **Ekspert nr 2:** Czynny zawodowo kapitan z doświadczeniem na statkach Ro-Ro (ang. *Roll-on/Roll-off*) i Ro-Pax (ang. *Roll-on/Roll-off Passenger*), posiadający zwolnienia z obowiązku korzystania z lokalnego pilota w wielu portach w Europie. Karierę oficerską

rozpoczął w 2011 roku i od tego czasu pracował na statkach operujących na Morzu Bałtyckim, Północnym, Irlandzkim, Śródziemnym oraz Żółtym.

- **Ekspert nr 3:** Czynny zawodowo kapitan na tankowcach do przewozu produktów ropopochodnych. Od ponad 20 lat pracujący na statkach na różnych stanowiskach.
- **Ekspert nr 4:** Czynny zawodowo kapitan (od 2022 r.) na tankowcach do przewozu produktów ropopochodnych, wcześniej pracujący także na statkach przewożących chemikalia i surową ropę naftową.
- **Ekspert nr 5:** Audytor wewnętrzny, z ponad 30 letnim doświadczeniem na statkach, na różnych stanowiskach, także jako kapitan. Pracował na różnych typach statków, głównie sejsmicznych.

Przygotowany wywiad ekspercki składał się z 9 pytań, z czego pierwsze z nich dotyczyło przedstawienia swojego doświadczenia zawodowego w branży morskiej. Kolejne pytania dotyczyły między innymi aktualnych trendów w nawigacji, szkoleń na symulatorach mostka, a także potencjalnych czynników utrudniających obserwację. Pełen zestaw pytań wchodzących w skład wywiadu został przedstawiony poniżej.

- 1) Proszę powiedzieć coś o sobie. Doświadczenie w pracy na morzu, doświadczenia z pilotażem i typami statków oraz inne istotne kwestie związane z zawodem.
- 2) Jakie trendy obserwowane są w nawigacji morskiej w ostatnich latach? Czy pojawiające się nowe technologie odciążają nawigatora w codziennej pracy, czy wręcz przeciwnie, dokładają mu obowiązków związanych z ich obsługą?
- 3) Czy Kapitan sugeruje swoim oficerom w trakcie prowadzenia nawigacji dostosowanie warunków ergonomicznych na mostku, czy raczej zostawia to w pełni w ich gestii?
- 4) Czy w erze nowoczesnych technologii człowiek wciąż odgrywa kluczową rolę w nawigacji? Czy ważniejsze jest wyszkolenie nawigatora czy też zapewnienie mu najnowocześniejszych technologii?
- 5) Istotną częścią szkolenia nawigatorów są symulatory. Jaki jest stosunek Kapitana do ćwiczeń praktycznych na symulatorach? Czy uważa je Kapitan za pożyteczne w szkoleniu marynarzy?
- 6) Czy jest coś, co szczególnie utrudnia obserwację? W jakich okolicznościach lub warunkach jest to najtrudniejsze?
- 7) Jakie obiekty są najtrudniejsze w obserwacji?
- 8) Na symulatorach można ćwiczyć różne scenariusze, zwykle związane z sytuacją nawigacyjną. Czy dobrym pomysłem byłoby ćwiczenie, które polegałoby na kontrolowaniu warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu mostka? Jakie można wymienić potencjalne zalety takiego ćwiczenia i czy spotkał się Kapitan z podobnym szkoleniem w przeszłości?
- 9) Czy są jakieś wady albo obawy, związane z przeprowadzaniem takiego ćwiczenia?

2.3. Badania ankietowe nawigatorów

Ankiety w formie kwestionariuszy są nie tylko popularnym narzędziem badawczym, ale także efektywnym sposobem gromadzenia danych od licznej grupy osób [105]. Całkowita liczba marynarzy pełniących służbę na statkach handlowych na całym świecie w 2021 r., kiedy rozpoczęto dystrybucję ankiet, wyniosła prawie 1,9 miliona, z czego ponad 850 tysięcy to oficerowie wszystkich działów z certyfikatami STCW [106].

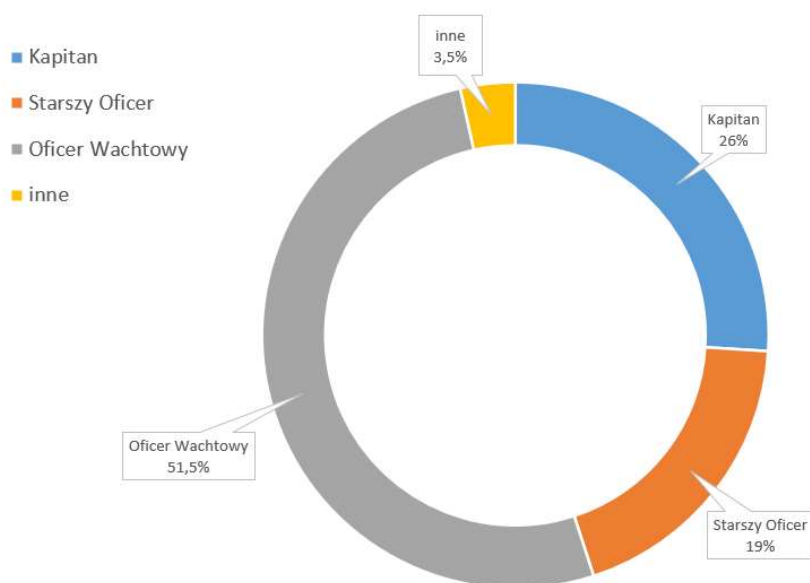
Razem z kwestionariuszami badawczymi zawarto krótką definicję ergonomii, aby uniknąć niezrozumienia kontekstu i znaczących pomyłek w odpowiedziach. W obu ankietach zawarto po 6 tych samych pytań społeczno-demograficznych pod kątem przeprowadzenia analiz statystycznych i dodatkowej możliwości weryfikacji respondentów. Każdego ankietowanego nawigatora zapytano o stanowisko, wiek, kraj kształcenia zawodowego, najwyższą uzyskaną licencję, łączny czas spędzony na morzu (w stopniach oficera wachtowego, starszego oficera i kapitana) oraz typ statku, na którym pracuje.

2.3.1. Okres zbierania odpowiedzi i próba badawcza

Zbieranie danych do badania odbywało się online, w formie formularza internetowego, który można było wypełnić w języku angielskim lub polskim, w zależności od preferencji respondenta. Pytania w obu językach były takie same, dlatego odpowiedzi mogły zostać zbiorczo przeanalizowane. Obydwie ankiety zostały zaprojektowane w taki sposób, aby zapobiec możliwości pominięcia odpowiedzi lub ich nieprawidłowego wypełnienia. Kwestionariusze ankiety numer 1 i numer 2 rozesłano jednocześnie w celu usprawnienia procesu zbierania danych. Łącznie uzyskano 200 odpowiedzi na każdą z ankiet. Wszystkie zostały również sprawdzone ręcznie w celu sprawdzenia, czy zostały one wypełnione prawidłowo.

Dystrybucja ankiet rozpoczęła się 16 grudnia 2021 r. i zakończyła 25 sierpnia 2022 r. Każdy ankietowany nawigator został poproszony o wypełnienie kwestionariusza tylko jeden raz. Docelowi respondenci stanowią bardzo specyficzną grupę, dlatego aby zminimalizować ryzyko otrzymania odpowiedzi od niezamierzonych osób, dystrybucja kwestionariuszy odbywała się za pośrednictwem armatorów lub agencji pośrednictwa pracy. W ten sposób uzyskano pożądany poziom zaufania, jednak okres zbierania danych uległ wydłużeniu, w stosunku do wstępnie zakładanego.

W badaniu wykorzystano 6 pytań demograficznych, które posłużyły jako metoda weryfikacji uczestników i narzędzie do analiz statystycznych. Respondenci kształcili się w 13 różnych krajach. Ankietę wypełniło 103 oficerów wachtowych (51,5%), 38 starszych oficerów (19%), 52 kapitanów (26%) i 7 nawigatorów pracujących na innych stanowiskach, ale posiadających co najmniej licencję oficera wachtowego (3,5%). Rozkład stanowisk respondentów przedstawiono na rys. 2.1.



Rys. 2.1. Rozkład stanowisk respondentów badania ankietowego.

Dane demograficzne uczestników badania były ważne szczególnie z punktu widzenia analiz statystycznych, związanych z ankietą badawczą numer 1. Z powodu wątpliwego profilu demograficznego jednego respondenta (na stanowisku starszego oficera), co opisano w podrozdziale 2.3.2, wykluczono jego odpowiedzi z analiz. Ogólną charakterystykę próbki badawczej, zakwalifikowanej do badania ankietowego numer 1, przedstawiono w tabeli 2.1. Wiek uczestników oraz ich staż pracy na stanowiskach oficerskich podano w formie: mediana (pierwszy kwartył, trzeci kwartył).

Tabela 2.1. Ogólna charakterystyka uczestników badania ankietowego numer 1

Parametr	Rozkład
Wiek	36,0 (28,0, 53,0)
Łączny staż pracy na stanowiskach oficerskich	8,0 (2,0, 20,0)
Stanowisko:	
Oficer wachtowy	103 (51,8%)
Kapitan	52 (26,1%)
Starszy Oficer	37 (18,6%)
Asystent pokładowy lub odpowiednik	6 (3,0%)
Marynarz wachtowy	1 (0,5%)
Miejsce odbywania nauki:	
Afryka	21 (10,6%)
Azja	13 (6,5%)
Europa	165 (82,9%)

Parametr	Rozkład
Najwyższy posiadany dyplom:	
Oficer wachtowy lub odpowiednik	85 (42,7%)
Kapitan	75 (37,7%)
Starszy oficer	39 (19,6%)
Typ statku:	
Statek suchy	93 (46,7%)
Statek mokry	87 (43,7%)
Statek pasażerski	10 (5,0%)
Statek offshore	9 (4,5%)

2.3.2. Niedoskonałości i ograniczenia badania

Wszystkie odpowiedzi były sprawdzone ręcznie pod kątem poprawności ich wypełnienia. Stwierdzono, że w przypadku jednego formularza odpowiedzi mogą być wątpliwe lub niespójne, gdyż łączny czas spędzony na morzu w stopniu oficera i wyższym w porównaniu z wiekiem respondenta, sugeruje uzyskanie takiego dyplomu przed ukończeniem 18. roku życia, co jest sprzeczne z wymogami STCW [107]. Aby osiągnąć jak najwyższą jakość wyników badania zdecydowano się na usunięcie tej odpowiedzi z analizy ankiety numer 1, dlatego pod uwagę wzięto 199 odpowiedzi. Nie wpłynęło to natomiast na badanie satysfakcji nawigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych, dlatego do analizy ankiety badawczej numer 2 zakwalifikowano wszystkie odpowiedzi, czyli 200.

2.4. Badanie świadomości ergonomicznej nawigatorów i warunków pracy na mostkach nawigacyjnych (ankieta badawcza numer 1)

Narzędziem badawczym była w tym przypadku autorska ankieta numer 1, zawierająca 20 pytań na temat warunków pracy na mostku oraz świadomości ergonomicznej nawigatorów. Kwestionariusz został opracowany w oparciu o zalecenia MSC/Circ.982, Konwencję STCW, obserwacje z własnych wizyt na różnych statkach oraz konsultacje z doświadczonymi kapitanami. Pełne kwestionariusze w języku polskim i angielskim przedstawiono w załączniku A. Pytania miały umożliwić osiągnięcie założonych celów, czyli pozwolić na poznanie:

- poziomu komfortu w miejscu pracy, jakiego doświadczali nawigatorzy na swoich statkach (opracowano na podstawie obserwacji i konsultacji) – pytania 1, 4 i 5,
- problemów związanych z doświadczaniem bólu przez nawigatorów w trakcie pracy lub bezpośrednio po niej (opracowano na podstawie obserwacji i konsultacji) – pytania 2 i 3,
- warunków pracy na mostkach w kontekście środowiska pracy (opracowano w oparciu o wytyczne zawarte w MSC/Circ.982) – pytania 6, 7, 8, 9 i 10,

- możliwego wpływu ergonomii mostka na przeciążenie obowiązkami i zmęczenie pracą (opracowano na podstawie obserwacji, konsultacji i wytycznych zawartych w MSC/Circ.982) – pytania 11 i 18,
- świadomości ergonomicznej nawigatorów (opracowano w oparciu o STCW, konsultacje i podstawowe zasady ergonomii) – pytania 12, 13, 14, 15, 16 i 17,
- potencjalnego wpływu na lojalność nawigatorów wobec firmy w przypadku dostosowania mostka do ich indywidualnych potrzeb ergonomicznych – pytanie 19,
- opinii nawigatorów na temat przestrzegania przez nich zasad ergonomii w praktyce – pytanie 20.

2.4.1. Środowisko do obliczeń statystycznych i analiza wyników

Analizy przeprowadzono przy użyciu języka R (wersja 4.1.1) [108], czyli bezpłatnego, otwartego oprogramowania. W ramach przeprowadzonej analizy przyjęto poziom istotności $\alpha=0,05$, co oznacza akceptację 5-procentowego ryzyka popełnienia błędu pierwszego rodzaju, czyli odrzucenia prawdziwej hipotezy zerowej. W tej analizie:

- wartość p (ang. p -value) obliczono przy użyciu metody korekcji Holma dla porównań wielokrotnych (p_{adj}),
- rozkład miar tendencji centralnej dla zmiennych numerycznych wyrażono jako medianę (kwartył pierwszy (25%), kwartył trzeci (75%)) (**Mdn (Q1, Q3)**),
- w przypadku zmiennych nominalnych, rozkład określono poprzez podanie ilości dla każdej kategorii i procentu całości próby badawczej (**n**),
- wielkość efektu szacowania zależności pomiędzy zmiennymi nominalnymi określono za pomocą współczynnika ϕ (ϕ) lub V Cramera (**V_{CRA}**). Obie te miary służą do określenia siły związku między analizowanymi zmiennymi, jednakże ϕ stosuje się w przypadku, gdy obie zmienne mają tylko po dwie kategorie, zaś V_{CRA} jest niezależne od liczby możliwych kategorii. Wartość obu miar mieści się w przedziale od 0 do 1, gdzie:
 - 0 – wskazuje na brak związku między zmiennymi,
 - 1 – wskazuje na silny związek między zmiennymi,
- istotność różnic pomiędzy średnimi dwóch niezależnych grup dla zmiennych numerycznych określono za pomocą testu sumy rang Wilcozona [109],
- dla trzech lub więcej niezależnych grup zastosowano test sumy rang Kruskala-Wallisa [110],
- istotność różnic pomiędzy parami grup badano za pomocą testu Dunna [111],
- w przypadku dwóch zmiennych kategoriycznych istotność badano za pomocą testu chi-kwadrat Pearsona [112] lub dokładnego testu Fishera [113],
- test porównań wielokrotnych (post-hoc) przeprowadzono metodą Benjaminiego i Hochberga [114].

2.5. Ocena satysfakcji nawigatorów z proponowanych rozwiązań ergonomicznych (ankieta badawcza numer 2)

W porównaniu z rozwiązaniami mechanicznymi czy konstrukcyjnymi, w ergonomii trudno jest bezpośrednio zmierzyć efekt zmian lub oszacować oczekiwane korzyści i oszczędności. Model Kano jest uważany za skuteczne narzędzie do określania preferencji klientów w wielu branżach [115]. Metodę tę można zastosować do poznania oczekiwań i czynników, które satysfakcjonują użytkowników w odniesieniu do produktów technicznych, jednak Martensen i Grønholdt [116] przetestowali ją w jeszcze inny sposób i uzyskali bardzo dobre wyjaśnienie satysfakcji pracowników.

Kwestionariusz do badania został przygotowany zgodnie z założeniami opracowanymi przez Kano i in. [117]. Zawarto w nim 22 pytania, tworzące pary i umożliwiające ocenę 11 rozwiązań lub ich cech. Potencjalne zmiany w zakresie ergonomii stanowiska pracy zaproponowane nawigatorom to:

- 1) „energetyczna” muzyka na mostku,
- 2) automatyczna regulacji głośności radia GMDSS,
- 3) regulowane ergonomiczne krzesło,
- 4) siedzenie z amortyzacją wstrząsów,
- 5) osobne krzesło dla każdego nawigatora (bez potrzeby regulacji przy każdej zmianie wachty),
- 6) automatyczna regulacja jasności urządzeń i oświetlenia pomieszczenia,
- 7) ręczna regulacja temperatury pomieszczenia,
- 8) szkolenia z ergonomii dla nawigatorów,
- 9) równomiernie oświetlony mostek,
- 10) przypomnienia o właściwej ergonomii podczas wachty,
- 11) łatwe i krótkie zapoznanie się z nowym sprzętem lub rozwiązaniem (mniej niż 15 minut).

Pełny kwestionariusz w języku polskim i angielskim znajduje się w załączniku B.

2.5.1. Kategorie rozwiązań według modelu Kano i ich przypisywanie

Respondentowi, w tym przypadku profesjonalnemu nawigatorowi, zadawane były pytania jednokrotnego wyboru dotyczące odczuć, gdy jakaś funkcja jest obecna oraz gdy jej nie ma. Dla każdego pytania istnieje pięć możliwych, alternatywnych odpowiedzi:

- 1) podoba mi się to,
- 2) oczekuję, że tak będzie,
- 3) mam neutralny stosunek,
- 4) mogę z tym żyć,
- 5) nie podoba mi się to.

Dla każdego respondenta przeprowadzana jest następnie klasyfikacja każdej cechy, na podstawie kombinacji odpowiedzi na parę pytań dotyczących obecności i braku danej funkcji, a wszystkie możliwe kombinacje przedstawiono w tabeli 2.2. Następnie, wszystkie odpowiedzi są sumowane i ostateczną kategorią każdej cechy jest ta, która występowała najczęściej w danej grupie. W związku z tym, proponowane rozwiązania można przypisać do jednej z kategorii:

- Atrakcyjna (A) – wdrożenie prowadzi do satysfakcji, jednak jego brak nie powoduje niezadowolenia, ponieważ nie oczekiwano tego. Zaleca się uwzględnienie dużej liczby atrakcyjnych atrybutów,
- Jednowymiarowa (O) – jeśli to rozwiązanie jest zaimplementowane, wpływa na zwiększenie satysfakcji, natomiast jego brak powoduje niezadowolenie. Zaleca się uwzględnienie dużej liczby atrybutów jednowymiarowych,
- Obowiązkowa (M) – brak tej cechy powoduje niezadowolenie, natomiast obecność nie zwiększa satysfakcji. Oczekuje się, że będzie ona zapewniona,
- Obojętna (I) – wywołuje neutralne odczucia, wdrożenie nie powoduje zwiększenia ani zadowolenia, ani niezadowolenia,
- Odwrotna (R) – obecność powoduje niezadowolenie, a brak – satysfakcję. Jest to zwykle wczesne wykrycie niewłaściwego kierunku prac. Zaleca się unikania atrybutów z tej kategorii,
- Wątpliwa (Q) – jest wynikiem sprzecznych odpowiedzi, gdyż przeciwstawne kryteria uznano za wywołujące te same silnie pozytywne lub silnie negatywne odczucia. Duża liczba odpowiedzi przypadających do tej kategorii może sugerować, że pytanie zostało niewłaściwie sformułowane, respondenci źle je zrozumieli lub często mylili się przy zaznaczaniu odpowiedzi [117].

Tabela 2.2. Kategorie rozwiązań zgodnie z modelem Kano

		BRAK FUNKCJONALNOŚCI				
		Podoba mi się to	Oczekuję, że tak będzie	Mam neutralny stosunek	Mogę z tym żyć	Nie podoba mi się to
FUNKCJONALNOŚĆ	Podoba mi się to	Q	A	A	A	O
	Oczekuję, że tak będzie	R	I	I	I	M
	Mam neutralny stosunek	R	I	I	I	M
	Mogę z tym żyć	R	I	I	I	M
	Nie podoba mi się to	R	R	R	R	Q

Źródło: Kano i in. [117]

2.5.2. Współczynnik zadowolenia i niezadowolenia

Berger i in. [118] opracowali współczynnik zadowolenia i niezadowolenia, uważane za ulepszenie modelu Kano. Zgodnie z powyższym źródłem, współczynnik ten pomaga lepiej zrozumieć, jak silnie wdrożenie każdej funkcji może wpłynąć na satysfakcję lub jak silnie brak danej cechy może wpłynąć na niezadowolenie użytkownika. Do obliczania współczynników zadowolenia (CS^+) i niezadowolenia (CS^-) służą wzory (2.1) i (2.2), określone przez Bergera i in. [118]:

- współczynnik zadowolenia:

$$CS^+ = \frac{A + O}{A + O + M + I} \quad (2.1)$$

- współczynnik niezadowolenia:

$$CS^- = \frac{O + M}{(-1) \cdot (A + O + M + I)} \quad (2.2)$$

gdzie:

A – ilość odpowiedzi skutkujących przypisaniem kategorii Atrakcyjnej [-],

O – ilość odpowiedzi skutkujących przypisaniem kategorii Jednowymiarowej [-],

M – ilość odpowiedzi skutkujących przypisaniem kategorii Obowiązkowej [-],

I – ilość odpowiedzi skutkujących przypisaniem kategorii Obojętnej [-].

Oba współczynniki przyjmują wartości od 0 do 1, jednak znak „minus” we współczynniku niezadowolenia ma wskazywać na jego negatywny wpływ na zadowolenie, jeśli taka cecha nie jest dostarczona [119]. Im współczynnik zadowolenia (CS^+) jest bliższy 1, tym silniej wpływa na zadowolenie klienta. Z drugiej strony, im bliżej 0, tym dana funkcja ma mniejszy wpływ. Zbliżenie się współczynnika niezadowolenia (CS^-) do -1 oznacza zatem, że wpływ na niezadowolenie jest bardzo duży, jeśli dana cecha nie zostanie zaimplementowana, natomiast zbliżanie się do 0 oznacza, że nie spowoduje silnego niezadowolenia, gdy nie zostanie ona dostarczona użytkownikowi.

2.6. Poruszania się nawigatorów podczas wacht

Do zrealizowania tego badania konieczne było odbycie wizyt na różnych statkach, aby zrozumieć realia pracy i zwyczaje nawigatorów. W ramach tego eksperymentu obserwowano oficerów i ich poruszanie się podczas wachty w celu wstępnego zweryfikowania hipotez dodatkowych, podanych w podrozdziale 1.1. Obserwacje odbywały się na czterech statkach wyposażonych w ECDIS jako podstawowy i rezerwowo środek prowadzenia nawigacji. Na żadnym statku nie używano map papierowych, jednakże podróż dokumentowano w papierowych dziennikach pokładowych.

Zgodnie z Rekomendacją nr 95 wydaną przez IACS, w normalnych warunkach eksploatacyjnych, na wodach przybrzeżnych, powinno być wykorzystywane stanowisko nawigacji i manewrowania. Na wodach ograniczonych powinno być użytkowane także stanowisko monitorowania [120]. W powyższym dokumencie wyjaśniono także, że jest to jedynie sugerowany przykład i nie ma na celu regulowania faktycznej obsady stanowisk w różnych warunkach eksploatacyjnych. Przytoczony dokument definiuje wody przybrzeżne jako te, na których prowadzona jest nawigacja wzdłuż wybrzeża, w odległości mniejszej niż 30 minut żeglugi z ustaloną prędkością statku w kierunku lądu, zaś w przeciwnym kierunku, na co najmniej 30 minut żeglugi z taką prędkością. Wody ograniczone nie pozwalają na swobodę zmiany kursu, gdyż w każdym kierunku odległość do lądu jest mniejsza niż 30 minut żeglugi z ustaloną prędkością statku.

2.6.1. Wizyty na statkach

Odwiedzono dwa różne promy Ro-Pax z całkowicie zamkniętymi mostkami, pływające po Morzu Bałtyckim w żegludze liniowej. W obu przypadkach mostek znajdował się w dziobowej części statku. Na obu statkach dwóch oficerów pełniło wachtę nawigacyjną w formacie sześciu godzin pracy i sześciu godzin odpoczynku. Podróże w jedną stronę trwały krócej niż 24 godziny, a operacje ładunkowe w portach były krótkie i intensywne. Na jednym ze statków, oprócz oficera wachtowego, marynarz był stale obecny na mostku, podczas gdy na drugim promie tylko w godzinach ciemności. Obydwa mostki odwiedzanych promów były wyposażone w przynajmniej jedno regulowane krzesło.

W eksperymencie wzięły udział także dwa różne tankowce z otwartymi skrzydłami mostka, realizujące część podróży na Zatoce Perskiej. W obu przypadkach mostek znajdował się w rufowej części statku. Odwiedzone statki działały według powszechnego schematu wacht nawigacyjnych, czterech godzin pracy i ośmiu godzin odpoczynku, ze względu na posiadanie trzech oficerów wachtowych. Oba tankowce były średniego zasięgu (ang. *medium range tanker*), a ich podróże trwały zwykle od 7 do 14 dni w jedną stronę, co mogło się oczywiście różnić w zależności od otrzymanych poleceń od firmy. Podczas tranzytu przez Zatokę Perską, oficerowi przez cały czas pomagał marynarz wachtowy. Mostki obu tankowców były typu stojącego.

Wszystkie odwiedzone statki zestawiono w tabeli 2.3, wraz z ich wybranymi parametrami.

Tabela 2.3. Wybrane parametry statków biorących udział w badaniu

	Długość całkowita [m]	Szerokość całkowita [m]	Rok budowy [-]
Tankowiec 1	186,00	32,2	2014
Tankowiec 2	183,06	32,2	2020
Ro-Pax 1	175,48	30,3	1988
Ro-Pax 2	169,80	25,8	2000

W trakcie badania przyjęto, że obszary żeglugi podczas obserwacji można uznać za podobne. Morze Bałtyckie i Zatoka Perska należą do grupy mórz „zamkniętych” lub „półzamkniętych” zgodnie z definicją zawartą w Konwencji Narodów Zjednoczonych o prawie morza (ang. UNCLOS – *United Nations Convention on the Law of the Sea*) [121] i uważa się, że oba obszary charakteryzują się dużym natężeniem ruchu morskiego [122, 123]. Oprócz statków handlowych, nawigatorzy mogą w tym rejonie napotkać także wiele statków rybackich i instalacji offshore. Wszystkie obserwacje na potrzeby tego eksperymentu przeprowadzono w warunkach dobrej widzialności.

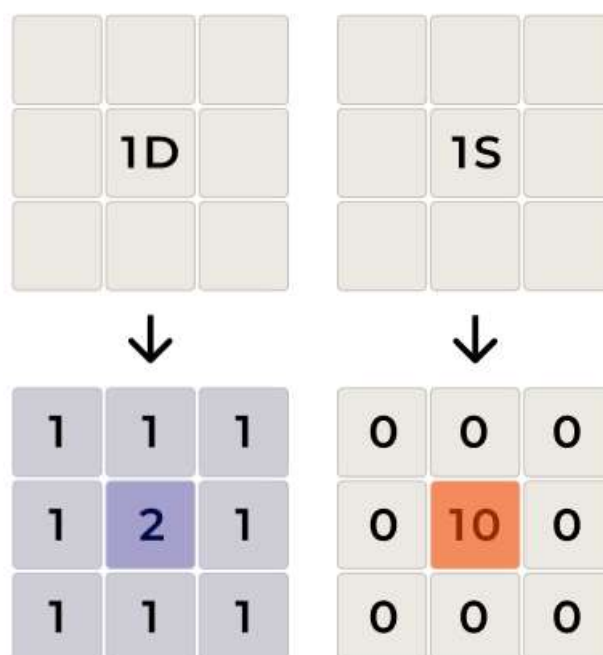
2.6.2. Przypisywanie pozycji i proces zbierania danych

Aby uprościć proces zbierania danych, pomieszczenie mostka dzielono na kwadraty o wymiarach 1 m na 1 m każdy, a oznaczono je taśmą maskującą w celu łatwego usunięcia, co pokazano na rys. 2.2.



Rys. 2.2. Pola zaznaczone taśmą maskującą na podłodze mostka nawigacyjnego.

W 30 sekundowych odstępach, przez pierwsze 60 minut od objęcia wachty, notowano pozycję oficera i przypisywano ją do zaznaczonego kwadratu. W przypadku braku ruchu (np. podczas wypełniania dziennika pokładowego lub podczas siedzenia/stania) uznawano pozycję za statyczną (S) i kwadrat ten oceniano na 10 punktów. Pozycję określano jako dynamiczną (D), gdy zarejestrowany nawigator poruszał się, wtedy przypisanemu kwadratowi przyznawano 2 punkty, ale do wszystkich sąsiednich pól dodawano także 1 punkt, jak pokazano na rys. 2.3.



Rys. 2.3. Rozkład punktów na pola w momencie rejestracji pozycji (oficer na polu centralnym). Po lewej stronie pozycja dynamiczna (D), po prawej pozycja statyczna (S).

Przy tej częstotliwości rejestrowania, w przewidzianym czasie przypisywano 120 pozycji, dwa razy dziennie dla każdego oficera na każdym statku. Uzyskując takie bazy danych, zliczono łączną liczbę punktów, a następnie podzielono ją przez liczbę wykonanych na danym statku obserwacji, uzyskując tym samym średnie wartości przypisane do pól.

2.6.3. Zobrazowanie przebywania nawigatorów i wygenerowanie map ciepłych

Do zobrazowania wyników eksperymentu wykorzystano mapy ciepłe (ang. *heatmaps*), gdyż są one popularną metodą wizualizacji i analizy dużych zbiorów danych [124]. Zastosowanie skali kolorów na schemacie mostka w zależności od czasu przebywania w poszczególnych jego obszarach pozwoliło na określenie użyteczności poszczególnych części sterówki podczas rutynowych wacht. Niektóre jasne kolory, np. żółty, przyciągają wzrok i mogą prowadzić do nieobiektywnej oceny ważności części obrazu, przy jednoczesnym przysłonięciu innych [125]. W tej pracy zastosowano dwukolorową skalę, aby uniknąć tego potencjalnego problemu niewłaściwego postrzegania danych. Najniższa wartość w skali kolorów odwzorowuje biały (kod HTML: #FFFFFF), a najwyższą czerwony (kod HTML: #FF0000). Wartości pomiędzy nimi są wyrażane poprzez odpowiednie, stopniowane i skalowane odcienie.

Okres przekazania wachty między oficerami jest jej krytyczną fazą. Badania wykazały, że największy odsetek wejść na mieliznę występuje podczas tej procedury lub niedługo po niej [126]. Co więcej, cały proces nie jest do końca normowany przepisami czy regulacjami, gdyż nie jest określone, ile czasu powinno zająć takie przekazanie, aby prawidłowo zaadaptować wzrok do panujących warunków [32]. We wspomnianym źródle, dotyczącym badania adaptacji wzroku do ciemności, ale także rutyny obserwatorów, analizie poddano 30-minutowe okresy. Badania wydajności wykazały jednak, że koncentracja obserwatorów zmniejsza się po około półgodzinie

[127]. Dlatego też pierwsze 60 minut po przejściu wachty zostało wybrane do monitorowania i zbadania w tym eksperymencie.

2.6.4. Niedoskonałości i ograniczenia badania

Rejestracja pozycji nawigatora nie była ciągła, odbywała się zgodnie z ustaloną częstotliwością, przez co nie w pełni odzwierciedla dokładny ruch człowieka. Ograniczenie to spowodowane było kwestiami bezpieczeństwa i technicznymi. Nie uzyskano zgody od wszystkich armatorów na rejestrację ruchu za pomocą kamer, ze względu na potencjalne naruszenia procedur bezpieczeństwa statku (miało to na celu uniemożliwienie potencjalnej identyfikacji tankowców, pływających regularnie w obszarach wysokiego ryzyka (ang. HRA – *high risk area*), gdzie istnieje realne zagrożenie piractwem) oraz dyskomfort nawigatorów. Aby uniknąć nienaturalnych zachowań i zminimalizować tym samym ryzyko stronniczości, obserwacje prowadzono podczas wizyt związanych z dużą liczbą innych czynności i pomiarów. Nawigatorzy nie byli poinformowani o przeznaczeniu kwadratów z taśmy maskującej, które służyły także do pomiarów związanych z oświetleniem sterówki.

Eksperyment przeprowadzono na stosunkowo małej próbie, jednak posłużył on do przetestowania metod zbierania danych i wizualizacji wyników, a także do wstępnej weryfikacji hipotez. Jest mało prawdopodobne, aby sytuacja nawigacyjna była taka sama na różnych statkach i w różnych obszarach lub fazach podróży. Podczas obserwacji oficerowie wykonywali wiele zadań mogących mieć wpływ na proces decyzyjny i ogólną świadomość sytuacyjną. Aby zminimalizować ryzyko stronniczości, zdecydowano się skonsolidować obserwacje dla każdego statku i porównać całe obsady na danych mostkach, a nie zachowania poszczególnych oficerów.

2.7. Badanie symulacyjne wpływu czynników ergonomicznych na nawigatora

Symulatory to zaawansowane, certyfikowane urządzenia, które mają za zadanie jak najdokładniej odwzorowywać rzeczywiste prowadzenie statku i są one elementem szkolenia marynarzy, zgodnie z Konwencją STCW [107]. Eksperyment przeprowadzono na pełnozadaniowym symulatorze mostka nawigacyjnego (model: K-SIM NAVIGATION od firmy Kongsberg Digital). Wybrano ten symulator ze względu na możliwość projekcji wizji za pomocą projektorów o wysokiej wydajności (EPSON EB-G7800 z jednakowo wysokim natężeniem światła białego i barwnego oraz jasności 8000 lumenów), a nie monitorów LCD (ang. *Liquid Crystal Display*), które nie oddają wiernie niektórych kolorów, np. czarnego. Obraz wyświetlany jest na specjalnie wyprofilowanych i zakrzywionych ścianach dookoła operatora. Mostek tego symulatora ma pole wizji w zakresie 270° (180° do przodu i 90° do tyłu) i jest wyposażony między innymi w jeden ECDIS, dwa radary z przystawką ARPA, jeden wyświetlacz prezentacji informacji nawigacyjnych oraz jeden wyświetlacz prezentujący panele urządzeń nawigacyjnych (np. odbiornik GPS (ang. *Global Positioning System*), echosonda, panel świateł nawigacyjnych). Dodatkowo, pod sufitem znajduje się podwieszany wyświetlacz dedykowany funkcji lornetki, działający w zakresie 360° (sterowany za pomocą joysticka lub klawiszami strzałek) i wyświetlający informacje o aktualnym zamiarze rzeczywistym dla wyświetlanego obrazu. Statek

może być sterowany ręcznie za pomocą koła sterowego lub za pomocą autopilota, zadając odpowiedni kurs na cyfrowym panelu. Prędkość statku można dostrajać za pomocą manetki telegrafu silnika. Układ używanego w tym ćwiczeniu symulatora przedstawiono na rys. 2.4.



Rys. 2.4. Pomieszczenie symulatora mostka nawigacyjnego używanego podczas eksperymentu.

Na podstawie licencji posiadanej przez właściciela symulatora, ćwiczenie może być realizowane na rzeczywistym akwenie, z wiernie odwzorowaną linią brzegową, oznakowaniem nawigacyjnym, głębokościami i tym podobnymi cechami. Istnieje wiele rodzajów statków i innych obiektów, których można używać w ćwiczeniu, a ich ruch może być z góry zadany za pomocą ustalenia im danego schematu lub być kontrolowany na bieżąco ze stanowiska instruktora. Symulator wiernie odwzorowuje też warunki środowiskowe, takie jak falowanie morza, wiatr, śnieg, deszcz, czy zachmurzenie nieba.

2.7.1. Przebieg ćwiczenia i opis występujących czynników ergonomicznych

Ćwiczenie przygotowane na potrzeby eksperymentu miało na celu uwzględnienie warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu, a nie skupienie się wyłącznie na projekcji obrazu. Sala, w której znajdował się symulator, wyposażona była w głośniki, oświetlenie sufitowe, a także klimatyzację z funkcją zadania temperatury. Podczas przygotowania i realizacji ćwiczenia korzystano z narzędzi do pomiaru czynników ergonomicznych, które przedstawiono na rys. 2.5, były to:

- sonometr (miernik poziomu ciśnienia akustycznego) Benetech GM1356 (zakres pomiaru 30 dB–130 dB z dokładnością $\pm 1,5$ dB),
- miernik natężenia światła UNI-T UT382 (zakres pomiaru 0–20000 lx, z dokładnością $\pm(3\%+8)$),
- miernik temperatury i wilgotności powietrza CEM DT-91 (zakres pomiaru od -20°C do 60°C i 0%–100% WW (wilgotności względnej) z dokładnością $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ w zakresie 0°C – 40°C i $\pm 3,5\%$ w zakresie 20%–80% WW).

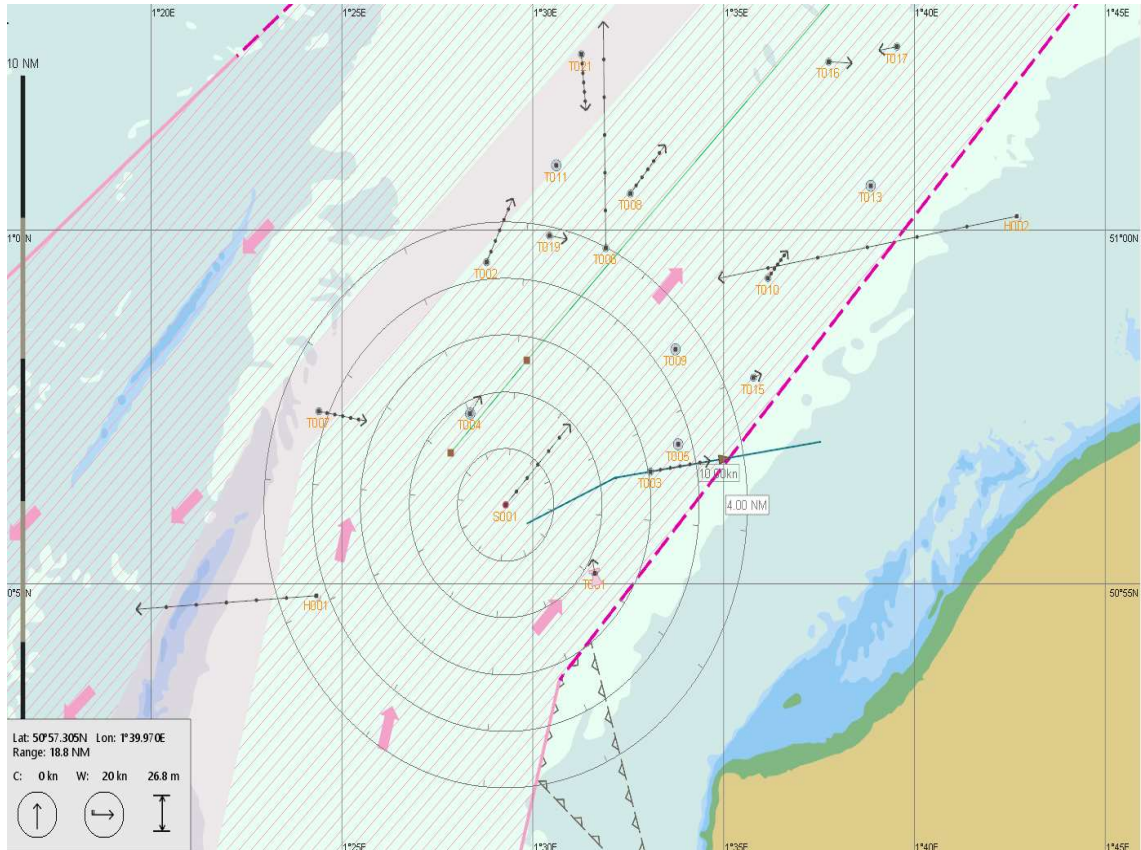


Rys. 2.5. Wykorzystywane mierniki do pomiarów warunków ergonomicznych w pomieszczeniu.

Obszarem, który wybrano do realizacji tego ćwiczenia był Kanał La Manche. Na ECDIS wyświetlona była zaplanowana trasa, która składała się z tylko jednego etapu (planowany kurs drogi nad dnem to 043° przez 20 mil morskich), tak by statek poruszał się w właściwym torem kierunkowym w ogólnym kierunku ruchu toru w obrębie systemu rozgraniczenia ruchu. Rejon ćwiczenia oraz ruch jednostek wokół własnego statku ukazano na rys. 2.6. Wybrane parametry ruchu statku własnego i warunków środowiskowych podczas ćwiczenia przedstawiono poniżej:

- pozycja początkowa statku: $50^{\circ}53,089' \text{ N}$; $001^{\circ}24,857' \text{ E}$,
- kurs rzeczywisty: 043° ,
- prędkość nad dnem: 15,6 węzła,
- prędkość po wodzie: 15,6 węzła (polecenie na telegraf maszynowy: cała naprzód (nawigacyjna)),
- kierunek wiatru: 270° ,

- prędkość wiatru: 20 węzłów,
- brak prądów morskich,
- fale wiatrowe w kierunku południowo-zachodnim, o wysokości 2,24 m,
- fala martwa w kierunku zachodnim, o wysokości 2,5 m.



Rys. 2.6. Rejon ćwiczenia oraz ruch jednostek wokół własnego statku.

Ćwiczenie zostało podzielone na trzy etapy, każdy trwający około 15 minut. W celu zapewnienia powtarzalności oraz równych szans dla wszystkich biorących udział w eksperymencie, wszystkie jednostki, poza własną, poruszały się według zadanego im indywidualnego schematu. Na każdym etapie występowała ta sama liczba obiektów wokół własnego statku, a były to:

- 2 duże statki handlowe (nieoświetlone),
- 4 małe jednostki (żaglówki, kutry rybackie, motorówki),
- 1 tratwa ratunkowa z rozbitkiem trzymającym flarę ręczną (co ukazano na rys. 2.7),
- 1 helikopter.



Rys. 2.7. Rozbitek na tratwie ratunkowej, trzymający flarę ręczną.

W zależności od ustawienia parametrów środowiskowych na symulatorze, a także oświetlenia pomieszczenia, przygotowano trzy warianty warunków, które mogą panować podczas wykonywania ćwiczenia, co przedstawiono w tabeli 2.4.

Tabela 2.4. Wybrane parametry w różnych wariantach ćwiczenia symulacyjnego

Parametr	Normalne warunki	Nieodpowiednie oświetlenie	Hałas
Gęstość mgły	66%	57%	66%
Światło słoneczne	100%	58%	100%
Gęstość chmur (typ: nimbostratus)	0%	100%	0%
Natężenie deszczu	0%	11%	0%
Poziom głośności silnika	60%	60%	90%
Poziom głośności pogody	72%	72%	100%
Natężenie światła	120 lx	205 lx	120 lx
Jasność ekranów	60%	60%	60%
Natężenie dźwięku	60 dB(A)	60 dB(A)	70 dB(A)

Natężenie światła było mierzone na stanowisku sterowania ręcznego (w środkowej części mostka), na wysokości 1,5 m. Pomiar natężenia dźwięku odbywał się w centralnej, tylnej części mostka, na takiej samej wysokości (dokładne miejsce pomiaru ukazano na rys. 2.8).



Rys. 2.8. Miejsce pomiaru natężenia dźwięku (po lewej w warunkach hałasu, po prawej podczas nieodpowiedniego oświetlenia i normalnych warunków).

Normalne warunki charakteryzowały się brakiem występujących w pomieszczeniu zakłóceń związanych z oświetleniem i natężeniem dźwięku niższym niż dopuszczalny dla mostków nawigacyjnych, który jest wskazany w Kodeksie dotyczącym poziomu hałasu na statkach ($65 \text{ dB(A)} \geq$) [128]. Wariant ćwiczenia z hałasem polegał na zwiększeniu natężenia dźwięku powyżej tego poziomu, do 70 dB(A) . Niewłaściwe oświetlenie było wariantem, w którym światło pochodzące z oświetlenia sufitowego o zwiększonym natężeniu odbijało się na ekranach urządzeń nawigacyjnych oraz szybach wizyjnych, co przedstawiono na rys. 2.9 oraz rys. 2.10. Do osiągnięcia tego celu wykorzystano zwiększenie poziomu zachmurzenia oraz mżawkę. Dla zachowania założonej widzialności (4 mil morskich), przy takich warunkach konieczne było natomiast zmniejszenie gęstości mgły.



Rys. 2.9. Odbicie światła sufitowych na szybach wizyjnych.



Rys. 2.10. Odbicie światła sufitowych na urządzeniach nawigacyjnych.

2.7.2. Charakterystyka próby badawczej

Badanie zostało przeprowadzone w 2024 roku na symulatorze mostka nawigacyjnego, w jednej z certyfikowanych Morskich Jednostek Edukacyjnych w Polsce. Łącznie 30 nawigatorów wzięło udział w ćwiczeniu, które każdy z nich wykonał samodzielnie i jeden raz. Próba badawcza składała się z 12 kadetów (studentów), 9 oficerów wachtowych, 6 starszych oficerów i 3 kapitanów. Najmłodszy uczestnik badania miał 21 lat, a najstarszy 55. Mediana wieku badanych nawigatorów wynosiła 28,00 lat ($Q1=24,50$, $Q3=29,00$). Rozkład stażu pracy i stanowisk uczestników został przedstawiony w tabeli 2.5.

Tabela 2.5. Rozkład stażu pracy i stanowisk uczestników badania symulacyjnego

Zmienna	Wielkość grupy
Staż pracy na morzu:	
≤ 1 rok	10 (33,33%)
2–6 lata	9 (30,00%)
≥ 7 lata	11 (36,67%)
Stanowisko:	
Kadet (student)	12 (40,00%)
Oficer wachtowy, Starszy oficer, Kapitan	18 (60,00%)

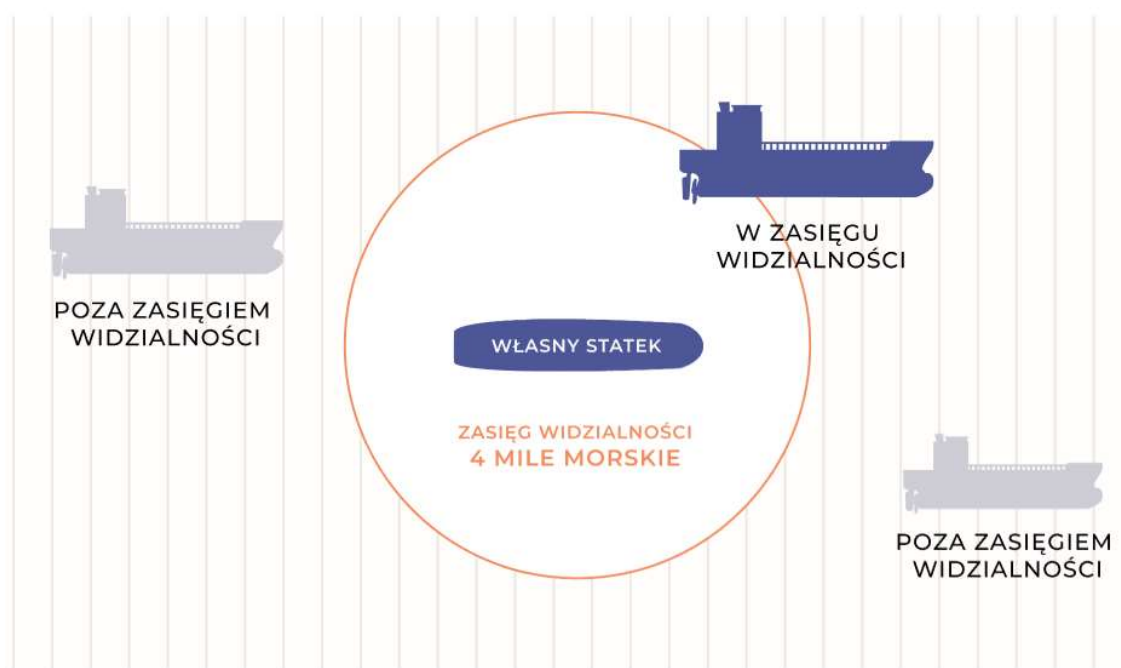
Staż zawodowy uczestników był zróżnicowany, choć równomiernie rozłożony w trzech kategoriach. Najwięcej osób (36,67%) posiadało staż wynoszący 7 lub więcej lat, 33,33% to uczestnicy z najmniejszym doświadczeniem, wynoszącym poniżej jednego roku stażu, a 30% uczestników ma średni staż zawodowy wynoszący od 2 do 6 lat. Ustanowienie takiego podziału zróżnicowania w doświadczeniu może pozwolić na ciekawe analizy porównawcze między grupami, zwłaszcza w kontekście radzenia sobie z zadaniami i reagowania na zmienne warunki środowiskowe w pomieszczeniu.

Podział ze względu na poziom wykształcenia obrazuje przewagę osób z kwalifikacjami oficerskimi lub wyższymi. Ze względu na duże zróżnicowanie posiadanych dyplomów wśród osób biorących udział w eksperymencie, zebrano ich w jedną grupę. Łącznie, 60% uczestników posiada stopień oficera wachtowego, starszego oficera lub kapitana, natomiast 40% to kadeci. Większość uczestników posiada wyższe kwalifikacje zawodowe, co może wpływać na ich wydajność i podejście do zadań symulacyjnych.

2.7.3. Założenia badania i rejestrowanie wyników

Uczestnicy badania otrzymywali krótkie wprowadzenie w celu zapoznania się z układem pomieszczenia, typem dostępnych urządzeń nawigacyjnych, a także z założeniami ćwiczenia. Byli oni informowani, że znajdują się na mostku sami, podczas rutynowej wachty w ciągu dnia, na co pozwalają przepisy. Do postawionych im zadań, poza prowadzeniem bezpiecznej

nawigacji, należało także raportowanie ustnie wszystkich zauważonych wzrokowo obiektów wokół statku. Wyłączono na mostku możliwość korzystania z Systemu Automatycznej Identyfikacji (ang. AIS – *Automatic Identification System*), który był natomiast dostępny na stanowisku instruktora. Nawigatorzy mieli możliwość korzystania ze wszystkich funkcji dostępnych urządzeń nawigacyjnych (poza dostosowywaniem z góry zadanej im jasności ekranów), a także do zmian kursu zgodnie z ich uznaniem. Parametry środowiskowe w ćwiczeniu zostały wybrane tak, by zakres widzialności stale utrzymywał się na wartości 4 mil morskich, niezależnie od typu warunków, jednakże nawigatorzy nie byli o tym informowani. Pomimo tego, że każdy obiekt w ćwiczeniu miał zadany swój indywidualny schemat poruszania się, nawet mała zmiana kursu statku własnego powodowała różnice w czasie zbliżenia się innych jednostek na odległość 4 mil morskich. Czas, w którym obiekt pojawiał się w zasięgu widzialności (co zobrazowano na rys. 2.11), był odnotowywany. Na tej podstawie obliczano następnie opóźnienie w wykryciu wzrokowym danej jednostki przez nawigatora.



Rys. 2.11. Obiekty w zasięgu widzialności i poza nim.

Po ukończeniu ćwiczenia, każdy uczestnik wypełnił kwestionariusz, oceniając w nim poziom uciążliwości wykonywania obowiązków i wykrywania wzrokowo obiektów w różnych scenariuszach symulacyjnych (normalnych warunkach, niewłaściwym oświetlaniu i hałasie). Do oceny użyta została 9-stopniowa skala, gdzie 1 oznaczało brak jakichkolwiek uciążliwości, a 9 oznaczało bardzo wysoki dyskomfort i uciążliwość.

2.7.4. Niedoskonałości i ograniczenia badania

Uczestników podzielono na trzy grupy, równe pod względem liczebności i stanowisk. Każda grupa wykonywała ćwiczenie w przypisanym do siebie wariancie, który definiował jakie warunki występować będą na danym etapie ćwiczenia. Taki podział pozwolił na ograniczenie

wpływu różnic wynikających z sytuacji nawigacyjnej lub charakterystyki poszczególnych etapów i ukierunkowanie analizy na różnice wynikające z warunków ergonomicznych. Tym samym, grupę kontrolną na każdym etapie ćwiczenia stanowi jedna z grup, wykonująca ćwiczenie w normalnych warunkach, a dwie pozostałe są grupami eksperymentalnymi. Warunki występujące na danym etapie ćwiczenia w zależności od wybranego dla danej grupy wariantu przedstawiono w tabeli 2.6.

Tabela 2.6. Warunki występujące na danym etapie ćwiczenia w danym wariantcie

	Etap 1	Etap 2	Etap 3
Wariant I (Grupa I)	Niewłaściwe oświetlenie	Hałas	Normalne warunki
Wariant II (Grupa II)	Hałas	Normalne warunki	Niewłaściwe oświetlenie
Wariant III (Grupa III)	Normalne warunki	Niewłaściwe oświetlenie	Hałas

2.7.5. Środowisko do obliczeń statystycznych i analiza wyników

Analizy przeprowadzono przy użyciu języka statystycznego R (wersja 4.3.3) [129], ponownie przyjęto też poziom istotności $\alpha=0,05$. W tej analizie:

- charakterystyka rozkładu zmiennych numerycznych została przedstawiona za pomocą mediany (pierwszy kwartyl, trzeci kwartyl) (**Mdn (Q1, Q3)**),
- zmienne kategoryjne zostały opisane poprzez podanie liczebności grup (**n**) wraz z ich udziałem procentowym w całości próby badawczej,
- oszacowania docelowych efektów w poszczególnych podgrupach dokonano na podstawie analizy kontrastów, porównując oszacowane średnie krańcowe (ang. **EMM** – estimated marginal means) dla poszczególnych kombinacji kategorii interakcji zmiennych,
- wartości **p** oraz przedziały ufności na poziomie 95% (ang. **CI95%** – confidence interval 95%) oszacowano na podstawie aproksymacji asymptotycznej testu z (dla modeli uogólnionych) lub statystyki t (dla modeli opartych na rozkładzie normalnym),
- w przypadku porównań wielokrotnych zastosowano korektę według metody Holma (**p_{adj}**).

Oszacowanie wpływu wielu czynników na zmienne wynikowe przeprowadzono z wykorzystaniem modeli wieloczynnikowych. W przypadku danych dotyczących pomiarów powtarzanych zastosowano modele mieszane. Dla zmiennej wynikowej dychotomicznej (binarnej) wykorzystano model regresji logistycznej, natomiast dla zmiennej ciągłej przyjęto rozkład normalny.

Badanie wpływu ergonomii mostka na wykrycie obiektów zostało przeprowadzone, uwzględniając trzy różne zmienne wynikowe. W modelu analizowano wpływ warunków symulacyjnych na wykrycie obiektów w ramach określonego etapu eksperymentu trwającego 15 minut. W tym przypadku każde wykrycie obiektu w późniejszych etapach eksperymentu było traktowane jako brak wykrycia. Założenia tej analizy zostały omówione w podrozdziale 2.7.6.

Zbadano wpływ ergonomii mostka na czas reakcji, czyli czas od pojawienia się obiektu w zakresie widzialności do jego wykrycia przez uczestnika. W tym przypadku, przed analizą wyeliminowano obserwacje, w których nie doszło do wykrycia obiektu w trakcie trwania eksperymentu. Założenia analizy tego modelu przedstawiono w podrozdziale 2.7.7.

Oszacowano również wpływ ergonomii mostka na odczuwany poziom uciążliwości podczas wykrywania obiektów wokół statku w oparciu o ocenę uczestników badania eksperymentalnego, na podstawie odpowiedzi, których udzielili oni w ankiecie po wykonaniu ćwiczenia. Założenia analizy przedstawiono w podrozdziale 2.7.8.

2.7.6. Oszacowanie wpływu ergonomii mostka na występowanie wykrycia obiektu podczas eksperymentu

Efekt ergonomii mostka na występowanie wykrycia obiektu podczas bieżącego etapu eksperymentu przedstawiono za pomocą uogólnionego modelu liniowego w ujęciu mieszanym (ang. GLMM – *generalised linear mixed model*), który pozwala uwzględnić zarówno wpływ zmiennych stałych i losowych. Dla zapewnienia bardziej wiarygodnych wyników w obecności efektów losowych, wykorzystano ograniczoną metodę największej wiarygodności (ang. REML – *restricted maximum likelihood*). W postaci funkcji łączącej zastosowano funkcję „logit”. Model dopasowano przy użyciu aproksymacji Laplace’a, co pozwoliło na uzyskanie dokładnych wyników obliczeń.

W postaci zmiennych objaśniających użyto warunków w pomieszczeniu (normalne warunki jako kategoria odniesienia, hałas, nieodpowiednie oświetlenie) oraz typu obiektu (statek duży jako kategoria odniesienia, statek mały, tratwa, helikopter) jako zmiennej kategoryjnej. Kontrolowanie różnic w poziomie umiejętności pomiędzy uczestnikami w modelu zapewniono poprzez włączenie do modelu zmiennych kategoryjnych najwyższego posiadanego dyplomu (student jako kategoria odniesienia oraz zbiorczo dyplom oficera wachtowy i wyższe) oraz staż pracy w branży (nie więcej niż 1 rok jako kategoria referencyjna, przedział od 2 do 6 lat, a także co najmniej 7 lat).

Szansa (ang. *odds*) to stosunek prawdopodobieństwa, że dane zdarzenie wystąpi, do prawdopodobieństwa, że nie wystąpi, co opisuje wzór (2.3):

$$S_{odds} = \frac{p}{1-p} \quad (2.3)$$

gdzie:

S_{odds} – szansa,

p – prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia.

Funkcja „logit” przekształca prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia na logarytm naturalny jego szansy, co opisano wzorem (2.4):

$$\text{logit}(p) = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (2.4)$$

gdzie:

p – prawdopodobieństwo wystąpienia danego zdarzenia.

Wynikiem funkcji logit jest cały zakres liczb rzeczywistych, co pozwala na zastosowanie modelu liniowego. Do oceny czy interakcja czynników modelu statystycznego pozwala na jego lepsze dopasowanie do danych, przeprowadzono analizę wariancji (ang. ANOVA – Analysis of Variance) z testem chi-kwadrat (χ^2). Porównano dwa modele, jeden bez interakcji, a drugi rozszerzony o dodatkowy składnik, czyli interakcję warunków i typów obiektów. Otrzymany wynik ($\chi^2(6)=15,01$, $p=0,020$) jest istotny statystycznie, co oznacza, że efekt jednej zmiennej jest zależny od drugiej, więc uwzględniono taką interakcję w modelu. Wzór użytego modelu logistycznego przedstawiono za pomocą równania (2.5):

$$\text{logit}(P) = \beta_0 + \beta_1 \times \text{staż}_{ijkl} + \beta_2 \times \text{dyplom}_{ijkl} + \beta_3 \times \text{warunki}_{ijkl} + \beta_4 \times \text{obiekt}_{ijkl} + \beta_5 \times \text{warunki}_{ijkl} \times \text{obiekt}_{ijkl} + u_i + v_j + w_k \quad (2.5)$$

gdzie:

P – prawdopodobieństwo wykrycia obiektu przez uczestnika i , podczas etapu j , w wariancie k (kolejności występowania warunków), dla danej kombinacji warunków i typów obiektów l ,

β_0 – stała (logarytm ilorazu szans dla wykrycia obiektu w warunkach odniesienia),

β_1 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej stażu pracy,

β_2 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej stanowiska,

β_3 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej warunków,

β_4 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej typu obiektu,

β_5 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej interakcji między warunkami i typami obiektów,

u_i – efekt losowy dla uczestników,

v_j – efekt losowy dla etapów eksperymentu,

w_k – efekt losowy dla wariantów eksperymentu.

Efekty losowe (u_i, v_j, w_k) uwzględniają różnice między: uczestnikami (i), etapami (j) i wariantami eksperymentu (k), które mogą wpływać na prawdopodobieństwo wykrycia obiektu, ale nie są bezpośrednio wyjaśniane przez zmienne objaśniające. Założono, że różnice te mają charakter losowy, pochodzą z rozkładu normalnego o średniej 0 i wariancji danego efektu losowego.

Wartość współczynników β wyjaśnia jak zmienia się logarytm szans wykrycia, gdy zmienna niezależna zmienia się o jedną jednostkę. Iloraz szans (ang. OR – *odds ratio*) jest przekształceniem wykładniczym współczynnika β z modelu logistycznego, co opisano wzorem (2.6). OR pozwala ocenić jak bardzo jedna grupa ma większe szanse na wykrycie niż druga, tym samym ułatwia interpretację wyników badania.

$$OR = e^{\beta} \quad (2.6)$$

gdzie:

OR – iloraz szans,

e – liczba Eulera,

β – współczynnik modelu logistycznego.

Iloraz szans:

- większy niż 1 – wskazuje na wzrost szans wykrycia,
- mniejszy niż 1 – wskazuje na spadek szans wykrycia,
- równy 1 – wskazuje na brak wpływu danej zmiennej na wykrycie.

2.7.7. Oszacowanie wpływu ergonomii mostka na czas wykrycia obiektu podczas eksperymentu

Czas wykrycia obiektu należy potraktować jako zmienną ciągłą dodatnią. Do analizy wpływu ergonomii mostka na czas wykrywania obiektów wykorzystano odporny liniowy model z efektami mieszanymi (ang. RLMM – *robust linear mixed-effects model*), który pozwala uwzględnić różnice między czynnikami oraz ogranicza wpływ nietypowych, odstających pomiarów. Przeprowadzona analiza ANOVA także tym razem wykazała przewagę modelu z interakcją pomiędzy obiektem a warunkami w porównaniu z modelem z jedynie efektami prostymi ($\chi^2(6)=15,58$, $p=0,016$). Funkcja Hubera została zastosowana do oszacowania reszt oraz wariancji efektów losowych. Średni czas wykrycia obiektu (μ_{ijl}) jest opisany wzorem (2.7):

$$\mu_{ijl} = \beta_0 + \beta_1 \times staż_{ijl} + \beta_2 \times dyplom_{ijl} + \beta_3 \times warunki_{ijl} + \beta_4 \times obiekt_{ijl} + \beta_5 \times warunki_{ijl} \times obiekt_{ijl} + u_i + v_j + \varepsilon_{ijl} \quad (2.7)$$

gdzie:

μ_{ijl} – średni czas wykrycia przez uczestnika i, podczas etapu j, dla danej kombinacji warunków oraz obiektu l,

β_0 – stała,

β_1 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej stażu pracy,

β_2 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej stanowiska,

β_3 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej warunków,

β_4 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej typu obiektu,

β_5 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej interakcji między warunkami i typami obiektów,

u_i – efekt losowy dla uczestników,

v_j – efekt losowy dla etapów eksperymentu,

ε_{ijl} – efekt losowy dla uczestnika i, etapu j, kombinacji warunków oraz obiektu l (reszty).

Ponownie założono, że efekty u_i , v_j i ε_{ijl} mają charakter losowy, pochodzą z rozkładu normalnego o średniej 0 i wariancji danego efektu losowego. Przyjęto, że rozkład czasu wykrycia obiektu w przypadku uczestnika i, podczas etapu j dla danej kombinacji warunków i obiektu l, jest rozkładem normalnym o średnim czasie wykrycia (μ_{ijl}) i wariancją całkowitą, będącą sumą wariancji wszystkich efektów losowych, co wyraża wzór (2.8):

$$\sigma_{całkowita}^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_\varepsilon^2 \quad (2.8)$$

gdzie:

$\sigma_{całkowita}^2$ – wariancja całkowita,

σ_u^2 – wariancja efektów losowych dla uczestników,

σ_v^2 – wariancja efektów losowych dla etapów eksperymentu,

σ_ε^2 – wariancja efektów losowych dla uczestnika i, etapu j, kombinacji warunków oraz obiektu l.

2.7.8. Oszacowanie wpływu ergonomii mostka na poziom uciążliwości podczas wykrywania obiektów

Każdy uczestnik dokonał oceny poziomu uciążliwości w odniesieniu do każdego z trzech wariantów warunków, co dało łącznie 90 obserwacji. Kwestionariusz, którzy nawigatorzy otrzymali do wypełnienia po ukończeniu ćwiczenia zamieszczono w załączniku C. Analizę przeprowadzono przy użyciu modelu RLMM, zakładając ciągły charakter zmiennej wynikowej ocenianej na skali

od 1 do 9, gdzie wyższe wartości wskazywały na większy poziom uciążliwości. Efekt zmiennej kategoryjnej reprezentującej warunki w pomieszczeniu (normalne warunki jako kategoria referencyjna, hałas, nieodpowiednie oświetlenie), został dodatkowo skorygowany poprzez wprowadzenie zmiennych zakłócających. Wśród nich uwzględniono staż pracy w branży (nie więcej niż 1 rok jako kategoria referencyjna, przedział od 2 do 6 lat i co najmniej 7 lat) oraz najwyższy posiadany dyplom (student jako kategoria odniesienia oraz zbiorczo dyplom oficera wachtowy i wyższe). Funkcja Hubera została zastosowana do oszacowania reszt oraz wariancji efektów losowych. Dopasowany model RLMM, obejmujący zarówno efekty stałe dla zmiennych objaśniających, jak i efekty losowe dla uczestników, jest opisany wzorem (2.9):

$$uciążliwość_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \times staż_{ij} + \beta_2 \times stanowisko_{ij} + \beta_3 \times warunki_{ij} + u_i + \varepsilon_{ij} \quad (2.9)$$

gdzie:

$uciążliwość_{ij}$ – poziom uciążliwości wykrywania obiektów dla uczestnika i oraz obserwacji j ,

β_0 – stała (średni poziom uciążliwości dla kategorii odniesienia),

β_1 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej stażu pracy,

β_2 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej stanowiska,

β_3 – współczynnik efektu zmiennej dotyczącej warunków,

u_i – efekt losowy dla uczestników,

ε_{ij} – efekt losowy dla uczestnika i , obserwacji j (reszty).

Ponownie założono, że efekty u_i i ε_{ij} mają charakter losowy, pochodzą z rozkładu normalnego o średniej 0 i wariancji danego efektu losowego.

3. WYNIKI

W niniejszym rozdziale przedstawiono wyniki analizy literatury i obowiązujących przepisów oraz rezultaty badań, przeprowadzonych zgodnie z metodologią opisaną w rozdziale 2. Struktura tego rozdziału odpowiada kolejności, w której przedstawiane były metody, co umożliwia zachowanie ciągłości oraz ułatwia odniesienie wyników do przyjętych założeń.

3.1. Wyniki analizy literatury i przepisów

Z perspektywy regulacji prawnych, projekt mostka powinien wspierać prowadzone na nim operacje, zgodnie z prawidem 15, rozdziału V Konwencji SOLAS [40]. Oprócz obowiązkowych wymagań zawartych w tej konwencji, dotyczących także minimalnych zakresów widoczności lub wyposażenia nawigacyjnego, mostek jest dodatkowo wspierany przez nieobowiązkowe dokumenty i wytyczne [130]. Obejmuje to przede wszystkim „MSC/Circ.982: Guidelines on Ergonomic Criteria for Bridge Equipment and Layout”, który został wydany przez Komitet Bezpieczeństwa Morskiego (ang. MSC – *Maritime Safety Committee*) w 2000 roku. Intencją tego dokumentu była pomoc projektantom w konstruowaniu ergonomicznego mostka. Dodatkowe wytyczne są niezbędne, ponieważ przepisy zawarte w Konwencji SOLAS są bardzo ogólne i stanowią, że projekt mostka powinien:

- ułatwiać nawigatorom bezpieczne prowadzenie statku oraz dokonywanie oceny sytuacji we wszystkich warunkach,
- poprawiać skuteczność obsługiwanego dostępnego wyposażenia mostka,
- zapewniać stały i dogodny dostęp do istotnych informacji oraz przedstawiać je w przystępnej i jednoznacznej formie,
- wskazywać status działania zautomatyzowanych funkcji i zintegrowanych systemów,
- ułatwiać przetwarzanie danych, wspomagając podejmowanie decyzji,
- minimalizować lub eliminować niepotrzebną pracę,
- nie rozpraszać nawigatora podczas pracy,
- zmniejszyć występowanie błędów ludzkich, a w razie ich popełnienia, wykryć je i w porę zaalarmować [40].

Inne wytyczne w zakresie projektowania mostków, przekazane przez IMO w formie okólników to:

- SN.1/Circ.265: *Guidelines on the application of SOLAS V/15 to INS, IBS and bridge design*,
- SN.1/Circ.288: *Guidelines for bridge equipment and systems, their arrangement and integration (BES)*.

Norma ISO 8468:2007 (*Ship's bridge layout and associated equipment — Requirements and guidelines*) zawiera informacje na temat czynnika ludzkiego w projektowaniu mostków nawigacyjnych. Określa ona między innymi wymagania dla układu mostka i stacji roboczych, a także samego środowiska pracy. Wytyczne te proponuje się stosować jako potencjalne metody

spełnienia konwencyjnych wymagań dotyczących projektowania mostków [49]. Należy również zaznaczyć, że normy ISO są nieobowiązkowe, chyba że przepisy stanowią inaczej [131].

Konwencja MLC z 2006 roku stanowi kolejne źródło regulacji. Zgodnie z tym dokumentem, środowisko pracy powinno promować zdrowie i bezpieczeństwo w pracy [132]. W samej Konwencji poruszono problem narażenia między innymi na hałas i wibracje. Te i inne szkodliwe czynniki, takie jak oświetlenie, ekstremalne temperatury czy promieniowanie, są lepiej wyjaśnione w innym dokumencie, mianowicie *Guidelines for implementing the occupational safety and health provisions of the Maritime Labour Convention, 2006*, wydanym przez ILO w 2016 roku. Wytyczne te, oprócz narażenia na działanie czynników, które można ująć szeroko jako środowisko pracy, określają również zagrożenia ergonomiczne lub zmęczenie jako formy ryzyka na pokładzie statków [133].

Konwencja STCW określa standardy dotyczące szkolenia i pełnienia wacht na statkach. W minimalnym zakresie kompetencji oficerów pokładowych nie ma bezpośredniego wymogu szkolenia z zachowania odpowiedniej ergonomii podczas wykonywania obowiązków na mostku. Znajdują się tam odniesienia i przykłady, na które należy zwrócić szczególną uwagę, między innymi przejęcie wacht. W celu promowania bezpiecznego i efektywnego przejmowania obowiązków, STCW zawiera wymóg dotyczący dostosowania do warunków panujących na mostku, w szczególności zaadaptowania wzroku do ciemności. Problem może jednak nadal występować, ponieważ Konwencja STCW nie określa ani dokładnego okresu, który jest wystarczający na przystosowanie się do ciemności, ani sposobów oceny wystarczającego widzenia w nocy [32]. Ponadto oficer jest odpowiedzialny za to, aby upewnić się, że wszyscy członkowie wacht są w pełni zdolni do przejęcia obowiązków [107], nie będąc wspieranym żadnymi sugerowanymi metodami weryfikacji zgodności z tym wymogiem. Wspomniana powyżej nieobowiązkowa norma ISO 8468:2007, zawiera dodatkowe wytyczne, takie jak używanie gogli z czerwoną szybką przez 5–15 minut przed wachtą, w celu ułatwienia przystosowania się do ciemności (nie jest to wspomniane ani w MSC/Circ.982, ani w innych powiązanych dokumentach wydanych przez IMO). Złożoność problemu luminancji urządzeń i oświetlenia na mostku w nocy w kontekście adaptacji wzroku do ciemności była tematem wielu prac i badań w przeszłości. Khaliq i in. [134] zauważyli, że IMO nie podaje jasnych przepisów lub wymagań dotyczących luminancji w nocy, zalecając jedynie, że nie powinna ona negatywnie oddziaływać na przystosowanie do obserwacji wzrokowej w ciemności, jednocześnie umożliwiając wykonywanie pracy na ekranach na satysfakcjonującym poziomie.

IACS wydał w 2007 roku rekomendację, zawierającą sugerowane rozwiązania spełniające wymogi prawidła 15, rozdziału V, Konwencji SOLAS [120]. Dokument został później poprawiony w 2009 i 2011 roku, a także doczekał się dużej rewizji w 2022. Niektóre towarzystwa klasyfikacyjne promują wprowadzanie ergonomii i czynnika ludzkiego w projektowaniu wydając własne zalecenia, jak ma to miejsce w przypadku ABS (*American Bureau of Shipping*) i ich wytycznych dotyczących ergonomicznego projektowania statków i mostków nawigacyjnych, które zostały wydane w październiku 2003 roku i zaktualizowane w sierpniu 2018 [135, 136, 137].

3.1.1. Zmiany w wyposażeniu mostka nawigacyjnego

Minimalne standardy dotyczące wyposażenia i systemów nawigacyjnych są opisane w prawie 19, rozdziale V w Konwencji SOLAS. Wymagane wyposażenie jest zależne od: typu uprawianej żeglugi (międzynarodowa lub krajowa), roku budowy, typu statku i pojemności rejestrowej brutto [40]. Wymagania dotyczące obowiązkowych urządzeń nawigacyjnych na pokładach statków mogą być zmieniane przez IMO w formie poprawek do konwencji SOLAS. Od 2000 roku nawigatorzy doświadczyli znaczących zmian w związku z nowymi technologiami implementowanymi na mostkach nawigacyjnych. Pierwszym z nich był AIS, który został uznany za obowiązkowy przez SOLAS dla wszystkich statków o pojemności 300 GT (*Gross Tonnage*) i większej odbywających rejsy międzynarodowe, statków towarowych o pojemności 500 GT i większej nieuczestniczących w podróżach międzynarodowych oraz wszystkich statków pasażerskich. W związku z atakami terrorystycznymi w Stanach Zjednoczonych we wrześniu 2001 roku, termin implementacji został zrewidowany i skrócony do 31 grudnia 2004 roku [138]. Pokazuje to, że wprowadzenie nowych technologii w branży morskiej może być uzależnione od różnych, nie zawsze tylko technologicznych, czynników. Konwencja SOLAS doczekała się poprawek również w 2009 roku, w związku z wprowadzeniem Systemu Kontroli Czujności Oficera Wachtowego (ang. BNWAS – *Bridge Navigational Watch Alarm System*). Od tego czasu wszystkie nowe statki o pojemności 150 GT i większej oraz wszystkie nowe statki pasażerskie zbudowane po 1 lipca 2011 roku, są wyposażone w ten system. Istniejące statki musiały wprowadzać BNWAS przed określonymi terminami, zależnymi od ich pojemności rejestrowej brutto. Statki handlowe o pojemności rejestrowej brutto co najmniej 3000 GT nie później niż 1 lipca 2012, o pojemności co najmniej 500 GT nie później niż 1 lipca 2013, a o pojemności co najmniej 150 GT nie później niż 1 lipca 2014 [139, 140].

To samo można zaobserwować w przypadku ECDIS, ponieważ zmiany wymagań zostały przyjęte w tym samym roku i ogłoszone w tym samym dokumencie, co w przypadku BNWAS. Implementacja ECDIS rozpoczęła się od statków pasażerskich o pojemności rejestrowej brutto 500 GT i większej oraz tankowców o 3000 GT i większej, zbudowanych 1 lipca 2012 roku lub później [139]. W dniu 1 lipca 2018, upłynął przejściowy okres wdrażania i od tego czasu wszystkie statki o pojemności rejestrowej brutto 3000 GT i większej, eksploatowane w żegludze międzynarodowej, muszą być wyposażone w działający system ECDIS. Może to w przyszłości doprowadzić do koncepcji, według której statki nie będą w ogóle posiadać map papierowych [141]. Biuro Hydrograficzne Wielkiej Brytanii (ang. UKHO – *United Kingdom Hydrographic Office*) ogłosiło już zamiar wycofania produkcji map papierowych do końca 2026 r. [142], coraz większą popularnością cieszą się także elektroniczne dzienniki pokładowe, zastępujące ich standardowe, papierowe odpowiedniki. Głównymi zmianami, jakie nastąpiły po wprowadzeniu na mostki nawigacyjne systemu ECDIS, była możliwość ciągłego monitorowania pozycji statku, wyświetlanej w czasie rzeczywistym na mapie elektronicznej oraz kontrolowanie pozycji statku z miejsca, w którym prowadzona jest nawigacja, a nie z oddzielonej przestrzeni.

3.1.2. Przegląd standardów w kontekście zmian technologicznych

W celu ukazania postępu technologicznego w ostatnich latach, przeanalizowano Załącznik 3 do okólnika MSC/Circ.982 z 2000 roku, zawierający normy i standardy dotyczące ergonomicznych kryteriów projektowania, wyposażenia i układu mostków nawigacyjnych. Przeprowadzoną analizę można podsumować w następujący sposób:

- norma ISO 14612 została przyjęta w 1999 roku, aby wzmocnić normę ISO 8468 [143], jednak została później zastąpiona właśnie przez ISO 8468:2007 [49],
- wytyczne dotyczące stanowisk pracy i ich proponowanego wyposażenia zostały zawarte w Załączniku 2 do MSC/Circ.603 z 1993 roku, który z czasem został zastąpiony przez MSC/Circ.982 [130],
- oprócz ogólnych wymagań dotyczących sprzętu GMDSS i elektronicznych pomocy nawigacyjnych określonych w rezolucji IMO A.694(17), nowe standardy wyświetlaczy zostały opisane w rezolucji MSC.191(79), przyjętej w 2004 roku,
- standardy zarządzania alarmami, opisane w rezolucji IMO A.694(17), zostały rozszerzone rezolucją MSC.302(87), przyjętą w 2010 r. [144],
- norma IEC 61209 „Operational and performance requirements, methods of testing and required test results for Integrated bridge systems (IBS)” została wycofana w 2013 roku [145],
- zmienione standardy dla INS zostały wprowadzone w 2007 roku, rezolucją MSC.252(83),
- wymagania dotyczące środowiska pracy zostało przyjęte w 2012 roku. Zgodnie z przyjętymi poprawkami do Konwencji SOLAS, nowobudowane jednostki powinny być obowiązkowo zgodne z Kodeksem dotyczącym poziomu hałasu na statkach (ang. *Code on Noise Levels on Board Ships*). Dokument ten określa maksymalne dopuszczalne poziomy hałas w różnych miejscach na statku, również w przestrzeniach nawigacyjnych. Kodeks odnosi się jednak tylko do dźwięku pochodzącego od maszyn i napędu, nie dotyczy on wiatru, alarmów, ani rozgłośni statkowej [128, 146]. Wytyczne dotyczące hałasu na mostku podane w MSC/Circ.982 mają charakter ogólny i nie określają maksymalnego dopuszczalnego poziomu hałasu. W okólniku stwierdzono jednak, że hałas nie powinien zakłócać komunikacji, powodować zmęczenia lub urazów oraz obniżać ogólnej wydajności całego systemu. Inne czynniki środowiskowe na mostku, takie jak oświetlenie, temperatura lub wilgotność powietrza są obecnie określane tylko w nieobowiązkowych dokumentach i zaleceniach.

3.2. Opinie ekspertów na temat ergonomii mostka nawigacyjnego i pokrewnych problemów

Przeprowadzone wywiady eksperckie z nawigatorami zamieszczono w załączniku D. Wyniki wywiadów zestawiono w tabeli 3.1, gdzie wskazano ilu ekspertów zgodziło się z przedstawionymi zagadnieniami, ilu się nie zgodziło, a ilu nie udzieliło jednoznacznej odpowiedzi.

Tabela 3.1. Analiza wywiadów eksperckich na temat ergonomii mostka nawigacyjnego

Zagadnienie	Ekspert nr 1	Ekspert nr 2	Ekspert nr 3	Ekspert nr 4	Ekspert nr 5
Trendy panujące w nawigacji:					
Nawigatorzy mają natłok obowiązków, także niezwiązanych z nawigacją	TAK	–	–	TAK	–
Nowe technologie dokładają obowiązków nawigatorom	TAK	NIE	–	TAK	–
Nawigatorzy mają problemy z brakiem koncentracji lub korzystaniem z rozpraszaczy	–	TAK	–	–	TAK
Człowiek odgrywa ważniejszą rolę w nawigacji niż technologia	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Kontrola warunków w pomieszczeniu:					
Oficerowie sami decydują o dostosowaniu warunków na mostku podczas wacht	TAK	TAK	TAK	TAK	–
Komfortowe warunki pracy mogą poprawić bezpieczeństwo	NIE	–	TAK	–	–
Czynniki utrudniające obserwację:					
Słaba czytelność informacji i mnogość systemów	–	–	TAK	TAK	–
Warunki atmosferyczne (mgła, opady deszczu i śniegu)	–	TAK	TAK	–	–
Pora świtu i zmierzchu Słońca	–	–	TAK	–	–
Warunki środowiskowe (czynniki ergonomiczne) w pomieszczeniu	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Małe obiekty wokół własnego statku	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Zbyt intensywne oświetlenie obiektów wokół własnego statku	–	–	–	–	TAK
Ćwiczenie symulacyjne uwzględniającego warunki ergonomiczne w pomieszczeniu:					
Symulatory to wartościowy i potrzebny element szkolenia nawigatorów	TAK	TAK	TAK	TAK	TAK
Ekspert posiadał wcześniejszą styczność z tego typu ćwiczeniem symulacyjnym	NIE	NIE	NIE	NIE	NIE
Ekspert ma wątpliwości odnośnie zasadności ćwiczenia symulacyjnego	NIE	NIE	NIE	–	NIE
Ekspert ma wątpliwości odnośnie formy ćwiczenia symulacyjnego	TAK	TAK	NIE	TAK	NIE

W wypowiedziach ekspertów można zauważyć, że technologia przyspiesza i ułatwia wiele procesów, natomiast problemem może okazać się natłok i słaba czytelność informacji, a także dokładanie nawigatorom obowiązków związanych z wdrażaniem nowych urządzeń oraz systemów. Poruszana jest także kwestia rozległej biurokracji, która odciąża nawigatora od jego podstawowych obowiązków związanych z nawigacją.

Problem rozproszenia uwagi oraz trudności z utrzymaniem koncentracji, spowodowany między innymi korzystaniem z prywatnych urządzeń elektronicznych i telefonów, został wskazany przez 2 ekspertów. Pozostali nie określili swoich doświadczeń w tej kwestii.

Wszyscy eksperci zdecydowanie zgodzili się, że człowiek odgrywa kluczową rolę w nawigacji, a technologia powinna mieć jedynie funkcje wspierające, a nie zastępujące. Obawy budzi jednak zbytne poleganie na urządzeniach, bez zachowania odpowiedniej równowagi względem czujności i kompetencji oficera. Istotne natomiast jest odpowiednie wykształcenie oficerów, nabyte doświadczenie oraz przygotowanie do działania w sytuacjach awaryjnych.

Eksperti nie mieli w zwyczaju sztywno narzucać warunków ergonomicznych na mostku, kiedy byli kapitanami statku zostawiali tę kwestię oficerom wachtowym. Jeden z ekspertów stwierdził natomiast, że zbyt komfortowe środowisko pracy na mostku może uspić czujność, a trudniejsze warunki paradoksalnie mogą pomóc utrzymać odpowiednią koncentrację. Chwilowe pobudzenie sensoryczne poprzez obniżenie temperatury w pomieszczeniu lub wywołanie głośniejszego dźwięku mogłoby, według niego, zadziałać pozytywnie na niektóre osoby.

Z wypowiedzi ekspertów można wywnioskować, że utrudnienia w obserwacji mogą być spowodowane zarówno czynnikami zewnętrznymi wokół statku, jak i wewnętrznymi na mostku nawigacyjnym. Najczęściej wymieniane w tym kontekście były warunki środowiskowe panujące na mostku, wpływające bezpośrednio na zmysły człowieka. Zwrócono także uwagę na okres tuż przed wschodem i po zachodzie Słońca. Jest to czas, kiedy gwałtownie zmienia się natężenie światła zewnętrznego. Dwaj eksperci wskazali także problemy związane z warunkami atmosferycznymi, takimi jak mgła ograniczająca widzialność, opady deszczu i śniegu. Są to wciąż aktualne zagrożenia, które towarzyszą marynarzom niemal od początków żeglugi. Nadmierna ilość bodźców, wliczając w to liczbę ekranów, świateł, a także długotrwały hałas, mogą prowadzić do obniżenia czujności nawigatora. Technologia tym samym może wspierać obserwację, tak samo jak rozpraszać oficerów. Z wypowiedzi można wywnioskować, że właściwa obserwacja, konieczna do prowadzenia bezpiecznej nawigacji, to nie tylko patrzenie w ekrany lub przez okna, ale proces wymagający spokoju, świadomości sytuacyjnej i ciągłego analizowania sytuacji.

Jako najtrudniejsze w obserwacji zgodnie wskazano małe obiekty, znajdujące się nisko nad wodą, takie jak dryfujące kontenery, jachty lub statki rybackie ze słabym oświetleniem lub jego brakiem. Są to obiekty trudno wykrywalne przez radary, mogące nie posiadać AIS, konieczne jest więc wczesne wykrycie ich wzrokowo. Oprócz trudności w zauważeniu jednostki, poruszono także problemy z identyfikacją i interpretacją jej świateł nawigacyjnych. Intensywne oświetlenie robocze platform lub statków specjalistycznych może utrudniać nawigatorom ocenę sytuacji.

Wypowiadający się eksperci zgodnie stwierdzili, że symulatory są wartościowym i potrzebnym elementem szkolenia. Wykorzystanie symulatorów odbierane jest zwykle pozytywnie, dzięki możliwości popełniania błędów oraz bezpiecznego przećwiczenia różnych wariantów i scenariuszy. Eksperti nie spotkali się dotychczas z ćwiczeniem symulacyjnym skoncentrowanym na zmieniających się warunkach ergonomicznych w pomieszczeniu, natomiast ten problem jest im znany z praktyki na statkach. Samo szkolenie nie budzi także obaw lub kontrowersji. Świadome zarządzanie bodźcami, takimi jak światło, dźwięk, czy temperatura, może zwiększyć koncentrację i bezpieczeństwo nawigacji. Pojawiają się natomiast zastrzeżenia dotyczące samej formy takiego szkolenia i czasu jego trwania, zważywszy na to, że nawigatorzy już teraz przeładowani są dużą liczbą kursów wykonywanych podczas pobytu na lądzie. Takie

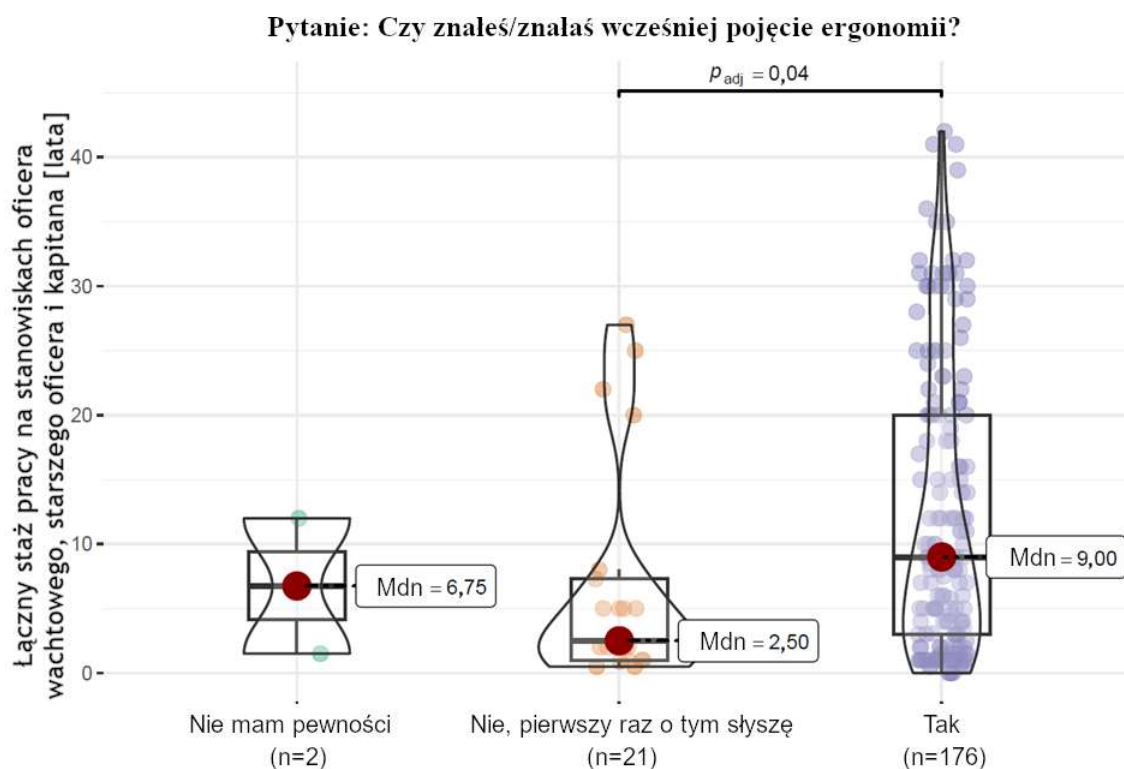
ćwiczenie mogłoby zostać odebrane negatywnie jako kolejny dodatkowy obowiązek, ograniczający czas wolny, a przy niskiej motywacji uczestników może ono nie przynieść zamierzonych efektów. Zgodnie z sugestią praktyków, możliwym rozwiązaniem tego problemu jest wdrożenie elementów dotyczących kontroli warunków ergonomicznych w pomieszczeniu do już istniejących szkoleń, takich jak kurs nautycznego dowodzenia statkiem (ang. *bridge resource management*). Byłoby to dobre rozwiązanie z uwagi na oszczędność czasu i ograniczenie kosztów związanych z organizacją osobnego szkolenia.

3.3. Ocena świadomości ergonomicznej nawigatorów

Bazując na wynikach ankiety badawczej numer 1, znajomość pojęcia ergonomii deklarowało 176 (88,4%) osób. Brak wiedzy z zakresu ergonomii był najbardziej widoczny w grupie młodych respondentów (Mdn=28,0 lat (Q1=26,0, Q3=42,0)) o znacząco krótszym łącznym czasie spędzonym na morzu (Mdn=2,5 roku (Q1=1,0, Q3=7,3)), jak pokazano na rys. 3.1. Osoby zaznajomione z pojęciem ergonomii istotnie częściej zgłaszały związek pomiędzy niekorzystnymi warunkami pracy na mostku a zmęczeniem ($n=130$, 73,9%) w porównaniu z grupą nie posiadającą wiedzy ergonomii ($n=10$, 46,7%) ($p_{adj}=0,014$, $\phi=0,25$).

W odpowiedzi na pytanie dotyczące odpowiednich warunków obserwacji otoczenia zewnętrznego, właściwą opcję, czyli „w pomieszczeniu powinno być ciemniej niż na zewnątrz” wybrało 164 (82,4%) respondentów. Osoby, które odpowiedziały poprawnie, wykazały także istotnie wyższy procent poparcia dla stwierdzenia, że różne czynniki ergonomiczne na mostku mają wpływ na efektywność pracy i bezpieczeństwo statku ($n=146$, 84,6%), w porównaniu z grupą, która nie zwracała na to uwagi ($n=1$, 33,3%) ($p_{adj}=0,019$, $\phi=0,32$). Ponadto uczestnicy, którzy udzielili prawidłowej odpowiedzi, wykazali większe zainteresowanie poznaniem dokładnego wpływu ergonomii na ich pracę niż grupa, która udzieliła błędnej odpowiedzi. Ogólnie, wpływ różnych czynników ergonomicznych na mostku na efektywność pracy i bezpieczeństwo statku zadeklarowało 175 (87,9%) respondentów. Rozkład odpowiedzi twierdzących nie różnił się ze względu na stanowisko, licencję, wiek, czas spędzony na morzu ani typ statku.

Adaptację sensoryczną do aktualnych warunków przed wachtą na mostku uznało za niezbędną aż 191 (96,0%) osób. Obecność czerwonych świateł na swoim mostku, zalecaną przez IMO i bezpośrednio związaną z adaptacją do ciemności [48], zgłosiło 136 (68,3%) nawigatorów. Różnica w posiadaniu czerwonych świateł zależała od typu statku, chociaż nie ma różnic w wytycznych i przepisach w tym zakresie. Odsetek czerwonych świateł na statkach mokrych ($n=78$, 89,7%) był istotnie wyższy niż na statkach suchych ($n=48$, 51,6%) ($p_{adj}<0,001$, $\phi=0,42$), statkach offshore ($n=5$, 55,6%) ($p_{adj}=0,048$, $\phi=0,31$) i statkach pasażerskich ($n=5$, 50%) ($p_{adj}=0,025$, $\phi=0,37$).



Rys. 3.1. Łączny staż pracy na stanowisku oficera wachtowego lub wyższym przy odpowiedzi na pytanie "Czy znałeś/znałaś wcześniej pojęcie ergonomii?" wraz z oszacowaniem różnic pomiędzy grupami.

3.3.1. Epizody bólu w trakcie lub po pracy na mostku

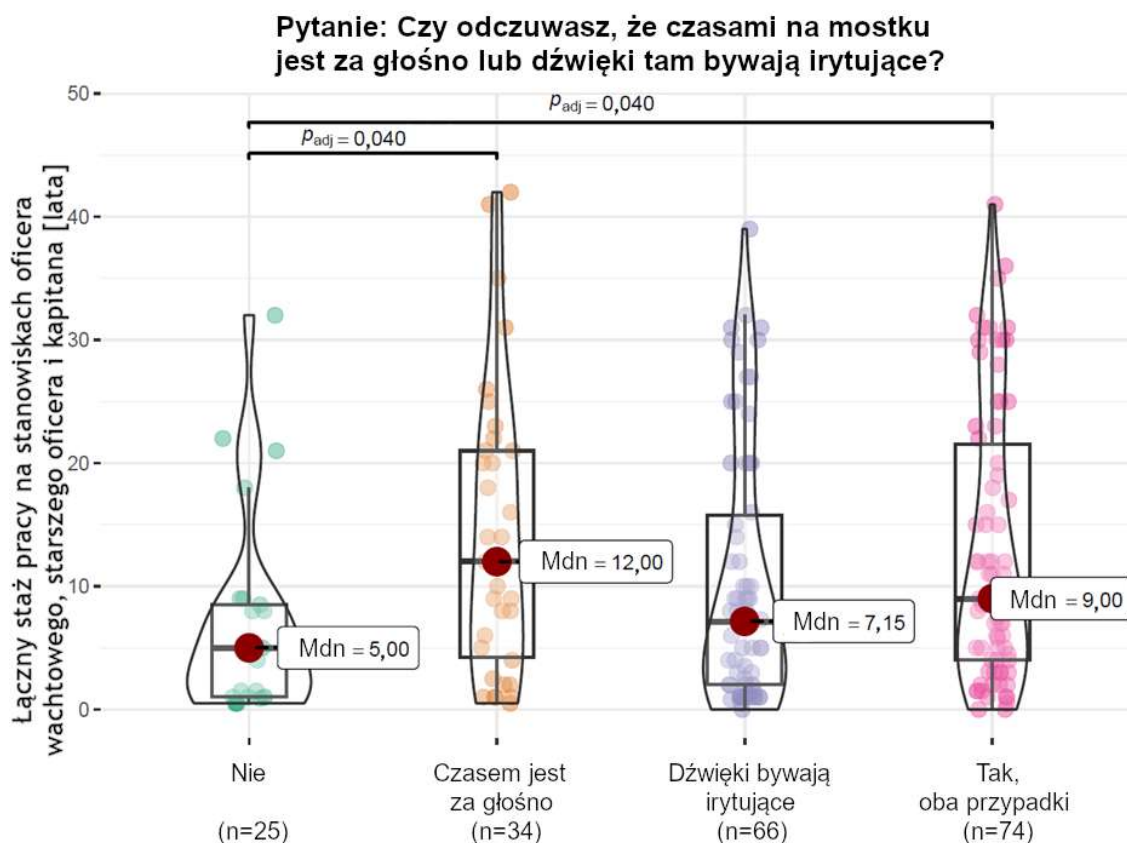
Bólów pleców, kolan lub barków doświadczyło 82 (41,2%) nawigatorów w stosunkowo młodej grupie wiekowej (Mdn=34,0 lat (Q1=27,0, Q3=48,8)), których łączny czas spędzony na morzu na stanowisku oficera wachtowego lub wyższym plasuje się poniżej średniej z całej próby (Mdn=5,9 lat (Q1=2,0, Q3=12,0)). Jedynie 31 (37,8%) osób w grupie, w której wystąpiły epizody bólowe pleców, kolan lub barków, stwierdziło, że mostek nawigacyjny spełnił ich oczekiwania w zakresie komfortu. Odsetek ten był istotnie niższy niż w grupie bez epizodów bólowych (n=74, 74,0%) ($p_{adj}<0,001$, $\phi=0,37$).

Osoby z epizodami bólowymi istotnie częściej zgłaszały także zbyt głośne i drażniące dźwięki (alarmy, komunikacja radiowa itp.) występujące na mostku, niż osoby bez epizodów bólowych ($p_{adj}=0,039$, $\phi=0,32$). Bóle głowy lub oczu doświadczyło 77 (38,7%) osób w stosunkowo młodej grupie wiekowej (Mdn=33,0 lat (Q1=28,0, Q3=41,0)), przy łącznym czasie spędzonym na morzu na stanowisku oficera wachtowego lub wyższym poniżej średniej próby (Mdn=5,0 lat (Q1=2,0, Q3=10,0)). 57,1% tych osób cierpiało także na bóle pleców, kolan i barków.

Ponad połowa osób odczuwających ból (n=43, 52,4%) zgłaszała przeciążenie podczas wachty nawigacyjnej, a zadania takie jak ciągła regulacja jasności sprzętu czy regulacja głośności/temperatury były dla nich denerwujące lub rozpraszające. Odsetek ten był istotnie wyższy w porównaniu z osobami bez bólu ($p_{adj}<0,001$, $\phi=0,32$). Jedynie 33 (42,9%) osób w grupie, w której wystąpiły epizody bólowe dotyczące głowy lub oczu, stwierdziło, że mostek nawigacyjny spełnił ich oczekiwania w zakresie komfortu. Odsetek ten był istotnie niższy niż w grupie bez epizodów bólowych (n=72, 68,6%) ($p_{adj}=0,002$, $\phi=0,26$).

3.3.2. Środowisko pracy i główne czynniki zakłócające

Do głównych czynników zakłócających pracę na mostku nawigacyjnym zaliczano kołysanie ($n=103$, 51,8%) i wibracje powodowane przez maszyny ($n=42$, 21,1%). Czynniki zakłócające nie były istotnie powiązane z innymi zmiennymi. Głośne lub irytujące dźwięki zgłosiło łącznie 174 (87,4%) respondentów, z czego sam głośny hałas – 34 (17,1%), sam irytujący hałas – 66 (33,2%), a oba rodzaje hałasu – 74 (37,2%) osoby. Brak uciążliwości związanych hałasem stwierdzono w grupie osób o istotnie krótszym czasie pracy jako oficer wachtowy, starszy oficer lub kapitan ($Mdn=5,0$ lat ($Q1=1,0$, $Q3=8,5$)) w porównaniu ze stażem osób deklaruujących problemy z wysokim poziomem hałasu ($Mdn=12,0$ lat ($Q1=4,2$, $Q3=21,0$)) ($p_{adj}=0,040$), a także grupą osób, które zgłaszały problem zarówno z wysokim poziomem hałasu i drażniącymi dźwiękami ($Mdn=9,0$ lat ($Q1=4,0$, $Q3=21,5$)) ($p_{adj}=0,04$). Wymieniony powyżej całkowity czas spędzony w morzu wraz z oszacowaniem różnic pomiędzy grupami przedstawiono na rys. 3.2.



Rys. 3.2. Łączny staż pracy jako oficer wachtowy, starszy oficer lub kapitan przy odpowiedzi na pytanie „Czy odczuwasz, że czasami na mostku jest za głośno lub dźwięki tam bywają irytujące (na przykład z powodu alarmów i komunikacji GMDSS)?” wraz z oszacowaniem różnic między grupami.

Osoby, które zgłaszały zarówno wysoki poziom hałasu i drażniące dźwięki, wskazały, że ich oczekiwania dotyczące komfortu podczas pracy na mostku były znacznie niższe ($n=32$; 43,2%) w porównaniu z grupą, która nie zgłaszała żadnego hałasu ($n=23$; 92,0%) ($p_{adj} < 0,001$, $\phi=0,43$). Odsetek osób oceniających pozytywnie komfort pracy, które zgłosiły jedynie drażniące dźwięki ($n=39$; 59,1%) był znacząco niższy ($n=32$; 43,2%) w porównaniu z grupą, która nie zgłosiła żadnego problemu związanego z hałasem lub drażniącymi dźwiękami ($p_{adj}=0,007$,

$\varphi=0,32$). Osoby, które deklarowały oba te problemy, zgłaszały istotnie wyższy poziom zmęczenia ($n=60$; 81,1%) w porównaniu z grupą, która nie odczuwała żadnego problemu ($n=12$; 48,0%) ($p_{adj}=0,016$, $\varphi=0,35$).

Brak możliwości regulacji temperatury na mostku zgłosiło 45 (22,6%) nawigatorów. Dodatkowo, 32 (16,1%) respondentów stwierdziło, że nawiew jest zbyt mocny, pomimo możliwości regulacji temperatury. W tej grupie istotnie większy odsetek osób ($n=18$; 56,2%) zgłaszał odczuwaną różnicę temperatur pomiędzy wysokością stóp a wysokością głowy, w porównaniu z grupą z prawidłowo działającym nawiewem ($n=25$; 21,4%) ($p_{adj}=0,002$, $\varphi=0,32$). Możliwość regulowania temperatury zależała od typu statku. Lokalnego zarządzania temperaturą na mostku najczęściej brakowało na statkach pasażerskich ($n=6$; 60%), odsetek ten był znacznie wyższy niż w przypadku statków offshore ($n=0$; 0%) ($p_{adj}=0,022$, $\varphi=0,73$) i statków mokrych ($n=19$; 21,8%) ($p_{adj}=0,017$, $\varphi=0,42$).

Poziom wilgotności powietrza odbiegający od poziomu komfortowego zgłosiło 115 (57,8%) nawigatorów, z czego 7 (3,5%) stwierdziło, że powietrze na mostku jest zbyt wilgotne, 49 (24,6%) uznało, że powietrze jest zbyt suche, natomiast u 59 (29,6%) odnotowano oba powyższe przypadki. Wilgotność powietrza miała istotny wpływ na odczuwany poziom komfortu podczas pracy na mostku. Mianowicie, odsetek spełnionych oczekiwań dotyczących komfortu przy odpowiednim nawilżeniu powietrza ($n=62$; 73,8%) był istotnie wyższy niż przy zbyt suchym powietrzu ($n=21$; 42,9%) ($p_{adj}=0,004$, $\varphi=0,31$) lub zarówno zbyt suchym i zbyt wilgotnym ($n=30$; 50,8%) ($p_{adj}=0,023$, $\varphi=0,24$). Nawigatorzy, którzy deklarowali, że powietrze bywa zarówno zbyt suche i zbyt wilgotne, zgłaszali wpływ warunków na zmęczenie znacznie częściej ($n=48$; 81,4%) niż wtedy, gdy powietrze posiadało odpowiednią wilgotność ($n=52$; 61,9%) ($p_{adj}=0,040$, $\varphi=0,26$).

Wyraźną różnicę temperatur pomiędzy wysokością głowy i stóp zgłosiło 58 (29,1%) osób. Sytuacja taka nie była zależna od rodzaju statku, była natomiast zależna głównie od mocy nawiewu. Zauważalna różnica temperatur występowała istotnie częściej ($n=18$; 31,0%) przy nawiewie pracującym zbyt intensywnie w porównaniu z tym pracującym poprawnie ($n=14$; 9,9%) ($p_{adj}=0,002$, $\varphi=0,32$). Osoby pracujące w warunkach odczuwalnych różnic temperatury na wysokości nóg i głowy istotnie częściej zgłaszały możliwy wpływ na zmęczenie ($n=47$; 81,0%) w porównaniu z osobami nie odczuwającymi takich różnic ($n=94$; 66,7%) ($p_{adj}=0,035$, $\varphi=0,19$).

3.3.3. Ergonomia mostka a zmęczenie nawigatorów

Według 141 (70,9%) nawigatorów, niekorzystne warunki panujące na mostku mogą potęgować zmęczenie. Taka opinia nie zależała od wieku ani całkowitego czasu spędzonego na morzu. Grupa dostrzegająca ten problem charakteryzowała się istotnie niższym stopniem zaspokojenia indywidualnych potrzeb w zakresie komfortu pracy na mostku ($n=71$; 50,4%) w porównaniu z grupą osób, która uważała, że warunki nie mają wpływu na pogłębienie zmęczenia ($n=30$; 85,7%) ($p_{adj}<0,001$, $\varphi=0,29$). Czynniki wpływającymi na powiązywanie złych warunków ze zmęczeniem były między innymi doświadczanie wysokich poziomów hałasu i drażniących dźwięków, zbyt suche lub zbyt wilgotne powietrze na mostku oraz różnice temperatury na wysokości stóp i głowy.

Stopień świadomości, że różne czynniki ergonomiczne na mostku mają wpływ na efektywność pracy i bezpieczeństwo statku, był istotnie wyższy wśród osób powiązujących warunki na mostku ze zmęczeniem ($n=131$; 92,9%) niż wśród osób nie widzących takiej zależności ($n=27$; 77,1%) ($p_{adj}=0,015$, $\phi=0,23$). W grupie powiązujących warunki ze zmęczeniem odnotowano istotnie wyższy odsetek odpowiedzi twierdzących na pytanie o przeciążenie obowiązkami podczas wachty i uciążliwość czynności takich jak ciągła regulacja jasności sprzętu czy głośności i temperatury ($n=75$; 53,2%) w porównaniu z osobami, według których warunki nie potęgują zmęczenia ($n=9$; 25,7%) ($p_{adj}=0,008$, $\phi=0,28$).

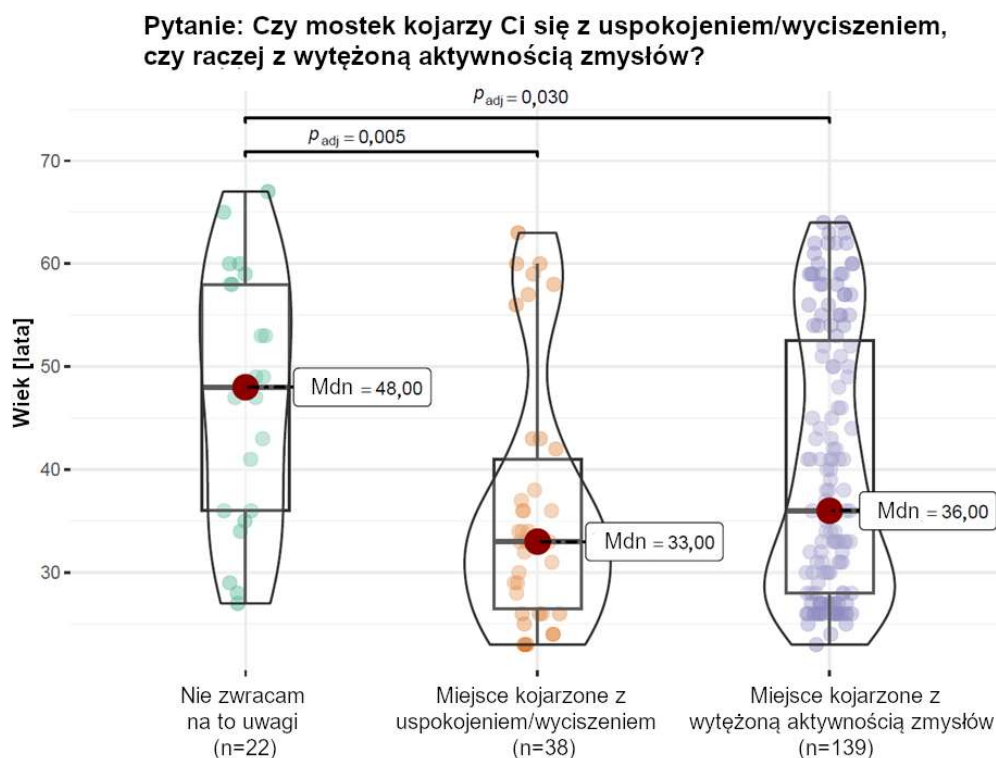
Nawigatorzy, którzy byli świadomi wpływu ergonomii na wydajność pracy i bezpieczeństwo statku, częściej zgłaszali, że niekomfortowe warunki pracy na mostku wpływają na poziom odczuwanego zmęczenia ($n=131$; 74,9%) niż grupa, która nie zgłaszała żadnego wpływu ergonomii na wydajność pracy ($n=5$; 45,5%) ($p_{adj}=0,018$, $\phi=0,25$) i tych, którzy nie mieli zdania ($n=5$; 38,5%) ($p_{adj}=0,009$, $\phi=0,29$).

Częste dostosowywanie środowiska pracy na mostku zostało uznane za mogące powodować przeciążenie podczas wachty lub będące uciążliwe przez 148 (74,4%) nawigatorów. Osoby zgłaszające możliwe przeciążenia istotnie częściej deklarowały występowanie bólu pleców, kolan lub barków ($n=43$; 46,2%) w porównaniu z tymi, którzy nie zgłaszali odczuwania przeciążenia podczas pełnienia obowiązków ($p_{adj}=0,004$, $\phi=0,32$). Osoby, które zgłaszały przeciążenie ($n=44$; 47,3%), na ogół charakteryzowały się istotnie niższym poziomem spełnienia indywidualnych oczekiwań co do komfortowych warunków pracy niż ci, którzy nie zgłaszali przeciążenia ($n=37$; 78,7%) ($p_{adj}=0,003$, $\phi=0,30$).

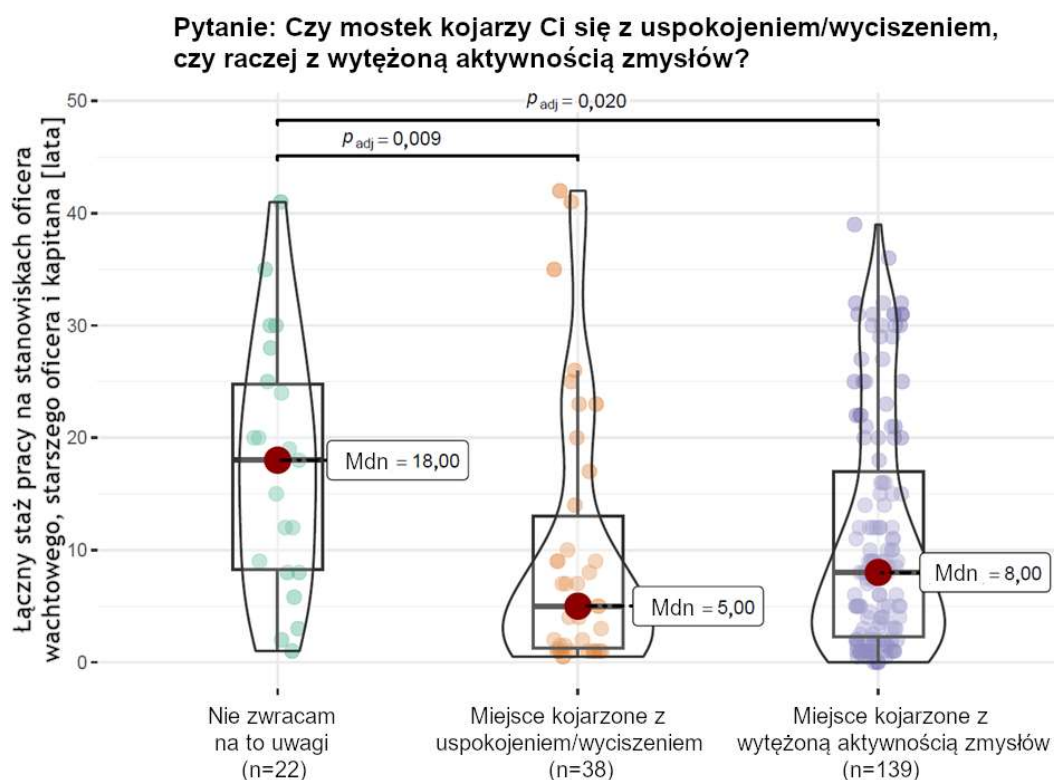
3.3.4. Odbyte szkolenia i chęć nauki ergonomii

Mostek nawigacyjny najczęściej uznawano za miejsce wymagające wzmożonej aktywności zmysłów ($n=139$; 69,8%), znacznie rzadziej jako miejsce pozwalające na wyciszenie i uspokojenie ($n=38$; 19,1%). Mniejszość ($n=22$; 11,1%), głównie starsi respondenci, posiadające dłuższy łączny staż pracy w stopniach oficera wachtowego, starszego oficera lub kapitana, nie potrafiła scharakteryzować swojego stosunku do mostka, co pokazuje rys. 3.3 i rys. 3.4. Osoby, które charakteryzowały mostek jako miejsce wymagające wzmożonej aktywności zmysłów, wykazywały istotnie większe zainteresowanie dalszym poznawaniem ergonomii i jej wpływu na pracę niż grupa, która nie potrafiła scharakteryzować swojego stosunku do pracy na mostku ($p_{adj}=0,002$, $\phi=0,30$).

W szkoleniach o tematyce ergonomii mostka wzięło udział 52 respondentów (26,1%), z czego 35 (17,6%) odbyło takie szkolenie w szkole wyższej, na uczelni lub na kursach. Chęć poznania koncepcji ergonomii i wykorzystywania jej w pracy wyraziło 157 (78,9%) osób. Odsetek nawigatorów chcących to zrobić był podobny niezależnie od stanowiska czy całkowitego czasu spędzonym na morzu. Osoby zainteresowane ergonomią istotnie częściej uznawały mostek za miejsce wymagające wzmożonej aktywności zmysłów ($p=0,001$, $V_{CRA}=0,27$). Jedynie 72 (36,2%) respondentów podziela opinię, że nawigatorzy podczas pełnienia wacht na mostku przestrzegają zasad ergonomii.



Rys. 3.3. Rozkład wieku respondentów przy odpowiedzi na pytanie „Czy mostek kojarzy Ci się z uspokojeniem/wyciszeniem, czy raczej z wytężoną aktywnością zmysłów?” wraz z oszacowaniem różnic między grupami.



Rys. 3.4. Łączny czas pracy jako oficer wachtowy, starszy oficer lub kapitan przy odpowiedzi na pytanie „Czy mostek kojarzy Ci się z uspokojeniem/wyciszeniem, czy raczej z wytężoną aktywnością zmysłów?” wraz z oszacowaniem różnic między grupami.

3.3.5. Spełnienie indywidualnych potrzeb w zakresie komfortu na mostkach i jego wpływ na przywiązanie pracowników do firmy

41,7% (n=83) respondentów stwierdziło, że mostki nawigacyjne nie spełniają ich wymagań dotyczących komfortowej pracy, przy czym ponad połowa z nich (n=54; 65,1%) należy do grupy oficerów wachtowych. W przypadku pozostałych stanowisk, większość wskazywała, że ich wymagania stawiane mostkom w zakresie komfortu pracy są spełnione. Stopień zaspokojenia potrzeb komfortu nie zależał od wieku badanych, całkowitego czasu przebywania na morzu stanowiskach oficerskich lub wyższych czy rodzaju statku.

Dla 128 (64,3%) badanych, dostosowanie mostka do indywidualnych potrzeb ergonomicznych miałoby pozytywny wpływ na lojalność wobec pracodawcy. Osoby te częściej powiływały także zmęczenie z panującymi warunkami pracy na mostku. Ponadto, dostosowanie mostka do indywidualnych potrzeb ergonomicznych w grupie, której wymagania dotyczące komfortu nie są obecnie spełnione, znacząco wpłynęłoby na ich chęć pozostania w firmie (n=65; 78,3%). Ponad 70% respondentów, u których wystąpiły epizody bólowe stwierdziło, że dostosowanie mostka do ich indywidualnych potrzeb ergonomicznych wpłynie na ich lojalność wobec pracodawcy, zaś jedynie 15,9% stwierdziło, że nie będzie miało to wpływu na ich decyzję o pozostaniu w firmie.

Osoby posiadające dobrą wiedzę z zakresu ergonomii zgłaszały istotnie większy wpływ na lojalność i zaangażowanie wobec firmy, jeśli warunki pracy odpowiadałyby ich indywidualnym potrzebom ergonomicznym (n=119; 68,0%) w porównaniu z osobami nie posiadającymi wiedzy z zakresu ergonomii ($p=0,025$, $\phi=0,20$). Wpływ dostosowania mostka nawigacyjnego do indywidualnych potrzeb ergonomicznych na lojalność i zaangażowanie wobec firmy wśród oficerów wachtowych (n=63; 74,1%) i starszych oficerów (n=28; 71,8%) charakteryzował się istotnie wyższym odsetkiem pozytywnych odpowiedzi w porównaniu z kapitanami (n=37; 49,3%) odpowiednio z $p_{adj}=0,018$, $\phi=0,27$ i $p_{adj}=0,003$, $\phi=0,29$. Nie odnotowano natomiast powiązań ewentualnej lojalności wobec firmy z wiekiem danej osoby ani całkowitym czasem spędzonym na morzu.

3.4. Ocena satysfakcji nawigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych

Wyniki badania satysfakcji nawigatorów za pomocą modelu Kano przedstawiono w formie procentowego rozkładu uzyskanych kategorii, co zaprezentowano w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Rozkład uzyskanych kategorii proponowanych rozwiązań ergonomicznych

Funkcja	Obowiązkowe (M)	Atrakcyjne (A)	Obojętne (I)	Jednowymiarowe (O)	Odwrotne (R)	Wątpliwe (Q)	Kategoria
1. Energetyczna muzyka	3,5%	16%	40,5%	7%	32%	1%	(I)
2. Automatyczna regulacja głośności radia GMDSS	5,5%	29%	42%	15%	6,5%	2%	(I)

Funkcja	Obowiązkowe (M)	Atrakcyjne (A)	Obojętne (I)	Jednowymiarowe (O)	Odwrotne (R)	Wątpliwe (Q)	Kategoria
3. Regulowane ergonomiczne krzesło	6%	38%	23,5%	29%	2,5%	1%	(A)
4. Krzesło z amortyzacją wstrząsów	1,5%	44,5%	32%	18,5%	3%	0,5%	(A)
5. Krzesło przypisane do każdego nawigatora	1,5%	36%	51%	6%	4,5%	1%	(I)
6. Automatyczna regulacja jasności urządzeń i oświetlenia pomieszczenia	1%	42,5%	42%	9,5%	4%	1%	(A)
7. Ręczna regulacja temperatury pomieszczenia	12%	26,5%	22%	38,5%	0%	1%	(O)
8. Szkolenia z ergonomii	2%	24,5%	61,5%	5%	5,5%	1,5%	(I)
9. Równomiernie oświetlony mostek	7%	22%	49,5%	12%	8%	1,5%	(I)
10. Przypomnienia o właściwej ergonomii podczas wachty	1%	14%	56,5%	3%	24,5%	1%	(I)
11. Łatwe i krótkie zapoznanie się z nowym sprzętem lub rozwiązaniem	5%	41,5%	33,5%	14,5%	4%	1,5%	(A)

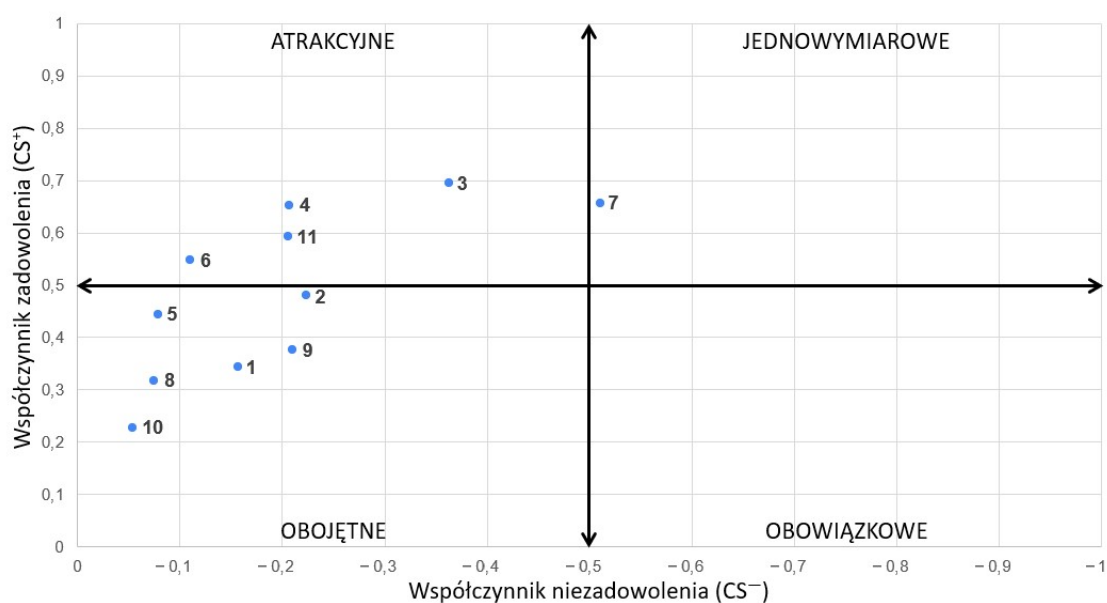
Proponowane atrybuty przypisane są tylko do kategorii Atrakcyjnej, Obojętnej i Jednowymiarowej. Do kategorii Odwrotnej nie została przypisana żadna cecha, zatem żadne zaproponowane rozwiązanie nie wywołałoby znaczącego niezadowolenia, gdyby zostało zaimplementowane na mostku nawigacyjnym. Zaobserwowany odsetek wyników Wątpliwych w żadnym przypadku nie przekraczał 2%, co może sugerować dobry poziom zrozumienia pytań przez ankietowanych.

Berger i in. (1993) zaproponowali graficzną prezentację wyników badania modelem Kano za pomocą wykresu, na którym każdy atrybut jest reprezentowany jako para współczynników zadowolenia i niezadowolenia, wyznaczanych na podstawie wzorów (2.1) i (2.2). Uzyskane w tym badaniu współczynniki zadowolenia i niezadowolenia nawigatorów dla każdego atrybutu przedstawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3. Współczynniki zadowolenia (CS^+) i niezadowolenia (CS^-) nawigatorów z proponowanych rozwiązań ergonomicznych

Funkcja	CS^+	CS^-
1. „Energetyczna” muzyka na mostku	0,343283582	-0,156716418
2. Automatyczna regulacji głośności radia GMDSS	0,480874317	-0,224043716
3. Regulowane ergonomiczne krzesło	0,694300518	-0,362694301
4. Siedzenie z amortyzacją wstrząsów	0,652849741	-0,207253886
5. Osobne krzesło dla każdego nawigatora	0,444444444	-0,079365079
6. Automatyczna regulacja jasności urządzeń i oświetlenia pomieszczenia	0,547368421	-0,110526316
7. Ręczna regulacja temperatury pomieszczenia	0,656565657	-0,51010101
8. Szkolenia z ergonomii dla nawigatorów	0,317204301	-0,075268817
9. Równomiernie oświetlony mostek	0,375690608	-0,209944751
10. Przypomnienia o właściwej ergonomii podczas wachty	0,228187919	-0,053691275
11. Łatwe i krótkie zapoznanie się z nowym sprzętem lub rozwiązaniem	0,592592593	-0,206349206

Wizualizacja wyników na utworzonym wykresie, który przedstawiono na rys. 3.5, pozwala na lepsze ich zrozumienie. Współrzędne każdego punktu reprezentowane są przez uzyskane współczynniki zadowolenia i niezadowolenia z tabeli 3.3. Kategorie proponowanych nawigatorom funkcji lub rozwiązań w zakresie ergonomii mostka można określić także za pomocą ćwiartki wykresu, do której należy dany punkt.



Rys. 3.5. Wykres Kano badania satysfakcji nawigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych.

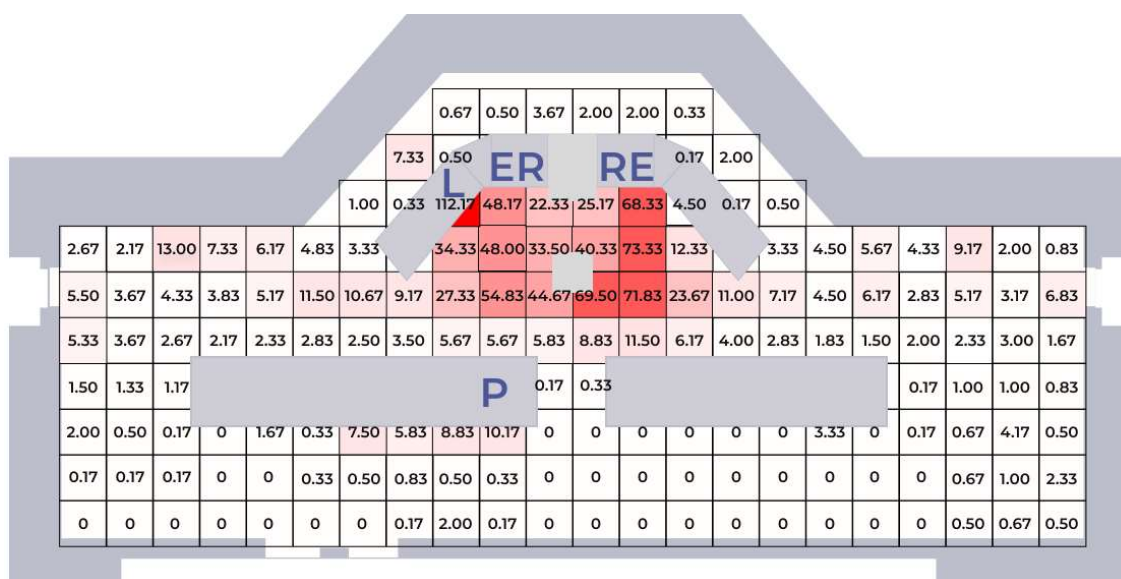
Wykres potwierdza, że proponowane rozwiązania zostały przypisane do trzech kategorii. Regulowane ergonomiczne krzesło na mostku, siedzenia z amortyzacją wstrząsów, automatyczna regulacja jasności urządzeń i oświetlenia sterówki oraz krótkie zapoznanie się z nowym systemem są uważane przez nawigatorów za Atrakcyjne. Możliwość odtwarzania „energetycznej” muzyki podczas wachty, automatyczna regulacja głośności radia GMDSS, krzesło przypisane do każdego nawigatora, szkolenia z ergonomii, równomiernie oświetlony mostek oraz przypomnienia o prawidłowej ergonomii zostały przypisane do kategorii Obojętnej. Tylko jedna z zaproponowanych cech, czyli ręczna regulacja temperatury na mostku w zależności od indywidualnych potrzeb, określona została jako Jednowymiarowa. Podsumowując, 4 funkcje określono jako Atrakcyjne, 6 jako Obojętne i 1 jako Jednowymiarową.

3.5. Obszary przebywania nawigatorów w czasie wacht

Statyczne i dynamiczne pozycje, zarejestrowane podczas każdej obserwacji zostały przedstawione w załączniku E. Dla lepszego zobrazowania układu i przestrzeni mostka nawigacyjnego, lokalizacja wybranych elementów wyposażenia została wskazana i oznaczona za pomocą poniższych liter:

- E – ECDIS,
- R – wyświetlacz radarowy,
- L – papierowy dziennik pokładowy,
- P – komputerowa stacja robocza z dostępem do Internetu,
- C – krzesło.

Wyniki badania zostały przedstawione w formie map cieplnych, wygenerowanych na planie każdego badanego mostka nawigacyjnego (rzut z góry), co zaprezentowano kolejno na rys. 3.6, 3.7, 3.8 i 3.9.



Rys. 3.6. Mapa cieplna obecności nawigatorów na mostku Tankowca 1.

Dla każdego statku zawarto informacje o całkowitej liczbie wykonanych obserwacji, możliwości korzystania z krzesła podczas wachty, a także obecności kurtyn oddzielających po zmroku źródła światła pochodzące ze stanowiska komunikacji i bezpieczeństwa oraz planowania i dokumentowania od przestrzeni nawigacyjnych. Dodatkowo, wskazane są pola, które otrzymały największą liczbę punktów w badaniu oraz te, które otrzymały 0 punktów (wskazując na całkowity brak obecności oficera w tych obszarach). Porównanie przeprowadzonych obserwacji przedstawiono w tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Porównanie obserwacji wykonanych na odwiedzonych statkach

	Tankowiec 1	Tankowiec 2	Ro-Pax 1	Ro-Pax 2
Liczba obserwacji	6 (3 oficerów)	6 (3 oficerów)	4 (2 oficerów)	4 (2 oficerów)
Krzesło dla nawigatora	NIE	NIE	TAK (2)	TAK (1)
Kurtyny oddzielające tylne części mostka	TAK	TAK	NIE	TAK
Całkowita liczba pól	159	81	117	106
Średnia punktacja pola	7,28 pkt.	13,51 pkt.	9,73 pkt.	10,45 pkt.
Najcieplejsze pole	112,17 pkt. (dziennik)	130,67 pkt. (dziennik)	187,00 pkt. (krzesło)	469,75 pkt. (krzesło)
Pola nieużywane (0 punktów)	35 (22,01%)	5 (6,17%)	6 (5,13%)	11 (10,38%)
Pozycje statyczne (S)	459 (63,75%)	422 (58,61%)	259 (53,96%)	310 (64,58%)
Pozycje dynamiczne (D)	261 (36,25%)	298 (41,39%)	221 (46,04%)	170 (35,42%)

Oprócz wygenerowanych map cieplnych, w tabeli 3.5 zestawiono także liczbę wszystkich zarejestrowanych statycznych i dynamicznych pozycji podczas dziennych i nocnych obserwacji. Podczas wacht za dnia, 58% wszystkich zarejestrowanych pozycji było statycznych (697 z 1200), zaś nocą takich pozycji było 63% (753 z 1200). Na każdym statku odwiedzionym podczas tego eksperymentu, większość pozycji była statyczna, niezależnie od obecności krzesła, czy pory dnia. Największy oraz najmniejszy stosunek pozycji statycznych do dynamicznych zaobserwowano na mostkach bez krzeseł, kolejno podczas nocnych wacht na promie Ro-Pax 2 i podczas dziennych wacht na Ro-Pax 1. Na promie Ro-Pax 1 odnotowano najniższy stosunek pozycji statycznych do dynamicznych, zarówno w ciągu dnia, jak i w nocy, pomimo że jego mostek był wyposażony w dwa fotele umożliwiające prowadzenie nawigacji w pozycji siedzącej. Podczas dziennych wacht, najwięcej pozycji dynamicznych w stosunku do statycznych zarejestrowano na Tankowcu 1 (stosunek pozycji statycznych do dynamicznych wyniósł 1,687), który nie posiadał krzeseł przeznaczonych dla nawigatorów.

Tabela 3.5. Odnotowane pozycje statyczne i dynamiczne podczas obserwacji nawigatorów na statkach

	Wachta dzienna			Wachta nocna		
	Statyczne (S)	Dynamiczne (D)	Stosunek S/D	Statyczne (S)	Dynamiczne (D)	Stosunek S/D
Tankowiec 1 (bez krzeseł)	226	134	1,687	233	127	1,835
Tankowiec 2 (bez krzeseł)	198	162	1,222	224	136	1,647
Ro-Pax 1 (z krzesłami)	128	112	1,143	131	109	1,202
Ro-Pax 2 (z krzesłem)	145	95	1,526	165	75	2,200
Łącznie	697	503	1,386	753	447	1,685

3.6. Wpływ ergonomii mostka na obserwację i poczucie uciążliwości podczas wykonywania obowiązków w badaniu symulacyjnym

Opracowanie wyników badania symulacyjnego zostało przeprowadzone z wykorzystaniem trzech różnych modeli statystycznych, a każdy z nich został zastosowany wyłącznie do analizy jednego aspektu badawczego. Oszacowano skuteczność detekcji obiektów wokół statku, czas ich wykrywania oraz odczuwanie uciążliwości podczas prowadzenia obserwacji. W kolejnych podrozdziałach zaprezentowano wyniki odnoszące się do wyżej wymienionych aspektów.

3.6.1. Wpływ warunków ergonomicznych na skuteczność wykrywania obiektów wokół własnego statku

Analiza ilorazów szans wykrycia obiektu wokół własnego statku, przedstawiona w tabeli 3.6, wskazuje na istotne różnice w prawdopodobieństwie wykrycia w zależności od posiadanego dyplomu, stażu w branży oraz panujących warunków środowiskowych. Wartość wskaźnika ilorazów szans (OR) dla zmiennej „dyplom” wynosi $OR=1,98$ (CI95%: 1,00–3,91, $p=0,050$), co oznacza, że prawdopodobieństwo wykrycia obiektu przez osoby posiadające dyplom oficera wachtowego lub wyższy, jest prawie dwukrotnie większe niż przez studentów nawigacji na uczelniach morskich.

W odniesieniu do zmiennej „staż w branży”, wyniki wskazują, że szansa skutecznego wykrycia przez osoby większym doświadczeniem zawodowym (staż 2–6 lat: $OR=0,60$, CI95%: 0,32–1,13, $p=0,112$; staż ≥ 7 lat: $OR=0,57$, CI95%: 0,25–1,30, $p=0,182$) jest mniejsza w porównaniu z osobami z krótszym stażem (≤ 1 rok).

Niekorzystne warunki, takie jak hałas ($OR=0,90$, CI95%: 0,41–2,00, $p=0,797$) i nieodpowiednie oświetlenie ($OR=0,85$, CI95%: 0,38–1,89, $p=0,690$), tylko nieznacznie zmniejszały szanse na wykrycie obiektu. Wartości OR bliskie 1 oraz szerokie przedziały ufności sugerują, że te czynniki nie wprowadzały znaczących różnic w skuteczności wykrywania obiektów w tej próbie.

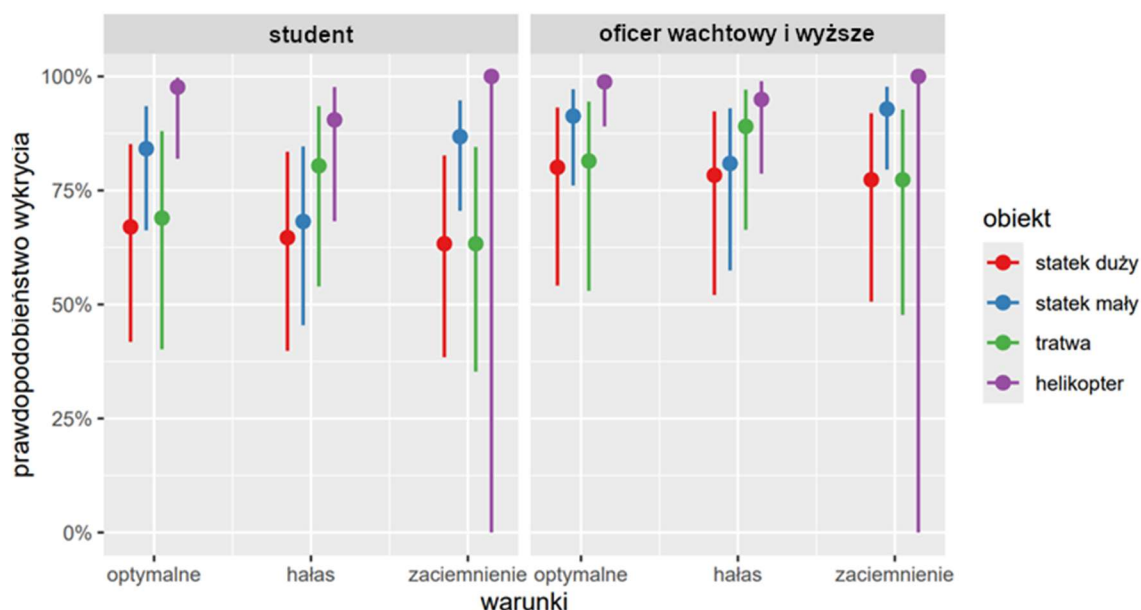
Tabela 3.6. Iloraz szans wykrycia obiektu wokół własnego statku

Zmienna	Występowanie wykrycia obiektu podczas trwania etapu eksperymentu		
	OR	CI95%	p
(stała)	2,03	0,72–5,74	0,182
Dyplom:			
Student	Kategoria odniesienia		
Oficer wachtowy i wyższe	1,98	1,00–3,91	0,050
Staż w branży:			
≤ 1 rok	Kategoria odniesienia		
2–6 lat	0,60	0,32–1,13	0,112
≥ 7 lat	0,57	0,25–1,30	0,182
Warunki eksperymentu:			
Normalne	Kategoria odniesienia		
Hałas	0,90	0,41–2,00	0,797
Zaciemnienie	0,85	0,38–1,89	0,690

W tabeli 3.7 przedstawiono szacowane średnie krańcowe (EMM) prawdopodobieństwa wykrycia obiektów w zależności od warunków oraz rodzaju wykrywanego obiektu. EMM to przewidywane średnie wartości obliczone na podstawie modelu statystycznego, pozwalające porównać grupy tak, jakby pozostałe czynniki były na tym samym poziomie (w tym przypadku uśrednione dla stanowiska oraz stażu). Wyniki te zaprezentowano także na rys. 3.10.

Tabela 3.7. Szacowane średnie krańcowe (EMM) prawdopodobieństwa wykrycia obiektów podczas etapu w zależności od warunków i typu obiektu

Obiekt	Warunki	EMM	Błąd standardowy	CI95%
Statek duży	Normalne	0,67	0,11	0,42–0,84
	Hałas	0,64	0,11	0,40–0,83
	Nieodpowiednie oświetlenie	0,63	0,11	0,39–0,82
Statek mały	Normalne	0,84	0,07	0,67–0,93
	Hałas	0,68	0,10	0,46–0,84
	Nieodpowiednie oświetlenie	0,87	0,06	0,71–0,94
Tratwa	Normalne	0,69	0,13	0,41–0,86
	Hałas	0,80	0,10	0,54–0,93
	Nieodpowiednie oświetlenie	0,63	0,13	0,36–0,84
Helikopter	Normalne	0,97	0,03	0,82–1,00
	Hałas	0,90	0,06	0,69–0,98
	Nieodpowiednie oświetlenie	1,00	0,00	0,00–1,00



Rys. 3.10. Prawdopodobieństwa wykrycia obiektów podczas bieżącego etapu eksperymentu.

Analiza szacowanych średnich krańcowych (EMM) prawdopodobieństwa wykrycia obiektów w różnych warunkach ujawnia zróżnicowane wyniki w zależności od rodzaju obiektu i warunków środowiskowych. W przypadku dużego statku, prawdopodobieństwo jego wykrycia jest zbliżone we wszystkich warunkach. Bez zakłóceń wynosi 0,67 (CI95%: 0,42–0,84), w hałasie 0,64 (CI95%: 0,40–0,83), a przy nieodpowiednim oświetleniu 0,63 (CI95%: 0,39–0,82). Różnice te są nieznaczne, co sugeruje, że wykrywanie dużych obiektów jest stosunkowo niezależne od zmian w warunkach środowiskowych.

Dla małego statku zaobserwowano znaczne różnice w zależności od warunków. W warunkach normalnych prawdopodobieństwo wykrycia wynosi aż 0,84 (CI95%: 0,67–0,93), jednak maleje do 0,68 (CI95%: 0,46–0,84) w warunkach hałasu, a w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia wzrasta do 0,87 (CI95%: 0,71–0,94).

W odniesieniu do tratwy, wykrywalność w warunkach normalnych wynosi 0,69 (CI95%: 0,41–0,86), w warunkach hałasu wzrasta do 0,80 (CI95%: 0,54–0,93), by przy nieodpowiednim oświetleniu spaść do 0,63 (CI95%: 0,36–0,84). Wyniki te wskazują na większą zmienność w wykrywalności tratwy w zależności od warunków, co może sugerować, że jest to obiekt szczególnie podatny na wpływ warunków środowiskowych. Hałas mógł paradoksalnie zwiększać czujność uczestników, natomiast nieodpowiednie oświetlenie utrudniać wykrycie tratwy w porównaniu z warunkami normalnymi.

Najwyższą wykrywalność osiągnięto w przypadku helikoptera, gdzie prawdopodobieństwo wykrycia w warunkach normalnych wynosi 0,97 (CI95%: 0,82–1,00), w warunkach hałasu maleje nieznacznie do 0,90 (CI95%: 0,69–0,98). W warunkach nieodpowiedniego oświetlenia uczestnicy osiągnęli maksymalną wykrywalność (1,00).

Tabela 3.8 przedstawia wyniki analizy kontrastów (podgrup) pomiędzy typami warunków dla każdego rodzaju obiektu, co pozwala na wykazanie jak różne warunki (normalne, hałas, nieodpowiednie oświetlenie) wpływają na wykrywanie poszczególnych obiektów.

Tabela 3.8. Wyniki analizy kontrastów pomiędzy typami warunków w obrębie typów obiektów

Obiekt	Kontrast	OR	Błąd standardowy	p _{adj}
Statek duży	normalne/hałas	1,11	0,45	1,000
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	1,18	0,48	1,000
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	1,06	0,42	1,000
Statek mały	normalne/hałas	2,48	0,80	0,010
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	0,81	0,30	0,563
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	0,33	0,11	0,003
Tratwa	normalne/hałas	0,54	0,34	0,658
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	1,29	0,74	0,663
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	2,38	1,44	0,466
Helikopter	normalne/hałas	4,38	5,31	0,667
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	0,00	0,00	1,000
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	0,00	0,00	1,000

Dla dużego statku, ilorazy szans oscylujące wokół wartości 1 i wysoka wartość p sugerują, że warunki środowiskowe nie miały istotnego wpływu na wykrycie tego typu obiektu. Dla małego statku, analiza kontrastów ujawniła natomiast istotne różnice między warunkami. Kontrast normalne/hałas wykazał istotny wpływ hałasu na wykrywalność małego statku, z $OR=2,48$ ($p_{adj}=0,010$), co sugeruje, że warunki hałasu znacząco zmniejszają prawdopodobieństwo wykrycia tego typu obiektu. Kontrast normalne/nieodpowiednie oświetlenie nie wykazał natomiast istotnej różnicy ($OR=0,81$, $p_{adj}=0,563$), co sugeruje, że zaciemnienie nie miało istotnego wpływu na wykrywalność małego statku w porównaniu z warunkami normalnymi. Kontrast hałas/nieodpowiednie oświetlenie wykazał istotną różnicę ($OR=0,33$, $p_{adj}=0,003$), co wskazuje, że wykrywanie małego statku było znacznie trudniejsze w warunkach hałasu niż przy nieodpowiednim oświetleniu.

W przypadku tratwy i helikoptera, analiza kontrastów nie wykazała istotnych różnic pomiędzy warunkami. W przypadku tego drugiego obiektu, kontrasty normalne/nieodpowiednie oświetlenie oraz hałas/nieodpowiednie oświetlenie uzyskały $OR=0,00$ ($p_{adj}=1,000$), co wynika z faktu, że wykrywalność helikoptera w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia była maksymalna.

Wariancja efektów losowych dla uczestników wynosi $\sigma_u^2=0,03$, co sugeruje, że różnice między uczestnikami mają stosunkowo mały wpływ na wyniki. Większa wariancja dla etapów $\sigma_v^2=0,28$ i wariantów $\sigma_w^2=0,23$ wskazuje, że mają one większy wpływ na prawdopodobieństwo wykrycia obiektu niż indywidualne różnice między uczestnikami.

3.6.2. Wpływ warunków ergonomicznych na czas wykrywania obiektów wokół własnego statku

Wyniki badania, zamieszczone w tabeli 3.9, pozwalają wskazać czynniki wpływające na czas wykrycia obiektów podczas eksperymentu. Stała modelu ($\beta=5,65$ minut, CI95%: 3,79–7,50, $p<0,001$) sugeruje, że średni czas wykrycia obiektu w warunkach odniesienia (student, staż ≤ 1 rok, warunki normalne, duży statek) wynosi około 5,65 minut. Na podstawie tego modelu można zaobserwować, że zmienne związane z poziomem wykształcenia, stażem pracy, warunkami i typem obiektu różnicują czas potrzebny na wykrycie obiektów wokół statku.

Tabela 3.9. Czas wykrycia obiektu wokół statku podczas eksperymentu

Zmienna	Czas wykrycia obiektu podczas eksperymentu		
	Oszacowany współczynnik modelu [β]	CI95%	Wartość p
(stała)	5,65	3,79–7,50	<0,001
Dyplom:			
Student	Kategoria odniesienia		
Oficer wachtowy i wyższe	–1,06	–2,27–0,15	0,086
Staż w branży:			
≤ 1 rok	Kategoria odniesienia		
2–6 lat	0,49	–0,68–1,67	0,407
≥ 7 lat	0,95	–0,46–2,36	0,186
Warunki:			
Normalne	Kategoria odniesienia		
Hałas	–0,61	–1,61–0,39	0,233
Nieodpowiednie oświetlenie	0,55	–0,43–1,53	0,271

Uczestnicy posiadający dyplom oficera wachtowego (lub wyższy) mieli krótszy czas wykrycia obiektu w porównaniu ze studentami ($\beta=-1,06$, CI95%: –2,27–0,15, $p=0,086$). W odniesieniu do stażu pracy, brak istotnej różnicy w czasie wykrycia pomiędzy grupami o różnym doświadczeniu zawodowym (staż 2–6 lat: $\beta=0,49$ minut, CI95%: –0,68–1,67, $p=0,407$; staż ≥ 7 lat: $\beta=0,95$ minut, CI95%: –0,46–2,36, $p=0,186$) sugeruje, że długość pracy w branży nie miała istotnego wpływu na szybkość identyfikacji obiektów w warunkach tego eksperymentu.

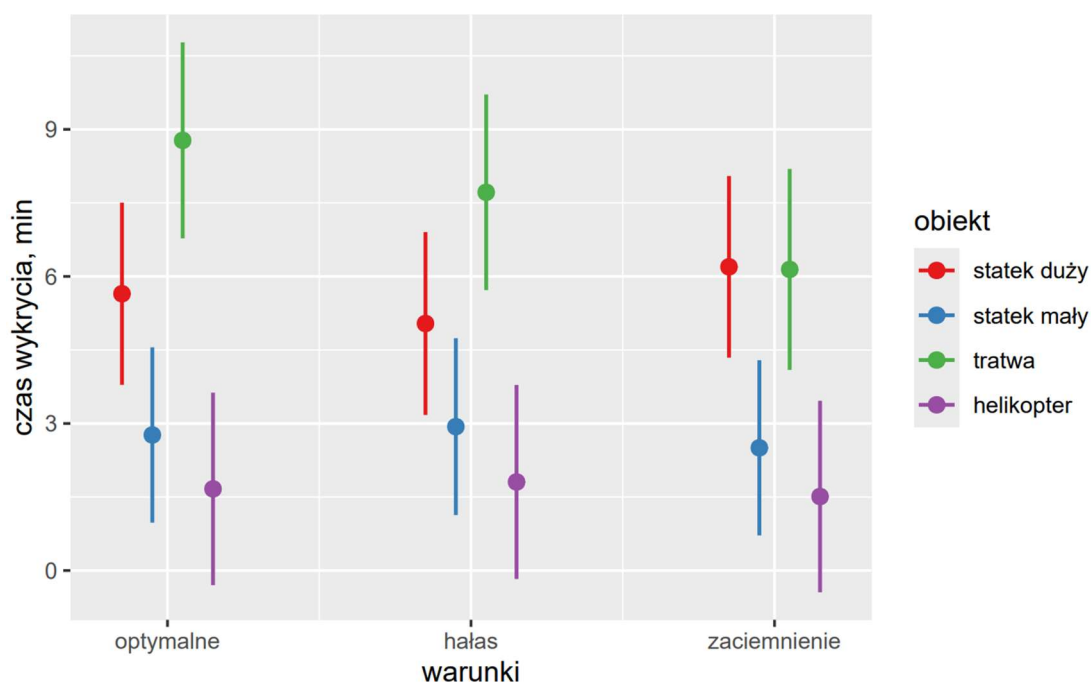
Jeśli chodzi o warunki, różnice w czasie wykrycia między warunkami normalnymi a hałasem ($\beta=-0,61$ minut, CI95%: –1,61–0,39, $p=0,233$) oraz nieodpowiednim oświetleniem ($\beta=0,55$ minut, CI95%: –0,43–1,53, $p=0,271$) były niewielkie. Sugeruje to, że ani hałas, ani ograniczona widoczność nie zwiększały znacząco czasu potrzebnego do wykrycia obiektów w porównaniu z warunkami normalnymi.

W celu dokładnej analizy wpływu warunków oraz typu obiektu na czas wykrycia, przeprowadzono analizę EMM oraz kontrastów pomiędzy różnymi warunkami i obiektami.

Oszacowane średnie marginalne przedstawiono w tabeli 3.10, natomiast zwizualizowano je na rys. 3.11.

Tabela 3.10. Szacowane średnie krańcowe (EMM) czasu wykrycia obiektów

Obiekt	Warunki	EMM	Błąd standardowy	CI95%
Statek duży	Normalne	5,60	0,91	3,82–7,37
	Hałas	4,99	0,91	3,21–6,77
	nieodpowiednie oświetlenie	6,15	0,90	4,38–7,92
Statek mały	Normalne	2,72	0,87	1,01–4,42
	Hałas	2,89	0,88	1,17–4,60
	nieodpowiednie oświetlenie	2,45	0,87	0,75–4,16
Tratwa	Normalne	8,73	0,98	6,80–10,65
	Hałas	7,67	0,98	5,74–9,59
	nieodpowiednie oświetlenie	6,09	0,87	4,12–8,07
Helikopter	Normalne	1,62	0,96	–0,27–3,50
	Hałas	1,76	0,97	–0,14–3,66
	nieodpowiednie oświetlenie	1,46	0,96	–0,41–3,34



Rys. 3.11. Czasu wykrycia obiektów w zależności od warunków oraz typu obiektu.

Wyniki przedstawione w tabeli 3.10 wskazują na istotne różnice w czasie wykrycia obiektów w zależności od warunków oraz typu obiektu. Dla dużego statku średni czas wykrycia od momentu jego pojawienia się w zakresie widzialności w warunkach normalnych wynosił 5,60 minut (CI95%: 3,82–7,37), co jest porównywalne z czasem wykrycia w warunkach hałasu (EMM=4,99 minut, CI95%: 3,21–6,77), choć czas ten nieznacznie wzrasta w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia (EMM=6,15 minut, CI95%: 4,38–7,92).

W przypadku małego statku, czasy wykrycia są znacznie krótsze niż w przypadku dużego statku, z EMM wynoszącym 2,72 minuty w warunkach normalnych (CI95%: 1,01–4,42). Czas ten jest nieznacznie dłuższy w warunkach hałasu (EMM=2,89 minut, CI95%: 1,17–4,60) i najkrótszy podczas nieodpowiedniego oświetlenia (EMM=2,45 minut, CI95%: 0,75–4,16). Wyniki te mogą wskazywać na to, że mały statek, używający świateł nawigacyjnych, jest stosunkowo łatwy do wykrycia niezależnie od warunków, a nieodpowiednie oświetlenie nie wpływa znacząco na jego identyfikację.

Najdłuższe czasy wykrycia zaobserwowano dla tratwy, co sugeruje, że ten obiekt jest najtrudniejszy do zidentyfikowania. W warunkach normalnych czas wykrycia wynosił 8,73 minut (CI95%: 6,80–10,65), a w warunkach hałasu nieco krócej, bo 7,67 minut (CI95%: 5,74–9,59). Najkrótszy czas wykrycia tratwy zaobserwowano w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia (EMM=6,09 minut, CI95%: 4,12–8,07).

Helikopter charakteryzował się najkrótszymi czasami wykrycia we wszystkich warunkach. Bez zakłóceń czas wykrycia wynosił 1,62 minut (CI95%: –0,27–3,50), co sugeruje, że jest to obiekt wyjątkowo łatwy do zidentyfikowania. W warunkach hałasu czas wykrycia nieznacznie wzrósł do 1,76 minut (CI95%: –0,14–3,66), a w zaciemnieniu wynosił 1,46 minut (CI95%: –0,41–3,34), co wskazuje, że helikopter pozostaje równie łatwy do wykrycia nawet w trudniejszych warunkach.

Tabela 3.11 zawiera wyniki analizy kontrastów dla warunków w obrębie typów obiektów.

Tabela 3.11. Wyniki analizy kontrastów pomiędzy typami warunków w obrębie typów obiektów

Obiekt	Kontrast	Wynik	Błąd standardowy	p _{adj}
Statek duży	normalne/hałas	0,61	0,51	0,464
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	–0,55	0,50	0,464
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	–1,16	0,50	0,065
Statek mały	normalne/hałas	–0,17	0,37	0,912
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	0,26	0,35	0,912
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	0,43	0,37	0,729
Tratwa	normalne/hałas	1,06	0,73	0,148
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	2,63	0,77	0,002
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	1,57	0,77	0,081
Helikopter	normalne/hałas	–0,14	0,69	1,000
	normalne/nieodpowiednie oświetlenie	0,16	0,67	1,000
	hałas/nieodpowiednie oświetlenie	0,30	0,69	1,000

Analiza kontrastów między warunkami ergonomicznymi dla poszczególnych obiektów pozwala na uzyskanie dodatkowych informacji o wpływie różnych środowisk na czas wykrycia,

wyrażony w minutach. W przypadku dużego, nieoświetlonego statku, różnice między warunkami normalnymi a hałasem (Wynik=0,61 minut, $p_{adj}=0,464$) oraz między warunkami normalnymi a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=-0,55 minut, $p_{adj}=0,464$) nie były statystycznie istotne. Wskazuje to na to, że hałas i nieodpowiednie oświetlenie nie mają znaczącego wpływu na czas wykrycia dużego statku w porównaniu z warunkami normalnymi. Z kolei różnica pomiędzy hałasem a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=-1,16 minut, $p_{adj}=0,065$) jest bliska istotności statystycznej, co sugeruje, że przy nieodpowiednim oświetleniu duży statek może być trudniejszy do wykrycia niż w warunkach hałasu.

Dla małego statku nie zaobserwowano istotnych różnic w czasie wykrycia pomiędzy warunkami normalnymi a hałasem (Wynik=-0,17 minut, $p_{adj}=0,912$), normalnymi a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=0,26 minut, $p_{adj}=0,912$) oraz hałasem a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=0,43 minut, $p_{adj}=0,729$). Wyniki te sugerują, że mały statek jest wykrywany w podobnym czasie niezależnie od warunków.

W przypadku tratwy, różnice między warunkami normalnymi a hałasem (Wynik=1,06 minut, $p_{adj}=0,148$) nie były statystycznie istotne, co sugeruje, że hałas nie wpływa znacząco na czas wykrycia tratwy. Jednak różnica między warunkami normalnymi a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=2,63 minut, $p_{adj}=0,002$) była istotna, co oznacza, że w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia tratwa jest wykrywana znacznie szybciej niż w warunkach normalnych.

Dla helikoptera nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy żadnymi warunkami. Zarówno różnica między warunkami normalnymi a hałasem (Wynik=-0,14 minut, $p_{adj}=1,000$), normalnymi a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=0,16 minut, $p_{adj}=1,000$), jak i hałasem a nieodpowiednim oświetleniem (Wynik=0,30 minut, $p_{adj}=1,000$) były nieistotne. Wyniki te sugerują, że helikopter jest wykrywany bardzo szybko i równie efektywnie niezależnie od warunków.

Wariancja efektów losowych dla uczestników wynosi $\sigma_u^2=0,71$, dla etapów $\sigma_v^2=1,92$, zaś wartość resztowej wariancji wynosi 6,48, co wskazuje na znaczącą zmienność, która nie została wyjaśniona przez model, mimo uwzględnienia efektów losowych.

3.6.3. Wpływ warunków ergonomicznych na odczuwaną uciążliwość wykrywania obiektów wokół własnego statku

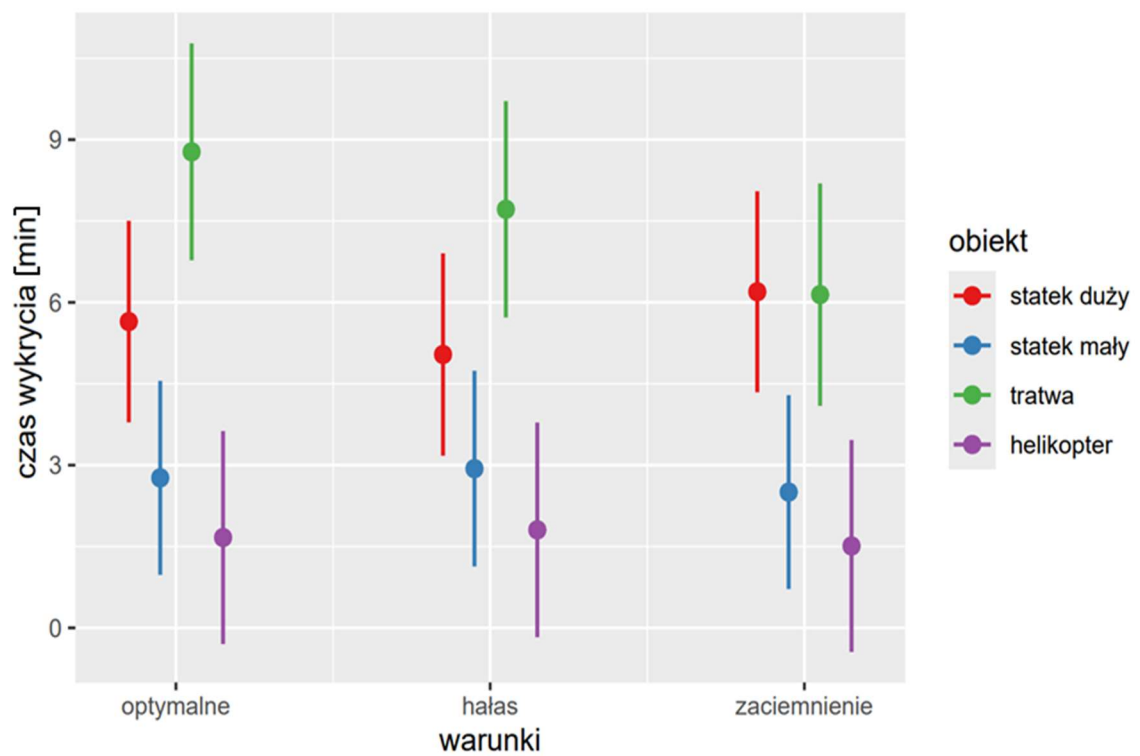
Poziom odczuwanej uciążliwości wykrywania obiektów podczas ćwiczenia symulacyjnego, określony na podstawie modelu RLMM, przedstawiono w tabeli 3.12. Wykazano istotnie dodatni efekt wartości stałej, co sugeruje, że nawet w normalnych warunkach, przy braku hałasu i zaciemnienia, studenci ze stażem nie większym niż 1 rok odczuwali pewien poziom uciążliwości ($\beta=1,47$, $p=0,005$).

Tabela 3.12. Poziom odczuwanej uciążliwości wykrywania obiektów

Zmienna	Poziom uciążliwości wykrycia obiektu		
	Oszacowany współczynnik modelu [β]	CI95%	Wartość p
(stała)	1,47	0,45–2,48	0,005
Staż w branży:			
≤ 1 rok	Kategoria odniesienia		
2–6 lat	0,93	–0,64–2,50	0,241
≥ 7 lat	0,75	–1,14–2,65	0,432
Stanowisko:			
Student	Kategoria odniesienia		
Oficer wachtowy i wyższe	0,01	–1,62–1,63	0,994
Warunki symulacyjne:			
Normalne	Kategoria odniesienia		
Hałas	2,22	1,38–3,06	<0,001
Nieodpowiednie oświetlenie	3,41	2,57–4,25	<0,001

W odniesieniu do stażu pracy, zarówno kategoria „2–6 lat”, jak i „≥ 7 lat” nie wykazują istotnego wpływu na poziom uciążliwości w porównaniu z grupą referencyjną (≤ 1 rok), co sugeruje, że długość doświadczenia zawodowego nie odgrywa kluczowej roli w percepcji uciążliwości wykrycia obiektów w tym eksperymencie. Efekty te mają szerokie przedziały ufności, które obejmują zero, wskazując na znaczny stopień niepewności w oszacowaniu wpływu tych zmiennych. Podobnie, zmienna dotycząca stanowiska nie wykazuje żadnego istotnego wpływu na poziom uciążliwości ($\beta=0,01$, $p=0,994$).

Najbardziej znaczące wyniki dotyczą warunków środowiskowych. Zarówno hałas ($\beta=2,22$, $p<0,001$), jak i nieodpowiednie oświetlenie ($\beta=3,41$, $p<0,001$) wykazują istotny wpływ na wzrost poziomu uciążliwości wykrywania obiektów i wykonywania obowiązków, przy czym nieodpowiednie oświetlenie ma wyraźnie silniejszy efekt niż hałas. Predykcję poziomu uciążliwości wykrycia obiektów na podstawie samooceny uczestników w zależności od warunków oraz pełnionego stanowiska, uzyskane na podstawie dopasowanego modelu RLMM, przedstawiono na rys. 3.12.



Rys. 3.12. Poziom uciążliwości wykrywania obiektów w zależności od warunków i stanowiska.

Efekt losowy dla uczestników ma wariancję 0,99, zaś wariancja reszt wyniosła 2,55, co sugeruje, że istnieje znacząca ilość zmienności niewyjaśnionej przez efekty stałe, co wynikało z indywidualnych różnic między uczestnikami.

4. DYSKUSJA

Celem tego rozdziału jest omówienie wyników przeprowadzonych badań w kontekście pytań i hipotez badawczych. Nie wszystkie uzyskane rezultaty odnoszą się jednak do tych aspektów, gdyż zebrany materiał okazał się znacznie obszerniejszy, dostarczając także dodatkowych obserwacji wykraczających poza pierwotne cele badawcze. W przypadku hipotez dodatkowych, związanych z przeprowadzonym badaniem poruszania się nawigatorów podczas wacht, niewielka próba badawcza uniemożliwia ich jednoznaczne zweryfikowanie. Dokonano natomiast ich wstępnej weryfikacji, czyli oceniono, czy dana hipoteza dodatkowa nie daje podstaw do jej odrzucenia i jest warta sprawdzenia w badaniu na większą skalę.

Każdy z podrozdziałów poświęcono osobnemu badaniu. W dyskusji nie uwzględniono jednak wywiadów eksperckich, które odegrały istotną rolę w procesie projektowania innych badań, lecz ich wyniki nie są traktowane jako oddzielny, pełnoprawny materiał badawczy.

4.1. Znaczenie przeglądu przepisów i literatury naukowej w kontekście problemów badawczych

Jak stwierdził Larsen [147], ergonomia mostka jest jednym z obszarów, w których można zwiększyć bezpieczeństwo żeglugi. Treść prawidła 15, rozdziału V Konwencji SOLAS, dotyczącego projektowania sterówek, pozostaje jednak bardzo ogólna i nie narzuca konkretnych warunków ergonomicznych, które powinny być spełnione. Jednym z kluczowych aspektów zapewnienia wysokiej użyteczności pomieszczeń jest systematyczna aktualizacja przepisów i zaleceń, w celu nadążania za rozwojem technologicznym. Cykularz MSC/Circ.982 z 2000 r., czyli dokument bezpośrednio dedykowany ergonomicznemu projektowaniu mostków nawigacyjnych, obowiązuje nadal, choć realia technologiczne w branży morskiej uległy od tego czasu znaczącym zmianom. W ciągu ostatnich kilkunastu lat zmieniło się nie tylko obowiązkowe wyposażenie nawigacyjne, ale także standardy dotyczące ergonomii i prezentowania informacji.

Przyjęcie BNWAS, AIS i ECDIS jako obowiązkowego wyposażenia na statkach wskazuje jednoznacznie na postępującą digitalizację w branży morskiej w XXI wieku. Są to systemy, które w różnorodny sposób wpływają na prowadzenie wachty nawigacyjnej oraz prezentację informacji. O ile obowiązkowa implementacja tych rozwiązań technologicznych została przeprowadzona także na istniejących statkach, o tyle wytyczne ergonomiczne, wydane jako MSC/Circ.982 w 2000 roku, dotyczyły tylko nowobudowanych statków i miały jedynie charakter zaleceń. Mało prawdopodobne więc, że mostki skonstruowane przed tą datą spełniają najnowsze zalecenia ergonomiczne. Statki te jednak nadal są eksploatowane na całym świecie, bez dodatkowego wsparcia dla nawigatorów. Powoduje to zwiększone obciążenie pracą w porównaniu z ergonomicznymi mostkami, zwłaszcza biorąc pod uwagę, że standardy szkolenia i dyplomy oficerskie są w obu przypadkach takie same.

Analiza obowiązujących regulacji i zaleceń wykazała także lukę w zakresie wymogów dotyczących ergonomicznego projektowania mostków nawigacyjnych. Wskazano na brak obowiązkowych przepisów dotyczących czynników środowiskowych, za wyjątkiem hałasu. Zarówno oświetlenie pomieszczenia, jasność ekranów, temperatura i wilgotność powietrza

wspierane są tylko w formie zaleceń i innych nieobowiązkowych dokumentów. Luka ta stanowi istotną niedogodność przede wszystkim dla nawigatorów jako użytkowników tych przestrzeni, gdyż komfortowe warunki środowiskowe można w obecnej sytuacji uznać za udogodnienie, a nie coś zagwarantowanego.

Wiele norm i standardów, do których odnoszono się w dokumencie MSC/Circ.982, zostało już wycofanych, rozszerzonych lub zastąpionych innymi dokumentami, co wykazano w podrozdziale 3.1.2. W kontekście podejmowanej tematyki badawczej, podstawowy problem polega na tym, że zbyt rzadka aktualizacja obowiązujących przepisów w stosunku do najnowszych standardów rynkowych może prowadzić do obniżenia efektywności użytkownika końcowego, czyli nawigatora. Projektanci statków są ograniczeni w swojej pracy przez powszechne cięcia kosztów, wytrzymałość konstrukcji lub brak wolnej przestrzeni. Jednocześnie mają oni zaspokajać potrzeby załóg jednostek pływających, często nie mając z nimi bezpośredniej styczności i nie będąc w stanie przewidzieć trybu ich pracy. Brak obligatoryjnych i aktualnych wytycznych może skutkować niedostosowaniem mostków do aktualnych potrzeb. Wnioskiem płynącym z tej analizy przepisów jest konieczność rewizji istniejących zaleceń, a także wypracowanie mechanizmu ich cyklicznej aktualizacji dla zapewnienia odpowiedniego wsparcia człowieka pod kątem ergonomicznym przy szybkim rozwoju technologicznym.

4.2. Świadomość nawigatorów w zakresie ergonomii i czynników ryzyka – określona na podstawie ankiety badawczej numer 1

Oceny świadomości ergonomicznej zawodowych nawigatorów dokonano na podstawie wyników badań ankietowych, opisanych w podrozdziale 3.3. Ogólnie, respondenci byli świadomi zagrożeń związanych z nieergonomicznymi warunkami pracy i wpływem, jaki może to mieć na ich wydajność i obowiązki (87,9%). Aż 96% wskazało także na konieczność dostosowania zmysłów do panujących warunków przed przejęciem wachty. Opinia praktyków wskazuje na to, że ergonomia ma wpływ na ich pracę, co pozwala na pozytywne zweryfikowanie **Hipotezy 1**.

W przypadku powyższych kwestii, nie wykazano istotnych zależności między stażem pracy lub zajmowanymi stanowiskami. Znajomość pojęcia ergonomii została zadeklarowana przez 88,4% respondentów. Rys. 3.1 sugeruje, że mediana stażu pracy osób zaznajomionych z tym pojęciem była większa niż tych, którzy nie znali go wcześniej. Świadomość ergonomiczna nie powinna jednak ograniczać się jedynie do samej znajomości definicji, dlatego nie uzyskano wystarczających argumentów do poparcia **Hipotezy 2**, co skutkuje zweryfikowaniem jej negatywnie.

Przywołane powyżej wyniki sugerują jednak, że świadomość ergonomiczna nawigatorów jest na stosunkowo wysokim poziomie, co stanowi odpowiedź na **Pytanie Badawcze 2**. Niepokojący może być natomiast niski poziom stosowania zasad ergonomii podczas wacht na mostku, gdyż zaledwie 36,2% respondentów uważa, że są one przestrzegane. W praktyce adaptacja sensoryczna do warunków może być trudna, szczególnie w warunkach nocnych, gdy na mostku obecne są liczne źródła światła, w tym te emitowane przez urządzenia elektroniczne.

Może być to spowodowane więc nie tylko brakiem odpowiedniej wiedzy, ale także natłokiem obowiązków niezwiązanych bezpośrednio z nawigacją i niekorzystnym projektem pomieszczenia.

4.2.1. Problemy nawigatorów wynikające z nieodpowiedniej ergonomii

Zmęczenie człowieka jest obecnie istotnym i często poruszonym problemem w branży morskiej. Może to zależeć od wielu czynników, także od zmniejszonej liczebności załóg i zminimalizowanego czasu spędzanego w portach, aby zapewnić opłacalność eksploatacji statków handlowych. W wyniku badania przedstawionego w podrozdziale 3.3.3, 70,9% nawigatorów przyznało, że niekorzystne warunki ergonomiczne na mostku mogą spotęgować ich zmęczenie. Potwierdza to stwierdzenia Sajiyo i Prasnowo [148], a także Bielića i Zeca [149], mówiące o tym, że odpowiednio zaimplementowana ergonomia może przyczyniać się do redukcji zmęczenia nawigatorów.

W odniesieniu do wyników opisanych w podrozdziale 3.3.1, stwierdzono, że 41,2% nawigatorów odczuwało bóle pleców, kolan, barków lub mięśni, natomiast 38,7% deklaroowało bóle głowy, oczu lub szyi w trakcie lub bezpośrednio po wachtach nawigacyjnych. W obu przypadkach odsetek osób, które stwierdziły, że mostek spełnia ich oczekiwania w zakresie komfortu, był istotnie niższy w grupach doświadczających bólu w porównaniu z grupami bez epizodów bólowych. Problemy te mogą mieć związek z intensywną pracą, gdyż 69,8% nawigatorów uznało mostek za miejsce wymagające od nich wzmożonej aktywności zmysłów. Niezależnie od obciążenia pracą i wymaganego skupienia, 41,7% respondentów nie było zadowolonych ze swoich mostków, gdyż ich stanowiska pracy nie spełniały ich indywidualnych wymagań w zakresie komfortu pracy. Czynniki, które miały wpływ na takie stwierdzenia, mogły być związane z niewłaściwym oświetleniem, brakiem lokalnej regulacji temperatury oraz głośnymi lub irytującymi dźwiękami. Niektórym problemom, takim jak kołysanie statku czy wibracjami pochodzącymi od maszyn, nie da się całkowicie zapobiec poprzez projekt sterówki, należy jednak podjąć wysiłki, aby zminimalizować ich negatywny wpływ. Co więcej, nawigatorzy w czasie wacht spędzają na mostkach nieprzerwanie kilka godzin, dlatego ryzyko wystąpienia problemów ergonomicznych wzrasta w wyniku braku przerw.

4.2.2. Główne czynniki zakłócające na mostku i brak wsparcia szkoleniowego

Analizując wyniki przedstawione na rys. 3.3 i rys. 3.4, można stwierdzić, że nawigatorzy przeważnie uznają mostek nawigacyjny jako miejsce wzmożonej aktywności zmysłów. Zgodnie z Konwencją COLREG, należy cały czas prowadzić właściwą obserwację, dlatego dobrze zaprojektowane mostki powinny zapewniać odpowiednią widoczność, również z pozycji siedzącej, a także sprzyjające warunki w pomieszczeniu. Celem ergonomii mostka jest nie tylko wspieranie zdrowia i komfortu operatora, ale także podniesienie bezpieczeństwa całego statku, między innymi przy określaniu ryzyka zderzenia i monitorowaniu skuteczności podjętych działań mających na celu unikanie zagrożeń.

Respondenci badania ankietowego numer 1 wskazywali różne czynniki zakłócające pracę na mostku nawigacyjnym. Problemy ze zbyt głośnymi lub irytującymi dźwiękami zostały

zgłoszone aż przez 87,4% nawigatorów, a wśród przeszkadzających czynników najczęściej wskazano także kołysanie i wibracje powodowane przez maszyny. Komplikacje związane z niekomfortową wilgotnością powietrza zgłosiła ponad połowa badanych (57,8%), jednakże tylko 3,5% przyznało, że jest ono zbyt wilgotne. Istotnie powiązywano odpowiednią wilgotność powietrza ze spełnieniem oczekiwań dotyczących ogólnego komfortu na mostku, można tym samym uznać, że ma ona duży wpływ na odczuwany komfort pracy.

Wiele czynników ergonomicznych ma wpływ na pracę nawigatora, wliczając w to między innymi postawę ciała i ruch, czynniki środowiskowe, prezentację informacji lub organizację pracy [9]. Mimo to, bazując na wynikach opisanych w podrozdziale 3.3 oraz 3.3.3, często mostki nawigacyjne nie umożliwiają pełnej kontroli czynników środowiskowych. Obecność czerwonych świateł w sterówce, zalecaną przez IMO i bezpośrednio związaną z adaptacją wzroku do ciemności [48], zgłosiło 136 (68,3%) nawigatorów, zaś 22,6% respondentów nie ma możliwości regulowania temperatury w pomieszczeniu podczas pracy. Jeżeli projekt mostka nie jest w pełni zgodny z zasadami ergonomii (np. na statkach zbudowanych przed przyjęciem wytycznych zawartych w MSC/Circ.982 z 2000 roku), należałoby przynajmniej odpowiednio przeszkolić nawigatorów w tym zakresie. W przeciwnym razie, sytuacja może prowadzić do słabej świadomości ergonomicznej wśród marynarzy i skutkować złymi praktykami oraz nieefektywnym wykorzystaniem posiadanego sprzętu i wyposażenia.

Szkolenie z ergonomii może nie tylko nauczyć nawigatorów zdrowych nawyków, ale także stanowić wsparcie w kontrolowaniu czynników ergonomicznych na mostku oraz usprawnić obserwacje i podejmowanie decyzji związanych z unikaniem kolizji, nawet w przypadku nagłej zmiany warunków środowiskowych. Duży nacisk położono w ostatnich latach na nauczanie obsługi urządzeń nawigacyjnych, jednak należy również podkreślić, że całe otoczenie człowieka, w tym czynniki ergonomiczne, jest ważne dla poprawnego wykonywania obowiązków i jest zarządzane przez nawigatora. Nawet nowoczesny, ergonomiczny mostek, oferujący możliwość regulowania warunków środowiskowych nie będzie wykorzystywany efektywnie, jeśli oficer nie będzie wiedzieć jak i kiedy używać tych funkcji, aby poprawić swoją wydajność. Fakt, że zaledwie 26,1% nawigatorów przeszło jakiegokolwiek szkolenie z ergonomii mostka, daje do myślenia w obliczu niskiego poziomu przestrzegania zasad ergonomii podczas wacht. Zagadnienie to należy rozpatrywać jako problem globalny, gdyż respondenci uczyli się swojego zawodu w 13 różnych krajach. Nie dotyczy to jednak tylko uczelni i szkół morskich, ale także pracodawców. Armatorzy z pewnością są w stanie podjąć proaktywne działania mające na celu eliminację zagrożeń związanych z niewłaściwą ergonomią na mostkach nawigacyjnych, aby wspierać zdrowie marynarzy, redukować zmęczenie załóg i promować dobre nawyki. Ponadto, 78,9% respondentów zgłosiło chęć lepszego poznania koncepcji ergonomii i wykorzystywania jej w swojej pracy. Może to sugerować, że marynarze chcieliby w przyszłości być instruowani w bardziej bezpośredni sposób i rozsądne może być wdrożenie szkoleń z zakresu ergonomii, nawet w Konwencji STCW.

4.2.3. Czy inwestowanie w ergonomię może pomóc w utrzymaniu pracownika w firmie?

Wyniki w podrozdziale 3.3.5 wskazują, że mniej niż połowa badanych nawigatorów (41,7%) uważa, że mostki nawigacyjne spełniają ich wymagania odnośnie komfortu pracy. Odpowiedzi nie miały istotnych zależności z wiekiem respondentów lub stażem ich pracy. Zarządzanie środowiskiem pracy wpisuje się w proces prowadzenia bezpiecznej wachty nawigacyjnej, jednak częste zmiany jasności, temperatury i głośności zostały uznane przez 74,4% respondentów za uciążliwe lub nawet przyczyniające się do przeciążenia zadaniami. Niekomfortowe i nieergonomiczne mostki stanowią zatem znaczący problem w nowoczesnej nawigacji.

Jeden z wyników uzyskanych w tym badaniu dotyczy lojalności pracowników, gdyż na rynku występuje globalny niedobór wykwalifikowanych oficerów. Dostosowanie mostka do indywidualnych potrzeb ergonomicznych miałooby pozytywny wpływ na przywiązanie do firmy dla 64,3% nawigatorów, jak bezpośrednio stwierdzili respondenci. Odsetek ten był jeszcze większy w grupie, która doświadczała epizodów bólowych w trakcie wacht lub zaraz po nich. Sugeruje to, że ludzie dbają o swój komfort i dobre samopoczucie, a wykonywanie pracy nawigatora nie musi wiązać się z dolegliwościami układu mięśniowo-szkieletowego czy doświadczaniem bólu. Stanowi to także cenną informację dla firm, które szukają sposobów na utrzymanie obecnych kadr i zainteresowanie nowych pracowników, a jednym z rozwiązań może być inwestowanie w lepszą ergonomię miejsca pracy.

4.3. Współczesne potrzeby ergonomiczne nawigatorów – określone na podstawie modelu Kano (ankiety badawczej numer 2)

Badanie satysfakcji przeprowadzone wśród nawigatorów, mimo że nie posłużyło bezpośrednio do odpowiedzi na problemy badawcze, było istotne dla wdrożeniowej części tej rozprawy. Diagram Kano można wykorzystać do nadania priorytetu rozwiązaniom i określenia realnej potrzeby ich implementacji. Wykres przedstawiony na rys. 3.5 wskazuje, że część rozwiązań znajduje się blisko innej kategorii niż ostatecznie przypisanej. Na przykład automatyczna regulacja głośności radia GMDSS (punkt numer 2) została sklasyfikowana jako Obojętna, jednakże na wykresie znajduje się bardzo blisko ćwiartki Atrakcyjnej. W takim przypadku negatywna weryfikacja wdrożenia takiego rozwiązania może nie być w pełni uzasadniona. Biorąc pod uwagę margines błędu badania, atrybut ten mógłby zostać sklasyfikowany jako Atrakcyjny, gdyby grupa ankietowanych nawigatorów była inna. Podobną sytuację można zaobserwować w przypadku jedynego rozwiązania Jednowymiarowego, czyli możliwości ręcznej regulacji temperatury na mostku (punkt numer 7). Funkcja ta leży blisko ćwiartki Atrakcyjnej, jednak bez wątpienia jej współczynnik niezadowolenia (CS^-) jest najwyższy. Oznacza to, że jeśli to rozwiązanie nie zostanie wdrożone, będzie miało najsilniejszy wpływ na niezadowolenie operatora. Najbardziej oczekiwane przez nawigatorów jest natomiast regulowane, ergonomiczne krzesło na mostku (punkt numer 3), który ma najwyższy współczynnik satysfakcji (CS^+).

We wszystkich przypadkach zaobserwowano niski odsetek odpowiedzi, które uzyskały kategorię Wątpliwą, co świadczy o dobrej jakości kwestionariusza badawczego. Najwięcej rozwiązań znalazło się w kategorii Obojętnej, co oznacza, że nie wpłyną one silnie na satysfakcję lub niezadowolenie nawigatora, jeśli zostaną zaimplementowane na mostku. Żaden atrybut nie został przypisany do kategorii „Obowiązkowej”, co oznacza, że żadna proponowana funkcja nie wywoła dużego niezadowolenia nawigatorów, jeśli nie będzie obecna na mostkach.

Atrybutem, który najczęściej otrzymywał kategorię Odwrotną w tej grupie badawczej, była możliwość korzystania z „energetycznej” muzyki podczas pełnienia obowiązków na mostku. W odniesieniu do tabeli 3.2, 32% respondentów wskazało, że możliwość odtwarzania muzyki podczas wachty wywołałaby ich niezadowolenie, a nie satysfakcję. Co ciekawe, średni wiek osób, które przypisały ten atrybut do kategorii Odwrotnej, wyniósł 45,9 lat, natomiast osób, które uznawały muzykę na mostku za Atrakcyjną, Jednowymiarową lub wręcz Obowiązkową, miały średnio 35,0 lat. Różnicy tej nie można zignorować, gdyż średni wiek wszystkich nawigatorów wypełniających tę ankietę wyniósł 40,1 lat. Stosunek młodszych respondentów do muzyki był bardziej pozytywny niż tych starszych.

Przy określaniu potencjału do poprawy w zakresie ergonomii mostków należy dążyć do implementacji rozwiązań z kategorii Atrakcyjnej i Jednowymiarowej. Według modelu Kano są to cechy, które zadowolą nawigatorów, jeśli zostaną dobrze wdrożone i będą działać prawidłowo. Funkcje określone jako Atrakcyjne należy traktować jako przekraczające obecne oczekiwania, które będą ekscytować, jeśli zostaną uwzględnione w miejscu pracy. Warto podkreślić, że stale zmieniają się jednak oczekiwania i tym samym kategorie rozwiązań, a to co dzisiaj uważane jest za funkcję z kategorii Atrakcyjnej, w przyszłości będzie najprawdopodobniej podstawową potrzebą [150, 151].

4.4. Użyteczność poszczególnych obszarów mostka – wyniki obserwacji nawigatorów podczas ich pracy

Pomimo różnic w kształtach mostków, na wygenerowanych mapach cieplnych, przedstawionych na rys. 3.6, 3.7, 3.8 i 3.9, można odnaleźć podobne wzorce zachowań nawigatorów. Obszarem sterówki, gdzie przebywano najczęściej jest część środkowa, w której znajdują się najważniejsze urządzenia nawigacyjne. Można to uzasadnić założeniami zintegrowanego mostka nawigacyjnego i scentralizowanego wyświetlania informacji. Odpowiada to również przykładom wykorzystania stanowisk pracy podczas prowadzenia nawigacji podanym w Rekomendacji IACS nr 95, które sugerują, że w normalnych warunkach eksploatacyjnych stanowisko nawigacji i manewrowania powinno być w użyciu na wodach przybrzeżnych [120]. Uzyskane wyniki nie pozwalają więc na odrzucenie **Hipotezy dodatkowej 1**, zgodnie z którą zakładano, że centralne obszary mostka będą najczęściej użytkowane podczas prowadzenia nawigacji.

Pomimo, że skrzydła mostka były wykorzystywane rzadziej podczas obserwowanych wacht, obecność nawigatorów w tych obszarach jest nadal zauważalna na zbiorczych mapach cieplnych. Świadczy o tym delikatne zabarwienie tych stref, wynikające z zastosowanej skali

kolorów. Istnieje jednak znacząca różnica pomiędzy otwartymi skrzydłami mostka i tymi całkowicie zamkniętymi, gdyż nie zarejestrowano ani jednej pozycji na otwartych skrzydłach poza pomieszczeniem sterówki. Oprócz tego, niewykorzystane obszary występowały głównie w tylnej części mostków, a aż 22,01% wszystkich możliwych pól na Tankowcu 1 otrzymało 0 punktów na mapie cieplnej. Stanowiska planowania i dokumentowania oraz komunikacji i bezpieczeństwa wskazują na niewielką obecność lub całkowity brak obecności nawigatorów podczas rutynowej nawigacji. Jest to również zrozumiałe, zwłaszcza w porze nocnej, kiedy po zachodzie Słońca przestrzeń na trzech z czterech odwiedzonych statków odcina się kurtyną w celu wyeliminowania potencjalnych źródeł światła, przeszkadzających w obserwacji.

Każdy statek uczestniczący w tym eksperymencie korzystał z ECDIS jako podstawowego i rezerwowego środka prowadzenia nawigacji, a na pokładzie nie było papierowych map. Porównanie uzyskanych wyników, zobrazowanych w podrozdziale 3.5, z badaniami przeprowadzonymi przez Wynna i in. [32], wskazuje na zmiany w schematach zachowań nawigatorów podczas wacht w porównaniu z danymi sprzed ponad dekady. W przywołanym powyżej artykule, nawigatorzy regularnie udawali się do kabiny nawigacyjnej (ang. *chartroom*) z mapami papierowymi, by nanieść na nie aktualną pozycję. W przypadku statków wyposażonych jedynie w ECDIS nie zaobserwowano takich praktyk, gdyż pozycja statku wyświetlana jest w czasie rzeczywistym na mapach elektronicznych. Na każdym odwiedzanym mostku, w centralnej części, przy panelu stanowiska monitorowania, umieszczony był papierowy dziennik pokładowy. Na stanowisku planowania i dokumentowania, z założeniu dedykowanym do tego, nie prowadzono dokumentacji podróży. Umieszczenie dziennika w miejscu, w którym gromadzone i scentralizowane są wszystkie informacje, a nie w wydzielonej kabine nawigacyjnej lub na stanowisku za kurtyną, nie tylko przyspiesza wykonywanie wpisów, ale także zmniejsza możliwość popełnienia błędu podczas przenoszenia danych z jednego stanowiska na drugie. Ilość czasu spędzonego w pobliżu dziennika pokładowego na każdym z odwiedzonych statków wskazuje, że dokumentowanie podróży nadal stanowi ważną część pracy nawigatora i współczesnej nawigacji. Pola, w których nawigatorzy przebywali by wykonywać wpisy do dziennika pokładowego, uzyskały kolejno średnio 112,17 i 130,67 punktów na tankowcach oraz 76,75 i 57,00 punktów na promach Ro-Pax. W przypadku tankowców były to obszary, w których przebywano najczęściej podczas wachty, co potwierdza ich największe nasycenie kolorystyczne na mapach cieplnych na rys. 3.6 i 3.7.

Na promie Ro-Pax 2 oba wyświetlacze radarowe, jeden ECDIS i krzesło, są wyraźnie przesunięte na prawą stronę od osi symetrii statku i samego mostka. Taki układ ogranicza używanie drugiego ECDIS, umieszczonego na centralnym panelu mostka, który mógłby zostać wykorzystany do wzajemnej kontroli pierwszego w przypadku awarii lub niezamierzonego przesunięcia pozycji. Mostek ten także jako jedyny nie odpowiada sugerowanemu układowi ułożenia stanowisk, gdyż stanowisko monitorowania nie zostało wyraźnie wydzielone obok stanowiska nawigacji i manewrowania.

4.4.1. Ocena zasadności zabrania siedzenia podczas wacht

W ciągu dnia zarejestrowano łącznie 697 pozycji statycznych i 503 dynamicznych. W godzinach ciemności zaobserwowano 753 pozycji statycznych i 447 dynamicznych. Najwięcej statycznych pozycji podczas jednogodzinnej obserwacji, łącznie 88 na 120 możliwych, zarejestrowano na nocnej wachcie na promie Ro-Pax 2, co ukazuje rys. E.18. W przeważającej części były to pozycje na krześle, które stanowiły ponad połowę odnotowanych pozycji w tym okresie (66 ze 120). Stosunek pozycji statycznych do dynamicznych, przedstawiony w tabeli 3.5, wskazuje, że najmniejsza mobilność oficerów w ciągu dnia występowała na Tankowcu 1, którego mostek nie był wyposażony w krzesło. Najniższe stosunki liczby pozycji statycznych do dynamicznych (S/D), sugerujące zwiększoną mobilność zarówno w dzień, jak i w nocy, wystąpiły na Ro-Pax 1, pomimo tego, że mostek ten był wyposażony w dwa krzesła. Zatem obecność lub brak krzesła nie wpływała jednoznacznie na ograniczenie lub zwiększenie mobilności nawigatorów. Jednak niewątpliwie pola z krzesłami były we wszystkich przypadkach „najcieplejsze” (osiem obserwacji na promach Ro-Pax), co świadczy o tym, że nawigatorzy spędzali na nich znaczną ilość czasu. W badaniu najwyższe wartości uzyskały właśnie pola z krzesłami, kolejno 469,75 na Ro-Pax 2 i 187,00 na Ro-Pax 1. Z tego powodu nie można odrzucić **Hipotezy dodatkowej 2**. Na mostkach bez krzesel punkty i pozycje były bardziej rozproszone na całym obszarze wokół stanowisk pracy, na których znajdował się kluczowy sprzęt nawigacyjny.

Wachty nocne były bardziej statyczne, a nawigatorzy jeszcze bardziej niż za dnia korzystali z urządzeń nawigacyjnych, co może być spowodowane trudnością we wzrokowym oszacowaniu odległości do przeszkody lub innego statku. Artykuł Hadnetta [22] sugeruje, że nadmierne poleganie na sprzęcie, w tym radarach, AIS i ECDIS, prowadzi do obniżenia ogólnych standardów pełnienia wacht. Mając to na uwadze, a także wspomniana wcześniej analiza wypadku wykonana przez Britannia P&I Club [93], możliwość wygodnego siedzenia przed ekranami, szczególnie w nocy, może budzić niepokój dla bezpieczeństwa nawigacji. Obecność krzesel wpływała na mniej równomierne rozłożenie pozycji, nie spowodowała jednak ogólnego zwiększenia liczby pozycji statycznych podczas obserwacji. Ze względu na potencjalny dyskomfort i ból spowodowany długotrwałym stanem i wibracjami, siedzenie nie powinno być kojarzone z zaniedbywaniem obowiązków.

Od czasu implementacji na statkach BNWAS, poprzez możliwość skrócenia czasu, po którym należy zrestartować licznik, można minimalizować ryzyko zaśnięcia w pozycji siedzącej na nocnej wachcie, zamiast narzucać w jakikolwiek sposób pozycję stojącą. Obecnie jednak wiele statków nadal nie ma nawet tak podstawowego wyposażenia jak regulowane krzesło na mostku. Obrazuje to potrzebę jasnych przepisów w obszarze ergonomii. IMO zalecało, aby mostki były wyposażone w takie krzesła już w 2000 roku [48], jednak nawet po tylu latach nie zawsze jest to egzekwowane.

4.5. Wpływ czynników ergonomicznych na mostku nawigacyjnym na pracę nawigatora – określony na podstawie badania symulacyjnego

Badanie symulacyjne zostało przeprowadzone na stosunkowo małej próbie (30 osób), jednak ze względu na wysokie koszty wynajmu specjalistycznych symulatorów, wynikające także z ich poboru energii i konieczności nadzoru certyfikowanego instruktora, niemożliwe było zrealizowanie tego typu badania na większą skalę w toku tego doktoratu. Ograniczeniem była również dostępność czasowa wykwalifikowanych nawigatorów.

Na unikalność przygotowanego ćwiczenia symulacyjnego wpływa fakt, że brało w nim udział całe pomieszczenie, nie tylko projekcja obrazu. Uwzględnione zostało oświetlenie, jasność ekranów urządzeń nawigacyjnych, czy też hałas. Ćwiczenie w takiej formie miało w założeniu pozwolić na zbadanie wpływu warunków ergonomicznych w pomieszczeniu na skuteczność oraz czas wykrycia obiektów dookoła statku, a także ocenić komfort pracy i jej uciążliwość przy danych warunkach.

Bazując na wynikach przeprowadzonego badania symulacyjnego, można zauważyć pewne zależności w skuteczności detekcji obiektów wokół własnego statku oraz subiektywnego odczucia uciążliwości wykonywania obowiązków. Uczestnicy eksperymentu potrafili względnie dobrze adaptować się do trudnych warunków środowiskowych, takich jak hałas czy nieodpowiednie oświetlenie pomieszczenia, jednak potencjalny wpływ tych warunków mógłby być bardziej widoczny przy dłuższych sesjach ćwiczeniowych lub bardziej złożonych zadaniach.

Jednym z założeń tego ćwiczenia było to, że duże statki nie posiadały włączonych świateł nawigacyjnych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami, światła nawigacyjne powinny być stosowane przy każdej pogodzie od zachodu do wschodu Słońca, zawsze podczas ograniczonej widzialności i we wszelkich innych okolicznościach, w których uważa się to za konieczne [36]. Widzialność podczas całego trwania ćwiczenia wynosiła 4 mile morskie, tym samym nie ma podstaw do mówienia o ograniczonej widzialności, a symulowana wachta odbywała się za dnia, dlatego taka sytuacja mogła, zgodnie z przepisami, wydarzyć się także w rzeczywistości.

Duży, nieoświetlony statek w niekorzystnych warunkach środowiskowych może nie wyróżniać się na tle otoczenia, nie przyciągać wzroku i tym samym może być trudny w detekcji. Małe jednostki, używające świateł nawigacyjnych, mogły natomiast przykuwać uwagę ze względu na wyróżnianie się na tle innych elementów otoczenia. Przykładowe zobrazowanie na projekcji wizji dużego, nieoświetlonego statku i małej żaglówki ze światłami nawigacyjnymi przedstawiono na rys. 4.1.



Rys. 4.1. Kontury dużego, nieoświetlonego statku (zaznaczone w czerwonym okręgu) oraz żaglówka ze światłami nawigacyjnymi.

Dobre parametry falowania, wzmocnienia radaru (ang. *gain*) i zasięgowej regulacji wzmocnienia (ZRW) (ang. *sea clutter*) powodowały, że tratwa, będąca małym obiektem, nie była wykrywalna na radarze. Jedyną możliwością jej zauważenia była więc uważna obserwacja wzrokowa otoczenia. Skuteczne wykrywanie tratwy ratunkowej w przeprowadzonym eksperymencie było ważnym zagadnieniem, gdyż zgodnie z Załącznikiem IV do Konwencji COLREG, flara ręczna paląca się czerwonym płomieniem jest oficjalnym sygnałem wzywania pomocy [36].

4.5.1. Wpływ czynników ergonomicznych na skuteczność detekcji obiektów

Wyniki badania symulacyjnego, przedstawione w podrozdziale 3.6.1, sugerują, że osoby posiadające dyplom oficera wachtowego lub wyższy, miały istotne prawie dwukrotnie większe szanse na skuteczne wykrycie obiektów wokół własnego statku niż studenci ($OR=1,98$). W odniesieniu do czasu pracy na morzu, wyniki wskazują natomiast, że osoby z dłuższym stażem pracy mają mniejsze szanse na wykrycie obiektu w porównaniu z osobami z krótszym stażem. Osoby z krótszym stażem mogą być bardziej czujne lub skoncentrowane na zadaniu, co może zwiększać ich skuteczność, natomiast osoby z większym doświadczeniem mogły wykazywać pewne zjawiska habituacji. Bardziej doświadczeni nawigatorzy mogą podświadomie ignorować bodźce nie mające wpływu na bezpośrednie bezpieczeństwo ich własnego statku.

Wykrywanie dużych jednostek jest stosunkowo niezależne od zmian w warunkach środowiskowych, z kolei dla małych statków zaobserwowano znaczne różnice w zależności od zakłóceń. Kontrast hałas/nieodpowiednie oświetlenie wskazuje jednak na istotną różnicę ($OR=0,33$, $p_{adj}=0,003$), co oznacza, że wykrywanie małych jednostek było znacznie trudniejsze w hałasie niż w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia. Oznacza to, że hałas stanowi w tym przypadku większe obciążenie poznawcze, wpływając negatywnie na zdolność do wykrywania

mniejszych obiektów. Jest to odpowiedzią na **Pytanie Badawcze 1** oraz podstawą do pozytywnej weryfikacji **Hipotezy 1**.

Wykrywalność tratwy w różnych warunkach wskazuje na to, że obiekt ten jest szczególnie podatny na wpływ warunków środowiskowych. W odniesieniu do tabeli 3.7, szacowane średnie krańcowe (EMM) prawdopodobieństwa wykrycia tratwy bez zakłóceń wynosiły 0,69, podczas hałasu wzrosły 0,80, a w zaciemnieniu spadły do 0,63. Stanowi to odpowiedź na **Pytanie Badawcze 1** oraz pozwala na pozytywne zweryfikowanie **Hipotezy 1**. Hałas mógł paradoksalnie zwiększać czujność uczestników, natomiast nieodpowiednie oświetlenie wyraźnie utrudnia wykrycie tratwy, co może wynikać z jej mniejszych rozmiarów i mniej wyraźnych konturów w porównaniu z innymi obiektami. Poprawa skuteczności detekcji niektórych obiektów w warunkach hałasu może być jednak zjawiskiem krótkotrwałym i nie wiadomo jak wysoki poziom natężenia dźwięku wpłynąłby na uczestników w dłużej trwającym ćwiczeniu.

Najwyższą wykrywalność osiągnięto w przypadku helikoptera. Podczas nieodpowiedniego oświetlenia uczestnicy badania osiągnęli maksymalną wykrywalność. Bardzo wysokie wartości skutecznej detekcji także w innych wariantach ćwiczenia oznaczają, że nawet w trudnych warunkach helikoptery są łatwe do zidentyfikowania. Wyniki te sugerują, że helikopter jako obiekt wysoce charakterystyczny, nie jest podatny na zmiany w warunkach środowiskowych.

4.5.2. Wpływ czynników ergonomicznych na czas detekcji obiektów

Na podstawie wyników zaprezentowanych w podrozdziale 3.6.2 można stwierdzić, że uczestnicy posiadający dyplom oficera wachtowego lub wyższy mieli krótszy czas wykrycia jednostek wokół statku w porównaniu ze studentami. Możliwe, że osoby z wyższym wykształceniem szybciej identyfikują obiekty, mając również lepszą skuteczność ich wykrywania. W odniesieniu do stażu pracy, brak istotnej różnicy w czasie wykrycia pomiędzy grupami o różnym doświadczeniu zawodowym sugeruje, że długość pracy w branży nie ma istotnego wpływu na szybkość identyfikacji obiektów w warunkach tego eksperymentu. Wynik ten może wskazywać, że doświadczenie zawodowe w małej mierze przekłada się na czas wykrywania obiektów wokół własnego statku, co oznacza negatywną weryfikację **Hipotezy 3**.

W odniesieniu do tabeli 3.10, średni czas wykrycia dużego statku w warunkach normalnych wynosił 5,60 minut, w hałasie 4,99 minut, w przy nieodpowiednim oświetleniu 6,15 minut. Różnica pomiędzy tymi wartościami sugeruje, że duży statek pozostaje relatywnie łatwy do wykrycia. Analiza kontrastów przedstawiona w tabeli 3.11 wskazuje, że zakłócenia takie jak hałas i nieodpowiednie oświetlenie nie mają znaczącego wpływu na czas wykrycia dużego i małego statku w porównaniu z warunkami normalnymi.

Wykrywanie tratw zajmowało najwięcej czasu, co sugeruje, że tego typu obiekt jest najtrudniejszy w identyfikacji. Najkrótszy czas zaobserwowano jednak w warunkach nieodpowiedniego oświetlenia. Także różnica między warunkami normalnymi a nieodpowiednim oświetleniem, wynikająca z analizy kontrastów, była istotna statystycznie. Może to wskazywać, że zwiększone zachmurzenie, wpływające na obniżenie natężenia oświetlenia zewnętrznego,

zwykle utrudnia wykrywanie obiektów, w przypadku trątki może paradoksalnie poprawiać kontrast wizualny, czyniąc ją łatwiejszą do zauważenia.

Helikopter charakteryzował się najkrótszymi czasami wykrycia we wszystkich warunkach. Może to wynikać z jego unikalnych cech, takich jak charakterystyczny dźwięk czy sposób poruszania się, które wyróżniają go na tle innych obiektów.

Podsumowując, jeśli chodzi o warunki środowiskowe, różnice w czasie wykrycia między warunkami normalnymi a hałasem ($\beta = -0,61$ minut, CI95%: $-1,61-0,39$, $p=0,233$) oraz nieodpowiednim oświetleniem ($\beta = 0,55$ minut, CI95%: $-0,43-1,53$, $p=0,271$) nie były istotne statystycznie. Sugeruje to, że ani hałas, ani nieodpowiednie oświetlenie pomieszczenia nie zwiększały znacząco czasu potrzebnego na wykrycie obiektów w porównaniu z warunkami normalnymi, chociaż hałas mógł nieco poprawiać czas wykrycia, a nieodpowiednie oświetlenie go wydłużać. Stanowi to odpowiedź na **Pytanie Badawcze 1** oraz prowadzi do negatywnej weryfikacji **Hipotezy 3**.

4.5.3. Wpływ czynników ergonomicznych na poczucie uciążliwości podczas obserwacji

Przeanalizowanie wyników ankiety, którą nawigatorzy wypełniali po wykonaniu ćwiczenia, sugeruje, że nawet w normalnych warunkach, przy braku hałasu i nieodpowiedniego oświetlenia, studenci ze stażem mniejszym niż 1 rok odczuwali pewien poziom uciążliwości. Nie wykazano natomiast wpływu stażu zawodowego na percepcję trudności wykonywania ćwiczenia. Brak istotnych różnic między grupami o różnych stażach może wynikać z różnorodności doświadczeń zawodowych, które niekoniecznie przekładają się na lepsze radzenie sobie w warunkach trudnych, takich jak hałas czy nieodpowiednie oświetlenie. Również stanowisko nie wykazuje istotnego wpływu na odczuwany poziom uciążliwości podczas wykonywania ćwiczenia. Uzyskane wyniki sugerują, że ani staż, ani stanowisko uczestnika badania nie wpływa znacząco na percepcję uciążliwości związaną ze wzrokowym wykrywaniem obiektów wokół własnego statku.

Rezultaty badania przedstawione w tabeli 3.12 oraz wykres zamieszczony na rys. 3.12 wskazują natomiast, że zarówno hałas, jak i nieodpowiednie oświetlenie istotnie wpływają na wzrost odczuwanego poziomu uciążliwości podczas prowadzenia obserwacji. Na podstawie tych wyników można stwierdzić, że warunki środowiskowe w pomieszczeniu mają duży wpływ na percepcję trudności związanych z wykrywaniem obiektów, a nieodpowiednie oświetlenie jest czynnikiem najbardziej uciążliwym. Pozwala to na jednoznaczne potwierdzenie **Hipotezy 4**, a jednocześnie przyczynia się do odpowiedzi na **Pytanie Badawcze 1** oraz wspiera pozytywną weryfikację **Hipotezy 1**.

5. ROZWIĄZANIA PROBLEMÓW ERGONOMICZNYCH NA MOSTKU I WSPOMAGANIE NAWIGATORA

Niniejszy rozdział ma charakter wdrożeniowy, a jego celem jest przedstawienie rozwiązań problemów związanych z ergonomią mostka nawigacyjnego, zgłoszonych przez Polską Żeglugę Morską P.P. Część wdrożeniowa rozprawy pełni funkcję praktycznego katalogu możliwych działań dla tego oraz innych armatorów, doświadczających podobnych problemów.

W toku prac koncentrowano się na ergonomii związanej z warunkami panującymi w pomieszczeniu (ang. *work environment*). Tym samym głównymi problemami, którym starano się przeciwdziałać były te związane z:

- warunkami klimatycznymi w pomieszczeniu,
- hałasem i akustyką,
- wibracjami,
- oświetleniem pomieszczenia i jasnością ekranów,
- zmęczeniem i postawą ciała [48].

Proponowane rozwiązania mają z założeniu minimalizować negatywny wpływ czynników ergonomicznych na człowieka. Nie powinny one ingerować w konstrukcję statku i wymagać wyłączenia go z eksploatacji na potrzebę przeprowadzenia prac wdrożeniowych. Jest to wsparcie dla starszych statków, których sterówki nie musiałyby być przebudowywane, a mogłyby być jedynie dostosowane w celu zapewniania lepszych warunków środowiskowych w pomieszczeniu. Ze względu na złożoną problematykę związaną z ergonomią mostka nawigacyjnego, proponowane rozwiązania podzielono na 3 kategorie.

- 1) Rozwiązania szkoleniowe (polegające na szerzeniu świadomości ergonomicznej załóg),
- 2) Rozwiązania wyposażeniowe (polegające na zaopatrzeniu mostków w ergonomiczny sprzęt),
- 3) Rozwiązania systemowe (polegające na automatyzacji czynności związanych z utrzymaniem odpowiedniej ergonomii podczas pracy).

5.1. Rozwiązania szkoleniowe

Jednym z obszarów, w których możliwe jest wdrożenie usprawnień ergonomicznych, jest szkolenie marynarzy. Rozwiązania szkoleniowe koncentrują się na zwiększeniu świadomości ergonomicznej wśród załóg oraz na praktycznym wdrażaniu dobrych nawyków podczas codziennej nawigacji. W kolejnych podrozdziałach opisano formę i zakres proponowanych działań, które mogą być zastosowane w odpowiedzi na zidentyfikowane problemy.

5.1.1. Utrzymywanie poprawnej postury

Wyniki badania przeprowadzonego przez Robertson i in. [152] sugerują, że dzięki wiedzy zdobytej podczas szkoleń z zakresu ergonomii i korzystania z regulowanego krzesła, pracownicy byli w stanie odpowiednio zmienić i dostosować swoje stanowisko pracy oraz konfigurację krzesła. W grupach interwencyjnych zaobserwowano istotny wzrost ogólnej wiedzy ergonomicznej i niższe ryzyko związane z nieodpowiednią posturą ciała niż w grupie kontrolnej. Potwierdza to zasadność przeprowadzania tego typu szkoleń. Poprawne dostosowanie pozycji

siedzącej wymaga posiadania krzesła proponowanego w podrozdziale 5.2.4. Czynności te można zawrzeć w formie listy kontrolnej, która mogłaby być zamieszczona na stanowisku nawigacji i manewrowania oraz na stanowisku monitorowania, a jej formę przedstawiono poniżej.

1. **Dostosowanie odległości od ekranów.** Ekran wyświetlacza powinien znajdować się około 50–70 cm od oczu, co można przyrównać do długości wysuniętego, wyprostowanego ramienia [153, 154].
2. **Dostosowanie wysokości siedzenia.** Górna krawędź panelu stanowiska powinna znajdować się około 15° poniżej linii wzroku, co zapewnia swobodną obserwację otoczenia w pozycji siedzącej i zmniejsza napięcie mięśni szyi [135, 155].
3. **Ułożenie nóg.** W pozycji siedzącej kolana powinny być zgięte pod kątem 90°, pionowo do podłoża, a stopy powinny być całkowicie oparte o podnózek [156].
4. **Oparcie pleców.** Plecy należy oprzeć o podparcie w części lędźwiowej, a następnie wychylić oparcie do tyłu o około 10–20°, licząc od kąta prostego do podłoża. W takiej pozycji nogi mogą zostać wysunięte o podobny kąt do przodu, co poprawi krążenie krwi i zredukuje napięcie mięśni pleców [157].
5. **Wysokość podłokietników.** Podłokietniki powinny znajdować się na wysokości łokci, tak by nie wypychały barków do góry [158].
6. **Ułożenie rąk.** Przedramiona powinny spoczywać swobodnie na podłokietnikach, a łokcie powinny znajdować się blisko ciała i być zgięte w zakresie 90–120°, a nadgarstki powinny znajdować się w neutralnej pozycji (nie być zgięte ani w dół ani w górę) [159, 160].
7. **Położenie głowy.** Głowa powinna znajdować się w jednej linii z kręgosłupem, a łopatki powinny być lekko ściągnięte do tyłu, co odciąża mięśnie w odcinku szyjnym [161].
8. **Równomierne siedzenie.** Równomierne rozłożenie ciężaru ciała podczas siedzenia, tak by nie przeciążała żadnej ze stron [162].

5.1.2. Ćwiczenia oczu

Skutecznym działaniem zapobiegającym i redukującym takie zmęczenie jest wykonywanie ćwiczeń oczu [163]. Zaletą takich ćwiczeń jest możliwość wykonywania ich w dowolnym miejscu i warunkach, brak konieczności posiadania specjalnego sprzętu, a także stosunkowo krótki czas ich trwania. Regularne ćwiczenia mogą prowadzić do zmniejszenia zmęczenia i suchości oczu [164].

Akomodacja oka umożliwia wyraźne postrzeganie obiektów znajdujących się w różnych odległościach, co jest wynikiem zmiany geometrii soczewki w wyniku skurczu mięśnia rzęskowego [165, 166].

W badaniach Kim [167], przeprowadzonych na studentach pielęgniarstwa, zastosowano ćwiczenia jogi oczu opracowane przez Saraswati [168], które opisano poniżej.

- **Zasłanianie oczu (ang. *palming*)** – zakłada to zakrycie dłońmi oczu przez założony czas, tak by palce były skrzyżowane na czole, bez nacisku na gałki oczne. Ćwiczenie to poprawia cyrkulację krwi w okolicach oczu, pobudza sprawność nerwów wzrokowych i sprzyja odprężeniu gałek ocznych [169].

- **Mruganie (ang. *blinking*)** – polega na szybkim mruganiu przez 10 sekund i następnie odpoczynku z zamkniętymi oczami na czas wykonania 5 głębokich wdechów. Takie ćwiczenie zachęca do spontanicznego odruchu mrugania, wywołując rozluźnienie mięśni oka i poprawia jego naturalne.
- **Patrzanie na boki (ang. *sideways viewing*)** – wykonując to ćwiczenie należy unieść ręce na wysokość ramion i wystawić kciuki ku górze. Następnie, trzymając głowę w neutralnej pozycji i patrząc na wprost, należy dostosować rozłożenie ramion na boki, tak by kciuki znajdowały się blisko zewnętrznej granicy pola widzenia peryferyjnego. Trzymając głowę w miejscu, ruszając samymi gałkami ocznymi, należy skupić wzrok na lewym kciuku, punkcie między brwiami (nasada nosa), na prawym kciuku i ponownie punkcie między brwiami. Ćwiczenie to pomaga na rozluźnienie mięśni nadwyrężonych pracą z obiektami w bliskiej odległości, zapobiegając zezowi i korygując go.
- **Patrzanie na wprost i na boki (ang. *front and sideways viewing*)** – będąc w pozycji siedzącej należy położyć wyprostowaną lewą rękę na lewym kolanie, z kciukiem uniesionym ku górze, zaś prawą rękę trzymać wyprostowaną na wysokości ramion, również z kciukiem uniesionym ku górze, w zasięgu widzenia peryferyjnego z prawej strony. Trzymając głowę w naturalnej pozycji i nie ruszając nią, za pomocą ruchu samych gałek ocznych należy skupiać wzrok na zmianę na lewym i prawym kciuku. Następnie należy zmienić stronę wykonywania ćwiczenia, odwracając pozycje rąk. Ćwiczenie to poprawia koordynację mięśni przysrodkowych i bocznych oka.
- **Patrzanie w górę i w dół (ang. *up and down viewing*)** – w pozycji siedzącej należy położyć wyprostowane ręce na kolanach i unieść kciuki w górę. Następnie, obserwując lewy kciuk należy powolnym ruchem unosić go jak najwyżej ku górze i z powrotem do pozycji wyjściowej, cały czas podążając za nim wzrokiem, bez poruszania głową. To samo należy uczynić następnie z prawym kciukiem, zmieniając ręce. Ćwiczenie to równoważy obciążenie mięśni górnych i dolnych gałki.
- **Rotacja gałek ocznych (ang. *rotational viewing*)** – trzymając wyprostowaną rękę z kciukiem skierowanym ku górze, należy przesuwając rękę po umownym okręgu, zgodnie z ruchem wskazówek zegara, cały czas podążając za kciukiem wzrokiem, bez poruszania głową. Następnie należy odwrócić kierunek wykonywania obrotu. Ta czynność przywraca równowagę mięśni otaczających oczy i koordynuje aktywność obu gałek ocznych.
- **Patrzanie na czubek nosa (ang. *nosetip gazing*)** – pozycją wyjściową tego ćwiczenia jest wysunięcie ręki wyprostowanej, centralnie przed nosem, trzymając kciuk uniesiony w górę. Cały czas skupiając wzrok na kciuku, należy powoli przesuwać go aż do czubka nosa, pozostać w tej pozycji przez kilka sekund, a następnie powoli oddalać kciuk aż do pełnego wyprostowania ramienia. Ćwiczenie to wspomaga akomodację oka.
- **Patrzanie blisko i daleko (ang. *near and distant viewing*)** – dobrze wykonywać to ćwiczenie przy otwartym oknie lub na otwartej przestrzeni. Należy skupić wzrok na czubku własnego nosa przez 5 sekund, a następnie przez 5 sekund na obiekcie

oddalonym jak najdalej od obserwatora (preferowanie na linii horyzontu). Ćwiczenie to, podobnie jak patrzenie na czubek nosa, wspomaga akomodację oka.

Ćwiczenia w badaniu przeprowadzonym przez Kim [167] pokrywały się z tymi sugerowanymi przez Gupta i Aparna [170], a także zwierają się częściowo w tych zaproponowanych przez Bankey i in. [171]. W badaniu Kim ćwiczenia wykonywane były przez około godzinę, dwa razy w tygodniu przez 8 tygodni okresie. W badaniu Gupta i Aparna ćwiczenia wykonywano przez 30 minut dziennie, 5 razy w tygodniu, przez 6 tygodni. Bankey i in. zakładali dwie jednogodzinne sesje ćwiczeń przez 120 dni.

We wszystkich powyższych badaniach, po kilku tygodniach uzyskano pozytywny wpływ ćwiczeń na redukcję zmęczenia oczu, pomimo różniących się częstości wykonywania ćwiczeń oraz czasu trwania sesji. Jest to istotna informacja dla nawigatorów, których godziny pracy różnią się w zależności od dnia i rozkładu pływania statku, tym samym problematyczne mogłoby być wygospodarowanie codziennie czasu na ćwiczenia oczu. Nawet dwie sesje tygodniowo, trwające od 30 do 60 minut, mogą podnieść komfort i efektywność pracy nawigatora, redukując tym samym ból i zmęczenie oczu.

Oprócz powyższych ćwiczeń, które przeznaczone są do wykonywania po pracy, proponowane jest także ćwiczenie możliwe do wykonywania nawet w podczas wachty, jeśli okoliczności na to pozwalają. „Zasada 20-20-20” jest skutecznym sposobem przeciwdziałania nadmiernemu zmęczeniu oczu. Zakłada ona by co 20 minut pracy przy ekranie przez 20 sekund patrzeć na obiekt oddalony o co najmniej 20 stóp (około 6 metrów) [172]. Praca nawigatora jest o tyle specyficzna, że nie można narzucić egzekwowania tej zasady, gdyż najważniejsze jest prowadzenie efektywnej obserwacji i bezpiecznej nawigacji, co jest zależne od wielu czynników i sytuacji. Jeśli jednak warunki na to pozwalają, warto przenieść wzrok na obiekt znajdujący się w pobliżu statku lub na linię horyzontu. To proste ćwiczenie nie wymaga żadnego przeszkolenia, a jedynie poinformowania nawigatora o jego założeniach i przypominaniu regularnego wykonywania.

Zaproponowane ćwiczenia, wraz z instrukcjami ich wykonywania, mogłyby być umieszczone w widocznym miejscu na mostku nawigacyjnym, a także w innych miejscach statku, takich jak przestrzenie rekreacyjne, w celu przypominania i uświadamiania nawigatorów o możliwościach redukcji zmęczenia oczu.

5.1.3. Zadanie symulacyjne uświadamiające nawigatorom wpływ niekorzystnych warunków ergonomicznych

Jednym z proponowanych rozwiązań szkoleniowych jest ćwiczenie symulacyjne, które zostało szczegółowo opisane w podrozdziale 2.7 tej rozprawy. W obecnej formie, ćwiczenie przede wszystkim uświadamia nawigatorom wpływ niekorzystnych warunków ergonomicznych na wykonywanie obowiązków związanych z prowadzeniem obserwacji wzrokowej. Wyniki przeprowadzonego badania, zaprezentowane w podrozdziale 3.6.3, potwierdzają skuteczność przyjętej formy, gdyż uczestnicy jednoznacznie zadeklarowali wyższy poziom odczuwalnej uciążliwości w trakcie występowania symulowanych zakłóceń (hałasu i nieodpowiedniego

oświetlenia). Świadomość konsekwencji wystąpienia niekorzystnych warunków i realne odczucie związanego z tym dyskomfortu może pozytywnie wpłynąć na zaangażowanie nawigatorów w utrzymywanie właściwej ergonomii podczas pracy.

Ćwiczenie powinno odbywać się na symulatorze mostka nawigacyjnego, który jest w stanie odwzorować niekorzystne warunki ergonomiczne. Ważne, by pomieszczenie było wyposażone w odpowiednie głośniki i oświetlenie, które jest w stanie wywołać odbicie na wyświetlaczach urządzeń i ekranach wizyjnych. Różnice w tych czynnikach z pewnością wpływają na sposób, w jaki uczestnicy odczuwają zakłócenia, nawet przy identycznych innych parametrach symulacji. Z tego powodu ćwiczenie nie może być dowolnie przenoszone między różnymi symulatorami, czy nawet pomieszczeniami, bez wcześniejszego dostosowania warunków, co może ograniczać szeroką implementację zadania symulacyjnego bez odpowiedniego przygotowania infrastruktury.

5.2. Rozwiązania wyposażeniowe

Założeniem tej kategorii rozwiązań jest wyposażenie mostka nawigacyjnego w sprzęt umożliwiający utrzymywanie korzystnych warunków ergonomicznych i ograniczenie negatywnego wpływu czynników środowiskowych na człowieka. W kolejnych podrozdziałach omówiono konkretne propozycje, które mogą być zastosowane w tym celu.

5.2.1. Szyby fotochromowe – rozwiązanie odrzucone

Okna dynamiczne, nazywane również „inteligentnymi” potrafią zmieniać swoje właściwości na skutek zewnętrznych bodźców [173]. Wśród ich typów można wyróżnić okna o szybach termochromowych, fotochromowych i elektrochromowych [174]. Technologie te mają zastosowanie w coraz szerszych obszarach życia codziennego i przemysłu, wliczając w to samoloty pasażerskie, szklarnie lub nawet okulary przeciwsłoneczne [175]. Pozwalają one na regulowanie przepuszczanego ciepła oraz promieni słonecznych, poprzez zmianę swoich właściwości optycznych.

Analiza przepisów dotyczących ergonomicznego projektowania mostków nawigacyjnych, przeprowadzona na potrzeby tej pracy, nie pozostawia jednak wątpliwości co do braku możliwości implementacji takiego rozwiązania. Zgodnie z jego treścią przepisu 22, rozdziału V Konwencji SOLAS, zabronione jest instalowanie okien ze szkła polaryzowanego lub barwionego na mostkach. Jest to przepis zawarty w międzynarodowej konwencji, dlatego obecnie nie jest możliwe wprowadzenie tego rozwiązania na statkach handlowych, tym samym możliwość implementacji tego rozwiązania została zweryfikowana negatywnie.

5.2.2. Zastłonki przeciwsłoneczne

Stosowanie zastłonek przeciwsłonecznych na mostkach nawigacyjnych jest rekomendowane przez IMO między innymi w publikacji MSC/Circ.982. Takie rozwiązanie ma na celu zapewnienie dobrej widzialności i uniknięcie ośnienia nawigatora, spowodowanego światłem słonecznym. Warunkiem ich stosowania jest jednak to, że nie mogą być one

zainstalowane na stałe, zniekształcać kolorów i powinny zapewniać możliwość szybkiego ich złożenia [48]. Wysokiej jakości zasłonki zapewniają także redukcję ciepła przenikającego do pomieszczenia, a także eliminują szkodliwe dla człowieka promieniowanie UV (ang. *ultraviolet radiation*).

Jednym z czynników, którym różnią się zasłonki przeciwsłoneczne, jest ich sposób montażu. Chodzi przede wszystkim o roletę w kasecie oraz o roletę zwiniętą w rulon, natomiast w obu przypadkach istnieje możliwość wykorzystania prowadnic, które utrzymują odpowiednie napięcie zasłon podczas ruchów statku na fali.

Zastosowanie powyższej technologii może też znacząco poprawić efektywność obserwacji otoczenia podczas godzin słonecznych. Rys. 5.1 przedstawia dwa statki, znajdujące się w podobnej odległości od obserwatora, jeden z nich widziany przez zasłonkę zatwierdzoną do użytku na mostku nawigacyjnym przez wiodące towarzystwo klasyfikacyjne, a drugi bezpośrednio przez okno. Słońce znajdowało się od strony burty, z której wykonano zdjęcia. Zarys obserwowanego statku oraz jego kontrast względem otoczenia były wyraźniejsze przy zastosowaniu zasłonek.

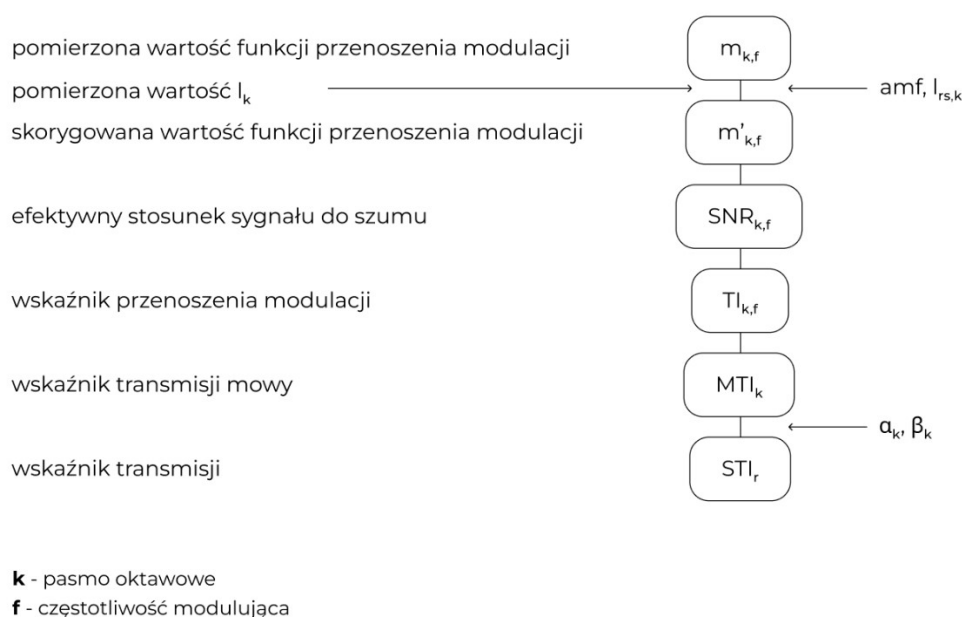


Rys. 5.1. Statki w podobnej odległości obserwowane przez zasłonkę przeciwsłoneczną (z lewej) i bezpośrednio przez szybę (z prawej).

Źródło: zdjęcie autorskie.

5.2.3. Panele akustyczne

W pomieszczeniach, w których przewidziana jest komunikacja werbalna, dobra akustyka jest ważnym zagadnieniem. Wlicza się w to kształt pomieszczenia, dźwięki otoczenia, a także ilość i umiejscowienie materiałów pochłaniających dźwięk [176]. Wskaźnik transmisji mowy (ang. STI – *Speech Transmission Index*) jest jednym z obiektywnych sposobów na ocenę akustyki oraz zrozumiałości mowy w danym pomieszczeniu [177, 178]. Do wyznaczenia STI istotna jest pozycja osoby słuchającej oraz mówiącej, tak by dokonać pomiarów funkcji przenoszenia modulacji (ang. MTF – *Modulation Transfer Function*). Emitowany sygnał nadawany jest w postaci pasma szumu zmodulowanego amplitudowo funkcją sinusoidalną, natomiast sygnał odebrany posiada inną głębokość modulacji amplitudowej [179]. Na podstawie wskaźnika modulacji emitowanego sygnału wejściowego (m_i) oraz sygnału wyjściowego (m_o) w pozycji odbiorcy, wyznacza się ilość zachowanej modulacji sygnału we wszystkich kombinacjach [180]. W metodzie STI wykorzystywane jest 7 pasm oktaowych o częstotliwościach środkowych: 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz i 8 kHz, a każda z nich jest modulowana 14 częstotliwościami w odstępach jedna trzecia oktaowych: 0,63 Hz, 0,80 Hz, 1 Hz, 1,25 Hz, 1,6 Hz, 2 Hz, 2,5 Hz, 3,15 Hz, 4 Hz, 5 Hz, 6,3 Hz, 8 Hz, 10 Hz, 12,5 Hz. Daje to łącznie 98 kombinacji reprezentujących widmo słyszalne i modulacyjne mowy, a dla każdej określana jest funkcja przenoszenia modulacji [180, 181, 182]. Każda kombinacja to także oddzielny sygnał testowy, trwający około 10 sekund, z tego powodu pełen pomiar STI trwa około 15 minut, co często uznawane jest za wadę tej metody, w porównaniu z innymi, szybszymi sposobami określania zrozumiałości mowy w pomieszczeniu [183]. Dużą zaletą jest natomiast jej uniwersalność oraz możliwość oceny zrozumiałości mowy w warunkach hałasu i pogłosu [184]. Proces obliczania wartości STI przedstawiono na rys. 5.2, natomiast potrzebne wzory oraz ogólne zasady pomiarowe przedstawiono szczegółowo w załączniku F.

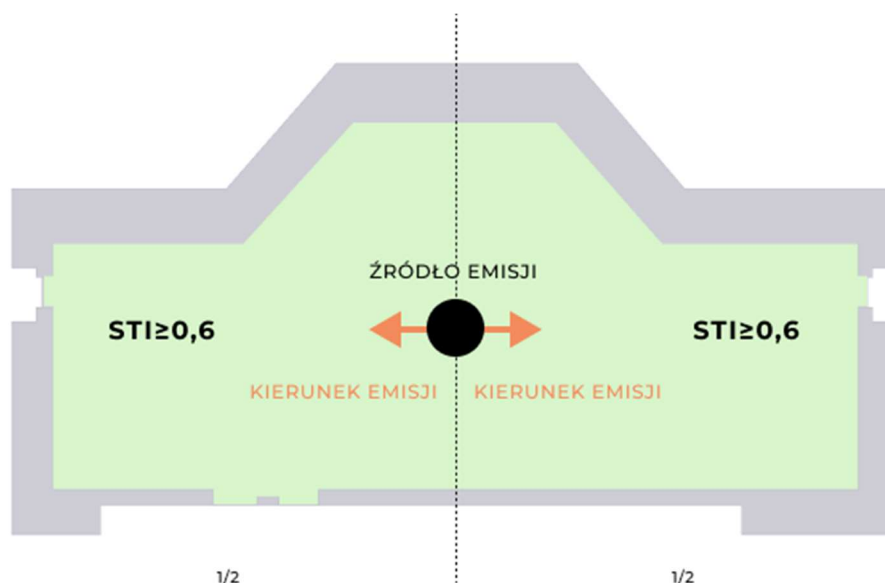


Rys. 5.2. Proces obliczania STI w pomieszczeniu.
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Houtgast i Steeneken [180].

Wartość STI zawiera się w zakresie 0–1. W przypadku, gdyby obliczona wartość STI była wyższa niż 1, powinna ona zostać do niej przyrównana. Im wyższa wartość, tym lepsza zrozumiałość mowy w pomieszczeniu. Standard IEC 60268-16:2020 określa jakość zrozumiałości mowy jako dobrą w zakresie 0,60–0,75, a jako doskonałą powyżej 0,75 [182]. Według normy PN-B-02151-4:2015, w pomieszczeniach, gdzie istotna jest komunikacja słowna, a za takie można uznać w tym przypadku także mostek nawigacyjny na statku, minimalna wartość STI powinna wynosić 0,6 [185].

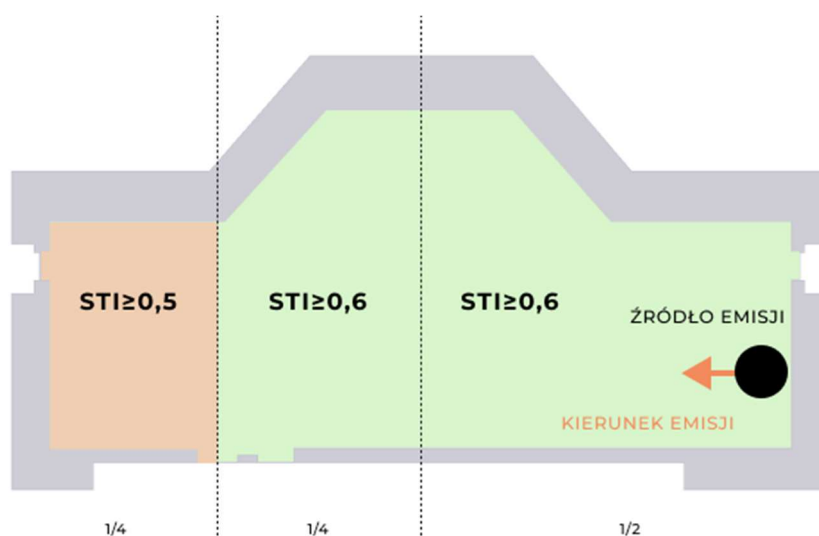
W odniesieniu do rekomendacji IACS nr 95, sugerowane używanie stanowisk na mostku wskazuje na potrzebę dobrej zrozumiałości mowy niemalże w całym pomieszczeniu [120]. Jest to związane np. z podejściami do portów, gdzie oprócz stanowisk w centralnej części mostka wykorzystywane są jednocześnie skrzydła. Zgodnie z rekomendacjami MSC/Circ.982, jeśli odległość między stanowiskiem nawigacji i manewrowania oraz stanowiskiem na skrzydle przekracza 10 metrów, oba stanowiska powinny być wyposażone w system wewnętrznej komunikacji. Komunikacja może jednak odbywać się nie tylko między kapitanem na skrzydle i oficerem obserwującym parametry statku i ruch w porcie na stanowisku monitorowania albo nawigacji i manewrowania, ale także ze sternikiem na stanowisku sterowania ręcznego. Komunikacja słowna między osobami stojącymi na przeciwnych skrzydłach nie jest prawdopodobnym scenariuszem, nie jest ona tym samym uznana jako normalna eksploatacja pomieszczenia. W przypadku mostka nawigacyjnego, źródło dźwięku mogłoby zostać umiejscowione w osi symetrii pomieszczenia, w połowie odległości między tylną a przednią ścianą mostka. Jeśli stosowane są kotary odgradzające w nocy przednie części mostka od źródeł światła z tylnych stanowisk, na czas pomiarów powinny być one zwinęte.

Emisja sygnału odbywałaby się z osi symetrii mostka w jego najszerszym punkcie, w kierunku skrzydeł (prostopadle do osi symetrii pomieszczenia), punkty pomiarowe rozmieszone byłyby po stronie, w kierunku której emitowany byłby dźwięk, a otrzymane wartości STI powinny być nie mniejsze niż 0,6, co przedstawiono na rys. 5.3.



Rys. 5.3. Wymagane wartości STI przy źródle sygnału w osi symetrii pomieszczenia.

Źródło sygnału powinno być także umiejscowione na skrzydle mostka, z uwzględnieniem zachowania odległości od ścian i przeszkód, skierowane do osi symetrii statku pod kątem prostym. Dzieliąc całkowitą szerokość mostka na cztery, można utworzyć umowne sekcje. Z uwagi na brak konieczności komunikacji słownej między dwoma skrzydłami, pomiary STI w najdalszej sekcji, obejmującej przeciwne skrzydło mogłyby być nie mniejsze niż 0,5, jeśli średnia pomiarów z całego pomieszczenia będzie większa lub równa 0,6. W pozostałych sekcjach wartości STI powinny być nie mniejsze niż 0,6. Jeśli układ mostka jest symetryczny, można wykonać pomiar tylko z jednego skrzydła, w przeciwnym wypadku należy wykonać także dodatkowy pomiar z drugiej burty. Podział na umowne sekcje i wymagane wartości STI przedstawiono na rys. 5.4.



Rys. 5.4. Wymagane wartości STI przy źródle sygnału na skrzydle mostka.

Zgodnie z założeniami metody STI, zmiana czasu pogłosu i poziomu tła akustycznego wpływa na stosunek sygnału do szumu w pomieszczeniu, który wpływa bezpośrednio na wartość funkcji przenoszenia modulacji dla poszczególnego pasma oktawowego k i częstotliwości modulującej f ($m_{k,f}$). Otrzymane wartości $m_{k,f}$ determinują natomiast końcową wartość wskaźnika transmisji mowy (STI). W uproszczeniu, im wyższe wartości $m_{k,f}$, tym lepsza zrozumiałość mowy w pozycji odbiorcy. Zgodnie ze wzorem (F.2), im krótszy czas pogłosu i mniejszy poziom tła akustycznego, tym większe wartości funkcji przenoszenia modulacji. Analizując wartości funkcji przenoszenia modulacji, otrzymane na podstawie wykonanych pomiarów, a także ich zmiany przy kolejnych częstotliwościach modulujących, można otrzymać informację na temat głównego czynnika wpływającego na zrozumiałość mowy w pomieszczeniu. Stałe wartości MTF wskazują na obecność szumów tła, stały spadek sugeruje pogłos, natomiast spadek w początkowej fazie, a następnie wzrost wartości to obecność echa [186].

Ze względu na trudności we wpłynięciu na poziom tła akustycznego na mostku nawigacyjnym, np. związanego z wentylacją, w celu poprawy zrozumiałości mowy zasadne byłoby zredukowanie czasu pogłosu w pomieszczeniu do satysfakcjonującego poziomu. Chłonność akustyczna, a tym samym czas pogłosu, może być kontrolowana na etapie projektowania, poprzez wymiary i kształt pomieszczenia, a także przez wyposażenie oraz dobór

materiału pokrywającego ściany, sufit i podłogi. Z uwagi na złożony charakter pomieszczenia, wynikający z powierzchni ograniczającej, obiektów znajdujących się w środku oraz zdolności pochłaniania dźwięku przez powierzchnie, chłonność akustyczna określana jest na podstawie pomierzonego czasu pogłosu [77]. Pogłos jest prawdopodobnie najbardziej znanym subiektywnym aspektem opisującym akustykę pomieszczeń. Zjawisko to jest związane z odbijaniem się fali akustycznej od różnych powierzchni. Kiedy w pomieszczeniu występuje zbyt duży pogłos, zrozumiałość mowy spada, co jest spowodowane nakładaniem się głośniejszych samogłosek na spółgłoski [187]. Pogłos wpływa na percepcję czasu trwania samogłosek bardziej niż spółgłosek [188]. Obliczanie czasu pogłosu oraz chłonności akustycznej pomieszczenia przedstawiono szczegółowo w załączniku G.

W celu przeprowadzenia aktualnej oceny akustycznej mostka, konieczne będzie wykonanie pomiarów, zgodnie z opisanymi w załączniku F zaleceniami metody STI. Jeśli wartości STI będą niższe niż wymagane (rys. 5.3 oraz rys. 5.4), należy przeprowadzić modyfikację pomieszczenia. Doposażanie mostka w dodatkowe przedmioty tylko na potrzeby uzyskania pożądanej chłonności akustycznej pomieszczenia jest niepraktycznym rozwiązaniem, ograniczającym jednocześnie wolne przestrzenie sterówki. Sugerowane jest wykorzystanie paneli akustycznych, które nie służą do wygłuszania hałasów pochodzących z zewnątrz, jednakże likwidują pogłos i echo powstałe w pomieszczeniu, kierując się jednocześnie poniższymi wskazówkami projektowymi.

- Dla pomieszczeń o kubaturze mniejszej lub równej 500 m³: umieszczenie na całej powierzchni sufitu paneli akustycznych z materiałów o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż 0,95; jeśli na ścianach bocznych i tylnych nie stoją wysokie meble lub inne wyposażenie mostka, zalecane jest zamontowanie paneli ściennych z materiałów o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż 0,90 na wysokości od około 120 cm do 240 cm od posadzki.
- Dla pomieszczeń o kubaturze większej niż 500 m³: umieszczenie na 60–70% powierzchni sufitu paneli z materiałów o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż 0,95; umieszczenie na pozostałych 30–40% powierzchni sufitu paneli akustycznych z materiałów o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż 0,4 w pasmie 125 Hz i mniejszym niż 0,4 w pozostałych pasmach; jeśli na ścianach bocznych i tylnych nie stoją wysokie meble lub inne wyposażenie mostka, zalecane jest zamontowanie paneli ściennych z materiałów o współczynniku pochłaniania dźwięku nie mniejszym niż 0,95 na wysokości od około 120 cm do 240 cm od posadzki [189].

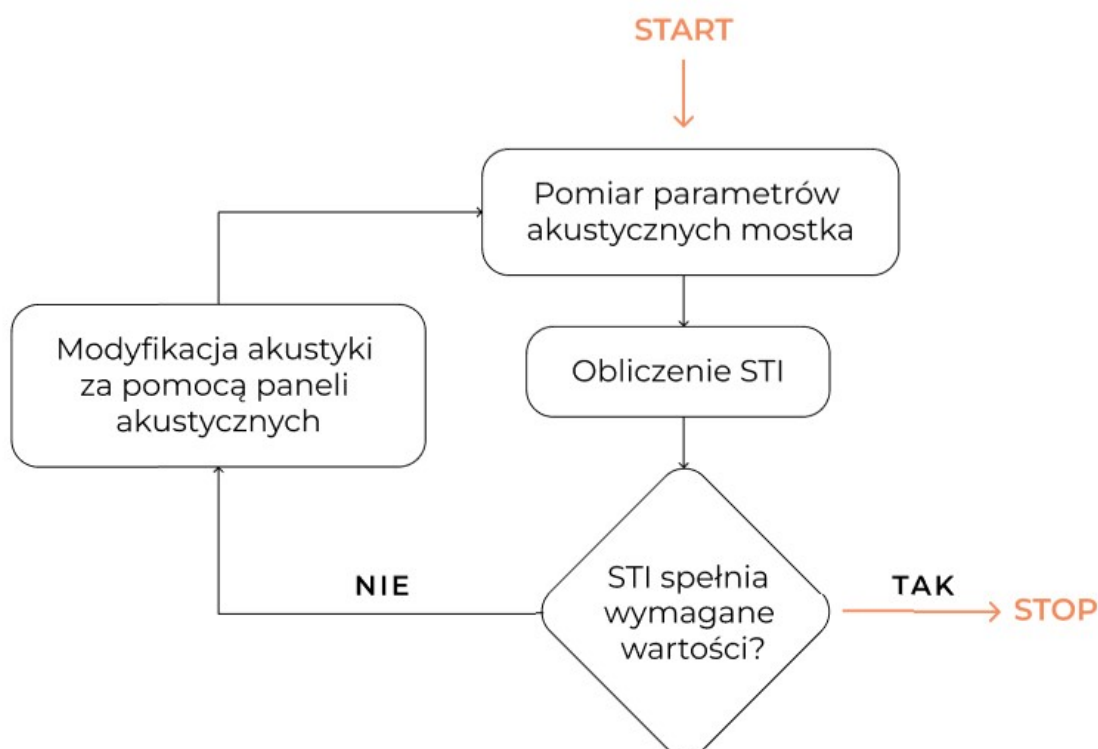
Należy odnotować, że przytoczone wskazówki projektowe nie są gwarancją osiągnięcia oczekiwanych wartości STI, a jedynie przykładem rozwiązań. W każdym przypadku należy stosować modyfikacje akustyki aż do uzyskania satysfakcjonujących wyników.

Zalecane jest zastosowanie paneli o najlepszej klasie pochłaniania dźwięku, więc klasie A zgodnie z normą ISO 11654:1997. Istotne z punktu widzenia implementacji ich na mostkach nawigacyjnych będzie trwałość montażu do powierzchni, łatwość utrzymania ich w czystości, a także brak pylenia, kruszenia i wydzielania zapachów lub szkodliwych substancji, ale przede

wszystkim bezpieczeństwo pożarowe. Zgodnie z Międzynarodowym kodeksem stosowania procedur prób ogniowych (ang. FTP Code – *International Code for Application of Fire Test Procedures*), materiały uznawane powszechnie za niepalne, takie jak np. szkło, beton lub stopy niektórych metali, mogą być umieszczane na statkach bez wcześniejszego testowania i zatwierdzenia. Niepalność pozostałych materiałów powinna być zweryfikowana zgodnie z normą ISO 1182:2020 [190]. Wymagania te są w stanie spełnić panele wykonane z powlekanej wełny szklanej lub pianki poliuretanowej z zastosowaniem uniepalniaczy. Podsumowując, panele akustyczne wykorzystane na mostku nawigacyjnym powinny charakteryzować się:

- niepalnością zgodną z normą ISO 1182:2020,
- klasą pochłaniania dźwięku A, zgodną z normą ISO 11654:1997,
- montażem bezpośrednio do powierzchni ściany lub sufitu,
- grubością co najmniej 4 cm,
- odpornością na wilgoć,
- kolorem nie powodującym dużego odbicia światła, odpowiadający jak najbliżej kolorystyce pierwotnej powierzchni,
- wykonaniem z materiału niepylącego i niekruszącego,
- niewydzielaniem zapachów ani szkodliwych substancji.

Podsumowując, cały proces poprawiania zrozumiałości mowy na mostku nawigacyjnym został przedstawiony na rys. 5.5.



Rys. 5.5. Algorytm przedstawiający proces poprawiania parametru STI na mostku nawigacyjnym.

5.2.4. Ergonomiczne krzesła na stanowisku nawigacji i manewrowania

Istnieje wiele badań naukowych dotyczących optymalnej konstrukcji ergonomicznego krzesła, uwzględniających antropologię człowieka i docelowe przeznaczenie, a jako przykład można podać artykuły, które opublikowali Ansari i in. [191] oraz Al-Hinai i in. [192]. W przypadku mostka nawigacyjnego, siedzisko powinno umożliwiać korzystanie z całego wyposażenia nawigacyjnego oraz pełna widoczność otoczenia. Nie jest to więc typowe siedzące miejsce pracy, tym samym charakterystyka krzesła będzie inna niż w przypadku biur lub szkół. Zgodnie z wytycznymi MSC/Circ.982, krzesło na stanowiskach na mostku powinno być obrotowe, z blokowanym podnóżkiem, regulacją wysokości i możliwością przymocowania do podłogi, lecz także odsunięcia z obszaru stanowiska [48].

Przeprowadzone na potrzeby pracy badanie satysfakcji nawigatorów wykazało, że ergonomiczne, regulowane krzesło byłoby bardzo pożądane na statkach handlowych i ze wszystkich rozwiązań to właśnie ono uzyskało najwyższy współczynnik zadowolenia (CS^+). Za Atrakcyjne uznano nie tylko posiadanie tego typu siedziska, ale także siedzenia amortyzujące wstrząsy, natomiast Obojętne okazało się przypisanie foteli indywidualnie do osób.

Pasywną kontrolę drgań i wibracji na statkach można podzielić na trzy kategorie, w zależności od lokalizacji jej zastosowania: u źródła wibracji, na konstrukcji statku, lokalnie w miejscu przebywania człowieka [193]. Badania dotyczące testowania i zastosowania krzeseł z amortyzacją wstrząsów w środowisku morskim są zwykle związane z jednostkami szybkimi (ang. *high speed craft*) oraz z łodziami ratowniczymi, a przykładem są te przeprowadzone przez Gannona [194], czy Alama i in. [195]. Powszechnie na statkach jest stosowanie siedzisk z amortyzacją wstrząsów, jednakże zwykle są one spotykane na mniejszych jednostkach, z powodu ich większej podatności na działanie fal [196].

Krzesła amortyzujące wstrząsy na statkach można podzielić ze względu na zasadę działania na cztery rodzaje: pasywne, adaptacyjne, półaktywne i aktywne [197]. Pasywne fotele nie stosują zwykle prostej amortyzacji mechanicznej, lecz bardziej wydajną amortyzację hydrauliczną (tłok znajduje się w cylindrze wypełnionym gazem lub płynem, co wspomaga pracę sprężyny). Adaptacyjne układy różnią się tym, że pozwalają na zmienianie siły tłumienia, która może być dostosowana przez użytkownika poprzez regulację zaworu. Półaktywna amortyzacja wstrząsów korzysta z czujników do pomiaru zachowania się krzesła w danych warunkach i stałego dostrajania przez komputer siły tłumienia przez regulację zaworów w cylindrze. Z założenia, najbardziej wydajna będzie amortyzacja aktywna, która na podstawie czujników ruchu statku na fali i steruje pracą siłowników [197, 198].

Obecnie na rynku najpopularniejsze są fotele z pasywną lub adaptacyjną amortyzacją wstrząsów [194]. Krzesła z półaktywną i aktywną amortyzacją wiążą się z wyższym kosztem, koniecznością stałego podłączenia do zasilania elektrycznego, a także problemami z niezawodnością pracy czujników i nastawników w niekorzystnym środowisku morskim [199]. Z tego powodu, zalecanym rozwiązaniem są krzesła z pasywną lub adaptacyjną amortyzacją wstrząsów, spełniające ergonomiczne kryteria dotyczące jego konstrukcji.

Zarówno Nachemson [200], jak i Rohlmann i in. [201], uzyskali wyniki sugerujące, że nacisk na krążki międzykręgowe był niższy w przypadku osób opierających się o oparcie. To sugeruje, że pracownicy powinni mieć możliwość ułożenia się w pozycji zrelaksowanej. Z perspektywy zdrowej postawy ciała, ergonomiczne krzesło powinno umożliwiać zachowanie lordozy lędźwiowej bez potrzeby wysiłku mięśniowego. Jest to możliwe przy założeniu, że kąt między powierzchnią siedzeniową i oparciem będzie rozwarto (około 110°), główne wymiary siedziska będą dostosowane do wymiarów użytkownika i charakteru jego aktywności, a także oparcie będzie wymodelowane do kształtu kręgosłupa [66]. Tym samym, ergonomiczne krzesło na mostku nawigacyjnym powinno spełniać poniższe wymagania.

- **Wysokość siedziska** – odpowiednia wysokość płyty siedziska jest w większości przypadków zbliżona do wysokości podkolanowej użytkownika (mierzonej od podłogi do zgięcia podkolanowego) [202, 203]. Tam, gdzie nie można tego osiągnąć, preferowane jest siedzenie niższe niż wyższe, gdyż wraz ze wzrostem wysokości siedziska, powyżej wysokości podkolanowej użytkownika, może występować niekorzystne zjawisko siedzenia na udach. Wynikające z tego zmniejszenie krążenia w kończynach dolnych może prowadzić do „mrowienia”, obrzęku stóp i ogólnego dyskomfortu.

Ze względu na charakter pracy nawigatora, wysokość siedziska będzie jednak zdecydowanie wyższa niż w przypadku prac przy biurku [66, 204]. Z uwagi na wysokość paneli nawigacyjnych i konieczność obserwacji otoczenia przez okna, wysokość siedziska powinna być regulowana w zakresie 630–920 mm (dla porównania, zakres regulacji dla krzesła biurowego to 350–550 mm).

- **Głębokość siedziska** – niekorzystne skutki wysokiego siedziska można złagodzić poprzez skrócenie płyty siedziska i zaokrąglenie jej przedniej krawędzi w celu zminimalizowania nacisku na tylną część ud. Zbyt głęboka płyta siedziska uniemożliwia pełne wykorzystanie oparcia, utrudniając także wstawanie i siadanie, natomiast zbyt płytka powoduje dyskomfort wśród wysokich użytkowników [66, 204]. Głębokość siedziska powinna być regulowana i zawierać się w przedziale 320–400 mm.
- **Szerokość płyty siedziska** – szerokość siedziska powinna być na tyle duża, żeby umożliwiała zmieszczenie się i swobodę ruchów pracownika. Nie powinno być to mniej niż 400 mm [66, 204].

- **Płyta siedziska** – lekkie nachylenie płyty siedziska (przednia część wyżej niż tylna część) pozwala na utrzymanie dobrego kontaktu z oparciem i zapobiega zsuwaniu się, co może być szczególnie istotnie podczas ruchów statku na fali. Z drugiej strony, im większy jest taki kąt nachylenia, tym trudniej o możliwość zachowania odpowiedniej lordozy lędźwiowej. Odpowiednimi kątami są te w zakresie 3–7° [66, 204].

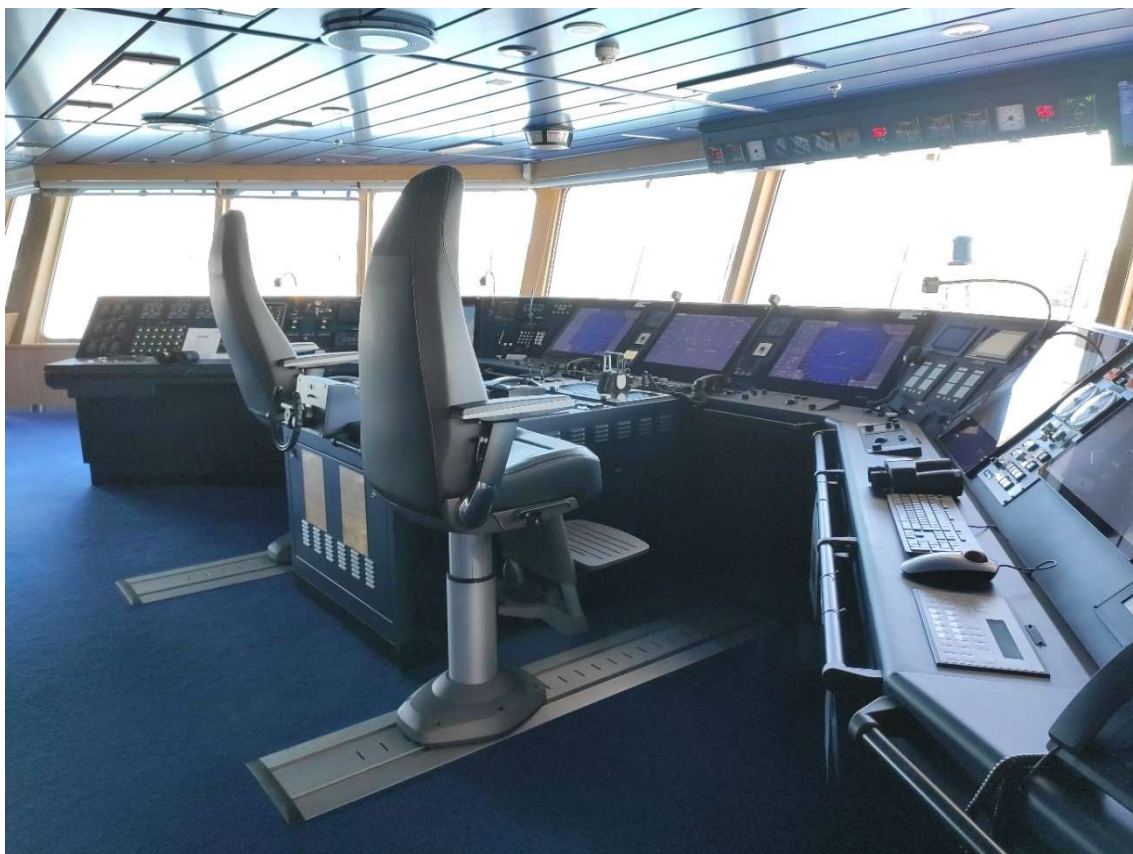
Powierzchnia płyty siedziska powinna być wykonana z relatywnie twardego materiału, odpornego na odkształcenia. Materiał pokrywający powinien być porowaty, by umożliwić odpowiednią wentylację, a także szorstki, dla zapewnienia tarcia i stabilności pozycji [66, 204].

- **Podłokietniki** – jako dodatkowe podparcie, podłokietniki stanowią odciążenie dla obszaru szyjno-barkowego i są pomocne podczas siadania oraz wstawania. Zaleca się, aby były wyłożone miękkim materiałem, by chronić przed urazem nerwu łokciowego. Powinny być regulowane w pionie, tak by znajdowały się w zakresie 200–250 mm od powierzchni płyty siedzeniowej [66, 204].
- **Oparcie pleców** – odpowiednio wymodelowane oparcie powinno umożliwiać zachowanie naturalnych krzywizn kręgosłupa, szczególnie lordozy lędźwiowej. Niskie oparcie stosowane jest zwykle przy pracach często angażujących poruszanie rękoma, zaś wysokie będzie efektywniejsze w podpieraniu ciężaru tułowia, lecz nie może utrudniać ono poruszania barkami. Wysokie oparcie stosuje się często przy pracach pozwalających na unieruchomienie tułowia z głową i szyją, lecz obserwacja otoczenia wymaga wykonywania ruchów głowy przez nawigatora. Sugerowana na mostku nawigacyjnym jest więc średnia wysokość oparcia, obejmująca plecy, a nawet barki. Wysokość takiego oparcia powinna być regulowana i zawierać się w przedziale 500–650 mm [66, 204].

Dodatkowo, oparcie powinno posiadać regulowany zagłówek, tak by całkowita wysokość oparcia, z uwzględnieniem zagłówka, zawierała się w przedziale 800–950 mm [205].

Podparcie lędźwi powinno rozpoczynać się powyżej poziomu siedziska, tak by zapewnić odpowiednią ilość miejsca na pośladki (100–200 mm nad siedziskiem). Maksymalne wyrzuszenie podparcia lędźwi powinno znajdować się w zakresie 170–300 mm nad siedziskiem. Pionowe oparcie nie przynosi wielu korzyści. Kąt jego nachylenia wpływa natomiast na nacisk na krążki międzykręgowe, a sprzyjające będzie odchylenie w zakresie 10–20° do tyłu. Odchylenie większe niż 20° jest niekorzystne przy niskich i średnich wysokościach oparcia, gdyż powoduje, że wysokie partie ciała nie są stabilne podczas siedzenia [66, 204].

- **Podnóżek** – przy dużych wysokościach siedziska zasadne jest stosowanie regulowanego podnóżka, który będzie wsparciem podczas siadania oraz wstawania, a także pomoże w zmniejszeniu negatywnego zjawiska siedzenia na tylnej części ud. Uniwersalna dla potrzeb użytkowników będzie regulacja podnóżka w zakresie 350–500 mm poniżej górnego poziomu siedziska [205].
- **Szyny** – umiejscowione na podłodze zapewniają możliwość zablokowania pozycji krzesła. Długość szyn powinna być na tyle duża, by umożliwić odsunięcie go poza obszar stanowiska roboczego (stanowiska nawigacji i manewrowania oraz stanowiska monitorowania). Jest to szczególnie istotne przy ciężkich, ergonomicznych krzesłach z systemami amortyzowania wstrząsów. Przykładowe krzesło na szynach zostało przedstawione na rys. 5.6. Krzesło powinno ponadto posiadać funkcję obracania się w zakresie 360°, tak by umożliwiać obserwowanie różnych części mostka bez konieczności wstawania.



Rys. 5.6. Regulowane krzesła z amortyzacją wstrząsów i szynami.

Źródło: zdjęcie autorskie.

5.2.5. Podłogowe maty przeciwmęczeniowe

Podczas prowadzenia wachty nawigacyjnej, gdzie nadrzędnym priorytetem jest zapewnienie bezpieczeństwa, co wiąże się z efektywnym prowadzeniem obserwacji i sumiennym wykonywaniem pracy, niemożliwym jest odgórne limitowanie czasu stania, niewątpliwie jednak całą sytuację mogą jeszcze potęgować mostki stojące, niewyposażone w odpowiednie krzesła. Obecne przepisy, ani nawet zalecenia, nie wymagają stosowania mat antyzmęczeniowych na mostkach nawigacyjnych, rekomendowane jest natomiast, aby podłoga była antypoślizgowa [48, 120].

Materiały, z których wykonane jest podłoże posiadają różne właściwości, takie jak sztywność, elastyczność oraz grubość, co ma wpływ na komfort podczas stania [206]. Zgodnie z powyższym źródłem, ale także innymi prowadzonymi badaniami, miękkie i amortyzujące podłoże zapewnia mniejsze zmęczenie mięśni i większy komfort dla człowieka, niż stanie na twardej nawierzchni [207]. Rozwiązaniem problemu długotrwałego stania, które pojawia się stosunkowo często, są antyzmęczeniowe maty podłogowe. Należy zaznaczyć, że maty przeciypoślizgowe lub inne powszechnie stosowane maty nie zawsze posiadają pożądane właściwości powodujące obniżenie zmęczenia. Dla uzyskania tego efektu, maty projektowane są w ten sposób, by powodować niewielkie i naturalne kołysanie ciała, wymuszając drobne ruchy mięśni nóg i poprawiając tym samym krążenie krwi, redukując uczucie zmęczenia [208]. W praktyce, do produkcji takich mat wykorzystywane są różne materiały, które różnią się od siebie

pewnymi właściwościami oraz ceną. Na rynku dostępnych jest cały wachlarz produktów tego typu, lecz najpopularniejsze to:

- **Maty z pianki PVC (ang. *polyvinyl chloride*, polichlorek winylu)**

Wykonane z polichlorku winylu, który jest stosunkowo tanim materiałem, jednakże mniej trwałym niż guma i poliuretan [209, 210]. Są one podatne na czynniki środowiskowe i często tracą swoje właściwości antypoślizgowe przy kontakcie z wodą. W przypadku intensywnego użytkowania mat tego rodzaju można spodziewać się ich pęknięcia, rozdarć lub zwijania się przy krawędziach [210, 211, 212].

- **Maty gumowe**

Istnieje kilka rodzajów gum stosowanych do produkcji mat antyzmęczenia, jednakże najpopularniejsze to kauczuk butadienowo-styrenowy (ang. SBR – *styrene-butadiene rubber*) oraz guma nitylowa. Szczególnie ta druga ceniona jest w środowiskach przemysłowych, ze względu na jej odporność na wiele chemikaliów i możliwość stosowania na obszarach zaolejonych. Gумы stosowane do produkcji mat podłogowych cechują się zwykle dobrymi właściwościami przeciwpoślizgowymi. Produkty takie są bardziej trwałe i odporne na zużycie niż wykonane PVC [210, 211, 212].

- **Maty poliuretanowe**

Poliuretan jest stosunkowo drogi w porównaniu z polichlorkiem winylu lub gumą, co jednak ma przełożenie na dużą trwałość i wysoki poziom zapewnianego komfortu. Jest także materiałem zapewniającym dobrą izolację termiczną [213]. Poliuretan nie jest odporny na wysokie temperatury, dlatego często nie ma zastosowania w przemyśle ciężkim i wymagającym prac gorących, jednakże świetnie nadaje się do środowisk suchych lub lekko wilgotnych [210, 211].

W przeszłości przeprowadzano już badania, które pozytywnie zweryfikowały hipotezy na temat skuteczności mat w redukowaniu zmęczenia osób wykonujących prace na stojąco. Jako przykład można podać badanie, które przeprowadzili Ünver i Orğan [214] korzystając z mat gumowych wśród zespołu chirurgicznego. King [215] uzyskał podobne wnioski w swoim badaniu, stosując maty poliuretanowe wśród pracowników fabryki, a ponadto maty wykonane z tego samego materiału okazały się skuteczne w zmniejszeniu bólów dolnej części pleców [216].

Przy doborze odpowiedniej maty, należy mieć na uwadze ich grubość. Zbyt miękkie podłoże będzie mieć przeciwny skutek, gdyż zwiększy obciążenie mięśni i tym samym ogólne zmęczenie [206, 208]. Grubość i materiał powinny być dostosowane do rodzaju wykonywanej pracy oraz warunków środowiskowych. Zwykle obowiązki biurowe nie wymagają tak dużej amortyzacji podłoża jak przenoszenie ciężarów, a warunki na typowym mostku nawigacyjnym nie wymagają stosowania materiałów odpornych na wysokie temperatury czy chemikalia. Badanie przeprowadzone przez Redferna i Chama [206] pokazuje, że najniższy poziom zmęczenia odczuwany był przy stosowaniu mat o grubości od 3/8 do 5/8 cala (od 9,5 mm do 15,8 mm), a ocena zmęczenia na takich matach była o połowę mniejsza niż dla betonowego podłoża. Maty o grubości w tym zakresie przyniosły także pozytywne rezultaty przy innych badaniach tego typu, które przeprowadzili np. Ünver i Orğan [214], czy King [215]. Przy doborze materiału istotne jest oczekiwany sposób użytkowania w danym miejscu pracy. Nie chodzi tylko o rodzaj

wykonywanych prac, ale także zmienność. Prowadzenie nawigacji odbywa się w systemie wachtowym i jest ciągłe, gdy statek jest w morzu. Można spodziewać się tym samym większego zużycia mat podłogowych niż w przypadku typowej pracy jedno lub dwuzmianowej.

Środowisko pracy na mostku nawigacyjnym jest środowiskiem suchym, nie należy spodziewać się tam wody, zaolejenia lub możliwości pojawienia się iskry podczas normalnej eksploatacji. Tym samym mata nie musi posiadać właściwości antystatycznych lub wysokiej klasy niepalności. Antypoślizgowość jest natomiast dużym atutem, mając na uwadze zalecenia zawarte w cyrkularzu MSC/Circ.982, z uwagi na obniżenie ryzyka poślizgnięcia lub wywrócenia. Maty powinny posiadać frezowane krawędzie, redukujące możliwość potknięcia się o samą matę, leżącą na podłodze [217]. Należy spodziewać się jedynie lekkich lub średnich prac, natomiast podłoga powinna być przygotowana na każdy rodzaj obuwia, także buty robocze. Priorytetem jest także jak najwyższy poziom redukcji zmęczenia, spowodowany długotrwałym stanem w jednej pozycji. Dodatkowym atutem będzie też dobra izolacja termiczna od podłogi.

Podsumowując, biorąc pod uwagę charakterystykę pracy na mostku nawigacyjnym, sugerowana mata antyzmęczeniowa powinna:

- być wykonana z pianki poliuretanowej o gęstości co najmniej 350 kg/m³,
- posiadać strukturę zapewniającą antypoślizgowość i ułatwiającą poruszanie się,
- mieć całkowitą grubość od 3/8 do 5/8 cala (od 9,5 mm do 15,8 mm),
- posiadać dobre właściwości izolujące od zimnych posadzek.

Wyniki badania przeprowadzonego na potrzeby tej rozprawy, przedstawione w podrozdziale 3.5, pokazują, że nawigatorzy spędzają najwięcej czasu w obrębie stanowisk nawigacji i manewrowania oraz monitorowania, a wiele zarejestrowanych tam pozycji było statycznych, co może sugerować prawdopodobieństwo wystąpienia długotrwałego stania podczas pracy. Jeśli pokrycie całej podłogi mostka będzie niepraktyczne ze względu na jego konstrukcję lub koszty dla armatora, wysoce rekomendowane jest korzystanie z antyzmęczeniowych mat przynajmniej w obrębie tych stanowisk.

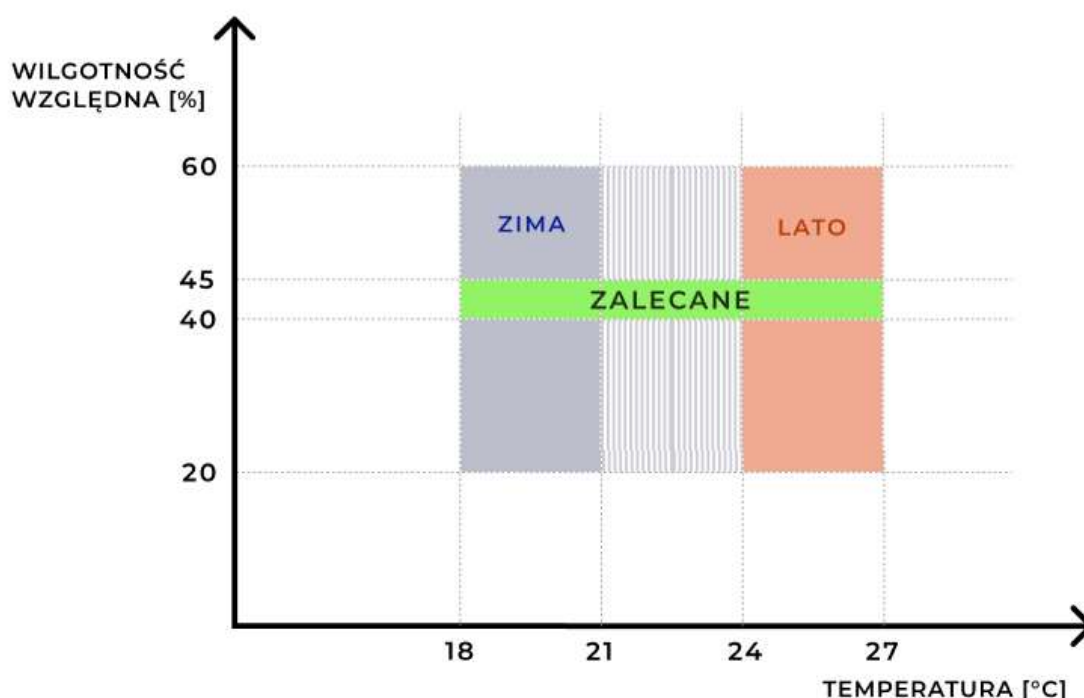
5.2.6. Nawilżacze powietrza

Zalecenia dotyczące temperatury oraz wilgotności w nadbudówce statku dotyczą różnych przestrzeni o wyszczególnionym przeznaczeniu. Pomieszczenia, w których odpoczywa załoga lub przechowywany jest prowiant mogą posiadać inne wymagania niż obszary, w których wykonywana jest praca związana z eksploatacją statku. Zarówno dokument MSC/Circ.982 oraz norma ISO 8468:2007 określają te same przedziały zalecanej temperatury i wilgotności powietrza na mostku nawigacyjnym, czyli:

- Temperatura w zakresie 21°C–27°C w ciepłym klimacie lub latem oraz 18°C–24°C w chłodnym klimacie lub zimą. Dodatkowo wytyczne ABS podają, że jeśli nie ma możliwości ustawienia temperatury, to powinno być to 22°C ±1°C, mierząc na odpowietrzniku (ang. *air return vent*) [135],
- Wilgotność względna w zakresie 20%–60%, preferowanie 40%–45%. Zalecaną wartością wilgotności względnej w temperaturze 21°C jest 45%, co powinno maleć wraz

ze wzrostem temperatury. Wilgotność powinna jednak zawsze być wyższa niż 20% w celu zapobiegania podrażnieniom oraz wysuszaniu skóry, oczu i dróg oddechowych [48, 49].

W badaniach ankietowych przeprowadzonych na potrzeby tej rozprawy, opisanych w podrozdziale 3.3.2, 57,8% ankietowanych nawigatorów uznało wilgotność powietrza na swoich mostkach za nieodpowiednią (zbyt niską lub zbyt wysoką), co było istotnie powiązane z odczuwalnym poczuciem niskiego komfortu w pracy. To właśnie wilgotność względna jest jednym z najważniejszych czynników w odczuwaniu ciepła i ogólnego komfortu cieplnego [218]. Oprócz tego, przeprowadzone w przeszłości badania dowodzą, że produktywność człowieka w zadaniach na myślenie i pisanie pogarsza się w niekomfortowych zakresach temperatury i wilgotności powietrza [219]. Na rys. 5.7 przedstawiono odpowiednie dla komfortowej pracy zakresy wilgotności względnej w powietrzu w zależności od temperatury.



Rys. 5.7. Wartości wilgotności względnej na mostku w stosunku do temperatury w pomieszczeniu.
Źródło: opracowanie własne na podstawie: International Maritime Organization [48] i International Organization for Standardization [49].

Wilgotność bezwzględna jest stosunkiem masy pary do objętości całej mieszaniny gazu wilgotnego, zaś wilgotność względna jest stosunkiem wilgotności bezwzględnej do jej maksymalnej wartości w danej temperaturze [220]. Jako najważniejszą zależność w odniesieniu do mostka nawigacyjnego można uznać to, że przy ociepleniu powietrza następuje spadek wilgotności względnej, gdyż powietrze może zaabsorbować więcej pary wodnej wraz ze wzrostem temperatury, przy czym wartość wilgotności bezwzględnej pozostaje taka sama [221].

Według zaleceń MSC/Circ.982 i normy ISO 8468:2007, sterówka powinna być wyposażona w klimatyzację lub mechaniczną wentylację umożliwiającą regulację temperatury

i wilgotności. Jeśli mostek nawigacyjny posiada już możliwość kontroli tych czynników, nie ma konieczności wyposażania go w dodatkowe urządzenia. Przykładowy panel do utrzymywania zadanej temperatury i wilgotności w pomieszczeniu pokazano na rys. 5.8.



Rys. 5.8. Klimatyzacja na mostku z panelem do regulacji temperatury i wilgotności powietrza.
Źródło: zdjęcie autorskie.

W odniesieniu do wyników badania ankietowego przeprowadzonego na potrzeby tej pracy, opisanych w podrozdziale 3.3.2, tylko 3,5% respondentów stwierdziło, że powietrze na ich mostku jest zbyt wilgotne. O wiele bardziej problematyczna była suchość, co może być związane ze zwykłym działaniem wentylacji lub klimatyzacji bez funkcji kontroli wilgotności. Nawiew, który pozwala na ochłodzenie lub ocieplenie powietrza nie jest niczym nowym w branży, jednakże utrzymywanie odpowiednich zakresów wilgotności może być problematyczne, przeważnie na

starych statkach. Zapewnienie nawiewu i odpowiedniej temperatury na statku powinno być zagadnieniem konstrukcyjnym, gdyż wysoce niepraktycznym byłoby stosowanie np. elektrycznych piecyków grzewczych, których dotknięcie grozi poparzeniem. Zważywszy na to, zasadne byłoby wspomaganie mostków w zakresie zapewnienia odpowiedniej wilgotności powietrza, pozwalając nawigatorom na regulowanie temperatury według ich własnych preferencji. Istnieje kilka rodzajów nawilżaczy służących do kontroli wilgotności powietrza w pomieszczeniu, najpopularniejsze z nich to:

- Nawilżacze parowe

Wyposażone są one w grzałkę, która doprowadza wodę do wrzenia, co zabija patogeny [222]. Następnie, para jest schładzana przed jej wyemitowaniem do pomieszczenia i zwiększeniem wilgotności powietrza, jednakże samo urządzenie może się nagrzewać i powodować ryzyko oparzenia [223], co może być niebezpieczne na statkach, szczególnie podczas złej pogody i kołysania na fali.

- Nawilżacze ultradźwiękowe

Wykorzystują falę dźwiękową o bardzo wysokiej częstotliwości do rozbijania cząsteczek wody i wytworzenia mgiełki nawilżającej powietrze [222]. Jako zalety tego typu urządzeń można uznać ich energooszczędność oraz cichą pracę. Nowsze modele wyposażone są ponadto w grzałki umożliwiające wypuszczanie nie tylko chłodnej, ale także ciepłej mgiełki. Jako wadę należy wskazać natomiast konieczność stosowania wody zdemineralizowanej, w celu uniknięcia przenikania alergenów i zanieczyszczeń do powietrza wraz z mgiełką wodną, na co wskazują przeprowadzone w przeszłości badania [224].

- Nawilżacze ewaporacyjne

Zasadą ich działania jest wymuszony przepływ zaciągniętego powietrza przez mokre maty ewaporacyjne lub filtry, tym samym nawilżenie go i ponowne wypuszczenie do otoczenia [222]. Jest to bardzo bezpieczny sposób na osiągnięcie odpowiedniej wilgotności w pomieszczeniu. Badania wykazały, że urządzenia te wykazują bardzo mały wpływ na pogorszenie jakości powietrza, niezależnie od rodzaju stosowanej wody, czego nie można powiedzieć o nawilżaczach ultradźwiękowych [225]. Jako problematyczne może być uznana natomiast konieczność wymiana mat lub filtrów w urządzeniu zgodnie z zaleceniami producenta, gdyż może okazać się to kosztowne w dłuższej perspektywie.

Zważywszy na charakterystykę powyższych typów nawilżaczy powietrza, najbardziej odpowiednie na statkach wydają się te ewaporacyjne. Nie generują one ryzyka oparzenia, można używać w nich wodę niemal każdej jakości i wymagają jedynie prostej okresowej konserwacji. Statki eksploatowane są w różnych rejonach, a często woda, z której korzystają jest słabej jakości lub pochodzi z niezauważanych źródeł, chyba że korzystano by z wody pitnej. Nawilżacz na mostku powinien być wyposażony w przyrząd do pomiaru wilgotności względnej, jednak ze względu na rozmiary pomieszczenia jakim jest mostek nawigacyjny zasadne byłoby wyposażenie mostka w dodatkowe punkty pomiarowe. Wilgotność względną można mierzyć higrometrem albo dwoma termometrami, z których jeden jest suchy i jeden mokry, czyli psychometrem [220].

Na rynku istnieją nawilżacze przeznaczone do użytku przemysłowego lub do dużych pomieszczeń komercyjnych. Sugerowany ewaporacyjny nawilżacz powietrza na mostku nawigacyjnym powinien charakteryzować się:

- regulowaną prędkością wentylatora,
- zbiornikiem na wodę o pojemności 50 l ze wskaźnikiem poziomu lub możliwością stałego podłączenia wody,
- systemem filtracji powietrza,
- systemem sterylizacji powietrza,
- wbudowanym higrostatem elektronicznym z zakresem 30%–80% wilgotności względnej,
- głośność pracy nie większą niż 60 dB,
- zasilaniem 220–240 V,
- efektywnością użytkowania w pomieszczeniu o kubaturze danego mostka nawigacyjnego.

5.3. Rozwiązania systemowe

Automatyzacja czynności związanych z czynnikami środowiskowymi w pomieszczeniu jest istotna nie tylko dla efektywności i komfortu operatora, ale także z uwagi na to, że nie wszystkie problemy mogą zostać rozwiązane za pomocą szkolenia załóg i wyposażenia mostka w ergonomiczny sprzęt. Z założenia, zastosowanie proponowanych rozwiązań systemowych miałyby odciążać nawigatorów z rutynowych obowiązków związanych z kontrolą warunków panujących na mostku, niemalże bez konieczności nauki ich obsługi przez załogę. Krótkie zapoznanie z nowymi rozwiązaniami i prostota ich używania zostały sklasyfikowane jako atrakcyjne w badaniu ankietowym z wykorzystaniem modelu Kano, przeprowadzonym w toku tej pracy, a także były sugerowane przez nawigatorów w wywiadach eksperckich. Opracowane rozwiązania systemowe składają się na System Wspomagania Ergonomii Mostka Nawigacyjnego, który stanowi autorską koncepcję opracowaną w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej.

5.3.1. Algorytm wyznaczający wzniesienie Słońca i rzeczywisty azymut

Podstawą działania całego Systemu Wspomagania Ergonomii Mostka Nawigacyjnego jest algorytm oparty na astronawigacji. Obliczenia astronomiczne są wciąż używane w dzisiejszej nawigacji, np. do wyznaczenia poprawki całkowitej kompasu magnetycznego i poprawki żyrokompasu, które znajdują się na statku [226]. Potrzebna jest do tego znajomość rzeczywistego azymutu (ang. *true azimuth*) wybranego ciała niebieskiego, w tym przypadku Słońca. Znając swoją pozycję geograficzną, efemerydy dla danego ciała niebieskiego i dokładny czas, możliwe jest obliczenie rzeczywistego azymutu metodą kąta godzinnego [227]. Użycie zasłonek przeciwsłonecznych będzie zasadne tylko od wschodu do zachodu Słońca, dlatego oprócz rzeczywistego azymutu potrzebna będzie też znajomość wzniesienia Słońca ponad horyzont w danym momencie.

Opisana metoda pozwoli na wyznaczenie wzniesienia Słońca oraz jego azymutu, mając jako dane wejściowe pozycję geograficzną oraz datę i czas UTC (*Coordinated Universal Time*), otrzymywane z odbiornika globalnego systemu nawigacji satelitarnej (np. GPS). Cały proces, opisany szczegółowo w załączniku H, określono na potrzeby tej pracy jako „Algorytm 1.”.

5.3.2. Automatyczne rozwijanie i zwijanie zasłonek przeciwsłonecznych

Algorytm 1. pozwoli na wyznaczenie wzniesienia Słońca oraz jego azymutu rzeczywistego, mając jako dane wejściowe pozycję geograficzną oraz datę i czas UTC, zaimportowane z odbiornika GPS. Następnym krokiem jest ustalenie, które zasłonki przeciwsłoneczne powinny być rozwinięte, a które zwinięte w danej chwili. Niepraktycznym byłoby założenie, żeby używać wszystkich dostępnych zasłonek przeciwsłonecznych na mostku, gdy tylko Słońce znajdzie się powyżej linii horyzontu. Zasadnym jest używanie zasłonek od świtu do zmierzchu, ale w kierunku, z którego obserwowane jest Słońce. Wschód oraz zachód Słońca mają miejsce, gdy górny punkt tarczy słonecznej jest styczny z linią horyzontu, czyli gdy środek Słońca znajduje się 50 minut kątowych poniżej linii horyzontu [228].

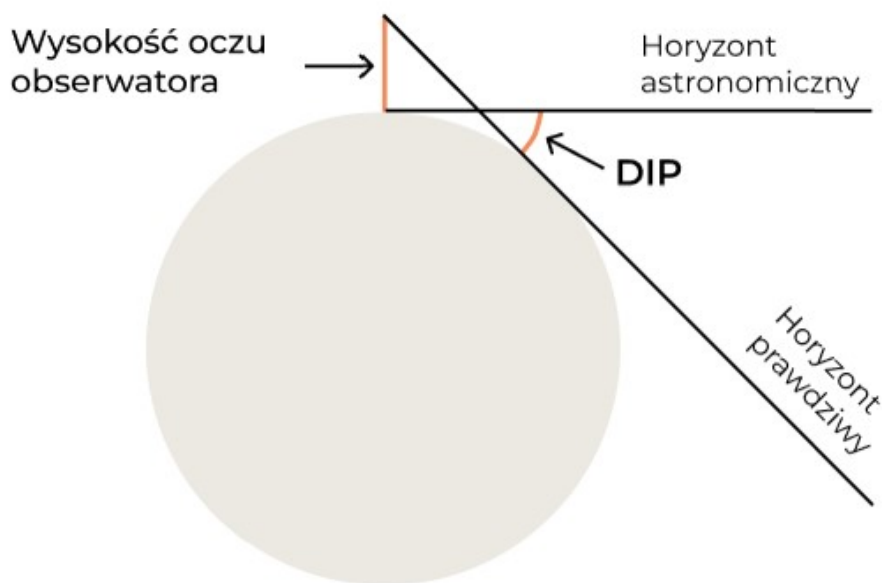
W przypadku wykonywania obserwacji na morzu, na dużych statkach o mostku znajdującym się wysoko nad wodą należy uwzględnić także poprawkę na wysokość oczu obserwatora, powodujące obniżenie horyzontu prawdziwego względem astronomicznego. Kąt takiego obniżenia (DIP), przedstawiony na rys. 5.9, można wyznaczyć wzorem (5.1):

$$DIP = 1,76 \times \sqrt{H} \quad (5.1)$$

gdzie:

DIP – kąt obniżenia horyzontu prawdziwego względem astronomicznego [°],

H – wysokość oczu obserwatora [m] [229].



Rys. 5.9. Kąt obniżenia horyzontu prawdziwego względem astronomicznego (DIP).
Źródło: opracowanie własne na podstawie: United Kingdom Hydrographic Office [229].

Wysokość oczu obserwatora, w przybliżeniu równa wysokości okien mostka nad powierzchnią wody, można obliczyć znając konstrukcyjną wysokość mostka od dna statku i odejmując od tego jego aktualne zanurzenie. Wartość ta będzie różnić się więc nie tylko na różnych statkach, ale także w różnych stanach załadowania. Biorąc pod uwagę powyższe czynniki, zasłonki powinny być rozwinięte gdy obliczone wzniesienie Słońca jest większe niż 50 minut kątowych poniżej linii horyzontu, pomniejszone następnie o kąt obniżenia horyzontu prawdziwego względem astronomicznego, co opisuje wzór (5.2):

$$H_c \geq -\frac{50}{60} - DIP \quad (5.2)$$

gdzie:

H_c – wzniesienie Słońca [°],

DIP – kąt obniżenia horyzontu prawdziwego względem astronomicznego [°].

Znając azymut rzeczywisty, możliwe jest wyznaczenie kąta kursowego na Słońce. Kąt kursowy liczony jest w tym przypadku w systemie okrężnym, a więc od 0 do 360°, zgodnie z ruchem wskazówek zegara, zaczynając od dziobowego kierunku osi symetrii statku do namierzanego obiektu. Jako źródło danych o aktualnym kursie statku może posłużyć żyrokompas, zgodnie z Konwencją SOLAS będący obowiązkowym wyposażeniem na statkach o pojemności brutto 500 i powyżej [40]. Kąt kursowy na Słońce można opisać wzorem (5.3), który stanowi ważną część Algorytmu 2.:

$$\angle k = Z_n - K \quad (5.3)$$

gdzie:

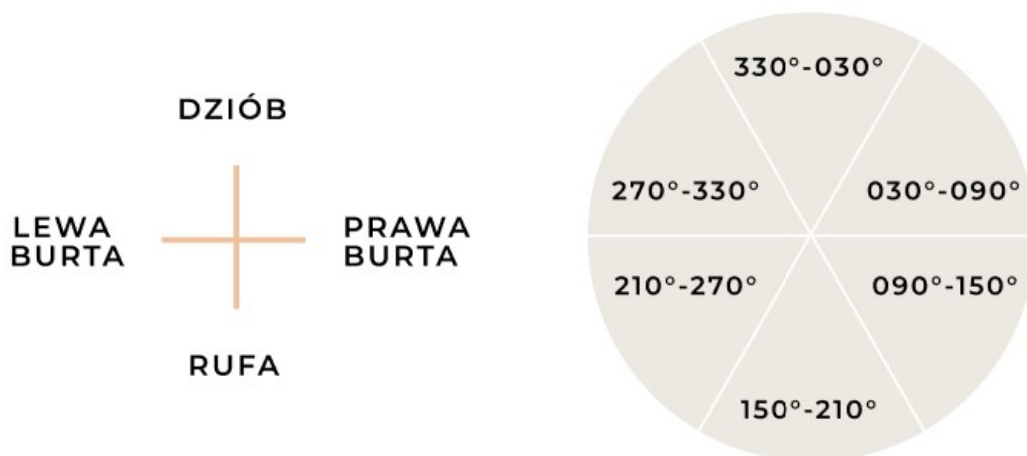
$\angle k$ – kąt kursowy na Słońce [°],

Z_n – azymut rzeczywisty Słońca [°],

K – kurs statku [°].

Jeżeli kąt kursowy będzie mniejszy niż 0, należy powiększyć go o 360°.

Z uwagi na efekt skali, statek, a dokładniej sam mostek nawigacyjny, można uznać za punkt na Ziemi. Na potrzeby tego rozwiązania, horyzont wokół statku podzielono na sześć sektorów, co przedstawiono na rys. 5.10, natomiast statek znajduje się w środku okręgu.

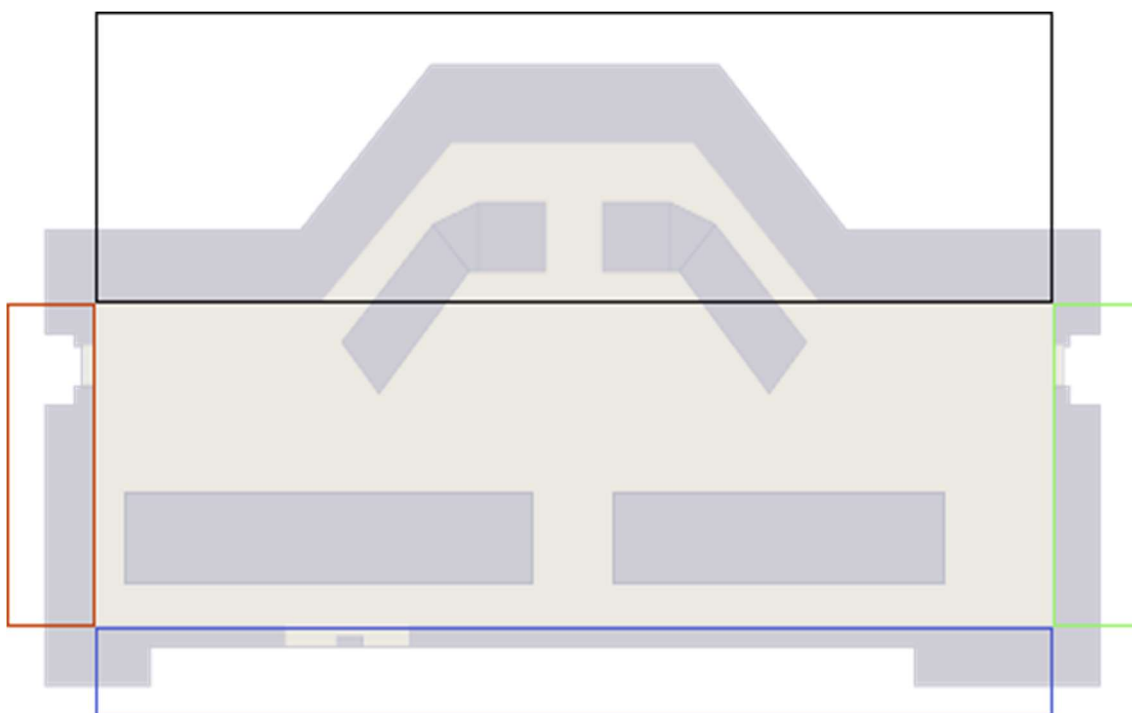


Rys. 5.10. Podział na sektory kątów kursowych.

Gdy wzniesienie Słońca jest większe lub równe wartości horyzontu prawdziwego, a Słońce znajduje się na kącie kursowym w przedziale:

- 330° – 030° – wysunięte zostaną zasłony frontowe,
- 030° – 090° – wysunięte zostaną zasłony frontowe i prawej burty,
- 090° – 150° – wysunięte zostaną zasłony tylne i prawej burty,
- 150° – 210° – wysunięte zostaną zasłony tylne,
- 210° – 270° – wysunięte zostaną zasłony tylne i lewej burty,
- 270° – 330° – wysunięte zostaną zasłony frontowe i lewej burty.

Przykładowy mostek nawigacyjny, podzielony na grupy zasłonek, przedstawiono na rys. 5.11. Kolorem czarnym zaznaczono zasłony frontowe, zielonym z prawej burty, brązowym z lewej burty i niebieskim tylne.

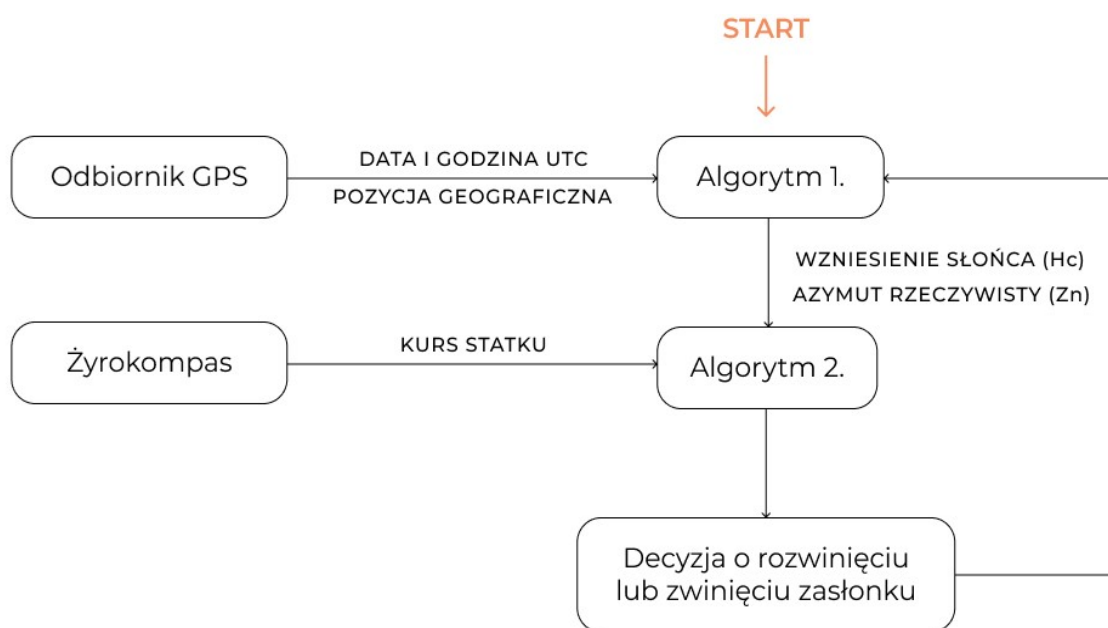


Rys. 5.11. Grupy zasłonek na mostku nawigacyjnym.

Zadaniem Algorytmu 2. jest więc określenie, czy Słońce znajduje się powyżej linii horyzontu prawdziwego, a także relatywnego położenia statku względem Słońca, w celu wyznaczenia czy dana sekcja zasłonek przeciwsłonecznych powinna być rozwinięta, czy zwinięta. Dla poprawnego działania, wejściowymi danymi niezbędne są, wyznaczone za pomocą Algorytmu 1., wzniesienie Słońca (H_c) oraz azymut rzeczywisty (Z_n), a także dane dotyczące kursu statku z urządzeń nawigacyjnych. Z uwagi na myśkowanie statku, algorytm powinien działać z częstotliwością obliczania wynoszącą 30 sekund. W przeciwnym wypadku, gdyby Słońce znajdowało się na pograniczu sektorów, możliwa byłaby sytuacja, w której zasłony wysuwały i zasuwały się z niepożądaną, rozpraszającą częstością. Dlatego polecenie wysunięcia nowych lub zasłonięcia dotychczas używanych zasłon przeciwsłonecznych powinno wystąpić dopiero po zmianie sektora o co najmniej 5° .

Ręczne zasłonki przeciwsłoneczne nie są niczym nowym na statkach handlowych. Jednak, jak wynika z badania przeprowadzonego na potrzeby tej pracy, częste dostrajanie środowiska pracy na mostku nawigacyjnym do zmiennych warunków zostało uznane za obciążające lub rozpraszające przez 74,4% ankietowanych nawigatorów. Problem częstego zwijania i rozwijania zasłonek przeciwsłonecznych, np. ze względu na częste zmiany kursu i ustawienie statku względem Słońca, może być jeszcze bardziej uciążliwy na szerokich statkach, wyposażonych nawet w kilkadziesiąt takich zasłonek.

Na rynku dostępne są elektrycznie sterowane zasłonki przeciwsłoneczne, pracujące na napięciu 230 V prądu zmiennego lub 24 V prądu stałego, co umożliwia korzystanie z nich na większości statków. Takie rozwiązanie wciąż wymaga jednak wydania sygnału od operatora, by zasłonki rozwinęły się lub zwinęły. Może być to dokonane za pomocą przenośnego pilota lub zamontowanego na stałe panelu, lecz często przy dużym zagęszczeniu ruchu i wykonywaniu manewrów antykolizyjnych może nie być na to czasu. W celu faktycznego odciążenia nawigatorów od ręcznego sterowania zasłonkami przeciwsłonecznymi zasadnym jest przeprowadzenie automatyzacji tego procesu. Podsumowując, automatyzacja procesu zwijania i rozwijania zasłonek przeciwsłonecznych na mostku nawigacyjnym została przedstawiona na rys. 5.12.



Rys. 5.12. Proces rozwijania i zwijania zasłonek przeciwsłonecznych na mostku nawigacyjnym.

Zasłonki powinny mieć więc możliwość ręcznego zasuwania i musi to mieć priorytet nad pracą automatyczną. Dotyczy to także zasłonek elektrycznych, również w przypadku awarii zasilania. Założenie to spełniać będą produkty bez kasety, która mogłaby wydatnie utrudnić ręczne zwijanie rolety w rulon. Innym sposobem mogłoby być podłączenie zasłonek do awaryjnego źródła zasilania, ale to wysoce niepraktyczne rozwiązanie.

5.3.3. Aktywne tłumienie hałasu – rozwiązanie odrzucone

Aktywne tłumienie hałasu bazuje na zjawisku interferencji fal i jest możliwe jedynie w określonych warunkach. Na falę akustyczną nakładana jest inna, przez co następuje w tym przypadku osłabienie wypadkowej fali. Aktywne tłumienie hałasu można zastosować w niewielkich pomieszczeniach (porównywalnych z długością fali akustycznej), dlatego jest praktycznie niemożliwe do wykorzystania na mostkach nawigacyjnych, szczególnie o dużych rozmiarach. Interferencja fal o różnych źródłach emisji w jednym miejscu spowoduje osłabienie fali, ale w innym już wzmocnienie [77].

5.3.4. Automatyczne dostrajanie głośności radia GMDSS – rozwiązanie odrzucone

Poziom hałasu na mostku nawigacyjnym nie zawsze jest stały, mogą występować tam czynniki i dźwięki o poziomie wybijającym się ponad dźwięki tła, wliczając w to także rozmowy obsady nawigacyjnej i alarmy. W celu dobrego zrozumienia mowy można przyjąć, że poziom ciśnienia dźwięku takiego sygnału powinien być wyższy o około 15 dB niż dźwięków otoczenia [230, 231].

Poziom ciśnienia akustycznego jest miarą głośności w danej odległości od źródła. Ze względu na rozprzestrzenianie się fal dźwiękowych we wszystkich kierunkach, będzie on maleł wraz ze wzrostem odległości i można wyrazić go wzorem (5.4):

$$L_p = L_w - 20 \log r - 11 \quad (5.4)$$

gdzie:

L_p – poziom ciśnienia akustycznego w danej odległości od źródła [dB],

L_w – poziom mocy akustycznej emitowanej ze źródła [dB],

r – odległość od źródła [m] [232, 233].

W obliczeniach poziomu ciśnienia akustycznego należy uwzględniać także ośrodek, w którym rozchodzi się dźwięk. Pochłanianie dźwięku zależy od częstotliwości fali, wilgotności i temperatury powietrza oraz ciśnienia atmosferycznego [232, 233]. Z uwagi na stosunkowo niewielkie wymiary pomieszczenia, a także małe wahania warunków środowiskowych, można by było pominąć pochłanianie dźwięku przez powietrze w obliczeniach.

Istotna dla automatycznego dostrajania głośności radia do komunikacji zewnętrznej na mostku byłaby znajomość aktualnej pozycji, w której przebywa nawigator, a także poziomu hałasu w tym miejscu. W takiej pozycji powinien znajdować się miernik poziomu dźwięku, stale rejestrujący poziom ciśnienia akustycznego w decybelach. Na podstawie dokonanego pomiaru i przekształceniu wzoru (5.4), oszacowany zostałby wymagany poziom mocy akustycznej radia, tak by w znanej odległości od źródła, osiągnął 15 dB więcej niż zarejestrowany w tym samym miejscu pomiaru.

Efektywny nasłuch na urządzeniach systemu GMDSS jest jednym z elementów prowadzenia odpowiedniej obserwacji, zgodnie z COLREG [234]. Istnieją uzasadnione obawy związane z nieodpowiednim dopasowaniem głośności radia GMDSS do ogólnego poziomu hałasu panującego w pomieszczeniu. Może być to spowodowane np. błędem samego pomiaru, zanieczyszczeniem lub uszkodzeniem mikrofonu mierzącego poziom ciśnienia akustycznego lub

przebywaniem oficera wachtowego w nieprzewidzianym miejscu na mostku. W dodatku problematyczne byłoby określanie pozycji oficera na podstawie samych pomiarów ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu.

Zgodnie ze standardami techniczno-eksploatacyjnymi dla statkowych instalacji radiowych, odbiorniki systemu GMDSS powinny być wyposażone w ręczne kontrolowanie głośności [235]. Automatyczne dostrajanie głośności nie jest tam poruszone, lecz nie jest także jednoznaczne, czy nie stoi w sprzeczności z powyższymi przepisami. Oprócz tej niepewności, dochodzi także potrzeba ingerencji w samo urządzenie, gdyż głośnik jest jego integralną częścią, nie można więc podjąć działań w tym kierunku bez zgody producenta radia. Poziom dźwięku w urządzeniach GMDSS jest regulowany za pomocą standardowego pokrętła lub dwóch oddzielnych przycisków, jednego do zgłoszenia i jednego do ściszenia głośników [236]. Automatyczne dostrajanie głośności radia GMDSS wykracza więc znacznie poza zakres tej pracy.

5.3.5. Automatyczna regulacja oświetlenia pomieszczenia – rozwiązanie odrzucone

Z uwagi na skomplikowane zagadnienie dostosowywania natężenia oświetlenia panującego w pomieszczeniu do zmiennych warunków otoczenia zewnętrznego, zasadne może okazać się dostrajanie luminancji ekranów, na których prowadzona jest nawigacja, a nie oświetlenia na mostku. Wskazanie optymalnego poziomu oświetlenia przy pracy z ekranami, które emitują światło, jest kwestią kontrowersyjną, co jest wynikiem ciężkich do osiągnięcia rekomendowanych kontrastów luminancji w polu bezpośredniego otoczenia [67]. Ponadto, dostrajanie poziomu natężenia oświetlenia w pomieszczeniu może być utrudnione ze względu na automatyczną pracę zasłonek przeciwsłonecznych.

Równomiernie oświetlony mostek został sklasyfikowany jako funkcjonalność Obojętna w badaniu satysfakcji nawigatorów modelem Kano, co przedstawiono w podrozdziale 3.4. Zdecydowano się więc nadać priorytet innym rozwiązaniom, rezygnując z prac nad automatyczną regulacją oświetlenia pomieszczenia.

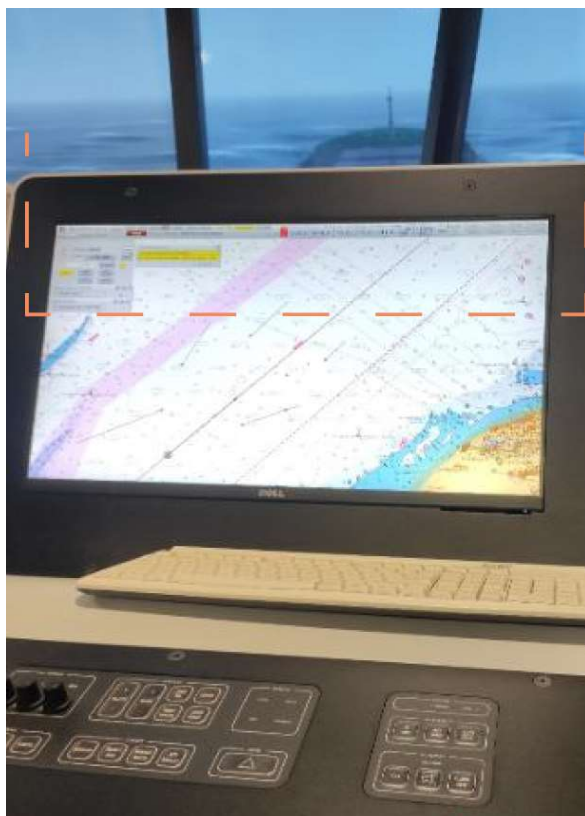
5.3.6. Automatyczne dostrajanie luminancji ekranów na mostku

Zalecenia MSC/Circ.982 wskazują, że należy unikać dużych kontrastów jasności między obszarem roboczym a otoczeniem, precyzując jednocześnie, że powinno być to nie więcej niż trzykrotna różnica luminancji. Wartości te są zbieżne z wieloma innymi źródłami dotyczącymi ergonomicznych stanowisk pracy [67], jednakże jest to trudne do zrealizowania w przypadku pracy z ekranami lub wyświetlaczami, dlatego dopuszcza się w tym przypadku mniejsze współczynniki kontrastu [66, 237]. Trudności te wynikają z różnic jasności między ekranem monitora a pozostałym wyposażeniem, toteż istotne jest skupienie się na utrzymanie jednolitej luminancji w polu widzenia operatora a także eliminowanie możliwości wystąpienia zjawiska olśnienia [66].

Rozwiązaniem systemowym mającym na celu przeciwdziałanie zjawisku olśnienia i niekorzystnych kontrastów luminancji w polu widzenia, przy korzystaniu z kluczowych urządzeń nawigacyjnych, jest automatyzacja procesu dostrajania luminancji ekranów w stosunku do

warunków oświetlenia panujących obecnie na mostku. Zgodnie z zaleceniami MSC/Circ.982, źródła światła na mostku powinny być rozmieszczone i zaprojektowane tak, by unikać możliwości wystąpienia zjawiska olśnienia, zarówno od powierzchni roboczych i wyświetlaczy [48], jednakże nie zawsze da się to spełnić w praktyce. Istnieje wiele badań poświęconych poszukiwaniom optymalnych wartości luminancji ekranów w stosunku do natężenia oświetlenia otoczenia, a za przykład mogą posłużyć artykuły Kim S.-R. i in. [71], Kim M. i in. [238], a także Zeng i in. [239]. Oświetlenie otoczenia na mostku nawigacyjnym może zmieniać się w obrębie dwóch skrajności. Od bardzo jasnego światła słonecznego, które utrudnia odczytywanie informacji z ekranów, do warunków nocnych, gdy wyświetlacze ECDIS są głównym źródłem światła na mostku i nie powinny one wpływać na przystosowanie wzroku marynarzy do ciemności [240, 241]. Możliwość dostosowania luminancji wyświetlaczy przez operatora jest powszechnie dostępna na urządzeniach nawigacyjnych, lecz automatyzacja tego procesu nie jest przytaczana w kontekście zalecania, odradzania lub zakazywania jej stosowania podczas prowadzenia nawigacji. W odniesieniu do wyników badania satysfakcji modelem Kano, przedstawionych w podrozdziale 3.4, automatyzacja tego procesu została uznana przez nawigatorów za cechę Atrakcyjną.

Automatyczna kontrola jasności ekranu w stosunku do oświetlenia otoczenia występuje np. w wielu smartfonach. Czujnik oświetlenia otoczenia (ang. *ambient light sensor*) jest zwykle umiejscowiony w przednim panelu wyświetlacza i mierzy natężenie oświetlenia padającego na powierzchnię ekranu. Za rekomendowane umiejscowienie czujnika oświetlenia otoczenia w przypadku wyświetlaczy komputerów, uznaje się górne okolice ekranu, tak by czujnik był zwrócony w kierunku użytkownika [242], co przedstawiono na rys. 5.13.



Rys. 5.13. Zalecane obszary umiejscowienia czujnika oświetlenia otoczenia.

Na podstawie otrzymanych wartości aktualnego natężenia oświetlenia, dostosowywana jest jasność ekranu, tak by zarówno w jasnym i ciemnym środowisku wpływała korzystnie na komfort pracy i minimalizowała możliwość wystąpienia olśnienia [243]. Nie istnieją jednoznacznie określone wartości optymalne, dlatego większość producentów korzysta ze swoich baz danych, prowadząc badania nad preferencjami i doświadczeniem użytkowników (ang. UX – *user experience*). Lin i in. [244] przeprowadzili w przeszłości badania na pilotach samolotów, gdzie próbowano ustalić optymalną jasność ekranów urządzeń w kokpitach, uwzględniając komfort i wydajność pracy, a także zmęczenie. Porównując pracę pilota samolotu oraz nawigatora na statku, można uznać je za podobne, jeśli chodzi o efektywne korzystanie z urządzeń. Wykorzystując przytoczone powyżej badania, optymalną jasność ekranów w stosunku do natężenia oświetlenia otoczenia przedstawiono wzorem (5.5):

$$OP = 61,79 + 1,05 \times Am^{0,73} \quad (5.5)$$

gdzie:

OP – optymalna wartość luminancji wyświetlaczy [cd/m^2],

Am – natężenie oświetlenia otoczenia [lx] [244].

Luminancja ekranów może być wyrażana:

- w procentach – na podstawie wartości procentowych w zakresie od 0 do 100%, którym pewne wartość kandeli na metr kwadratowy,
- w kandelach na metr kwadratowy (cd/m^2) – na podstawie wartości kandeli na metr kwadratowy, gdzie każdy poziom zostanie skalibrowany, co umożliwia bardzo płynne i dokładne przejścia jasności [245].

Ludzki wzrok jest bardziej wrażliwy na zmiany luminancji ekranu przy jej niskich poziomach, dlatego utworzenie percepcyjnie liniowego suwaka jasności powinno być zrealizowane na podstawie wzoru wykładniczego. Częstym zabiegiem jest więc mapowanie, tak aby przy niskich wartościach procentowych różnice luminancji były mniejsze niż przy wysokich [245]. Zabieg ten jednocześnie oznacza, że zadana procentowa wartość najprawdopodobniej nie będzie odpowiadać procentowej wartości maksymalnej liczby kandeli na metr kwadratowy oferowanej przez wyświetlacz, gdyż te ustawienia mogą różnić się w zależności od producenta sprzętu lub oprogramowania.

Luminancja nowoczesnych wyświetlaczy ECDIS często osiąga 500 cd/m^2 , a nawet 1000 cd/m^2 , co może wspomagać korzystanie z urządzeń nawigacyjnych w bardzo jasnych warunkach, takich jak bezpośrednio padające światło słoneczne [247]. Z uwagi na istotne znaczenie kolorów wyświetlanych na ECDIS, muszą być one kalibrowane zgodnie ze standardami IHO S-52, IEC 61174:2015 oraz IEC 62288:2021 [240, 247, 248]. Wielu producentów oferuje wyświetlacze ECDIS z luminancją znacznie przewyższającą zalecane wartości podane w MSC/Circ.982. Ostateczna decyzja zależy od towarzystwa klasyfikacyjnego, które potwierdza zgodność konstrukcji i wyposażenia z międzynarodowymi konwencjami [249].

Niedokładność pomiarów wykonywanych przez luksomierz może prowadzić do częstych zmian luminancji, a co za tym idzie – do trudności w odczytywaniu informacji z ekranów, szczególnie przy niskich wartościach natężenia oświetlenia otoczenia. W celu zmniejszenia

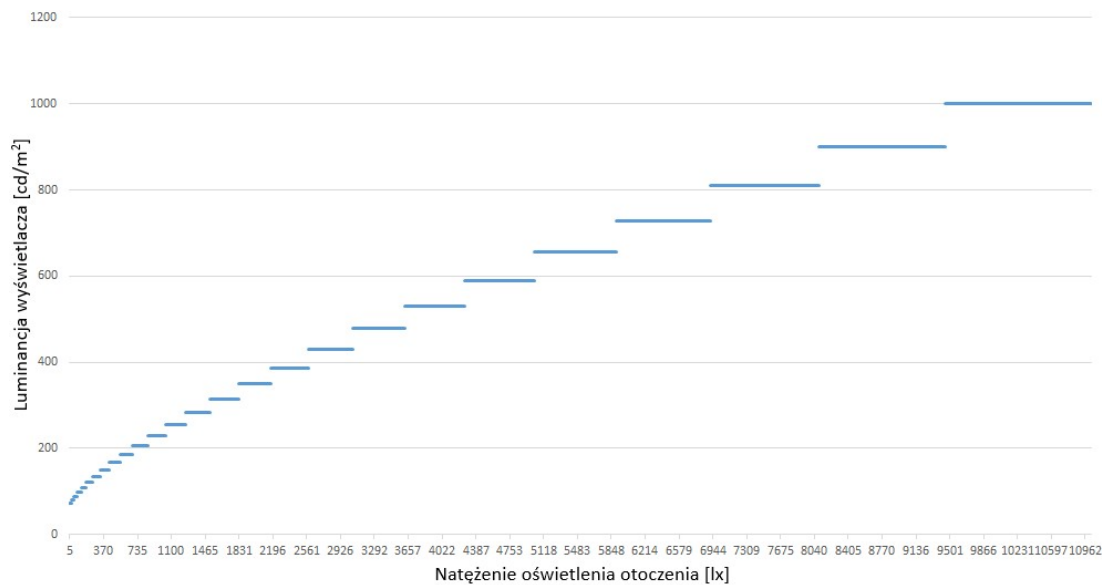
częstego wahania jasności wyświetlacza, które może być rozpraszające dla operatora, zdecydowano, że dostrajanie jasności nie będzie ciągłe, lecz przedziałowe. Ludzki wzrok jest bardziej wrażliwy na niewielkie zmiany jasności ekranu przy niskich poziomach oświetlenia, dlatego też należy przydzielić więcej poziomów luminancji do niższego zakresu jasności, aby zapewnić płynniejsze przejścia.

Rozwiązaniem tego problemu może być utworzenie wykresu korzystnych przedziałów luminancji bazując nie na zakresie natężenia oświetlenia, a na zmianach luminancji nie przekraczających 10% pomiędzy kolejnymi wartościami malejącymi. Tym samym luminancja wyświetlacza, obliczana za pomocą wzoru (5.5), odpowiada wartości dla górnej granicy danego przedziału natężenia oświetlenia otoczenia. Oznacza to, że poza wartościami granicznymi przedziałów, przewidziane wartości luminancji ekranów będą nieznacznie wyższe niż te otrzymane w badaniu przez Lin i in. [244]. Nowoczesne wyświetlacze ECDIS oferują maksymalną luminancję rzędu 1000 cd/m² [246], dlatego wartość ta została przyjęta za wyjściową przy ustalaniu przedziałów natężenia oświetlenia otoczenia. Kolejne zakresy natężenia oświetlenia otoczenia i odpowiadające im wartości luminancji zaprezentowano w tabeli 5.1.

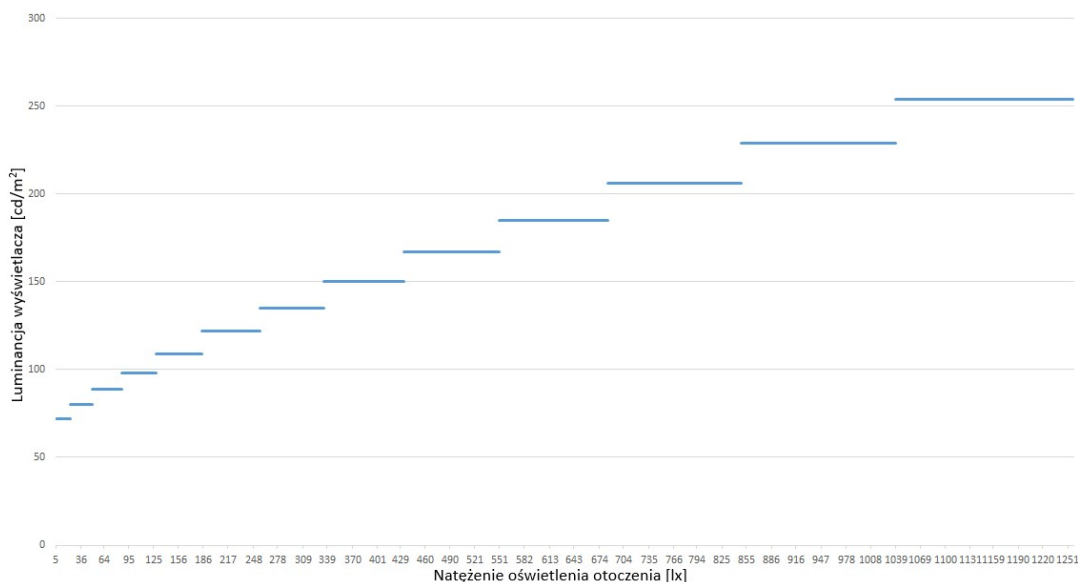
Tabela 5.1. Luminancja wyświetlaczy w danym przedziale natężenia oświetlenia otoczenia

Natężenie oświetlenia otoczenia [lx]	Luminancja wyświetlacza [cd/m ²]	Natężenie oświetlenia otoczenia [lx]	Luminancja wyświetlacza [cd/m ²]
0–5	65	1257–1515	282
5–23	72	1515–1824	314
23–50	80	1824–2180	349
50–86	89	2180–2584	387
86–128	98	2584–3063	430
128–184	109	3063–3623	478
184–256	122	3623–4270	531
256–335	135	4270–5022	590
335–433	150	5022–5901	656
433–551	167	5901–6916	729
551–684	185	6916–8091	810
684–848	206	8091–9453	900
848–1039	229	9453–11031	1000
1039–1257	254		

Luminancja w poszczególnych przedziałach natężenia oświetlenia otoczenia może tym samym zostać opisana za pomocą wykresu schodkowego, przedstawionego na rys. 5.14. Z uwagi na duży zakres natężenia oświetlenia, w celu poprawienia czytelności wykresu, przedział 0–1257 lx przedstawiono dodatkowo na rys. 5.15.



Rys. 5.14. Luminancja ekranów względem natężenia oświetlenia otoczenia.

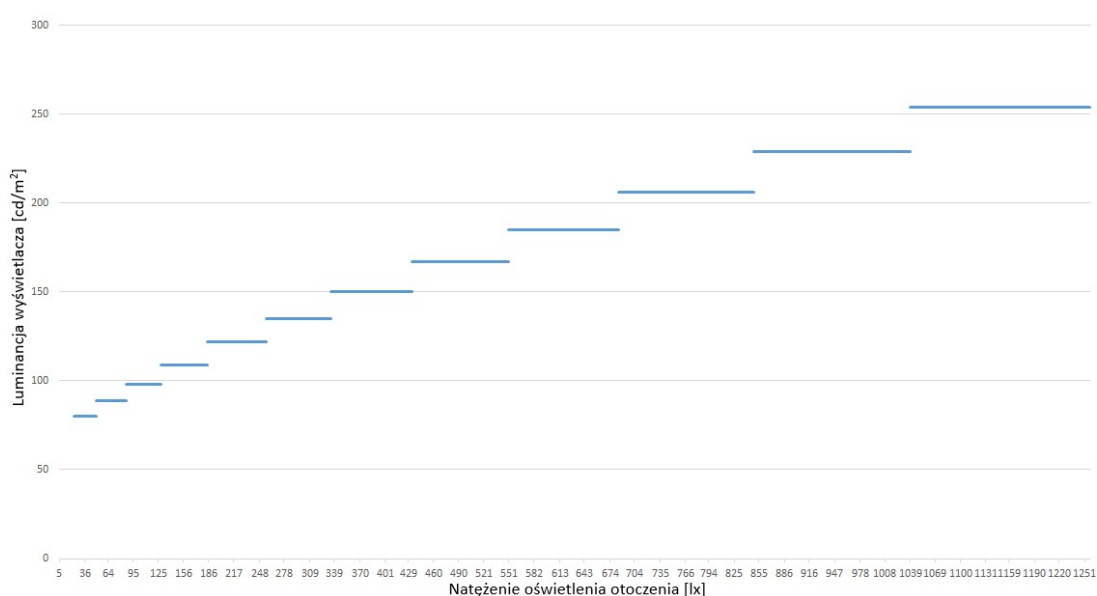


Rys. 5.15. Luminancja ekranów względem natężenia oświetlenia otoczenia w przedziale 0–1257 lx.

Piloci podczas nocnych lotów nawigują za pomocą urządzeń, a nie na podstawie obserwacji wzrokowej otoczenia, co odbywa się zgodnie z zasadami lotów według wskazań przyrządów. Jest to spowodowane tym, że niektóre odniesienia wzrokowe nie pozwalają na wystarczającą ocenę sytuacji w ciemności [250, 251]. Podczas badań przeprowadzonych przez Wynn i in. [32], średnie natężenia oświetlenia na mostku w nocy wynosiło 0,05–0,15 lx, a luminancja wyświetlaczy radarów zawierała się w przedziale 0,21–1,37 cd/m², zaś w przypadku ECDIS wynosiła 5,8 cd/m². Są to wartości skrajnie odbiegające od tych otrzymywanych ze wzoru (5.5), proponowanego przez Lin i in. [244], gdzie nawet przy wartościach natężenia oświetlenia bliskiemu zeru, luminancja wynosiłaby ponad 60 cd/m². Tym samym metoda w obecnej formie nie odpowiada realiom pracy na mostku nawigacyjnych w nocy. Z uwagi na obecny stan wiedzy

i brak przeprowadzonych własnych badań preferencji nawigatorów, automatyczne dostrajanie luminancji przewidziane jest w obecnej formie do działania tylko w ciągu dnia.

Podczas zmierzchu, przed świtem albo po zachodzie Słońca, można spodziewać się w pomieszczeniu wartości natężenia oświetlenia do 10 lx [252]. Według zaleceń MSC/Circ.982, luminancja wyświetlaczy powinna zawierać się pomiędzy 80 a 160 cd/m² w ciągu dnia, natomiast natężenie oświetlenia nocą na mostku powinno być regulowane z zakresie od 0 do 20 lx [48]. Wartości te zostały użyte w zadawaniu ograniczeń automatycznej regulacji luminancji ekranów. Luminancja o wartości 80 cd/m² została przypisana do natężenia oświetlenia w zakresie 23–50 lx i dlatego przyjęto 23 lx za dolną wartość graniczną natężenia oświetlenia w ciągu dnia. Wartości luminancji ekranu wraz z uwzględnieniem dolnej granicy natężenia oświetlenia otoczenia przedstawiono na rys. 5.16.



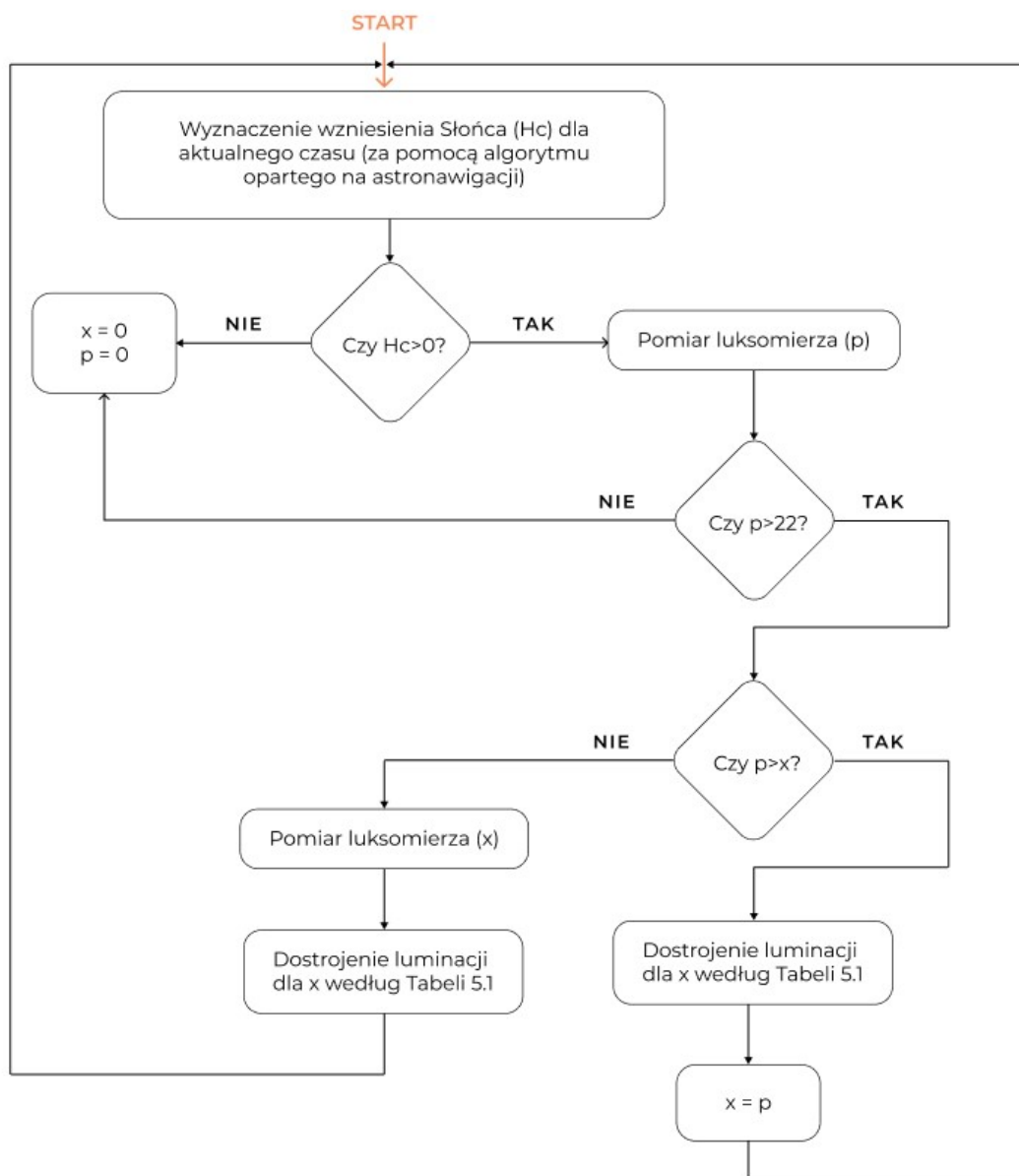
Rys. 5.16. Luminancja ekranów względem natężenia oświetlenia otoczenia w przedziale 23–1257 lx.

Ograniczenia działania automatycznej regulacji jasności ekranów urządzeń nawigacyjnych są obecnie następujące:

- czas działania od świtu do zmierzchu (określany za pomocą Algorytmu 1., opisanego w podrozdziale 5.3.1), na podstawie wzniesienia Słońca, wyznaczanego wzorem (5.2),
- minimalna wartość natężenia oświetlenia otoczenia to 23 lx,
- wyświetlacze powinny być odpowiednio skalibrowane do obsługi przytoczonych wartości luminancji (cd/m²),
- czujnik natężenia oświetlenia powinien pracować w zakresie 0–10000 lx, z dokładnością pomiaru nie gorszą niż 3% pomiaru, tak by być w stanie dokładnie reagować na warunki panujące w pomieszczeniu.

Podsumowując, pomiar natężenia oświetlenia otoczenia odbywać się będzie co 10 sekund, aby uniknąć zbyt częstych zmian, mogących wywołać dezorientowanie lub rozproszenie nawigatora. Automatyczne dostrajanie luminancji ekranów powinno działać z pewnym opóźnieniem, jeśli chodzi o zmniejszanie wartości. Luksomierz może np. zostać zasłonięty

przypadkiem przez człowieka, obniżając chwilowo wartość pomierzonego natężenia oświetlenia otoczenia. Jeśli kolejny pomiar, wykonany po 10 sekundach, potwierdzi potrzebę zmiany luminancji, wtedy zostanie ona wykonana. W przypadku wyższego odczytu, ewentualna zmiana luminancji wynikająca z przejścia w kolejny przedział natężenia oświetlenia, zostanie wykonana od razu, gdyż mało prawdopodobne jest chwilowe i niezamierzone zwiększenie natężenia oświetlenia otoczenia przez normalną pracę nawigatora. Zdecydowano, że w przypadku takich niezamierzonych zakłóceń w czasie godzin dziennych ważniejsze jest odczytywanie prezentowanych informacji z wyświetlaczy urządzeń nawigacyjnych, niż przeciwdziałanie ewentualnemu dyskomfortowi wynikającemu ze zbyt wysokiej luminancji ekranów. Zasada działania automatycznego dostrajania luminancji wyświetlaczy w stosunku do natężenia oświetlenia otoczenia, określona na potrzeby tej rozprawy jako „Algorytm 3.”, została przedstawiona na rys. 5.17.



Rys. 5.17. Algorytm działania automatycznego dostrajania luminancji wyświetlaczy w stosunku do natężenia oświetlenia otoczenia.

5.3.7. „Energetyczna” muzyka – rozwiązanie odrzucone

Istnieje kilka teorii opisujących jak słuchanie muzyki przed lub w czasie wykonywania zadań poznawczych wpływa na efektywność i uzyskany w nich wynik, jednakże nie wyjaśniają one jednoznacznie tej zależności [253]. Można wyodrębnić cztery powody, dla których ludzie decydują się na słuchanie muzyki w różnych okolicznościach, są to: odwrócenie uwagi, dodanie energii, rozrywka oraz wzmocnienie poczucia sensu [254]. Według powyższego źródła, w czasie wykonywania rutynowych zadań muzyka może poprawić koncentrację, przeciwdziałać nudzie, redukować stres i odcinać niepożądane dźwięki. Ludzie, którzy słuchają muzyki w środowisku biurowym deklarują lepsze samopoczucie i nastrój, pod warunkiem, że mogą oni sami wybierać odtwarzane utwory [253]. Coraz więcej firm dochodzi do wniosku, że muzyka może poprawić produktywność pracownika [255]. Z drugiej strony, bodźce słuchowe w nadmiarze mogą rozpraszać i w konsekwencji wpływać negatywnie na procesy poznawcze i przetwarzanie informacji przez człowieka [256, 257]. Muzyka ma także tendencję do rozpraszania podczas wykonywania zadań wymagających uczenia się na pamięć [258].

Badania, które przeprowadzili Giot i in. [259] pokazują, że problemy związane z sennością podczas obowiązków są obecnie istotnym zagrożeniem dla bezpieczeństwa nawigacji. W powyższym badaniu, aż 66,9% nawigatorów wskazało muzykę jako skuteczny środek zaradczy wobec senności, lecz tylko 27,1% stosuje go regularnie, co może być też związane z faktem, że nie zawsze jest to dozwolone podczas pełnienia obowiązków na mostku. Odtwarzanie muzyki jest też jedną z najpopularniejszych metod radzenia sobie z samotnością podczas pobytu na morzu [260]. Ponadto, IMO sugeruje, że głośna muzyka może chwilowo zwiększyć czujność człowieka [80], więc jeśli nie byłaby ona wykorzystywana w celu długotrwałej, czystej rozrywki lub rozproszeniu nawigatora, mogłaby ona pomóc w zachowaniu odpowiedniego poziomu skupienia i przeciwdziałaniu senności.

W wielu opisanych wypadkach i incydentach wskazywano muzykę jako jedną z przyczyn rozproszenia nawigatora lub zagłuszenia komunikacji czy alarmów. Przykładami tego typu zdarzeń są przypadki statków „Furness Melbourne” oraz „CSL Thames” [261, 262]. Kolejnym argumentem przemawiającym przeciw słuchaniu muzyki na mostku jest możliwość obniżenia jakości nagrań pochodzących z rejestratora danych z podróży (ang. VDR – *voyage data recorder*) lub nawet całkowite uniemożliwienie ich merytorycznego odsłuchu. Takie sytuacje miały już miejsce w przeszłości, np. na statku „Shoreway”, gdzie ze względu na bliskość mikrofonu systemu VDR od głośnika, z którego słuchano muzyki, jakość zebranego nagrania była zdecydowanie obniżona [263]. Należy zaznaczyć, że obecne przepisy IMO nie zabraniają jednoznacznie słuchania muzyki podczas pełnienia obowiązków na mostku. Prawidło 15, rozdział V Konwencji SOLAS mówi o ogólnej konieczności zapobiegania lub minimalizowania rozpraszania uwagi, które mogłoby osłabić czujność obsady mostka oraz pilota [40]. Bardziej restrykcyjne w tej kwestii mogą być przepisy państwa bandery. Z obserwacji podczas wizyt na statkach przeprowadzonych na potrzeby tej pracy wynika, że taki zakaz może znaleźć się także w firmowym Systemie Zarządzania Bezpieczeństwem (ang. SMS – *Safety Management System*) lub w pisemnych poleceniach kapitana (ang. *Master's Standing Orders*).

W badaniu satysfakcji nawigatorów za pomocą modelu Kano, przeprowadzonym w toku tej pracy, możliwość wykorzystania „energicznej” muzyki podczas pełnienia obowiązków na mostku przydzielono finalnie do kategorii Obojętnej. Z drugiej strony, aż 32% respondentów uznało, że wdrożenie takiej funkcji wywołałoby u nich niezadowolenie. Żadne inne rozwiązanie nie było częściej klasyfikowane jako Odwrotne. Zalecane jest, aby unikać rozwiązań z kategorii Odwrotnej, gdyż ich implementacja może wywołać przeciwny efekt, czyli powodować niezadowolenie. Był to wczesny sygnał złego kierunku zmian, w związku z czym zrezygnowano z prac nad wykorzystaniem „energetycznej” muzyki na mostkach nawigacyjnych, negatywnie weryfikując możliwość implementacji takiego rozwiązania.

5.3.8. Automatyczna praca wycieraczek

Zgodnie z normą ISO 8468:2007, dobra i niezakłócona widoczność przez okna na mostku powinna być zapewniona przez cały czas, przez co sugerowane jest zamontowanie wycieraczek na większości okien. Wycieraczki, zapewniające odpowiednią przejrzystość szyb, powinny móc pracować niezależnie od siebie, także w trybie interwałowym, a także mieć zapewnione zraszanie czystą, słodką wodą [49]. Norma ISO 17899:2004 zawiera kryteria dotyczące prędkości pracy wycieraczek, ich trwałości i odporności zarówno dla układu sterowania, silników, mechanizmów i samych piór wycieraczek [264].

Automatyzacja pracy wycieraczek oraz związane z tym wykrywanie opadów na szybach jest częstym tematem badań i artykułów naukowych, jednakże dotyczy zwykle samochodów, a jako przykład można podać publikacje: Akanni i in. [265], Halimeh i Roser [266], czy Zhang i in. [267]. Istnieje kilka metod automatycznego wykrywania opadów na szybach – wybrane z nich przedstawiono poniżej.

- **Pomiar przewodności.** Czujnik składa się z dwóch elektrod, pomiędzy którymi przewodność zmienia się wraz z obecnością wody. Taka zmiana jest więc sygnałem, że pojawił się deszcz. Tego typu czujniki są stosunkowo wrażliwe na zanieczyszczenia, a z czasem nawet na utlenianie się istotnych elementów. Z tego powodu wykorzystanie takich czujników może wiązać się z niską niezawodnością, a także gorszą skutecznością wykrywania opadów po pewnym czasie [268, 269].
- **Pojemnościowy pomiar opadów.** Metoda ta polega na pomiarach zmiany pojemności elektrycznej kondensatora, która jest wynikiem obecności wody na jego powierzchni. Metoda ta pozwala na szybkie i skuteczne wykrywanie deszczu, jednakże koszt komponentów jest stosunkowo wysoki, a cały system pomiarowy może być także podatny na zakłócenia ze względu na bliskość innych urządzeń elektrycznych [268, 269].
- **Metoda piezoelektryczna.** Czujnik piezoelektryczny nie tylko wykrywa opady deszczu, ale także potrafi określić ich natężenie. Uderzanie kropeł wody o powierzchnię czujnika generuje napięcie elektryczne. Analiza takiego sygnału pozwala na określenie siły i natężenia deszczu. Brak ruchomych części skutkuje dużą trwałością i niezawodnością takich czujników. Do wad tego rozwiązania można zaliczyć m.in. istotne błędy pomiarowe, a także fałszywe wykrycia, które mogą być spowodowane wiatrem.

Dodatkowo, opady inne niż deszcz, (np. śnieg) nie będą prawidłowo wykrywane przez czujnik [268, 269].

- **Uczenie maszynowe.** W ostatnich latach prowadzone są badania związane z wykrywaniem opadów deszczu na szybach za pomocą uczenia maszynowego. Splotowe sieci neuronowe przeprowadzają na zarejestrowanym obrazie szereg operacji, określając obecność oraz natężenie opadów. Wycieraczki zostają uruchomione, gdy zostanie przekroczony zadany próg aktywacji [270]. Na mostkach nawigacyjnych problematyczna może okazać się konieczność zastosowania wielu kamer o wysokiej rozdzielczości, z uwagi na wiele okien w pomieszczeniu i związane z tym wysokie koszty.
- **Metoda optoelektroniczna.** Czujnik składa się z diody lub kilku diod LED (*Light Emitting Diode*), emitujących światło podczerwone, a także detektora światła o takiej charakterystyce. Bazując na zasadzie załamania światła w różnych ośrodkach, możliwe jest określenie, czy na szybie znajdują się krople wody. Światło podczerwone jest niewidzialne dla człowieka, przez co nie wpływa negatywnie na obserwację otoczenia. Czujniki takie cechują się dużą niezawodnością oraz skutecznością wykrywania opadów, są także często stosowane np. w branży motoryzacyjnej [268, 269].

Istnieje wiele czynników, takich jak np. przechył, kierunek i prędkość wiatru, czy sama szerokość mostka, które mogą wpływać na nierównomierne natężenie opadów na poszczególnych szybach. Każde okno powinno być więc wyposażone w czujnik deszczu, który będzie powiązany z jednostką sterującą pracą wycieraczki przypisanej do tego samego okna. Co istotne, w momencie ustania opadów wycieraczki automatycznie przestaną pracować, zwiększając żywotność piór poprzez minimalizowanie czasu tarcia po suchej szybie. Ze względu na dużą niezawodność, a także niski koszt czujników, zaproponowano wykorzystanie metody optoelektronicznej do określania obecności i intensywności opadów.

Diody LED emitują światło podczerwone kierowane na powierzchnię szyby pod odpowiednim kątem. Znając współczynnik załamania światła dla wybranych ośrodków (powietrza, szkła oraz wody) i kąt padania promieni podczerwonych, można wyliczyć kąt załamania światła. Zgodnie z prawem Snelliusa, podczas przechodzenia promienia świetlnego z ośrodka rzadszego do ośrodka gęstszego, kąt jego załamania będzie mniejszy niż kąt padania (załamanie w kierunku normalnej do powierzchni). Analogicznie, w przypadku przejścia z gęstszego do rzadszego ośrodka, kąt załamania będzie większy niż kąt padania [271].

Energia wyemitowanej wiązki promieni podczerwonych jest znana, natomiast ilość energii przechodzącej przez ośrodki oraz odbitej jest możliwa do obliczenia za pomocą wzorów (5.6) oraz (5.7).

$$R_{inf} = \frac{\sin^2(\angle i - \angle r)}{\sin^2(\angle i + \angle r)} \times 100\% \quad (5.6)$$

gdzie:

R_{inf} – ilość promieniowania podczerwonego, która zostanie odbita od powierzchni [%],

$\angle i$ – kąt padania promieni podczerwonych [°],

$\angle r$ – kąt załamania promieni podczerwonych [°] [272].

$$T_{inf} = \frac{\sin(2\varphi_i) \times \sin(2\varphi_r)}{\sin^2(\varphi_i + \varphi_r)} \times 100\% \quad (5.7)$$

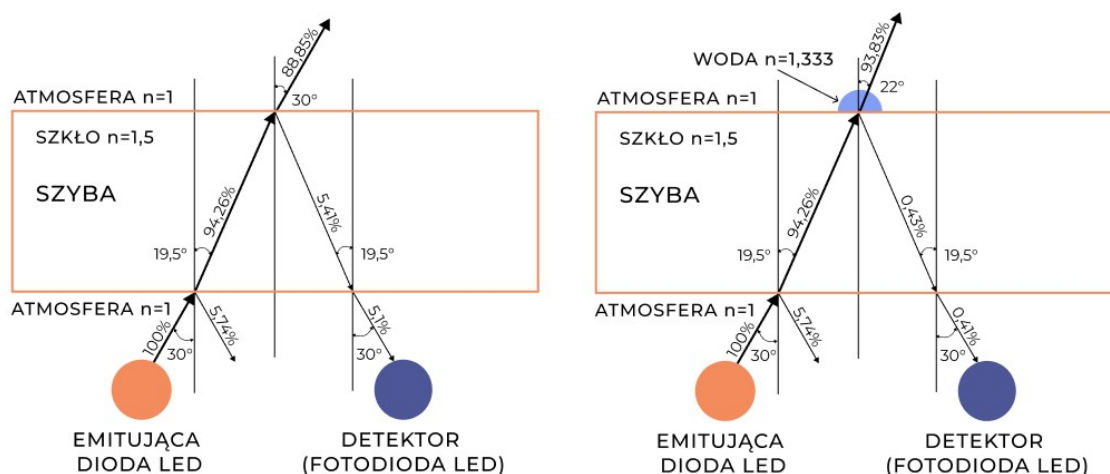
gdzie:

T_{inf} – ilość promieniowania podczerwonego, która przejdzie do następnego ośrodka [%],

φ_i – kąt padania promieni podczerwonych [°],

φ_r – kąt załamania promieni podczerwonych [°] [272].

Z uwagi na różne współczynniki załamania światła powietrza oraz wody, ilość odbitego światła podczerwonego, które trafi do czujnika, będzie znacząco inna w przypadku szyby suchej i pokrytej kroplami wody, a różnice zaprezentowano na rys. 5.18.



Rys. 5.18. Różnica w odbieranej energii promieniowania czerwonego w przypadku szyby suchej i mokrej.
Źródło: opracowanie własne na podstawie: Do i in. [272].

Detektor (fotodioda) wykrywa padające na niego promieniowanie podczerwone, a następnie generuje proporcjonalny do zarejestrowanej energii sygnał elektryczny, wyrażany w woltach. Następnie, otrzymany sygnał jest oceniany, co skutkuje wysłaniem odpowiedniego polecenia do jednostki sterującej wycieraczkami. Badania przeprowadzone przez Do i in. [272] pokazały także konieczność uwzględniania promieniowania środowiska. Oprócz światła widzialnego, które najbardziej wpływa na pracę nawigatorów, szkło przepuszcza także promieniowanie podczerwone. Zgodnie z normami ISO 3903:2012, szyby w oknach na mostku powinny być wykonane ze szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego [273, 274]. Ich grubość powinna być określona zgodnie z normą ISO 3903:2012 lub ISO 21005:2018 dla szyb obrabianych cieplnie [273, 275]. Przepuszczalność światła przez szyby określa, jaka część promieniowania świetlnego przedostaje się przez jej powierzchnię na drugą stronę. Wymagania dotyczące przepuszczalności światła przez szyby na statkach podane są w wartościach procentowych i są zależne od grubości szkła [274].

Do i in. [272] zaproponowali także szybkość pracy wycieraczek w zależności od promieniowania środowiska oraz wykrytego spadku napięcia prądu, wynikającego z intensywności opadów. Ich badania dotyczyły wycieraczek w samochodzie osobowym, jednakże otrzymane wyniki mogłyby posłużyć jako wytyczne także dla mostków nawigacyjnych na statkach.

5.4. Podsumowanie możliwości wdrożenia proponowanych rozwiązań

Proponowane rozwiązania, których implementacja została zweryfikowana i uznana za możliwą, zebrano w tabeli 5.2. Każde z nich zostało przypisane do co najmniej jednej kategorii problemu ergonomicznego, który ma rozwiązywać. W przypadku, gdy dane rozwiązanie przeciwdziała wielu różnym problemom, przypisano je do więcej niż jednej kategorii.

Tabela 5.2. Rozwiązania problemów ergonomicznych na mostkach nawigacyjnych

Czynnik	Rozwiązanie szkoleniowe	Rozwiązanie wyposażeniowe	Rozwiązanie systemowe
Warunki klimatyczne	–	- Nawilżacze powietrza - Zasłonki przeciwsłoneczne	Automatyczna praca zasłonek przeciwsłonecznych
Oświetlenie pomieszczenia i jasność ekranów	Zadanie symulacyjne	Zasłonki przeciwsłoneczne	- Automatyczna praca zasłonek przeciwsłonecznych - Automatyczne dostrajanie luminancji ekranów - Automatyczna praca wycieraczek
Hałas i akustyka	Zadanie symulacyjne	Panele akustyczne	–
Wibracje	–	Ergonomiczne krzesła	–
Zmęczenie i postawa ciała	- Utrzymywanie poprawnej postury - Ćwiczenia redukujące zmęczenie oczu	- Ergonomiczne krzesła - Przeciwmęczeniowe maty podłogowe	–

Na podstawie tabeli 5.2 można stwierdzić, że przeciwdziałanie wibracjom na statku jest trudnym zagadnieniem, a jedynym zaproponowanym rozwiązaniem tego problemu jest krzesło z amortyzacją wstrząsów. Oświetlenie pomieszczenia i jasność ekranów urządzeń nawigacyjnych są natomiast jedyną kategorią problemów ergonomicznych, którym można przeciwdziałać zarówno rozwiązaniami szkoleniowymi, wyposażeniowymi i systemowymi.

Aktywne przeciwdziałanie hałasowi w tak dużym pomieszczeniu jak mostek jest zadaniem praktycznie niewykonalnym z wielu powodów. Zdecydowano się na poprawę zrozumiałości mowy w pomieszczeniu przez wyposażenie, a także poszerzenie świadomości nawigatorów co do wpływu hałasu na ich pracę za pomocą ćwiczenia symulacyjnego.

Wszystkie zaproponowane rozwiązania systemowe służą przeciwdziałaniu problemom związanym z oświetleniem pomieszczenia i jasnością ekranów urządzeń nawigacyjnych. Zasłonki przeciwsłoneczne i automatyzacja ich pracy ograniczają ponadto nagrzewanie się pomieszczenia. W odpowiedzi na **Pytanie Badawcze 3**, w toku tego doktoratu udało się dostarczyć trzy rozwiązania systemowe, wpasowujące się w założenie automatyzacji czynności, które wykonuje zwykle nawigator. Rozwiązania te mogą zostać zaimplementowane wszystkie razem, pojedynczo lub w dowolnej kombinacji dwóch z nich.

W celu redukcji negatywnego wpływu zmęczenia zaproponowano dwa szkolenia i dwa rozwiązania wyposażeniowe. Skuteczne wspieranie nawigatora w utrzymywaniu prawidłowej postawy ciała i ograniczaniu epizodów bólowych wymaga zarówno odpowiedniego przeszkolenia, jak i zapewnienia ergonomicznego, regulowanego krzesła. Jedynie połączenie tych elementów zapewni efektywne wsparcie dla nawigatora w utrzymaniu właściwej postawy podczas pracy.

6. OCENA ZASADNOŚCI IMPLEMENTACJI PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Jednym z założeń pracy była ocena zasadności wprowadzania rozwiązań ergonomicznych na mostkach nawigacyjnych. Przy obecnym tempie wzrostu cen różnych produktów oraz technologii, ocena takiej zasadności na podstawie jednorazowej wyceny mogłaby być nieaktualna już nawet w przeciągu kilku miesięcy. Zważywszy na zróżnicowanie statków pod względem typu konstrukcji, roku ich budowy, czy obszaru eksploatacji, niemożliwym może okazać się wskazanie jednoznacznie, które rozwiązania należy przyjąć, a które odrzucić. Opracowano natomiast metodę umożliwiającą armatorowi ocenę zasadności implementacji poszczególnych rozwiązań w jego flocie, która stanowi metodę wsparcia decyzyjnego w podjęciu lub odrzuceniu inwestycji w ergonomię mostka nawigacyjnego. Przeprowadzenie takiego oszacowania za pomocą zaproponowanej metody jest niemal bez kosztowe i możliwe do zrealizowania w krótkim czasie.

Z uwagi na trudności w oszacowaniu wpływu danej inwestycji na policzalne korzyści, przy opracowywaniu sposobu do oceny zasadności wprowadzania nowych rozwiązań ergonomicznych na mostkach kierowano się zdaniem samych nawigatorów. Głównymi czynnikami brany pod uwagę w proponowanej metodzie są: współczynnik zadowolenia i niezadowolenia wobec proponowanego rozwiązania (wynikające z przeprowadzonego badania na podstawie modelu Kano), a także koszt implementacji. W przypadku tego ostatniego, chodzi o koszt względny, obliczony na podstawie średniego wynagrodzenia, które może otrzymać oficer nawigacyjny na statku. Trudno jednoznacznie wskazać zarobki na morzu, które mogą być zależne od doświadczenia lub typu statku, lecz armator na pewno może określić to w obrębie własnej floty.

Zdecydowano się na określenie poniższych przedziałów cenowych implementacji danego rozwiązania:

- niski koszt – mniej niż 3-miesięczna pensja oficera wachtowego,
- średni koszt – co najmniej 3-miesięczna pensja oficera wachtowego, ale mniej niż 6-miesięczna,
- wysoki koszt – co najmniej 6-miesięczna pensja oficera wachtowego.

Po utworzeniu listy proponowanych rozwiązań ergonomicznych, należy przeprowadzić badanie ankietowe modelem Kano, dokonać analizy wyników uzyskując przypisanie kategorii do każdego rozwiązania oraz uzyskanie współczynników zadowolenia i niezadowolenia. Wpływ na satysfakcję nawigatora można oszacować za pomocą zaproponowanego, bezwymiarowego wzoru (6.1).

$$Z = (-CS^-) \times CS^+ \quad (6.1)$$

gdzie:

Z – wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora [-];

CS^+ – współczynnik zadowolenia otrzymany w badaniu modelem Kano [-];

CS^- – współczynnik niezadowolenia otrzymany w badaniu modelem Kano [-].

Otrzymany wynik należy następnie przemnożyć przez bezwymiarowy współczynnik, wynikający z kategorii, do której finalnie zostało przypisane rozwiązanie w wyniku badania modelem Kano. Sam wyżej przytoczony wzór (6.1) posiada pewne niedoskonałości, ze względu na teoretyczną możliwość promowania rozwiązań z kategorii Obojętnej, kosztem niektórych Atrakcyjnych lub Obowiązkowych. Taka sytuacja może wystąpić przy stosunkowo niskim wpływie na niezadowolenie rozwiązania Atrakcyjnego lub stosunkowo niskim wpływie na zadowolenie rozwiązania Obowiązkowego. Zastosowanie dodatkowego współczynnika pozwoli na zredukowanie ryzyka inwestycji, obniżając prawdopodobieństwo zainwestowania w rozwiązanie Obojętne, kosztem tych z pożądanymi kategoriami.

W oparciu o klasyfikację kategorii pod względem ich istotności, co opisano w podrozdziale 2.5.1 tej rozprawy, przypisano wartości współczynników dla każdej z nich, co zaprezentowano poniżej:

- Kategoria jednowymiarowa (O)=2,
- Kategoria atrakcyjna (A)=1,5,
- Kategoria obowiązkowa (M)=1,5,
- Kategoria obojętna (I)=1,
- Kategoria odwrotna (R)=−1.

Zasadność wprowadzenia danego rozwiązania ergonomicznego można opisać zaproponowanym, bezwymiarowym wzorem (6.2):

$$Z_p = Z \times w \quad (6.2)$$

gdzie:

Z_p – poprawiony wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora [-];

Z – wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora [-];

w – współczynnik kategorii otrzymany w badaniu modelem Kano [-].

Końcowa ocena zasadności implementacji rozwiązania ergonomicznego na podstawie zaproponowanej metody, z wykorzystaniem badania modelem Kano i w zależności od kosztów inwestycji, przedstawiona jest w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Ocena zasadności implementacji danego rozwiązania na mostku nawigacyjnym

		Koszt		
		Niski	Średni	Wysoki
Poprawiony wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora (Z_p) [-]	$Z_p \geq 0,25$	Konieczne	Zalecane	Neutralne
	$0,25 > Z_p \geq 0,15$	Zalecane	Zalecane	Neutralne
	$0,15 > Z_p \geq 0,05$	Neutralne	Neutralne	Niepotrzebne
	$Z_p < 0,05$	Niepotrzebne	Niepotrzebne	Niepotrzebne

Na podstawie tabeli 6.1, rozwiązania można podzielić na:

- rozwiązania konieczne – rekomendowana jest implementacja danego rozwiązania przy najbliższej możliwości,
- rozwiązania zalecane – rekomendowana jest implementacja danego rozwiązania przy najbliższej, dogodnej możliwości, np. pobycie w stoczni,
- rozwiązania neutralne – implementacja danego rozwiązania jest zależna od sytuacji armatora, między innymi od możliwości wygospodarowania dodatkowych środków na inwestycje lub od polityki firmy,
- rozwiązania niepotrzebne – implementacja danego rozwiązania jest zbędna.

Podsumowując, opracowano metodę umożliwiającą ocenę zasadności implementacji rozwiązań ergonomicznych na mostku nawigacyjnym, którą można przeprowadzić w obrębie floty wybranego armatora. Proces ten można opisać w następujących krokach:

- 1) zebranie rozwiązań ergonomicznych wraz z ich wyceną rzeczywistą,
- 2) przeprowadzenie we flocie badania modelem Kano,
- 3) określenie przedziałów cenowych, zależnych od średniej pensji oficera wachtowego we flocie,
- 4) określenie wpływu i poprawionego wpływ rozwiązania ergonomicznego na satysfakcję nawigatora, opisanych wzorami (6.1) i (6.2),
- 5) określenie zasadności implementacji danego rozwiązania na mostku nawigacyjnym na podstawie tabeli 6.1.

Jeśli rozwiązanie zostało sklasyfikowane jako neutralne, ale odpowiadająca mu wartość poprawionego wpływu na satysfakcję nawigatora (Z_p) wynosi więcej niż 0,15, należy spróbować obniżyć koszt inwestycji. Wyceny mogą różnić się od obszaru świata i dostawców, a podjęte działania mogą skutkować zmianą przedziału cenowego na średni lub niski, czyniąc implementację zalecaną lub nawet konieczną.

7. PODSUMOWANIE

W tym rozdziale zawarto podsumowanie wyników przeprowadzonych badań w kontekście weryfikacji postawionych hipotez i odpowiedzi na pytania badawcze. Zaproponowano możliwe kierunki dalszych badań i prac wdrożeniowych w omawianej dziedzinie.

7.1. Podsumowanie weryfikacji hipotez i odpowiedzi na pytania badawcze

Przeprowadzone w toku tej rozprawy badania i ich wyniki pozwalają na osiągnięcie głównych celów pracy, czyli poznania skali wpływu warunków ergonomicznych na mostku na efektywność nawigatora oraz ustalenie w jakim stopniu potrzebują oni wsparcia w utrzymywaniu odpowiedniego środowiska pracy. Poniżej podsumowano wcześniejsze odniesienia do stawianych hipotez oraz pytań badawczych.

- **Hipoteza 1: „Ergonomia mostka ma wpływ na efektywność pracy nawigatora i bezpieczeństwo statku”.**

Weryfikacji tej hipotezy dokonano na podstawie wyników badania ankietowego numer 1, ćwiczenia symulacyjnego, a także oceny uciążliwości wykonywania obowiązków podczas tego zadania. Bazując na opinii praktyków, aż 87,9% respondentów uważa, że różne czynniki ergonomiczne na mostku nawigacyjnym mają wpływ na efektywność ich pracy i bezpieczeństwo statku. Według 70,9% ankietowanych nawigatorów, niekorzystne warunki ergonomiczne mogą potęgować ich zmęczenie, które niewątpliwie wpływa na możliwości poznawcze oraz procesy decyzyjne człowieka.

Utrzymywanie właściwej ergonomii podczas zmieniających się warunków może być problematyczne podczas prowadzenia wachty. Częste dostosowywanie środowiska pracy na mostku zostało uznane za uciążliwe lub mogące powodować przeciążenie obowiązkami przez 74,4% respondentów. Czynności te są jednak niezbędne, między innymi ze względu na poczucie uciążliwości prowadzenia obserwacji. Nawigatorzy uczestniczący w ćwiczeniu symulacyjnym odczuwali istotnie wyższy poziom uciążliwości w przypadku niekorzystnych warunków ergonomicznych w pomieszczeniu, takich jak hałas i nieodpowiednie oświetlenie, jednakże ten drugi czynnik miał wyraźnie silniejszy efekt i najbardziej przeszkadzał w wykonywaniu obowiązków.

Oprócz wpływu na dobrostan i samopoczucie człowieka, warunki ergonomiczne wpływały też na skuteczność detekcji obiektów wokół własnej jednostki podczas przeprowadzonego ćwiczenia symulacyjnego. Pomimo, że uczestnicy eksperymentu potrafili względnie dobrze adaptować się do trudnych warunków środowiskowych ergonomicznych, zaobserwowano znaczne różnice w prawdopodobieństwie wykrycia małych obiektów w zależności od warunków w pomieszczeniu. Tym samym można stwierdzić, że ergonomia mostka nawigacyjnego ma wpływ nie tylko na człowieka i jego efektywność, ale na ogólnie pojęte bezpieczeństwo statku. Powyższe wyniki pozwalają na **pozytywną weryfikację** tej hipotezy.

- **Hipoteza 2: „Doświadczenie nawigatora wpływa na jego świadomość ergonomiczną”.**

Weryfikacji tej hipotezy dokonano na podstawie wyników badania ankietowego numer 1. Brak znajomości pojęcia ergonomii był najbardziej widoczny wśród młodych respondentów o znacząco krótszym łącznym czasie spędzonym na morzu. Może być to jednak związane po prostu z brakiem dotychczasowej styczności z tym pojęciem, a nie z niskim poziomem świadomości na temat wpływu warunków na pracę wśród młodszych nawigatorów. Inne odpowiedzi respondentów świadczą o tym, że są oni świadomi konieczności dostosowania się zmysłów do warunków środowiskowych w pomieszczeniu, a także potencjalnych problemów, które mogą nieść za sobą nieodpowiednie warunki ergonomiczne na mostku. Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała silnej korelacji między wiekiem lub stażem zawodowym a odpowiedziami respondentów w powyższych kwestiach. Tym samym nie można stwierdzić, żeby doświadczenie na morzu miało znaczący wpływ na poziom świadomości ergonomicznej, co skutkuje **negatywną weryfikacją** tej hipotezy.

- **Hipoteza 3: „Warunki środowiskowe w pomieszczeniu i doświadczenie nawigatora wpływają na czas zauważania obiektów wokół statku własnego”.**

Weryfikacji tej hipotezy dokonano na podstawie wyników przeprowadzonego badania symulacyjnego. Chociaż głównym celem pracy była ocena wpływu warunków ergonomicznych na efektywność pracy nawigatora, nie sposób pominąć innych, indywidualnych czynników mogących oddziaływać na operatora i bezpieczeństwo statku. Staż pracy nie miał znaczącego wpływu na różnice w czasie wykrywania wzrokowego, sugerując brak wpływu doświadczenia na szybszą lub wolniejszą detekcję. Nawigatorzy biorący udział w przygotowanym ćwiczeniu, którzy posiadali dyplom oficera wachtowego lub wyższy, wykrywali jednak obiekty wokół własnego statku szybciej niż studenci. Nie stwierdzono jednak, żeby niekorzystne warunki środowiskowe, takie jak hałas i nieodpowiednie oświetlenie, wpływały istotnie na czas detekcji obiektów w porównaniu do braku zakłóceń w pomieszczeniu.

Wykazano także, że nawigatorzy posiadający dyplom oficera wachtowego lub wyższy, mieli prawie dwukrotnie większe szanse na skuteczne wykrycie obiektów wokół własnego statku w porównaniu ze studentami uczelni morskich, a wynik ten był istotny statystycznie. Z drugiej strony, iloraz szans wskazuje, że dłuższy staż zawodowy wiąże się z mniejszym prawdopodobieństwem wykrycia innych obiektów, jednakże ten wynik nie był istotny statystycznie.

Hipoteza zakładała, że czas wykrywania obiektów wokół własnego statku zależy od doświadczenia nawigatora oraz warunków, które panują obecnie w pomieszczeniu, jednak powyższe rezultaty badania symulacyjnego prowadzą do jej **negatywnej weryfikacji**. Uzyskane wyniki sugerują natomiast, że posiadane kwalifikacje zawodowe mają większy wpływ na czas i skuteczność detekcji, niż długość stażu pracy na morzu.

- **Hipoteza 4: „Wpływ ergonomii mostka na odczuwanie uciążliwości prowadzenia nawigacji zależy od występowania i typu zakłóceń w pomieszczeniu”.**

Weryfikacji tej hipotezy dokonano na podstawie wyników kwestionariusza oceny uciążliwości wykonywania obowiązków podczas ćwiczenia symulacyjnego, który wypełniali nawigatorzy uczestniczący w badaniu przeprowadzonym na symulatorze mostka nawigacyjnego. Na podstawie deklaracji dotyczących poziomu odczuwanej uciążliwości przy różnych warunkach ergonomicznych wykazano, że hałas i nieodpowiednie oświetlenie istotnie wpływają na percepcję trudności podczas wykonywania obowiązków bezpośrednio związanych z nawigacją. Ten drugi czynnik był jednak najbardziej utrudniającym obserwację uczestnikom badania. Warunki środowiskowe w pomieszczeniu istotnie wpływały więc na poczucie uciążliwości podczas prowadzenia nawigacji, które dodatkowo różniło się w zależności od typu zakłóceń, co pozwala na **pozytywną weryfikację** tej hipotezy. Wyniki te są ważne także w kontekście tego, że ani staż pracy, ani zajmowane stanowisko nie wpływało znacząco na odczuwanie trudności podczas wykrywania obiektów. Problemy te są więc niezależne od nabytego doświadczenia lub posiadanych kwalifikacji.

- **Pytanie Badawcze 1: „Jaki jest wpływ ergonomii mostka na efektywną pracę nawigatora?”.**

Odpowiedzi na to pytanie badawcze udzielono w oparciu o wyniki ćwiczenia symulacyjnego i ocenę uciążliwości wykonywania obowiązków podczas tego zadania. Wyniki badania pozwoliły na przeprowadzenie szeregu analiz dotyczących wpływu warunków środowiskowych w pomieszczeniu na czas oraz prawdopodobieństwo detekcji obiektów wokół własnego statku, co niewątpliwie wiąże się z efektywną pracą nawigatora.

Czas detekcji w niekorzystnych warunkach nie różnił się istotnie w porównaniu z normalnymi warunkami. Skuteczność wykrywania dużych jednostek i helikopterów okazała się stosunkowo niezależna od zakłóceń lub ich braku, z kolei dla małych statków i tratw odnotowano znaczne różnice w zależności od czynników środowiskowych. Nieergonomiczne warunki na mostku nawigacyjnym pogarszały skuteczność detekcji niektórych typów obiektów wokół własnego statku, wpływając negatywnie na efektywną pracę nawigatora.

Zarówno hałas, jak i nieodpowiednie oświetlenie istotnie wpływały na wzrost poziomu uciążliwości wykrywania obiektów. Wyniki te sugerują, że warunki środowiskowe mają duży wpływ na percepcję trudności związanych z prowadzeniem nawigacji, a nieodpowiednie oświetlenie jest czynnikiem najbardziej uciążliwym. Ani staż pracy, ani stanowisko, nie wpływały na percepcję uciążliwości w czasie tego eksperymentu, co wskazuje na uniwersalny charakter tego problemu, niezależny od posiadanego wykształcenia lub doświadczenia.

- **Pytanie Badawcze 2: „Jaki jest poziom świadomości nawigatorów w zakresie wpływu ergonomii na ich pracę?”.**

Odpowiedź na to pytanie badawcze została oparta o wyniki ankiety badawczej numer 1. Konieczność przystosowania zmysłów do warunków panujących na mostku przed przejściem

wachty wskazało 96% nawigatorów. Według 87,9% uczestników badania ankietowego, warunki ergonomiczne w pomieszczeniu mają wpływ na efektywność ich pracy. Znajomość pojęcia ergonomii deklarowało 88,4% osób, które istotnie częściej dostrzegały związek pomiędzy niekorzystnymi warunkami na mostku a zmęczeniem, w porównaniu z grupą nie mającą wcześniej styczności z ergonomią. To wszystko pozwala stwierdzić, że świadomość ergonomiczna nawigatorów jest na stosunkowo wysokim poziomie. Niestety, analiza wyników wskazuje także, że tylko 36,2% zgadza się ze stwierdzeniem, że podczas pełnienia wacht przestrzega się zasad ergonomii. Świadczy to, że sama świadomość to za mało i wiedza ta nie zawsze jest wykorzystywana w praktyce z różnych względów.

- **Pytanie Badawcze 3: „Jakie są możliwości i koszt automatycznej poprawy czynników ergonomicznych na mostku stosownie do panujących warunków?”.**

Odpowiedź na to pytanie badawcze została opracowana w oparciu o wdrożeniową część pracy. Z uwagi na złożoność zagadnienia ergonomii mostka nawigacyjnego, nie wszystkie problemy mogą być rozwiązane poprzez przeszkolenie członka załogi lub wyposażenie pomieszczenia w ergonomiczny sprzęt. Tym samym zasadna jest automatyzacja procesów związanych z utrzymywaniem korzystnych warunków środowiskowych na mostku. Proponowane rozwiązania systemowe w obecnej formie przeciwdziałające problemom związanym z oświetleniem pomieszczenia, jasnością ekranów, a także warunkami klimatycznymi. Są one przykładem automatyzacji procesów, które obecnie wykonuje człowiek. Możliwość zaimplementowania innych proponowanych rozwiązań została obecnie zweryfikowana negatywnie ze względów regulacyjnych lub trudności technologicznych.

Z uwagi na szybkie zmiany cen towarów w ostatnich latach, jednorazowa wycena rozwiązań najprawdopodobniej szybko straci na aktualności. Tym bardziej trudno o jednoznaczne stwierdzenie, czy związany z implementacją koszt jest drogą czy taną inwestycją. Dlatego zaproponowano metodę opartą o względny koszt inwestycji, wyrażony w stosunku do wynagrodzenia oficerów prowadzących wachty na mostku.

- **Hipoteza dodatkowa 1: „Najczęściej użytkowanymi częściami mostka są jego centralne obszary”.**

Pomimo różnic w kształtach pomieszczeń mostków nawigacyjnych, na wygenerowanych mapach cieplnych można odnaleźć podobne wzorce przebywania nawigatorów. Pozwala to przetestować pierwszą hipotezę dodatkową. Przeprowadzone badania pozwalają wskazać na mostkach o różnych kształtach i układach obszary, w których nawigatorzy przebywają najczęściej. Są to zazwyczaj stanowisko nawigacji i manewrowania oraz stanowisko monitorowania, które zgodnie z zaleceniami MSC/Circ.982, powinny znajdować się blisko osi symetrii statku, co jest tożsame z jego centralną częścią. Tej hipotezy dodatkowej **nie można więc odrzucić**, gdyż te same prawidłowości zaobserwowano na wszystkich odwiedzonych statkach biorących udział w tym eksperymencie.

- **Hipoteza dodatkowa 2: „Jeśli na mostku znajduje się krzesło, nawigator spędzi więcej czasu na nim niż gdzie indziej”.**

W celu przetestowania drugiej dodatkowej hipotezy, przeanalizowano mapy cieplne oraz liczbę zarejestrowanych pozycji statycznych i dynamicznych. Według wyników badania satysfakcji nawigatorów, przeprowadzonego z użyciem modelu Kano, nawigatorzy uważają posiadanie regulowanego krzesła na mostku za atrakcyjne, wnoszące dodatkową wartość do ich miejsca pracy, a nie coś oczywistego i oczekiwanego. Sugeruje to, że nawigatorzy chętnie korzystaliby z możliwości siedzenia podczas pracy. Wyniki przeprowadzonego eksperymentu potwierdzają te założenia, ponieważ krzesła były w istotny sposób wykorzystywane podczas prowadzenia nawigacji. Podczas wszystkich wykonanych obserwacji, pola z krzesłami były najczęściej używanymi obszarami na całym mostku nawigacyjnym. Zatem ta hipoteza dodatkowa **nie może zostać odrzucona**.

- **Realizacja celów pracy**

Podsumowując, zrealizowano podstawowe cele pracy, czyli dokonano weryfikacji wszystkich hipotez (pozytywnie lub negatywnie) oraz odpowiedziano na wszystkie pytania badawcze na podstawie przeprowadzonych badań. Tym samym osiągnięty został pierwszy główny cel tej rozprawy, polegający na ocenie skali wpływu warunków ergonomicznych na efektywność pracy nawigatora. Przedstawiono szereg analiz dotyczących czasu i skuteczności detekcji różnych obiektów wokół statku w zależności od różnych warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu symulatora mostka nawigacyjnego. Chociaż nie osiągnięto statystycznie istotnych wyników dotyczących różnic w czasie detekcji w różnych warunkach, skuteczność wykrywania niektórych obiektów była od nich zależna. Warunki ergonomiczne mają także wymierny wpływ na odczuwanie uciążliwości podczas prowadzenia nawigacji. Jest to wynik sugerujący, że poprawna ergonomia mostka nie powinna być lekceważona w kontekście zapewnienia bezpieczeństwa statku, szczególnie przy długich wachtach.

Osiągnięto także drugi z dwóch głównych celów tej rozprawy, czyli dokonano oceny konieczności i stopnia wspierania nawigatorów w zakresie utrzymywania odpowiedniej ergonomii na mostku. Do realizacji tego celu uwzględniono opinię praktyków. Według 87,9% z nich, panujące czynniki ergonomiczne na mostku mają wpływ na ich efektywność pracy, zaś niemal trzech na czterech ankietowanych nawigatorów (74,4%), uważa, że częste dostosowywanie swojego środowiska pracy za uciążliwe lub mogące powodować przeciążenie obowiązkami. W badaniu ankietowym numer 1 wskazywano różne czynniki zakłócające pracę, wliczając w to głośne lub irytujące dźwięki, wibracje, niekomfortową wilgotność powietrza, a hałas i nieodpowiednie oświetlenie pomieszczenia wyraźnie utrudniały prowadzenie nawigacji podczas badania symulacyjnego. Pozwala to na stwierdzenie, że wspieranie nawigatorów pod kątem ergonomicznym i wyręczanie ich z wykonywania czynności związanych z utrzymywaniem odpowiednich warunków środowiskowych jest zasadne i potrzebne, gdyż może stanowić realne wsparcie podczas pracy. Z tego powodu, w tej rozprawie przedstawiono proponowane rozwiązania problemów ergonomicznych na mostku nawigacyjnym.

7.2. Plany przyszłych badań

Uzyskane wyniki i poznane ograniczenia mogą posłużyć jako punkt wyjściowy do dalszych badań i analiz w tematyce ergonomii mostka nawigacyjnego. Nakreślono kilka kierunków potencjalnych prac badawczych w przyszłości.

- **Badania związane z poruszaniem się nawigatorów na mostkach**

Ze względu na brak możliwości odrzucenia obu dodatkowych hipotez, zasadnym jest zweryfikowanie ich w przyszłości podczas badań dotyczących poruszania się nawigatorów na mostku, bazujących na większej liczbie obserwacji. Oprócz wstępnej weryfikacji obu hipotez, wyniki badania mogą prowadzić także do innych obserwacji i wniosków. Jednym z nich jest stwierdzenie, że nawigatorzy wykorzystują obecnie w swojej pracy komputery ogólnego przeznaczenia z dostępem do Internetu. Podczas wachty często wymagane jest wykonanie oceny ryzyka, wyszukanie informacji w publikacjach elektronicznych lub sprawdzenie prognozy pogody. W badaniu, do pól znajdujących się bezpośrednio przy takich stacjach komputerowych przypisano łącznie 37 pozycji statycznych. Co więcej, na mapach cieplnych pola te są „najcieplejszymi” obszarami w tylnej części mostków na każdym odwiedzanym statku. Większość statycznych pozycji w pobliżu komputera stacjonarnego zaobserwowano w ciągu dnia (32 z 37). Wszystkie takie pozycje w nocy były odnotowane na promie Ro-Pax 1, gdzie mostek jako jedyny nie posiadał kurtyn oddzielających stację z komputerem ogólnego przeznaczenia od obszarów nawigacyjnych. Możliwy wpływ konstrukcji mostka na obserwację nie ogranicza się zatem do obecności, braku lub nieprawidłowego umiejscowienia krzeseł na mostku. Sugeruje to, że istnieją inne czynniki wpływające na nawyki poruszania się i czas spędzany w niektórych obszarach mostka.

W dobie cyfryzacji i ogólnego postępu technologicznego, nawyki nawigatorów mogą się zmienić. W przyszłych badaniach warto byłoby ocenić także, czy elektroniczne dzienniki pokładowe mają wpływ na czas, jaki nawigator spędza na dokonywaniu wpisów, co może pomóc także w ustalaniu najlepszego miejsca ich umieszczenia na nowoczesnych, ergonomicznych mostkach.

Z uwagi na możliwe ograniczenia w korzystaniu z kamer, skutkujące brakiem ciągłości w rejestrowaniu ruchu podczas tych obserwacji, w przyszłych badaniach planowane jest użycie przez nawigatorów kamizelek do śledzenia ruchu. Należałoby także wydłużyć okres prowadzonych obserwacji, aby sprawdzić zależności dotyczące mobilności w różnych fazach wachty. Zakładając możliwy wpływ obecności krzesła na mobilność oficerów, w idealnym przypadku badanie powinno być przeprowadzone na statkach siostrzanych, a przynajmniej tego samego typu i o podobnych wymiarach, pracujących w tym samym obszarze (najlepiej na tej samej trasie), gdy jeden mostek posiadałby krzesło, a drugi nie. Kamizelki śledzące byłyby pomocne przy pomiarze dokładnego czasu spędzonego w ruchu oraz w bezruchu, eliminując tym samym potrzebę stosowania współczynników statycznych i dynamicznych. Ponadto, stałe zapisy ruchu byłyby wykorzystane do badania korelacji we wzorcach chodzenia, co pomoże w lepszym zrozumieniu zachowania i zwyczajów nawigatorów. W przyszłych badaniach zaproponowane

zostanie także użycie prostego kwestionariusza ze skalą liczbową, aby poznać chęć nawigatorów do siedzenia na początku, w środku i na końcu swojej wachty. Dostarczyłoby to dodatkowych informacji do badania preferencji i przyzwyczajeń nawigatorów.

Wachlarz potencjalnych hipotez, które można byłoby zweryfikować badając ruch nawigatorów podczas wachty jest bardzo szeroki. Idealnym byłoby stworzenie otwartej bazy danych, w której zebrane obserwacje byłyby publicznie dostępne i anonimowe. Ważne jest jednak ujednolicenie procesu gromadzenia takich danych, które miałyby być zawarte w bazie, łącznie z pomiarem czasu, wymiarami i rodzajem statku oraz obszarem żeglugi (morze otwarte lub wody przybrzeżne). Stworzenie takiej bazy danych wymagałoby prawdopodobnie współpracy wielu armatorów, jednak udostępnienie jej społeczności badaczy mogłoby zaowocować różnymi niezależnymi badaniami i obserwacjami. Może to obejmować nie tylko z ergonomiczne projektowanie mostków, ale także określenie czasu efektywnego wykonywania obowiązków lub redukcję chorób zawodowych i dyskomfortu podczas pracy.

- **Badania nad optymalnymi wartościami luminancji ekranów urządzeń nawigacyjnych**

W rozprawie przedstawiona została koncepcja pracy automatycznego dostrajania luminancji ekranów względem aktualnego natężenia oświetlenia otoczenia. Przeprowadzenie własnych badań preferencji nawigatorów odnośnie jasności ekranów urządzeń nawigacyjnych w stosunku do natężenia oświetlenia otoczenia jest zadaniem znacząco wykraczającym poza planowany zakres tej rozprawy, lecz jest to elementem prac zaplanowanych na przyszłość. Główny nacisk w badaniach będzie położony na zbadanie preferencji nawigatorów podczas nocnej pracy, gdyż jest to zagadnienie zauważane także przez innych badaczy publikujących w tematyce ergonomii mostka nawigacyjnego.

- **Automatyzacja pracy świateł nawigacyjnych na statku**

Opracowany Algorytm 1, oparty na astronawigacji, może mieć także inne zastosowania niż zaproponowane w rozprawie. Nie jest to bezpośrednio związane z ergonomią mostka nawigacyjnego, ale jest to kolejne rozwiązanie odciążające nawigatorów z rutynowych obowiązków. Mianowicie, algorytm ten mógłby być podstawą do automatyzacji zapalania i gaszenia świateł nawigacyjnych. Według Międzynarodowych Przepisów o Zapobieganiu Zderzeniom na Morzu, światła nawigacyjne powinny być zapalone od zmierzchu do świtu, podczas ograniczonej widzialności oraz mogą być pokazywane we wszelkich innych okolicznościach, które uważa się za konieczne. Wraz z integracją z AIS, gdzie wprowadzany jest aktualny status nawigacyjny własnego statku, można utworzyć dodatkowy warunek zapalania świateł tylko w drodze (nie wolno zapalać ich między innymi będąc zacumowanym w porcie). System ten mógłby być dodatkowo wyposażony w czujnik mgły lub działać jedynie w trybie biernym, czyli informować o wschodzie i zachodzie Słońca w danej pozycji geograficznej, a nie aktywnie sterować światłami. Rozwiązanie to mogłoby potencjalnie pomóc w osiągnięciu wyższego poziomu wydajności wykorzystywania energii elektrycznej na statku, co jest obecnie tematem wielu prac legislacyjnych na świecie i w Unii Europejskiej.

- **Ćwiczenie symulacyjne uczące kontrolowania warunków ergonomicznych na mostku**

Zadanie symulacyjne, w formie zaproponowanej w podrozdziale 2.7 tej rozprawy, stanowi wstępne działanie w kierunku budowania świadomości ergonomicznej nawigatorów. Na jego podstawie możliwe będzie dalsze rozwijanie ćwiczenia, które w przyszłości skupi się nie tylko na uświadamianiu, ale również na uczeniu skutecznego reagowania na niekorzystne zmiany warunków otoczenia. Jednym z głównych założeń ćwiczenia w nowej formie będzie możliwość podejmowania działań ograniczających lub eliminujących występujące zakłócenia. Celem będzie nie tylko zaobserwowanie reakcji nawigatorów, ale również stopniowe kształtowanie pożądanych nawyków ergonomicznych. Taka modyfikacja ćwiczenia znacznie wykracza poza zakres tej rozprawy doktorskiej, jednak Polska Żegluga Morska wyraziła zainteresowanie w kontynuowaniu prac związanych z udoskonaleniem ćwiczenia symulacyjnego w przyszłości.

- **Zbadanie problemów i potrzeb ergonomicznych maszynistów w transporcie kolejowym**

Badania prowadzone przez autora rozprawy zostały objęte patronatem honorowym Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego na zbadanie problemów i potrzeb ergonomicznych maszynistów w transporcie kolejowym w Polsce, na wzór badań ankietowych numer 1 i numer 2, zrealizowanych w toku tej rozprawy. Zauważono potencjał na współpracę między różnymi gałęziami transportu, w celu poprawy bezpieczeństwa ruchu kolejowego. Realizację tego projektu przewidziano od września 2025 r. do września 2026 r., a pismo informujące o objęciu patronatu zamieszczono w załączniku I.

8. WNIOSKI

Transport morski boryka się z wieloma problemami w różnych dziedzinach. Wszystkie strony zaangażowane w eksploatację statków powinny obecnie kierować się hasłem „bezpieczeństwo przede wszystkim” (ang. „*safety first*”). Czynniki ergonomiczne mają bezpośredni wpływ na obowiązki nawigatora, w tym na właściwą obserwację. Biorąc pod uwagę liczbę wypadków, których przyczyną był czynnik ludzki, można uznać, że problem pozostaje nierozwiązany i istnieje wyraźna potrzeba dalszych badań w tym zakresie oraz konieczne jest rozwijanie odpowiednich przepisów. Problemy związane z ergonomią są obecnie znane branży morskiej i rozwiązywane są poprzez wdrażanie przepisów czy wytycznych, które niestety często są nieobowiązkowe lub zbyt ogólne. Od projektantów statków nie wymaga się doświadczenia w nawigacji, dlatego też powinni oni być wspierani przez regularnie uaktualniane normy i wytyczne.

W pracy wykazano, że istnieje luka w przepisach, dotycząca środowiska pracy na mostku. Z wyjątkiem ograniczenia hałasu od 2012 roku, istnieją tylko zalecenia, wytyczne i inne nieobowiązkowe dokumenty dotyczące środowiskowych czynników ergonomicznych. Niestety, dokumenty te nie wymuszają ich przestrzegania. Luka regulacyjna istnieje również w zakresie szkolenia marynarzy. Zgodnie z konwencją STCW, nawigatorzy nie są uczeni kontrolowania środowiska pracy, w tym odpowiedniej regulacji głośności, jasności ekranów i oświetlenia sterówki. W związku z tym, konieczne mogą być dodatkowe działania wspierające ergonomię, w tym rozszerzenie zakresu szkolenia oficerów.

Badania przeprowadzone za pomocą autorskiej ankiety pozwoliły lepiej poznać świadomość ergonomiczną zawodowych nawigatorów. Jak się okazało, jest ona na stosunkowo wysokim poziomie, jednak często wiedza ta nie jest wykorzystywana w praktyce. Marynarze pracują w trudnym środowisku, z dala od rodzin, pod presją czasu i stresu. Właściwie zastosowana ergonomia na mostku nawigacyjnym może skutkować nie tylko poprawą komfortu, ale także zwiększeniem wydajności człowieka, co jest uważane za kluczowy element unikania kolizji i bezpiecznego przeprowadzenia statku. Świadomość należy podnosić jednak nie tylko wśród nawigatorów, ale także firm. Bowiem w dobie szybkiego postępu technologicznego istotna jest kontrola środowiska pracy i jak najefektywniejsze korzystanie z niego.

W pracy wykorzystano model Kano do badania satysfakcji nawigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych. Najprawdopodobniej rzeczy, które dzisiaj uważane są za atrakcyjne, w przyszłości staną się po prostu oczekiwane. Wdrożenie rozwiązań z kategorii Atrakcyjnej i Jednowymiarowej zwiększy satysfakcję nawigatorów i stanie się wartością dodaną dla firm zapewniających tak dostosowane mostki nawigacyjne. Przeprowadzenie tego badania na wczesnym etapie prac pozwoliło na wyznaczenie kierunku działań wdrożeniowych, nadając priorytety poszczególnym rozwiązaniom.

Podsumowując przeprowadzone badania na statkach, można stwierdzić, że konstrukcja, wyposażenie i układ mostka mają wpływ na poruszanie się nawigatorów i związane z tym nawyki obserwacyjne. W tej pracy przeanalizowano poruszanie się nawigatorów na statkach o różnych mostkach. W eksperymencie stwierdzono, że podczas nocnych wacht nawigatorzy zachowywali się bardziej statycznie niż podczas dziennych. Niezależnie od konstrukcji mostków oraz

obecności lub braku krzesła zaobserwowano, że przez większość czasu wachty nawigatorzy przebywali w pobliżu stanowiska z kluczowym wyposażeniem nawigacyjnym. Wskazuje to na wysoką użyteczność tego obszaru. Z tego względu, odpowiednio ustawione krzesło, zapewniające wystarczająco dobrą widoczność i swobodny dostęp do sprzętu, nie powinno być uważane za potencjalne zagrożenie związane ze spadkiem zaangażowania w pracę. W badaniu nie zaobserwowano także zwiększonego stosunku pozycji statycznych do dynamicznych u nawigatorów na statkach z krzesłem na mostku, w porównaniu z tymi bez krzesła. Dlatego też zabranianie oficerom siedzenia podczas wacht nie jest zasadne. Podkreślając fakt, że w roku 2000, w dokumencie MSC/Circ.982 zaproponowano umieszczenie na mostku regulowanego krzesła, nadal nie jest to obowiązkowy element wyposażenia i tylko dwa z czterech odwiedzonych statków były w nie wyposażone. Siedzenie podczas wachty może zmniejszyć ryzyko potencjalnych zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego i nadmiernego zmęczenia. Ustanowienie jednoznacznych przepisów w tej kwestii można uznać za obszar do potencjalnej poprawy w zakresie ergonomicznego projektowania mostków.

W toku prac przeprowadzono unikalny eksperyment na symulatorach mostkach nawigacyjnego, który uwzględniał warunki panujące w całym pomieszczeniu, a nie tylko obrazował aktualną sytuację nawigacyjną. Ćwiczenie to miało na celu zbadać wpływ warunków ergonomicznych w pomieszczeniu na efektywność oraz czas wykrycia obiektów dookoła statku, a także ocenić komfort pracy i jej uciążliwość w danych warunkach. Analiza wyników pokazała, że warunki panujące w pomieszczeniu wpływały na skuteczność wykrywania niektórych typów obiektów, jak miało to miejsce w przypadku małych statków i tratw. Zarówno hałas, jak i nieodpowiednie oświetlenie wykazują także istotny wpływ na wzrost poziomu uciążliwości prowadzenia obserwacji, przy czym nieodpowiednie oświetlenie ma wyraźnie większy wpływ niż hałas. Wyniki te mogą mieć istotne znaczenie dla ergonomicznego projektowania mostków. Wskazują one na potrzebę minimalizacji tego typu zakłóceń, w celu zmniejszenia obciążenia nawigatora podczas wykonywania pracy, która jest kluczowa dla bezpieczeństwa statku. Odnotowano także, że osoby posiadające co najmniej dyplom oficera wachtowego wykrywały inne jednostki wokół własnego statku szybciej i skuteczniej niż studenci biorący udział w badaniu.

Rozwiązanie problemu ergonomii mostka nawigacyjnego i ograniczenie jego negatywnego wpływu na nawigatorów jest złożonym zagadnieniem wdrożeniowym. Proponowane rozwiązania podzielono na szkoleniowe, wyposażeniowe oraz systemowe. Rozwiązania systemowe automatyzują czynności wykonywane przez człowieka związane z utrzymywaniem sprzyjających warunków ergonomicznych na mostku. Rozwiązania wyposażeniowe poprawiają komfort pracy, bazując na wyposażeniu mostka w ergonomiczny sprzęt, zaś proponowane Szkolenia są jedną z metod zapobiegania incydentom ergonomicznym oraz niewłaściwym praktykom w pracy, potencjalnie redukując także zmęczenie.

Zaproponowano metodę oceny zasadności implementacji rozwiązań ergonomicznych, która może posłużyć jako wskazówka dla armatorów, gdzie i w jaki sposób szukać potencjalnych inwestycji, aby zwiększyć poziom satysfakcji pracowników. Ważnym aspektem jest nie tylko zapewnienie najwyższej jakości sprzętu nawigacyjnego, ale także stworzenie środowiska pracy

umożliwiającego komfortowe korzystanie z tego typu urządzeń. Zyski z inwestycji w ergonomię mogą nie być od razu widoczne dla firm, ponieważ są trudne do zmierzenia w porównaniu z rozwiązaniami mechanicznymi. Oprócz potencjalnego zwiększenia wydajności nawigatorów, za jedną z głównych korzyści można uznać zwiększenie poziomu satysfakcji pracowników, przyczyniające się do utrzymania obecnych załóg i przyciągania nowych. Utrzymanie pracowników w firmie jest krytyczne w wielu branżach. Koszt przedłużającej się rekrutacji może okazać się znaczącym wydatkiem, a w przypadku branży morskiej sprawa jest jeszcze bardziej złożona, a ryzyko wyższe, gdyż statek nieobsadzony wystarczającą liczbą oficerów nie może wyjść w morze, zgodnie z międzynarodowymi konwencjami. Oznaczałoby to przestój i kolejne koszty obciążające armatora.

W toku pracy zweryfikowano wszystkie stawiane hipotezy oraz udzielono odpowiedzi na pytania badawcze. Oprócz tego, zbadano także szereg innych zależności, w tym wpływ ergonomii mostka na człowieka w stopniu wykraczającym poza założenia pracy. Potrzebne są dalsze badania, aby ocenić rzeczywistą skalę tego problemu, ale z pewnością istnieje przestrzeń na rozwój i poprawę w zakresie ergonomii mostka nawigacyjnego. Wyniki tej rozprawy mogą znaleźć zastosowanie na kilku poziomach. Przede wszystkim stanowią źródło wiedzy dla armatorów, którzy mogą wykorzystać część wdrożeniową pracy do lepszego dostosowania mostków do potrzeb nawigatorów w celu podniesienia ich efektywności i zmniejszenia obciążenia pracą. Identyfikacja problemów i ich wpływ na wykonywanie obowiązków mogą być użyteczne dla samych nawigatorów, wspierając ich w bardziej świadomym kształtowaniu własnego środowiska pracy. Z rezultatów tej rozprawy mogą skorzystać także projektanci mostków, tak by podczas tworzenia przestrzeni nawigacyjnych uwzględniać rzeczywiste potrzeby i zachowania użytkowników końcowych.

Postęp technologiczny jest bardzo szybki i ergonomia powinna za nim nadążyć, aby maksymalizować wydajność operatorów. Uwzględniając przeciwności napotkane podczas prac, zaproponowano dalszy kierunek badań w przyszłości. Postęp w branży morskiej jest w ostatnich latach stały, a nowe rozwiązania zwykle wprowadzane są etapami, dlatego nie należy spodziewać się natychmiastowej implementacji wszystkich rekomendowanych rozwiązań na wszystkich statkach firmy zatrudniającej doktoranta, lecz ewentualnego wdrażania pojedynczych rozwiązań na wybranych jednostkach i ocenie wpływu tych zmian.

Wykaz literatury

1. United Nations Conference on Trade and Development, <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2024>, (data dostępu 26.06.2025 r.).
2. United Nations Conference on Trade and Development, <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.MerchantFleet>, (data dostępu 26.06.2025 r.).
3. United Nations Conference on Trade and Development, <https://unctadstat.unctad.org/datacentre/dataviewer/US.PortCalls>, (data dostępu 26.06.2025 r.).
4. Rothenberg L.E.: *Globalization 101: The Three Tensions of Globalization*, Occasional Papers from the American Forum for Global Education. Issues in Global Education, 176, 2003.
5. Allen P., Wadsworth E. i Smith A.: *The prevention and management of seafarers' fatigue: a review*, International Maritime Health, 58(1–4), 2007, s. 167–177.
6. International Ergonomics Association, <https://iea.cc/about/what-is-ergonomics/>, (data dostępu 21.06.2025 r.).
7. Hägg G., Melin B. i Kadefors R.: *Applications in Ergonomics*, w *Electromyography: Physiology, Engineering, and Noninvasive Applications*, red. Merletti R. i Parker P., Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2004, s. 343–363.
8. Bridger R.: *Introduction to Ergonomics*, CRC Press, Boca Raton 2008.
9. Dul J. i Weerdmeester B.: *Ergonomics for Beginners: a quick reference guide*, CRC Press, Boca Raton 2008.
10. Lund M.S., Gulland J.E., Hareide O.S., Jøsok Ø. i Weum K.O.C.: *Integrity of Integrated Navigation Systems*, Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Communications and Network Security (CNS), 30 maja–1 września 2018, Pekin, Chiny, 2018, s. 1–5.
11. Weintrit A., Pietraszkiewicz J., Piotrkowski W. i Tycholiz W.: *e-Navigating in highly-constrained waters: a case study of the Vistula Lagoon*, Journal of Navigation, 74(3), 2021, s. 505–514.
12. Wilson J.: *Fundamentals of ergonomics in theory and practice*, Applied Ergonomics, 31(6), 2000, s. 557–567.
13. Parsons K.: *Environmental ergonomics: a review of principles, methods and models*, Applied Ergonomics, 31(6), 2000, s. 581–594.
14. International Organization for Standardization: ISO 6385:2016: *Ergonomics principles in the design of work systems*, 2016.
15. Karwowski W.: *Ergonomics and human factors: the paradigms for science, engineering, design, technology and management of human-compatible systems*, Ergonomics, 48(5), 2005, s. 436–463.
16. Sharma A., Nazir S. i Ernsten J.: *Situation awareness information requirements for maritime navigation: A goal directed task analysis*, Safety Science, 120, 2019, s. 745–752.
17. Guo F., Wu B., Wah M., Yang Z., Blanco-Davis E., Khalique A. i Bury A.: *Towards An Ergonomic Interface In Ship Bridges: Identification of The Design Criteria*, w *Industrial Cognitive Ergonomics and Engineering Psychology*, red. Umer Asgher, AHFE Open Access, 35, 2022, s. 108–117.
18. Praetorius G., Kataria A., Petersen E.S., Schröder-Hinrichs J.-U., Baldauf M. i Kähler N.: *Increased Awareness for Maritime Human Factors through e-learning in Crew-centered Design*, Procedia Manufacturing, 3, 2015, s. 2824–2831.
19. Wright R.G.: *Unmanned and Autonomous Ships: An Overview of MASS*, Routledge, Nowy Jork 2020.

20. Hareide O. i Ostnes R.: *Maritime Usability Study by Analysing Eye Tracking Data*, Journal of Navigation, 70(5), 2017, s. 927–943.
21. Schager B.: *When Technology Leads Us Astray: A Broadened View of Human Error*, Journal of Navigation, 61(1), 2008, s. 63–70.
22. Hadnett E.: *A Bridge Too Far?*, Journal of Navigation, 61(2), 2008, s. 283–289.
23. Röttger S. i Krey H.: *Experimental study on the effects of a single simulator-based bridge resource management unit on attitudes, behaviour and performance*, Journal of Navigation, 74(5), 2021, s. 1127–1141.
24. International Organization for Standardization: *ISO 26800:2011: Ergonomics – General approach, principles and concepts*, 2011.
25. Eler G., Calambuhay J., Bernas L. i Magramo M.: *Officers' Shortage: Viewpoints from Stakeholders*, TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 3(4), 2009, s. 471–474.
26. Allianz Global Corporate & Specialty: *Safety and Shipping Review 2021. An annual review of trends and developments in shipping losses and safety*, 2021.
27. Arslan O. i Er I.D.: *Effects of Fatigue on Navigation Officers and SWOT Analyze for Reducing Fatigue Related Human Errors on Board*, TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 1(3), 2007, s. 345–349.
28. Fei J. i Lu J.: *Analysis of students' perceptions of seafaring career in China based on artificial neural network and genetic programming*, Maritime Policy & Management, 42(2), 2015, s. 111–126.
29. Maglić L. i Zec D.: *The Impact of Bridge Alerts on Navigating Officers*, Journal of Navigation, 73(2), 2020, s. 421–432.
30. Arslan O., Atik O. i Kahraman S.: *Eye tracking in usability of electronic chart display and information system*, Journal of Navigation, 74(3), 2021, s. 594–604.
31. Yuen K., Loh H., Zhou Q. i Wong Y.: *Determinants of job satisfaction and performance of seafarers*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 110, 2018, s. 1–12.
32. Wynn T., Howarth P.A. i Kunze B.R.: *Night-time lookout duty: The role of ambient light levels and dark adaptation*, Journal of Navigation, 65(4), 2012, s. 589–602.
33. Kopacz Z., Morgaś W. i Urbański J.: *The Changes in Maritime Navigation and the Competences of Navigators*, Journal of Navigation, 57(1), 2024, s. 73–83.
34. Kopacz Z., Morgaś W. i Urbański J.: *The Ship's Navigation Function, Ship's Navigation Processes, and Ship's Navigational Information*, Journal of Navigation, 56(1), 2003, s. 101–109.
35. Grech M., Horberry T. i Koester T.: *Human Factors in the Maritime Domain*, CRC Press, Boca Raton 2008.
36. International Maritime Organization: *Konwencja w sprawie międzynarodowych przepisów o zapobieganiu zderzeniom na morzu z 1972 (COLREG)*, Londyn 1972.
37. Jurdziński M.: *Changing the Model of Maritime Navigation*, TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 12(1), 2018, s. 35–41.
38. Ungert A.: *Zintegrowany system nawigacji w świetle przepisów Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO)*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, 12, 2017, s. 1375–1380.
39. International Maritime Organization: *Resolution MSC.252(83): Adoption of the Revised Performance Standards for Integrated Navigation Systems (INS)*, Londyn 2007.
40. International Maritime Organization: *Międzynarodowa konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu, 1974 (SOLAS)*, Londyn 1974.
41. Wawruch R.: *System mostka zintegrowanego – problemy z integracją danych radarowych*, TTS Technika Transportu Szynowego, 9, 2012, s. 505–513.

42. International Maritime Organization, <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/IntegratedBridgeSystems.aspx>, (data dostępu 15.06.2025 r.).
43. International Maritime Organization: Resolution MSC.64(67): *Adoption of new and amended performance standards*, Londyn 1996.
44. Perera L.P. i Guedes Soares C.: Collision risk detection and quantification in ship navigation with integrated bridge systems, *Ocean Engineering*, 109, 2015, s. 344–354.
45. Perera L.P. i Mo B.: *Machine Intelligence Based Data Handling Framework for Ship Energy Efficiency*, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 66(10), 2017, s. 8659–8666.
46. Bian H., Li A., Ma H. i Wang R.: *Integrated Bridge System*, w *Essentials of Navigation*, Springer, Singapore 2024.
47. Masroeri A.: *Integrated Design of Bridge Deck Based on Ergonomics Rules towards One Man Control Bridge*, *British Journal of Applied Science & Technology*, 13, 2016, s. 1–10.
48. International Maritime Organization: MSC/Circ.982: *Guidelines on Ergonomic Criteria for Bridge Equipment and Layout*, Londyn 2000.
49. International Organization for Standardization: ISO 8468:2007: *Ships and marine technology – Ship's bridge layout and associated equipment – Requirements and guidelines*, 2007.
50. Dalaklis D.: *Safety and Security in Shipping Operations*, w *Shipping Operations Management*, red. Visvikis I.D. i Panayides P.M., Springer International Publishing, 2017, s. 197–213.
51. Wang H. i Dai T.: *Causing mechanism analysis of human factors in the marine safety management based on the entropy*, 2012 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 10–13 grudnia 2012 r., Hong Kong, Chiny, s. 1307–1311.
52. Acejo I., Sampson H., Turgo N., Ellis N. i Tang L.: *The causes of maritime accidents in the period 2002-2016*, Seafarers International Research Centre (SIRC), 2018.
53. Sánchez-Beaskoetxea J., Basterretxea-Iribar I., Sotés I. i Machado M.d.I.M.M.: *Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame?*, *Maritime Transport Research*, 2, 2021, artykuł nr 100016.
54. International Maritime Organization: Resolution IMO A.1110(30): *Strategic Plan for the Organization for the six-year period 2018 to 2023*, Londyn 2017.
55. International Maritime Organization: Resolution A.1173(33): *Strategic Plan for the Organization for the six-year period 2024 to 2029*, Londyn 2023.
56. Bielić T., Hasanspahić N. i Čulin J.: *Preventing marine accidents caused by technology-induced human error*, *Pomorstvo*, 31(1), 2017, s. 33–37.
57. Dominguez-Péry C., Vuddaraju L.N.R., Corbett-Etchevers I. i Tassabehji R.: *Reducing maritime accidents in ships by tackling human error: a bibliometric review and research agenda*, *Journal of Shipping and Trade*, 6, 2021, artykuł nr 20.
58. Turan I., Chegut A., Fink D. i Reinhart C.: *The value of daylight in office spaces*, *Building and Environment*, 168, 2020, artykuł nr 106503.
59. Vidan P., Vukša S. i Bekavac, L.: *Safety Aspect of Navigation Bridge Lighting During Night Watch*, 8th International Maritime Science Conference, 11–12 kwietnia 2019, Budva, Czarnogóra, s. 537–543.
60. Musiał E.: *Podstawowe pojęcia techniki oświetleniowej*, *Biuletyn SEP INPE „Informacje o normach i przepisach elektrycznych”*, 75, 2005, s. 3–38.
61. King L.E.: *Illuminance versus luminance*, HRB Special-Report 134: Highway Visibility, 1972.

62. Becker M.: *Evaluation and characterization of display reflectance*, Displays, 19(1), 1998, s. 35–54.
63. Pater P.: *Functions of artificial light in the architectural space. Funkcje światła sztucznego w przestrzeni architektonicznej*, Przestrzeń i forma, 27, 2016, s. 29–42.
64. Skowranek R.: *Basics Lighting Design*, Birkhauser, Bazylea 2017.
65. Kobayashi S., Inui M. i Nakamura Y.: *Preferred Illuminance Non-Uniformity of Interior Ambient Lighting*, Journal of Light & Visual Environment. 25, 2001, s. 64–75.
66. Paluch R.: *Ergonomia – ograniczenia i możliwości człowieka*, w BHP w energetyce: Poradnik dla każdej firmy, Europex, Kraków 2003, s. 175–220.
67. Grandjean E.: *Ergonomics In Computerized Offices*, CRC Press, Londyn 1986.
68. Baetens R., Jelle B.P. i Gustavsen A.: *Properties, requirements and possibilities of smart windows for dynamic daylight and solar energy control in buildings: A state-of-the-art review*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 94(2), 2010, s. 87–105.
69. Yang Y., Zhu C. i Zhang H.: *Real-time simulation: water droplets on glass windows*, Computing in Science & Engineering, 6(4), 2004, s. 69–73.
70. Corney D., Haynes J.D., Rees G. i Lotto R.B.: *The brightness of colour*, PLoS One, 4(3), 2009, artykuł nr e5091.
71. Kim S.-R., Lee S.-H., Jeon D.-H., Kim J.-S. i Lee S.-W.: *Optimum display luminance dependence on ambient illuminance*, Optical Engineering, 56(1), 2017, artykuł nr 017110.
72. Tällberg R., Jelle B.P., Loonen R., Gao T. i Hamdy M.: *Comparison of the energy saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state-of-the-art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic technologies*, Solar Energy Materials and Solar Cells, 200, 2019, artykuł nr 109828.
73. Bąk J.: *Technika oświetlania*, PWN, Warszawa 1981.
74. Oziemblewski P.: *Technika świetlna od podstaw*, Wydawnictwo Publikacji Elektronicznych, Warszawa 2006.
75. Sheedy J.E., Smith R. i Hayes J.: *Visual effects of the luminance surrounding a computer display*, Ergonomics, 48(9), 2005, s. 1114–1128.
76. Ramasoot T. i Fotios S.A.: *Lighting and display screens: Models for predicting luminance limits and disturbance*, Lighting Research and Technology, 44(2), 2012, s. 197–223.
77. Kirpluk M.: *Podstawy akustyki*, <https://www.ntlmk.com/biblioteka/M.Kirpluk%20-%20Podstawy%20akustyki%20-%202024-09.pdf>, (data dostępu 11.06.2025 r.).
78. The Nautical Institute: *Bridge Resource Management*, The Navigator, 7, 2014.
79. Mozhey D., Gonzalez-Almeida J.A., Adrian de Ganzo M.C., Gomez Correa A.U. i Almenara de Luz J.: *Using the Closed Loop Communication System to Prevent Accidents Caused by Human Errors*, Journal of maritime research, 21(1), 2024, s. 361–369.
80. International Maritime Organization: MSC.1/Circ.1598: *Guidelines on fatigue*, Londyn 2019.
81. Strauch B.: *Investigating Fatigue in Marine Accident Investigations*, Procedia Manufacturing, 3, 2015, s. 3115–3122.
82. Leung A., Chan C., Ng J. i Wong P.: *Factors contributing to officers' fatigue in high-speed maritime craft operations*, Applied Ergonomics, 37(5), 2006, s. 565–576.
83. Blehm C., Vishnu S., Khattak A., Mitra S. i Yee R.W.: *Computer Vision Syndrome: a review*, Survey of Ophthalmology, 50(3), 2005, s. 253–262.
84. Wang G. i Cui Y.: *Meta-analysis of visual fatigue based on visual display terminals*, BMC Ophthalmology, 24, 2024, artykuł nr 489.

85. Waters T.R. i Dick R.B.: *Evidence of health risks associated with prolonged standing at work and intervention effectiveness*, Rehabilitation Nursing, 40(3), 2015, s. 148–165.
86. Halim I., Omar A.R., Saman A.M. i Othman I.: *Assessment of muscle fatigue associated with prolonged standing in the workplace*, Safety and Health at Work, 3(1), 2012, s. 31–42.
87. Halim I. i Omar A.R.: *A review on health effects associated with prolonged standing in the industrial workplaces*, International Journal of Research and Reviews in Applied Science, 8(1), 2011, s. 14–21.
88. Lin Y.-H., Chen C.-Y. i Cho M.-H.: *Influence of shoe/floor conditions on lower leg circumference and subjective discomfort during prolonged standing*, Applied Ergonomics, 43(5), 2012, s. 965–970.
89. Mohd Noor S.N.A., Ahmad I.N., Wahab N.A. i Ma'arof M.I.N.: *A review of studies concerning prolonged standing working posture*, Advanced Engineering Forum, 10, 2013, s. 131–136.
90. European Agency for Safety and Health at Work: *Musculoskeletal disorders and prolonged static standing*, 2020, <https://oshwiki.osha.europa.eu/en/themes/musculoskeletal-disorders-and-prolonged-static-standing>, (data dostępu 28.05.2025 r.).
91. Hartvigsen J., Leboeuf-Yde C., Lings S. i Corder E.H.: *Is sitting-while-at-work bad for your low back? A systematic, critical literature review*, Scandinavian Journal of Public Health, 28(3), 2000, s. 230–239.
92. Hoogendoorn W., Bongers P.M., de Vet H.C.W., Douwes M., Koes B.W., Miedema M.C., Ariens G.A.M. i Bouter L.M.: *Flexion and rotation of the trunk and lifting at work are risk factors for low back pain*, Spine, 25(23), 2000, s. 3087–3092.
93. Britannia P&I Club: *B Safe: Incident Case Study No.3: Lone watchkeeping grounding at night*, 2021.
94. Niu S.: *Ergonomics and occupational safety and health: An ILO perspective*, Applied Ergonomics, 41(6), 2010, s. 744–753.
95. Jensen A. i Jepsen J.R.: *Vibration on board and health effects*, International Maritime Health, 65(2), 2014, s. 58–60.
96. American Bureau of Shipping: *ABS Guide for crew habitability on ships*, 2016.
97. Chircop A.: *The International Maritime Organization*, w The Oxford Handbook of the Law of the Sea, red. Rothwell D.R., Oude Elferink A.G., Scott K.N. i Stephens T., Oxford University Press, Oxford 2015, s. 416–438.
98. International Maritime Organization, <https://www.imo.org/en/OurWork/ERO/Pages/MemberStates.aspx>, (data dostępu 22.06.2025 r.).
99. Tarelko W.: *Origins of Ship Safety Requirements Formulated by International Maritime Organization*, Procedia Engineering, 45, 2012, s. 847–856.
100. Zhu G.: *STCW Convention Changes and Its Impact on Crew*, International Journal of Social Science and Education Research, 3(4), 2020, s. 170–176.
101. International Maritime Organization, <https://imo.org/en/OurWork/HumanElement/Pages/STCW-Convention.aspx>, (data dostępu 20.06.2025 r.).
102. International Maritime Organization, [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\)-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS)-1974.aspx), (data dostępu 18.06.2025 r.).
103. International Labour Organization, <https://www.ilo.org/global/standards/maritime-labour-convention/>, (data dostępu 27.06.2025 r.).

104. Manuel M.E. i Baumler R.: *The Evolution of Seafarer Education and Training in International Law*, Maritime Law in Motion, red. Mukherjee P.K., Mejia M.Q. i Xu J., Springer, Cham 2020, s. 471–494.
105. Marshall G.: *The purpose, design and administration of a questionnaire for data collection*, Radiography, 11(2), 2005, s. 131–136.
106. Baltic and International Maritime Council, International Chamber of Shipping: *Seafarer Workforce Report: The Global Supply and Demand for Seafarers in 2021*, Witherby, 2021.
107. International Maritime Organization: *Międzynarodowa konwencja o wymaganiach w zakresie wykształcenia, wydawania świadectw oraz pełnienia wacht dla marynarzy (STCW)*, Londyn 1978.
108. R Core Team: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Wiedeń 2021, <https://www.R-project.org/>, (data dostępu 08 maja 2022 r.).
109. Wilcoxon F.: *Individual comparisons by ranking methods*, Biometrics Bulletin, 1(6), 1945, s. 80–83.
110. Kruskal W.H. i Wallis W.A.: *Use of ranks in one-criterion variance analysis*, Journal of the American Statistical Association, 47(260), 1952, s. 583–621.
111. Dunn O. J.: *Multiple comparisons using rank sums*, Technometrics, 6(3), 1964, s. 241–252.
112. Pearson K.: *On the criterion that a given system of deviations from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling*, The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science, 50(302), 1900, s. 157–175.
113. Fisher R.A.: *On the interpretation of χ^2 from contingency tables, and the calculation of P*, Journal of the Royal Statistical Society, 85(1), 1922, s. 87–94.
114. Benjamini Y. i Hochberg Y.: *Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing*, Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 57(1), 1995, s. 289–300.
115. Xu Q., Jiao R., Yang X., Helander M., Khalid H. i Oppertud A.: *An analytical Kano model for customer need analysis*, Design Studies, 30(1), 2009, s. 87–110.
116. Martensen A. i Grønholdt L.: *Using employee satisfaction measurement to improve people management: An adaptation of Kano's quality types*, Total Quality Management, 12(7&8), 2001, s. 949–957.
117. Kano N., Seraku N., Takahashi F. i Tsuji S.: *Attractive Quality and Must-be Quality*, Journal of The Japanese Society for Quality Control, 14(2), 1984, s. 147–156.
118. Berger C., Blauth R., Boger D., Bolster C., Burchill G., DuMouchel W., Pouliot F., Richter R., Rubinoff A., Shen D., Timko M. i Walden D.: *Kano's Methods for Understanding Customer-defined Quality*, Center for Quality of Management Journal, 2(4), 1993, s. 3–36.
119. Matzler K., Hinterhuber H., Bailom F. i Sauerwein E.: *How to delight your customers*, Journal of Product & Brand Management, 5(2), 1996, s. 6–18.
120. International Association of Classification Societies: *IACS Recommendation No.95 for the Application of SOLAS Regulation V/15 – Bridge Design, Equipment Arrangement and Procedures (BDEAP)*, 2007.
121. Organizacja Narodów Zjednoczonych: *Konwencja Narodów Zjednoczonych o prawie morza (UNCLOS)*, Montego Bay 1982.
122. Aps R., Fetissov M., Goerlandt F., Kujala P. i Piel A.: *Systems-Theoretic Process Analysis of Maritime Traffic Safety Management in the Gulf of Finland (Baltic Sea)*, Procedia Engineering, 179, 2017, s. 2–12.

123. Mokhtari S., Hosseini S.M., Danehkar A., Torabi Azad M., Kadlec J., Jolma A. i Naimi B.: *Inferring spatial distribution of oil spill risks from proxies: Case study in the north of the Persian Gulf*, Ocean & Coastal Management, 116, 2015, s. 504–511.
124. Néték R., Brus J. i Tomecka O.: *Performance Testing on Marker Clustering and Heatmap Visualization Techniques: A Comparative Study on JavaScript Mapping Libraries*, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(8), 2019, artykuł nr 348.
125. Crameri F., Shephard G.E. i Heron P.J.: *The misuse of colour in science communication*, Nature Communications, 11, 2020, artykuł nr 5444.
126. Przywarty M.: *Factors influencing grounding probability in the Baltic Sea area-quantitative assessment*, Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin-Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 45(117), 2016, s. 196–201.
127. Marine Accident Investigation Branch: *Bridge Watchkeeping Safety Study*, Safety Study 1/2004, 2004.
128. International Maritime Organization: Resolution MSC.337(91): *Code of Noise Levels on Board Ships*, 2012.
129. R Core Team: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Wiedeń 2024, <https://www.R-project.org/>, (data dostępu 27.09.2024 r.).
130. International Maritime Organization: MSC.1/Circ.1371: *Amendments to the List of codes, recommendations, guidelines and other safety- and security-related non-mandatory instruments*, Londyn 2012.
131. International Organization for Standardization, https://www.iso.org/sites/ConsumersStandards/1_standards.html, (data dostępu 20.06.2025 r.).
132. International Labour Organization: *Konwencja o Pracy na Morzu, 2006 (MLC)*, 2006.
133. International Labour Organization: *Guidelines for implementing the occupational safety and health provisions of the Maritime Labour Convention, 2006*, 2016.
134. Khaliq A., Bury A. i Loughney S.: *Analysis and Optimisation of Best Practice for Proper Lookout at Night*, TransNav-International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 18(2), 2024, s. 357–367.
135. American Bureau of Shipping: *ABS Guidance Notes on Ergonomics Design of Navigation Bridges*, 2003.
136. American Bureau of Shipping: *ABS Guidance Notes on the Application of Ergonomics to Marine Systems*, 2003.
137. Card J.C., Baker C.C., McSweeney K.P. i McCafferty, D.B.: *Human Factors in Classification and Certification*, Proceedings of the SNAME Maritime Technology Conference and Expo and Ship Production Symposium 2005, 19–21 października 2005, Houston, Stany Zjednoczone, s. 201–211.
138. Norris A.: *AIS Implementation – Success or Failure?*, Journal of Navigation, 60(1), 2007, s. 1–10.
139. International Maritime Organization: Resolution MSC.282(86): *Adoption of Amendments to the International Convention for the Safety of Life At Sea, 1974, as amended*, Londyn 2009.
140. Graziano A., Teixeira A.P. i Guedes Soares C.: *Classification of human errors in grounding and collision accidents using the TRACER taxonomy*, Safety Science, 86, 2016, s. 245–257.
141. Brčić D. i Žuškin S.: *Towards Paperless Vessels: A Master's Perspective*, Journal of Maritime & Transportation Science, 55, 2019, s. 183–199.
142. United Kingdom Hydrographic Office, <https://www.admiralty.co.uk/sunsetting-paper-charts>, (data dostępu 29.06.2025 r.).

143. Ha W.-J., Jong J.-Y., Lee H.-K., Park Y.-S. i Park J.-S.: *The Design and Arrangement of Coastal Ship's Bridge on the Basis of Ergonomic Concept*, Journal of Navigation and Port Research, 27(6), 2003, s. 599–604.
144. International Maritime Organization: Resolution MSC.302(87): *Adoption of Performance Standards for Bridge Alert Management*, Londyn 2010.
145. International Electrotechnical Commission, <https://webstore.iec.ch/publication/19343>, (data dostępu 11.06.2025 r.).
146. International Maritime Organization: Resolution MSC.338(91): *Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, as amended*, Londyn 2012.
147. Larsen P.: *WATCH ONE-TRIALS AND RESULTS*, Proceedings of the Seminar on the Minimum Bridge and Flight Deck Crew Requirements for the Safe Operation of Ships and Aircraft, 6 grudnia 1989, Londyn, Wielka Brytania.
148. Sajiyo S. i Prasnowo M.A.: *Redesign of work environment with ergonomics intervention to reduce fatigue*, International Journal of Applied Engineering Research, 12(7), 2017, s. 1237–1243.
149. Bielić T. i Zec D.: *Influence of Ship Technology and Work Organization on Fatigue*, Proceedings of the 8th International Symposium on Maritime Health, 10–15 kwietnia 2005, Rijeka, Chorwacja, s. 34–45.
150. Raharjo H., Brombacher A., Goh T.-N. i Bergman B.: *On integrating Kano's model dynamics into QFD for multiple product design*, Quality and Reliability Engineering International, 26(4), 2010, s. 351–363.
151. Kano N.: *Life cycle and creation of attractive quality*, Proceedings of The 4th International Quality Management and Organizational Development Conference, 12–14 września 2001, Linköping, Szwecja, s. 18–36.
152. Robertson M., Amick B.C., DeRango K., Rooney T., Bazzani L., Harrist R. i Moore A.: *The effects of an office ergonomics training and chair intervention on worker knowledge, behavior and musculoskeletal risk*, Applied Ergonomics, 40(1), 2009, s. 124–135.
153. Jaschtnski-Kruza W.: *On the preferred viewing distances to screen and document at VDU workplaces*, Ergonomics, 33(8), 1990, s. 1055–1063.
154. Charness N., Dijkstra K., Jastrzemski T., Weaver S. i Champion M.: *Monitor Viewing Distance for Younger and Older Workers*, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 52(19), 2008, s. 1614–1617.
155. Fostervold K.I., Aarås A. i Lie I.: *Work with visual display units: Long-term health effects of high and downward line-of-sight in ordinary office environments*, International Journal of Industrial Ergonomics, 36(4), 2006, s. 331–343.
156. Chaffin D.B., Andersson G.B. i Martin B.J.: *Occupational Biomechanics*, Wiley-Interscience, New Jersey 2006.
157. Alrashed W.A.: *Ergonomics and work-related musculoskeletal disorders in ophthalmic practice*, Imam Journal of Applied Sciences, 1(2), 2016, s. 48–63.
158. Zhu X. i Shin G.: *Shoulder and neck muscle activities during typing with articulating forearm support at different heights*, Ergonomics, 55(11), 2012, s. 1412–1419.
159. Eggleston S.T.: *Mouse with your arm™: Facilitating forearm support using the chair armrest to prevent and mitigate musculoskeletal disorders*, WORK: A Journal of Prevention, Assessment & Rehabilitation, 65(3), 2020, s. 483–495.
160. You D., Smith A.H. i Rempel D.: *Meta-Analysis: Association Between Wrist Posture and Carpal Tunnel Syndrome Among Workers*, Safety and Health at Work, 5(1), 2014, s. 27–31.
161. Caneiro J.P., O'Sullivan P., Burnett A., Barach A., O'Neil D., Tveit O. i Olafsdottir K.: *The influence of different sitting postures on head/neck posture and muscle activity*, Manual Therapy, 15(1), 2010, s. 54–60.

162. Moriguchi C.S., Sato T.O. i Coury H.J.: An Instrumented Workstation to Evaluate Weight-Bearing Distribution in the Sitting Posture, *Safety and Health at Work*, 10(3), 2019, s. 314–320.
163. Telles S., Naveen K., Dash M., Deginal R. i Manjunath N.K.: *Effect of yoga on self-rated visual discomfort in computer users*, *Head & Face Medicine*, 2, 2006, artykuł nr 46.
164. Sari N.K., Maryen Y. i Oktavia I.: *The Effect of Eye Exercise on Eye Fatigue on Computer Users*, *Science Midwifery*, 10(5), 2022, s. 3530–3534.
165. Lewicki G.: *Zaburzenia akomodacji – charakterystyka, diagnostyka, terapia*, *Optyka*, 4(53), 2018, s. 48–49.
166. Walkiewicz-Krutak M.: *Zaburzenia funkcji wzrokowych u dzieci w wieku szkolnym oraz ich wpływ na naukę czytania i pisanie*, *Forum Pedagogiczne*, 10(2), 2020, s. 61–74.
167. Kim S.-D.: *Effects of yogic eye exercises on eye fatigue in undergraduate nursing students*, *Journal of Physical Therapy Science*, 28(6), 2016, s. 1813–1815.
168. Saraswati S.: *Asana Pranayama Mudra Bandha*, Yoga Publications Trust, 2008.
169. Suresh B., Jadhav V. i Naganur V.P.: *Eye Care through Eye Exercise: A Critical Review*, *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, 6(3), 2022, s. 648–650.
170. Gupta S.K. i Aparna S.: *Effect of Yoga Ocular Exercises on Eye Fatigue*, *International Journal of Yoga*, 13(1), 2020, s. 76–79.
171. Bankey N., Tripathi S. i Tripathi A.: *Effects Of Yogic Eye Exercises On Eye Fatigue In Computer Users Of Central India*, *Journal of Advanced Zoology*, 45(S3), 2024, s. 131–134.
172. Talens-Estareles C., Cerviño A., García-Lázaro S., Fogelton A., Sheppard A. i Wolffsohn J.S.: *The effects of breaks on digital eye strain, dry eye and binocular vision: Testing the 20-20-20 rule*, *Contact Lens and Anterior Eye*, 46(2), 2023, artykuł nr 101744.
173. Casini M.: *Active dynamic windows for buildings: A review*, *Renewable Energy*, 119, 2018, s. 923–934.
174. Piccolo A., Marino C., Nucara A. i Pietrafesa M.: *Energy performance of an electrochromic switchable glazing: Experimental and computational assessments*, *Energy and Buildings*, 165, 2018, s. 390–398.
175. Ke Y., Chen J., Lin G., Wang S., Zhou Y., Yin J., Lee P.S. i Long Y.: *Smart Windows: Electro-, Thermo-, Mechano-, Photochromics, and Beyond*, *Advanced Energy Materials*, 9(39), 2019, artykuł nr 1902066.
176. Bradley J.S.: *Acoustical Design of Rooms for Speech*, *Construction Technology Update*, 51, 2002.
177. Bradley J.S., Reich R. i Norcross S.G.: *A just noticeable difference in C₅₀ for speech*, *Applied Acoustics*, 58(2), 1999, s. 99–108.
178. Hongisto V.: *A model predicting the effect of speech of varying intelligibility on work performance*, *Indoor Air*, 15(6), 2005, s. 458–468.
179. Nowoświat A.: *Wykorzystanie funkcji przeniesienia modulacji MTF sygnału w badaniach akustyki wewnątrz*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Budownictwo*, 93, 2001, s. 353–362.
180. Houtgast T. i Steeneken H.J.: *Past, present, and future of the Speech Transmission Index*, TNO Human Factors, Soesterberg 2002.
181. Garlińska U., Michalak P., Pawłowski S. i Popielarczyk T.: *Pomiary zrozumiałości mowy dźwiękowych systemów ostrzegawczych*, *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 39(3), 2015, s. 161–171.
182. International Electrotechnical Commission: IEC 60268-16:2020: *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index*, 2020.

183. Prodeus A., Dvornyk O., Naida A. i Didkovska M.: *The Accuracy of Speech Transmission Index Estimation under Conditions of Joint Action of Noise and Reverberation*, 2023 IEEE 13th International Conference on Electronics and Information Technologies (ELIT), 26–28 września 2023, Lwów, Ukraina, s. 257–260.
184. Prodeus A., Dvornyk O. i Naida A.: *Comparison of Three Methods of Estimation the Speech Transmission Index*, 2024 IEEE 42nd International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO), 13–16 maja 2024, Kijów, Ukraina, s. 518–523.
185. Polski Komitet Normalizacyjny: PN-B-02151-4:2015: *Akustyka budowlana Ochrona przed hałasem w budynkach - Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach*, 2015.
186. Di Loreto S., Serpilli F., Lori V. i Di Perna C.: *Comparison between Predictive and Measurement Methods of Speech Intelligibility for Educational Rooms of Different Sizes with and without HVAC Systems*, *Energies*, 16(6), 2023, artykuł nr 2719.
187. Gade A.C.: *Acoustics in Halls for Speech and Music*, w Springer Handbook of Acoustics, red. Rossing T.D., Springer, Nowy Jork 2014.
188. Osawa R., Justine Hui C.T., Hioka Y. i Arai T.: *Effect of prior exposure on the perception of Japanese vowel length contrast in reverberation for nonnative listeners*, *Speech Communication*, 134, 2021, s. 1–11.
189. Saint-Gobain Ecophon, https://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/pl/nowa-norma/ecophon_polska_norma_01_01_2018.pdf/ (data dostępu 20.05.2025).
190. International Maritime Organization: Resolution MSC.307(88): *International Code For Application Of Fire Test Procedures, 2010 (2010 FTP CODE)*, Londyn 2010.
191. Ansari S., Nikpey A., Varmazyar S.: *Design and Development of an Ergonomic Chair for Students in Educational Settings*, *Health Scope*, 7(4), 2018, artykuł nr e60531.
192. Al-Hinai N., Al-Kindi M. i Shamsuzzoha A.: *An Ergonomic Student Chair Design and Engineering for Classroom Environment*, *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 7(5), 2018, s. 534–543.
193. Lin T.R., Pan J., O'Shea P.J. i Mechefske C.K.: *A study of vibration and vibration control of ship structures*, *Marine Structures*, 22(4), 2009, s. 730–743.
194. Gannon L.: *Single impact testing of suspension seats for high-speed craft*, *Ocean Engineering*, 141, 2017, s. 116–124.
195. Alam Z., Afagh F. i Langlois R.: *Efficient Identification of Naval High-Speed Craft Shock Mitigation Seat Modal Parameters From Drop-Test Data Available to Purchase*, *Journal of Dynamic Systems Measurement and Control*, 139(3), 2017, artykuł nr 031009.
196. Spiteri S.: *Shock Absorber Applications*, *European Journal of Engineering and Technology Research*, 4(1), 2019, s. 37–41.
197. Colwell J.L., Gannon L., Gunston T., Langlois R.G., Riley M.R. i Coats T.W.: *Shock mitigation seat test and evaluation*, Human Factors in Ship Design and Operation Conference, Royal Institute of Naval Architects, 16–17 listopada 2011, Londyn, Wielka Brytania.
198. Swinbanks M.A.: *The active control of vibration and shock*, Proceeding of the engineered adaptive structures IV conference, 19–23 lipca 2004, Banff, Kanada.
199. Burgess M.A. i Harrap M.J.: *Fast Vessels in Heavy Seas – a 'shocking' experience*, *Journal of Health, Safety and Environment*, 26, 2010, s. 101–107.
200. Nachemson A.: *The load on lumbar disks in different positions of the body*, *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 45, 1966, s. 107–122.
201. Rohlmann A., Claes L.E., Bergmann G., Graichen F., Neef P. i Wilke H.-J.: *Comparison of intradiscal pressures and spinal fixator loads for different body positions and exercises*, *Ergonomics*, 44(8), 2001, s. 781–794.

202. Państwowa Inspekcja Sanitarna: *Dostosowanie krzeseł, stolików, ławek edukacyjnych do wysokości ciała uczniów / wychowanków placówek oświatowych*, <https://www.gov.pl/attachment/42e48c7b-4b89-4d81-a4d4-08ac201497e8>, (data dostępu 30.05.2025 r.).
203. Polski Komitet Normalizacyjny: PN-EN 1729-1:2007: *Meble – Krzesła i stoły dla instytucji edukacyjnych – Część 1: Wymiary funkcjonalne*, 2007.
204. Pheasant S.: *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work: Anthropometry, Ergonomics And The Design Of Work*, CRC Press, Londyn 2002.
205. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy: *Atlas Miar Człowieka. Dane do projektowania i oceny ergonomicznej*, Warszawa 2023.
206. Redfern M.S. i Cham R.: *The influence of flooring on standing comfort and fatigue*, AIHAJ - American Industrial Hygiene Association, 61(5), 2000, s. 700–708.
207. Madeleine P., Voigt M. i Arendt-Nielsen L.: *Subjective, physiological and biomechanical responses to prolonged manual work performed standing on hard and soft surfaces*, European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 77, 1998, s. 1–9.
208. Hughes N.L., Nelson A., Matz M.W. i Lloyd J.: *AORN Ergonomic Tool 4: Solutions for Prolonged Standing in Perioperative Settings*, AORN Journal, 93(6), 2011, s. 767–774.
209. European Commission: Directorate-General for Environment i Ramboll: *The use of PVC (poly vinyl chloride) in the context of a non-toxic environment – Final report*, Publications Office of the European Union, Luksemburg 2022.
210. M+A Matting, <https://www.mamattng.com/anti-fatigue-matting-101>, (data dostępu 11.06.2025 r.).
211. Canada Mats, <https://canadamats.ca/blogs/blog/anti-fatigue-matting-guide>, (data dostępu 12.06.2025 r.).
212. AcroMat, <https://acromat.com/blogs/acromat-blog/10-signs-you-need-new-anti-fatigue-mats>, (data dostępu 11.06.2025 r.).
213. Taia R., Ahram T.Z., Gardan N., Schneider A. i Sifaki-Pistolla D.: *Impact of Advance Fabrics on Human Biomechanics: Example of Anti-fatigue Mats*, Advances in Ergonomics Modeling, Usability & Special Populations. Advances in Intelligent Systems and Computing, 486, 2017, s. 301–313.
214. Ünver S. i Orğan E.M.: *The effect of anti-fatigue floor mat on pain and fatigue levels of surgical team members: A crossover study*, Applied Ergonomics, 110, 2023, artykuł nr 104017.
215. King P.M.: *A comparison of the effects of floor mats and shoe in-soles on standing fatigue*, Applied Ergonomics, 33(5), 2002, s. 477–484.
216. Aghazadeh J., Ghaderi M., Azghani M.R., Khalkhali H.R., Allahyari T. i Mohebbi I.: *Anti-fatigue mats, low back pain, and electromyography: An interventional study*, International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health, 28(2), 2015, s. 347–356.
217. Taia R., Chimentin X., Abdi E., Polidori G. i Ahram T.: *The Biomechanics and Ergonomics of the Impact of Anti-fatigue Mats on Decreasing Whole Body Vibration*, Advances in Physical Ergonomics and Human Factors. Advances in Intelligent Systems and Computing, 602, 2018, s. 60–66.
218. Vellei M., Herrera M., Fosas D. i Natarajan S.: *The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort*, Building and Environment, 124, 2017, s. 171–185.
219. Kosonen R. i Tan F.: *Assessment of productivity loss in air-conditioned buildings using PMV index*, Energy and Buildings, 36(10), 2004, s. 987–993.
220. Pudlik W.: *Termodynamika*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2021.
221. Elovitz K.M.: *Practical guide: Understanding what humidity does and why*, ASHRAE Journal, 41(4), 1999, s. 84–90.

222. United States Environmental Protection Agency: *Indoor Air Facts No. 8: Use and Care of Home Humidifiers*, 1991.
223. Children's Hospital Colorado, <https://www.childrenscolorado.org/conditions-and-advice/parenting/parenting-articles/danger-of-humidifiers/>, (data dostępu 11.05.2025 r.).
224. Yao W., Dal Porto R., Gallagher D.L. i Dietrich A.M.: *Human exposure to particles at the air-water interface: Influence of water quality on indoor air quality from use of ultrasonic humidifiers*, *Environment International*, 143, 2020, artykuł nr 105902.
225. Guo K., Qian H., Liu F., Ye J., Liu L. i Zheng X.: *The impact of using portable humidifiers on airborne particles dispersion in indoor environment*, *Journal of Building Engineering*, 43, 2021, artykuł nr 103147.
226. Bowditch N.: *American Practical Navigator: an epitome of navigation*, tom 1, United States Government National Geospatial-Intelligence Agency, 2024.
227. Elgin R.L., Knowles D.R. i Senne J.H.: *Field Astronomy for Azimuth Determinations*, w *The Surveying Handbook*, red. Brinker R.C. i Minnick R., Springer, Boston 1987.
228. Seidelmann P.K. i Wilkins G.A.: *Introduction to Positional Astronomy*, w *Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac*, red. Seidelmann P.K., University Science Books, Mill Valley 1992.
229. United Kingdom Hydrographic Office: *The Nautical Almanac (NP314)*, 2024.
230. Acoustical Society of America i American National Standards Institute: ASA/ANSI S12.60/Part 1-2010 (R2024): *Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools - Part 1: Permanent Schools*, 2024.
231. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine: *Improving Intelligibility of Airport Terminal Public Address Systems*, The National Academies Press, Waszyngton 2017.
232. Attenborough K.: *Sound Propagation in the Atmosphere*, w *Springer Handbook of Acoustics*, red. Rossing T.D., Springer, Nowy Jork 2014.
233. Kinsler L.E., Frey A.R., Coppens A.B. i Sanders J.V.: *Fundamentals of Acoustics*, Wiley, Nowy Jork 2000.
234. Rymarz W.: *Międzynarodowe Prawo drogi morskiej w zarysie*, Trademar, Gdynia 2015.
235. International Maritime Organization: Resolution MSC.511(105): *Performance standards for shipborne VHF radio installations capable of voice communication and digital selective calling*, Londyn 2022.
236. Australian Maritime Safety Authority: *Australian Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS) Handbook*, 2018.
237. Wolska A. i Świtula M.: *Luminance of the Surround and Visual Fatigue of VDT Operators*, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 5(4), 1999, s. 553–580.
238. Kim M., Jeon D.-H., Kim J.-S., Yu B.-C., Park Y.-K. i Lee S.-W.: *Optimum display luminance depends on white luminance under various ambient illuminance conditions*, *Optical Engineering*, 57(2), 2018, artykuł nr 024106.
239. Zeng S., Hao W., Guo Y., Li G., Li W., Chen C., Zhang Z., Qu D., Zhang S., Qin X. i Cai J.: *Appropriate Screen Brightness for Ambient Lighting Illuminance*, 2021 18th China International Forum on Solid State Lighting & 2021 7th International Forum on Wide Bandgap Semiconductors (SSLChina: IFWS), Institute of Electrical and Electronics Engineers, 6–8 grudnia 2021, Shenzhen, Chiny, s. 162–164.
240. International Hydrographic Organization: IHO S-52: *Specifications for chart content and display aspects of ECDIS*, Monako 2014.
241. International Hydrographic Organization: *Harmonised User Experience for ECDIS and INS*, Monako 2022.
242. Microsoft, <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/design/component-guidelines/ambient-light-sensors>, (data dostępu 05.05.2025 r.).

243. Ma T.-Y., Lin C.-Y., Hsu S.-W., Hu C.W. i Hou T.-W.: *Automatic brightness control of the handheld device display with low illumination*, 2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 25–27 maja 2012, Zhangjiajie, Chiny, s. 382–385.
244. Lin C., Yi X., Ji Z., Hou D. i Lin Y.: *Optimum display luminance under a wide range of ambient light for cockpit displays*, Optics Express 30(21), 2022, s. 38439–38457.
245. Microsoft, <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/design/device-experiences/sensors-adaptive-brightness>, (data dostępu 12.05.2025 r.).
246. Cowan M.: *Liquid Crystal Display (LCD) Monitors for ECDIS Applications*, International Hydrographic Review, 3(1), 2002, s. 101–111.
247. International Electrotechnical Commission: IEC 61174:2015: *Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Electronic chart display and information system (ECDIS) - Operational and performance requirements, methods of testing and required test results*, 2015.
248. International Electrotechnical Commission: IEC 62288:2021: *Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Presentation of navigation-related information on shipborne navigational displays - General requirements, methods of testing and required test results*, 2021.
249. Boisson P.: *Classification societies and safety at sea: Back to basics to prepare for the future*, Marine Policy, 18(5), 1994, s. 363–377.
250. Pilot Institute, <https://pilotinstitute.com/how-do-pilots-see-at-night/>, (data dostępu 06.05.2025 r.).
251. Entzinger J.O. i Suzuki S.: *Visual Cues in Manual Landing of Airplanes*, Proceedings of KSAS–JSASS Joint International Symposium on Aerospace Engineering, 20–21 listopada 2008, Jeju, Korea, s. 388–395.
252. Wirz-Justice A.: *How Daylight Controls the Biological Clock, Organises Sleep, and Enhances Mood and Performance*, w High-Quality Outdoor Learning, red. Jucker R. i von Au J., Springer, 2022.
253. Hallam S. i Himonides E.: *The Power of Music: An Exploration of the Evidence*, Open Book Publishers, 2022.
254. Lamont A., Greasley A. i Sloboda J.: *Choosing to Hear Music: Motivation, Process, and Effect*, w The Oxford Handbook of Music Psychology, red. Hallam S., Cross I. i Thaut M.H., Oxford University Press, 2015, s. 711–724.
255. Meyer M.: *The Power of Music: Can Music at Work Help to Create more Ethical Organizations?*, Humanistic Management Journal, 4, 2019, s. 95–99.
256. Shek V. i Schubert E.: *Background music at work—a literature review and some hypotheses*, Proceedings of the Second International Conference on Music Communication Science, 3–4 grudnia 2009, Sydney, Australia, s. 87–91.
257. Xiao X., Tan J., Liu X. i Zheng M.: *The dual effect of background music on creativity: perspectives of music preference and cognitive interference*, Frontiers in Psychology, 14, 2023, artykuł nr 1247133.
258. Hallam S. i MacDonald R.: *The Effects of Music in Community and Educational Settings*, w The Oxford Handbook of Music Psychology, red. Hallam S., Cross I. i Thaut M.H., Oxford University Press, 2014, s. 775–788.
259. Giot C., Lejeune L., Bessot N. i Davenne D.: *A Survey Exploring How Watch Officers Manage Effects of Sleep Restrictions during Maritime Navigation*, International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(2), 2023, artykuł nr 986.
260. Sampson H. i Ellis N.: *Seafarers' mental health and wellbeing*, Institution of Occupational Safety and Health, Cardiff 2019.

261. Australian Transport Safety Bureau: ATSB Transport Safety Report, Marine Occurrence Investigation, 295-MO-2012-006: *Collision between the bulk carrier Furness Melbourne and the yacht Riga II, North of Bowen, Queensland, 26 May 2012*, 2013.
262. Marine Accident Investigation Branch: *Grounding of CSL THAMES in the Sound of Mull, 9 August 2011*, Accident Investigation Report 2/2012, 2012.
263. Marine Accident Investigation Branch: *Report on the investigation of the collision between the dredger Shoreway and the yacht Orca 7 miles off the coast of Felixstowe resulting in one fatality on 8 June 2014*, Accident Investigation Report 10/2015, 2015.
264. International Organization for Standardization: ISO 17899:2004: *Ships and marine technology – Marine electric window wipers*, 2004.
265. Akanni J., Ojo A.O., Abdulwahab A., Isa A.A. i Ogunbiyi O.: *Development and Implementation of a Prototype Automatic Rain-Sensor Car Wiper System*, Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 26(11), 2022, s. 1821–1826.
266. Halimeh J.C. i Roser M.: *Raindrop detection on car windshields using geometric-photometric environment construction and intensity-based correlation*, 2009 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, 3–5 czerwca 2009, Xi'an, Chiny, s. 610–615.
267. Zhang N., He F., Yuan F., Li L., Li Y. i Li H.: *Development and Performance Evaluation of a Infrared Rain Sensor*, Procedia Computer Science, 228, 2023, s. 679–687.
268. Chapakanade P., Gangurde P., Peje S. i Shende D.R.: *Automatic Rain Operated Wiper And Dimmer For Vehicle*, International Research Journal of Engineering and Technology, 3(4), 2016, s. 2376–2378.
269. Ashik K. i Basavaraju A.: *Automatic wipers with mist control*, American Journal of Engineering Research, 3(4), 2014, s. 24–34.
270. Zhang G., Wang G., Chen J., Jiang W., Hao X. i Deng T.: *An automatic control system based on machine vision and deep learning for car windscreen clean*, Scientific Reports, 15, 2025, artykuł nr 4857.
271. Gardner C.S. i Papen G.: *Optical Communications*, w Reference Data for Engineers: Radio, Electronics, Computer, and Communications, red. Middleton W.M. i Van Valkenburg M.E., Newnes, 2002.
272. Do V.D., Le Q.V., Ho M.D. i Nguyen V.K.: *Research and experiment with automatic wiper system*, Journal of Technical Education Science, 15(4), 2020, s. 112–120.
273. International Organization for Standardization: ISO 3903:2012: *Ships and marine technology – Ships' ordinary rectangular windows*, 2012.
274. International Organization for Standardization: ISO 6345:1990: *Shipbuilding and marine structures – Windows and side scuttles – Vocabulary*, 1990.
275. International Organization for Standardization: ISO 21005:2018: *Ships and marine technology – Thermally toughened safety glass panes for windows and side scuttles*, 2018.
276. Houtgast T., Steeneken H.J. i Plomp R.: *Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function. I. General Room Acoustics*, Acustica, 46(1), 1980, s. 60–72.
277. Möller H.: *A review of STI measurements*, Proceedings of the FA2020 Conference (Forum Acusticum), 20–24 kwietnia 2020, Lyon, Francja, s. 173–176.
278. Zwicker E. i Feldtkeller R.: *The Ear as a Communication Receiver*, Acoustical Society of America, 1999.
279. Steeneken H.J. i Houtgast T.: *A physical method for measuring speech transmission quality*, Journal of the Acoustic Society of America, 67, 1980, s. 318–326.
280. International Telecommunication Union: ITU-T P.51: *Artificial Mouth – Series P: Telephone Transmission Quality Objective Measuring Apparatus*, 1996.

281. International Electrotechnical Commission: IEC 60318-1:2009: *Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 1: Ear simulator for the measurement of supra-aural and circumaural earphones*, 2009.
282. International Organization for Standardization: ISO 3382-1:2009: *Acoustics – Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces*, 2009.
283. International Organization for Standardization: ISO 7240-19:2007: *Fire detection and alarm systems – Part 19: Design, installation, commissioning and service of sound systems for emergency purposes*, 2007.
284. International Organization for Standardization: ISO 3382-2:2008: *Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*, 2008.
285. Nowicka E. i Szudrowicz B.: *Wpływ czasu pogłosu na ocenę izolacyjności akustycznej przegród międzymieszkaniowych*, Materiały konferencyjne 51 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB "Krynica 2005", 12–17 września 2005, Krynica, Polska, Fizyka budowli, s. 235–243.
286. Szudrowicz B.: *Czas pogłosu pomieszczeń w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej - zagadnienia normalizacyjne*, Prace Instytutu Techniki Budowlanej, 37(3), 2008, s. 3–18.
287. Sabine W.C.: *Collected papers on acoustics*, Harvard University Press, Cambridge 1922.
288. Smagowska B., Mikulski W. i Jakubowska I.: *Materiały przeznaczone do stosowania w ochronach zbiorowych przed hałasem ultradźwiękowym – wyniki badań własnych*, Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka, 5, 2014, s. 24–26.
289. Turkiewicz J. i Sikora J.: *Doświadczalne wyznaczenie współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów włóknistych i włórowych będących odpadami produkcyjnymi*, Czasopismo Techniczne. Mechanika, 106(3-M), 2009, s. 109–120.
290. International Organization for Standardization: ISO 11654:1997: *Acoustics – Sound absorbers for use in buildings – Rating of sound absorption*, 1997.
291. Yallop B.D.: *Position of the sun to 1' of arc precision*, H. M. Nautical Almanac Office, 1977.
292. Doggett L.E.: *Calendars*, w Explanatory Supplement to The Astronomical Almanac, red. Seidelmann P.K., University Science Books, Mill Valley 1992.

Wykaz rysunków

Rys. 1.1. Przebieg prac zrealizowanych w toku tej rozprawy doktorskiej.....	22
Rys. 1.2. Uproszczony model procesu prowadzenia nawigacji.	24
Rys. 1.3. Uproszczony schemat Systemu Mostka Zintegrowanego.....	26
Rys. 1.4. Sugerowany układ stanowisk roboczych na mostku nawigacyjnym.....	26
Rys. 1.5. Przykładowe stanowiska na skrzydłach mostka nawigacyjnego na skrzydle otwartym (z lewej) i na skrzydle zamkniętym (z prawej).....	27
Rys. 2.1. Rozkład stanowisk respondentów badania ankietowego.	37
Rys. 2.2. Pola zaznaczone taśmą maskującą na podłodze mostka nawigacyjnego.	44
Rys. 2.3. Rozkład punktów na pola w momencie rejestracji pozycji (oficer na polu centralnym). Po lewej stronie pozycja dynamiczna (D), po prawej pozycja statyczna (S).	45
Rys. 2.4. Pomieszczenie symulatora mostka nawigacyjnego używanego podczas eksperymentu.....	47
Rys. 2.5. Wykorzystywane mierniki do pomiarów warunków ergonomicznych w pomieszczeniu.	48
Rys. 2.6. Rejon ćwiczenia oraz ruch jednostek wokół własnego statku.	49
Rys. 2.7. Rozbitek na tratwie ratunkowej, trzymający flarę ręczną.....	50
Rys. 2.8. Miejsce pomiaru natężenia dźwięku (po lewej w warunkach hałasu, po prawej podczas nieodpowiedniego oświetlenia i normalnych warunków).	51
Rys. 2.9. Odbicie światła sufitowych na szybach wizyjnych.....	52
Rys. 2.10. Odbicie światła sufitowych na urządzeniach nawigacyjnych.....	52
Rys. 2.11. Obiekty w zasięgu widzialności i poza nim.	54
Rys. 3.1. Łączny staż pracy na stanowisku oficera wachtowego lub wyższym przy odpowiedzi na pytanie „Czy znałeś/znałaś wcześniej pojęcie ergonomii?” wraz z oszacowaniem różnic pomiędzy grupami.	67
Rys. 3.2. Łączny staż pracy jako oficer wachtowy, starszy oficer lub kapitan przy odpowiedzi na pytanie „Czy odczuwasz, że czasami na mostku jest za głośno lub dźwięki tam bywają irytujące (na przykład z powodu alarmów i komunikacji GMDSS)?” wraz z oszacowaniem różnic między grupami.	68
Rys. 3.3. Rozkład wieku respondentów przy odpowiedzi na pytanie „Czy mostek kojarzy Ci się z uspokojeniem/wyciszeniem, czy raczej z wytężoną aktywnością zmysłów?” wraz z oszacowaniem różnic między grupami.	71
Rys. 3.4. Łączny czas pracy jako oficer wachtowy, starszy oficer lub kapitan przy odpowiedzi na pytanie „Czy mostek kojarzy Ci się z uspokojeniem/wyciszeniem, czy raczej z wytężoną aktywnością zmysłów?” wraz z oszacowaniem różnic między grupami.	71
Rys. 3.5. Wykres Kano badania satysfakcji navigatorów z proponowanych im rozwiązań ergonomicznych.	74
Rys. 3.6. Mapa cieplna obecności navigatorów na mostku Tankowca 1.	75
Rys. 3.7. Mapa cieplna obecności navigatorów na mostku Tankowca 2.	76
Rys. 3.8. Mapa cieplna obecności navigatorów na mostku Ro-Pax 1.	76
Rys. 3.9. Mapa cieplna obecności navigatorów na mostku Ro-Pax 2.	76
Rys. 3.10. Prawdopodobieństwa wykrycia obiektów podczas bieżącego etapu eksperymentu.	80
Rys. 3.11. Czasu wykrycia obiektów w zależności od warunków oraz typu obiektu.	83
Rys. 3.12. Poziom uciążliwości wykrywania obiektów w zależności od warunków i stanowiska.	87

Rys. 4.1. Kontury dużego, nieoświetlonego statku (zaznaczone w czerwonym okręgu) oraz żaglówa ze światłami nawigacyjnymi.	97
Rys. 5.1. Statki w podobnej odległości obserwowane przez zasłonkę przeciwsłoneczną (z lewej) i bezpośrednio przez szybę (z prawej).	105
Rys. 5.2. Proces obliczania STI w pomieszczeniu.	106
Rys. 5.3. Wymagane wartości STI przy źródle sygnału w osi symetrii pomieszczenia.	107
Rys. 5.4. Wymagane wartości STI przy źródle sygnału na skrzydle mostka.	108
Rys. 5.5. Algorytm przedstawiający proces poprawiania parametru STI na mostku nawigacyjnym.	110
Rys. 5.6. Regulowane krzesła z amortyzacją wstrząsów i szynami.	114
Rys. 5.7. Wartości wilgotności względnej na mostku w stosunku do temperatury w pomieszczeniu.	117
Rys. 5.8. Klimatyzacja na mostku z panelem do regulacji temperatury i wilgotności powietrza.	118
Rys. 5.9. Kąt obniżenia horyzontu prawdziwego względem astronomicznego (DIP).	121
Rys. 5.10. Podział na sektory kątów kursowych.	122
Rys. 5.11. Grupy zasłonek na mostku nawigacyjnym.	123
Rys. 5.12. Proces rozwijania i zwijania zasłonek przeciwsłonecznych na mostku nawigacyjnym.	124
Rys. 5.13. Zalecane obszary umiejscowienia czujnika oświetlenia otoczenia.	127
Rys. 5.14. Luminancja ekranów względem natężenia oświetlenia otoczenia.	130
Rys. 5.15. Luminancja ekranów względem natężenia oświetlenia otoczenia w przedziale 0–1257 lx.	130
Rys. 5.16. Luminancja ekranów względem natężenia oświetlenia otoczenia w przedziale 23–1257 lx.	131
Rys. 5.17. Algorytm działania automatycznego dostrajania luminancji wyświetlaczy w stosunku do natężenia oświetlenia otoczenia.	132
Rys. 5.18. Różnica w odbieranej energii promieniowania czerwonego w przypadku szyby suchej i mokrej.	136
Rys. E.1. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na Tankowcu 1.	188
Rys. E.2. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na Tankowcu 1.	189
Rys. E.3. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na Tankowcu 1.	189
Rys. E.4. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 4 na Tankowcu 1.	190
Rys. E.5. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 5 na Tankowcu 1.	190
Rys. E.6. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 6 na Tankowcu 1.	191
Rys. E.7. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na Tankowcu 2.	191
Rys. E.8. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na Tankowcu 2.	192
Rys. E.9. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na Tankowcu 2.	192
Rys. E.10. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 4 na Tankowcu 2.	193
Rys. E.11. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 5 na Tankowcu 2.	193
Rys. E.12. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 6 na Tankowcu 2.	194
Rys. E.13. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na statku Ro-Pax 1.	194
Rys. E.14. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na statku Ro-Pax 1.	194

Rys. E.15. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na statku Ro-Pax 1.	195
Rys. E.16. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 4 na statku Ro-Pax 1.	195
Rys. E.17. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na statku Ro-Pax 2.	195
Rys. E.18. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na statku Ro-Pax 2.	196
Rys. E.19. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na statku Ro-Pax 2.	196
Rys. E.20. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 4 na statku Ro-Pax 2.	196
Rys. I.1. Patronat Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego.....	207

Wykaz tabel

Tabela 2.1. Ogólna charakterystyka uczestników badania ankietowego numer 1	37
Tabela 2.2. Kategorie rozwiązań zgodnie z modelem Kano	41
Tabela 2.3. Wybrane parametry statków biorących udział w badaniu.....	43
Tabela 2.4. Wybrane parametry w różnych wariantach ćwiczenia symulacyjnego.....	50
Tabela 2.5. Rozkład stażu pracy i stanowisk uczestników badania symulacyjnego	53
Tabela 2.6. Warunki występujące na danym etapie ćwiczenia w danym wariancie.....	55
Tabela 3.1. Analiza wywiadów eksperckich na temat ergonomii mostka nawigacyjnego	64
Tabela 3.2. Rozkład uzyskanych kategorii proponowanych rozwiązań ergonomicznych	72
Tabela 3.3. Współczynniki zadowolenia (CS ⁺) i niezadowolenia (CS ⁻) nawigatorów z proponowanych rozwiązań ergonomicznych.....	74
Tabela 3.4. Porównanie obserwacji wykonanych na odwiedzonych statkach	77
Tabela 3.5. Odnotowane pozycje statyczne i dynamiczne podczas obserwacji nawigatorów na statkach	78
Tabela 3.6. Iloraz szans wykrycia obiektu wokół własnego statku	79
Tabela 3.7. Szacowane średnie krańcowe (EMM) prawdopodobieństwa wykrycia obiektów podczas etapu w zależności od warunków i typu obiektu	79
Tabela 3.8. Wyniki analizy kontrastów pomiędzy typami warunków w obrębie typów obiektów.	81
Tabela 3.9. Czas wykrycia obiektu wokół statku podczas eksperymentu	82
Tabela 3.10. Szacowane średnie krańcowe (EMM) czasu wykrycia obiektów	83
Tabela 3.11. Wyniki analizy kontrastów pomiędzy typami warunków w obrębie typów obiektów	84
Tabela 3.12. Poziom odczuwanej uciążliwości wykrywania obiektów.....	86
Tabela 5.1. Luminancja wyświetlaczy w danym przedziale natężenia oświetlenia otoczenia ..	129
Tabela 5.2. Rozwiązania problemów ergonomicznych na mostkach nawigacyjnych	137
Tabela 6.1. Ocena zasadności implementacji danego rozwiązania na mostku nawigacyjnym	139
Tabela A.1. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 1 (wersja angielska).....	171
Tabela A.2. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 1 (wersja polska)	172
Tabela B.1. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 2 (wersja angielska).....	174
Tabela B.2. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 2 (wersja polska)	176
Tabela F.1. Maskowanie słuchowe jako funkcja ciśnienia akustycznego w pasmie oktawowym	198
Tabela F.2. Bezwzględny próg rozumienia mowy w pasmach oktawowych	198
Tabela F.3. oktawowo współczynniki ważenia.....	200
Tabela F.4. Minimalna liczba punktów pomiarowych w pomieszczeniu	201

**Załącznik A: Kwestionariusz badania świadomości ergonomicznej nawigatorów
i warunków pracy na mostkach nawigacyjnych (ankieta badawcza numer 1)**

Załącznik związany jest z podrozdziałem 2.4. Treść pytań ankiety w języku angielskim przedstawiono w tabeli A.1, a w języku polskim w tabeli A.2.

Kwestionariusz w języku angielskim:

Rank (present or last ship):

Age:

In which country did you study (learn to work as a navigator):

Highest license obtained:

Consolidated sea-time in ranks of OFFICER OF THE WATCH+CHIEF OFFICER+MASTER (in years):

Type of ship (present or last ship):

Tabela A.1. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 1 (wersja angielska)

No.	Question	Response options
1.	Is the bridge a place where you can calm down/quiet your mind or a place which requires an increased activity of senses?	1) The place I can calm down/quiet my mind 2) The place which requires an increased activity of senses 3) I do not pay attention to this
2.	Have you ever experienced some pain in back, knees, shoulder or muscles during the watch on the bridge or immediately after?	1) Yes 2) No 3) I do not pay attention to this
3.	Have you ever experienced some pain in head, eyes or neck during the watch on the bridge or immediately after?	1) Yes 2) No 3) I do not pay attention to this
4.	Do the bridges you have worked on meet your individual needs related to the comfort of work?	1) Yes 2) No
5.	Which factor do you consider as the most disturbing in your work?	1) Pitching 2) Rolling 3) Surge 4) Vibrations caused by machinery 5) None of above
6.	Do you feel that sometimes on the bridge it is too loud or sounds are irritating (for example because of alarms or GMDSS communication)?	1) Yes, both cases 2) Sometimes it is too loud 3) Sometimes sounds are irritating 4) No
7.	Do you have the possibility of adjusting the temperature on the bridge subject to your needs and does it work correctly?	1) Yes 2) Yes, but the air conditioning is too strong (air is blowing too fast) 3) No 4) I don't know
8.	Is the air on the bridge sometimes too dry or too humid?	1) Yes, too dry 2) Yes, too humid 3) Yes, both cases 4) No
9.	Do you feel sometimes on the bridge the temperature difference between your feet level and head level?	1) Yes 2) No
10.	Does your bridge have a room lighting in red color?	1) Yes 2) No 3) I am not sure
11.	Can the conditions on the bridge increase the fatigue?	1) Yes 2) No 3) I am not sure

No.	Question	Response options
12.	Did you know the definition of "ergonomics" before?	1) Yes 2) No, this is the first time I have heard about it 3) I am not sure
13.	Have you ever received training in ergonomics on the navigation bridge?	1) Yes, at collage/university/courses 2) Yes, at my workplace 3) Yes, at my workplace and at collage/university/courses 4) No 5) I don't remember
14.	In your opinion, for the best observation of the outside surroundings, in the room it should be:	1) Darker than the outside 2) Brighter than the outside 3) Just as bright as the outside 4) It does not matter 5) I do not pay attention
15.	Do you think that various ergonomic factors on the bridge have an impact on the effectiveness of your work and the safety of the ship?	1) Yes 2) No 3) I am not sure
16.	Would you like to get to know more about ergonomics and its influence on your work?	1) Yes 2) No
17.	Do you think that adaptation of senses to current conditions on the bridge is necessary prior to taking over duties?	1) Yes 2) No 3) I am not sure
18.	Do you think that there is an overload of duties during the navigational watch and the duties like constant adjusting of brightness of devices or adjusting the volume/temperature are annoying/disturbing?	1) Yes 2) There is no overload, but these kinds of duties are annoying/disturbing 3) No 4) I am not sure
19.	Would adaptation of bridge subject to your individual ergonomics needs (having in mind eyes, posture, hearing health etc.) have an impact on your loyalty & commitment to the company?	1) Yes 2) No 3) I have no opinion
20.	In your opinion, do navigators comply with the ergonomics principles during navigational watch?	1) Yes 2) No 3) I have no opinion

Kwestionariusz w języku polskim:

Stanowisko na statku (obecnie lub ostatnie):

Wiek:

Kraj studiowania (nauki pracy nawigatora):

Najwyższy posiadany dyplom:

Łączny staż pływania (sea-time) na stanowiskach OFICERA WACHTOWEGO+STARSZEGO OFICERA+KAPITANA (w latach):

Typ statku (obecnie lub ostatnie):

Tabela A.2. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 1 (wersja polska)

Lp.	Pytanie	Możliwe odpowiedzi
1.	Czy mostek kojarzy Ci się z uspokojeniem/wyciszeniem, czy raczej z wytężoną aktywnością zmysłów?	1) Uspokojeniem/wyciszeniem 2) Wytężoną aktywnością zmysłów 3) Nie zwracam na to uwagi
2.	Czy zdarzyło Ci się odczuwać bóle pleców, kolan, barków lub mięśni podczas wachty na mostku lub bezpośrednio po?	1) Tak 2) Nie 3) Nie zwracam na to uwagi
3.	Czy zdarzyło Ci się odczuwać bóle głowy, oczu lub szyi podczas wachty na mostku lub bezpośrednio po?	1) Tak 2) Nie 3) Nie zwracam na to uwagi

Lp.	Pytanie	Możliwe odpowiedzi
4.	Czy mostki, na których pracowałeś/pracowałaś spełniają Twoje indywidualne oczekiwania co do komfortu pracy?	1) Tak 2) Nie
5.	Który z czynników uważasz za najbardziej utrudniający pracę?	1) Kołysanie na boki 2) Kiwanie w górę i w dół 3) Wibracje od maszyn 4) Ruch statku w przód/tył 5) Nie przeszkadza mi żadne z powyższych
6.	Czy odczuwasz, że czasami na mostku jest za głośno lub dźwięki tam bywają irytujące (na przykład z powodu alarmów i komunikacji GMDSS)?	1) Tak, oba przypadki 2) Czasem jest za głośno 3) Dźwięki bywają irytujące 4) Nie
7.	Czy masz możliwość regulowania temperatury na mostku i działa to poprawnie?	1) Tak 2) Tak, ale nawiew jest zbyt mocny (powietrze płynie zbyt szybko) 3) Nie 4) Nie wiem
8.	Czy powietrze na mostku jest czasami dla Ciebie zbyt wilgotne lub zbyt suche?	1) Tak, oba przypadki 2) Tak, zbyt suche 3) Tak, zbyt wilgotne 4) Nie
9.	Czy odczuwasz czasem różnicę temperatury na mostku przy podłodze oraz na wysokości głowy?	1) Tak 2) Nie
10.	Czy posiadasz na mostku oświetlenie pomieszczenia w kolorze czerwonym?	1) Tak 2) Nie 3) Nie mam pewności
11.	Czy warunki panujące na mostku mogą potęgować zmęczenie?	1) Tak 2) Nie 3) Nie mam pewności
12.	Czy znałeś/znałaś wcześniej pojęcie ergonomii?	1) Tak 2) Nie, pierwszy raz o tym słyszę 3) Nie mam pewności
13.	Czy otrzymałeś/otrzymałaś kiedyś szkolenie w zakresie ergonomii pracy na mostku nawigacyjnym?	1) Tak, w szkole/universytecie/na kursach 2) Tak, u pracodawcy 3) Tak, u pracodawcy oraz w szkole/universytecie/na kursach 4) Nie 5) Nie pamiętam
14.	Według Ciebie, dla jak najlepszej obserwacji otoczenia, w pomieszczeniu powinno być:	1) Ciemniej niż na zewnątrz 2) Jaśniej niż na zewnątrz 3) Tak samo jasno jak na zewnątrz 4) Nie ma to znaczenia 5) Nie zwracam na to uwagi
15.	Czy uważasz, że różne czynniki ergonomiczne na mostku nawigacyjnym mają wpływ na efektywność Twojej pracy i tym samym bezpieczeństwo statku?	1) Tak 2) Nie 3) Nie mam pewności
16.	Czy chciałbyś/chciałabyś dowiedzieć się więcej o ergonomii i jej wpływie na Twoją pracę?	1) Tak 2) Nie
17.	Czy uważasz, że adaptacja zmysłów do panujących warunków jest konieczna przed objęciem obowiązków na mostku nawigacyjnym?	1) Tak 2) Nie 3) Nie mam pewności
18.	Czy uważasz, że natłok obowiązków jest obecnie duży, a czynności takie jak ciągłe dostrajanie jasności urządzeń albo regulowanie głośności/temperatury bywają uciążliwe?	1) Tak 2) Natłok nie jest duży, ale te obowiązki bywają uciążliwe 3) Nie 4) Nie wiem
19.	Czy przystosowanie mostka do Twoich indywidualnych potrzeb ergonomicznych (mając na uwadze zdrowie oczu, postawy, słuchu itp.) miałoby wpływ na Twoje przywiązanie do pracodawcy?	1) Tak 2) Nie 3) Nie mam zdania
20.	Czy Twoim zdaniem nawigatorzy stosują się do zasad ergonomii podczas pracy na mostku?	1) Tak 2) Nie 3) Nie mam zdania

Załącznik B: Kwestionariusz badania satysfakcji nawigatorów z proponowanych rozwiązań ergonomicznych (ankieta badawcza numer 2)

Załącznik związany jest z podrozdziałem 2.5. Treść pytań ankiety w języku angielskim przedstawiono w tabeli B.1, a w języku polskim w tabeli B.2.

Kwestionariusz w języku angielskim:

Rank (present or last ship):

Age:

In which country did you study (learn to work as a navigator):

Highest license obtained:

Consolidated sea-time in ranks of OFFICER OF THE WATCH+CHIEF OFFICER+MASTER (in years):

Type of ship (present or last ship):

Tabela B.1. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 2 (wersja angielska)

No.	Functional	Dysfunctional
1.	How would you feel if you COULD make use of "energetic" music during your duties? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you COULD NOT make use of "energetic" music during your duties? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
2.	How would you feel if you HAD automatic volume control of GMDSS radio? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE automatic volume control of GMDSS radio (you have to adjust manually)? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
3.	How would you feel if you HAD on the bridge adjustable chair with adjustable height, backrest, headrest and armrest? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE on the bridge adjustable chair with adjustable height, backrest, headrest and armrest? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
4.	How would you feel if you HAD on the bridge shock mitigation seat (that absorbs vibrations) during storm/heavy rolling/vibrations? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE on the bridge shock mitigation seat (that absorbs vibrations) during storm/heavy rolling/vibrations? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
5.	How would you feel if you HAD on the bridge ergonomic chair only for you (not necessary to adjust it subject to your needs before each watch)? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE on the bridge ergonomic chair only for you (chair is on the bridge, but you would have to adjust it subject to your needs before each watch)? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it

No.	Functional	Dysfunctional
6.	How would you feel if you HAD something that would adjust the brightness of devices and lighting of the room for you during your watch? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE anything that would adjust the brightness of devices and lighting of the room for you during your watch? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
7.	How would you feel if you HAD the possibility of adjusting temperature on the bridge subject to your needs? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE the possibility of adjusting temperature on the bridge subject to your needs? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
8.	How would you feel if you HAD training in the field of work ergonomics on the bridge? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE any training in the field of work ergonomics on the bridge? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
9.	How would you feel if you HAD equally illuminated wheelhouse during navigation duties? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE equally illuminated wheelhouse during navigation duties? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
10.	How would you feel if you HAD the reminders about maintaining proper ergonomics on the bridge during your watch? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	How would you feel if you DID NOT HAVE the reminders about maintaining proper ergonomics on the bridge during your watch? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it
11.	If familiarization with new system or device would require LESS than 15 minutes? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it	If familiarization with new system or device would require MORE than 15 minutes? 1) I like it 2) I expect it 3) I am neutral with it 4) I can live with it 5) I dislike it

Kwestionariusz w języku polskim:

Stanowisko na statku (obecnie lub ostatnie):

Wiek:

Kraj studiowania (nauki pracy nawigatora):

Najwyższy posiadany dyplom:

Łączny staż pływania (sea-time) na stanowiskach OFICERA WACHTOWEGO+STARSZEGO OFICERA+KAPITANA (w latach):

Typ statku (obecnie lub ostatnie):

Tabela B.2. Zestaw pytań i możliwych odpowiedzi kwestionariusza ankiety badawczej numer 2 (wersja polska)

Lp.	Funkcjonalność	Brak funkcjonalności
1.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MÓGŁ/MOĞŁA posiłkować się „energetyczną” muzyką podczas wykonywania obowiązków na mostku? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MÓGŁ/MOĞŁA posiłkować się „energetyczną” muzyką podczas wykonywania obowiązków na mostku? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
2.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA możliwość automatycznej regulacji głośności radia GMDSS? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA możliwości automatycznej regulacji głośności radia GMDSS (głośność regulowana ręcznie)? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
3.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA na mostku regulowane krzesło, z regulowaną wysokością, zagłówkiem, oparciem i podłokietnikami? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA na mostku regulowanego krzesła, z regulowaną wysokością, zagłówkiem, oparciem i podłokietnikami? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
4.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA na mostku krzesło z zawieszeniem pozwalającym na amortyzację wstrząsów podczas sztormu/mocnych wibracji/przechyłów? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA na mostku krzesła z zawieszeniem pozwalającym na amortyzację wstrząsów podczas sztormu/mocnych wibracji/przechyłów? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
5.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA na mostku ergonomiczne krzesło tylko dla siebie (bez konieczności dostrajania po kimś przed każdą wachtą)? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA na mostku ergonomicznego krzesła tylko dla siebie (krzesło jest na mostku, ale trzeba je dostrajać do swoich potrzeb przed każdą wachtą)? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
6.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA coś co wyręczy Cię z regulowania jasności urządzeń i oświetlenia pomieszczenia w czasie wachty? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA czegoś co wyręczy Cię z regulowania jasności urządzeń i oświetlenia pomieszczenia w czasie wachty? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
7.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA możliwość regulowania temperatury na mostku do swoich potrzeb? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA możliwości regulowania temperatury na mostku do swoich potrzeb? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to

Lp.	Funkcjonalność	Brak funkcjonalności
8.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA szkolenia z zakresu ergonomii pracy na mostku nawigacyjnym? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA szkoleń z zakresu ergonomii pracy na mostku nawigacyjnym? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
9.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA równomiernie oświetlone pomieszczenie mostka podczas prowadzenia nawigacji? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA równomiernie oświetlonego pomieszczenia mostka podczas prowadzenia nawigacji? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
10.	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś MIAŁ/MIAŁA podczas wachty przypomnienia o utrzymaniu poprawnej ergonomii na mostku? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdybyś NIE MIAŁ/MIAŁA podczas wachty przypomnień o utrzymaniu poprawnej ergonomii na mostku? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to
11.	Jak byś się czuł/czuła, gdyby zapoznanie się z nowym systemem lub urządzeniem wymagało MNIEJ niż 15 minut? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to	Jak byś się czuł/czuła, gdyby zapoznanie się z nowym systemem lub urządzeniem wymagało WIĘCEJ niż 15 minut? 1) Bardzo mi się to podoba 2) Uważam, że tak powinno być 3) Mam neutralny stosunek 4) Mogę z tym żyć 5) Nie odpowiada mi to

Załącznik C: Kwestionariusz odczuwanej uciążliwości podczas ćwiczenia symulacyjnego

Załącznik związany jest z podrozdziałem 2.7.8.

Staż pracy na morzu:

Najwyższy posiadany dyplom: Oficer wachtowy / Starszy Oficer / Kapitan

Obecne stanowisko na statku: Oficer wachtowy / Starszy Oficer / Kapitan

Wiek:

(w skali od 1 do 9; 1 – w ogóle nie przeszkadzało, 9 – uniemożliwiało normalną pracę):

- 1) Jak bardzo trudne/uciążliwe było wykonywanie ćwiczenia, gdy w pomieszczeniu było zapalone światło, a otoczenie było zaciemnione?:
- 2) Jak bardzo trudne/uciążliwe było wykonywanie ćwiczenia podczas hałasu?:
- 3) Jak bardzo trudne/uciążliwe było wykonywanie ćwiczenia w przypadku dobrych warunków (braku hałasu, braku zaciemnienia)?:

Załącznik D: Przeprowadzone wywiady eksperckie na temat ergonomii mostka nawigacyjnego

Załącznik związany jest z podrozdziałem 3.2.

Wywiad z Ekspertem nr 1:

- 1) Proszę powiedzieć coś o sobie. Doświadczenie w pracy na morzu, doświadczenia z pilotażem i typami statków oraz inne istotne kwestie związane z zawodem.**

Obecnie jestem instruktorem w Badawczo-Szkoleniowym Ośrodku Manewrowania Statkami w Iławie, gdzie uczę manewrowania statkami o nietypowych charakterystykach manewrowych. Jako kapitan pracowałem w latach 1987–2018, na statkach handlowych, szkoleniowych, a także na jachtach. Jedną z moich pasji związanych z morzem jest też astronawigacja. Sam opisałbym siebie jako kapitana „starej daty”, chociaż oczywiście nie jestem przeciwny nowym rozwiązaniom i technologiiom, jeśli oczywiście są one zmianą na lepsze.

- 2) Jakie trendy obserwowane są w nawigacji morskiej w ostatnich latach? Czy pojawiające się nowe technologie odciążają nawigatora w codziennej pracy, czy wręcz przeciwnie, dokładają mu obowiązków związanych z ich obsługą?**

Wręcz przeciwnie, w założeniu technologia miała odciążać człowieka, a w mojej opinii jest coraz gorzej, jeśli chodzi o nawigację. Nie obwiniam jednak tylko technologii. Kluczowe powinno być odciążenie ludzi od niepotrzebnych raportów i niepotrzebnych obowiązków, wszystko się kumuluje. Jeżeli obciążymy człowieka wszystkim to po prostu zgłupieje. Powinno się rozgraniczyć rzeczy potrzebne i niepotrzebne, im mniej wykonujemy czynności, tym mniejsza szansa, że pomylimy się przy tych najważniejszych.

- 3) Czy Kapitan sugeruje swoim oficerom w trakcie prowadzenia nawigacji dostosowanie warunków ergonomicznych na mostku, czy raczej zostawia to w pełni w ich gestii?**

Było bardzo dużo statków, wielu różnych oficerów, ale wszystko zostawiałem w ich gestii. Tak samo nie zabraniałem nigdy siedzieć oficerom, mimo że sam uczony byłem inaczej, jak to w „starej szkole”. Po dłuższej pracy nogi mają prawo zboleć, ale nie byłbym zadowolony, gdyby oficer siedział cały czas, bo to oznaczałoby, że zaniedbuje on swoje obowiązki z prowadzeniem bezpiecznej wachty. Nawigator powinien być świadomym, że trzeba się także przejść i obserwować otoczenie.

- 4) Czy w erze nowoczesnych technologii człowiek wciąż odgrywa kluczową rolę w nawigacji? Czy ważniejsze jest wyszkolenie nawigatora czy zapewnienie mu najnowocześniejszych technologii?**

Postawiłbym na wyszkolenie oficera, bezdyskusyjnie. Mózg człowieka jest lepszy niż cała elektronika dookoła. Wyszkolenie to jedno, a doświadczenie to drugie. Doświadczenie to wykładnik czasu, którego nie kupi się ani nie nauczy w teorii.

5) Istotną częścią szkolenia nawigatorów są symulatory. Jaki jest stosunek Kapitana do ćwiczeń praktycznych na symulatorach? Czy uważa je Kapitan za pożyteczne w szkoleniu marynarzy?

Symulatory są świetne, ale nie przesadzajmy z całkowitym zaniedbywaniem praktyki. Symulatory są bardzo ważne, ale ćwiczenie w rzeczywistości jest niezbędne, widzę to na przykładzie ośrodka w Ławie i opinii moich kursantów, gdzie operujemy na modelach w skali, a nie na symulatorach. Wadą może być traktowanie symulatorów jak gry komputerowej, w którą po prostu gramy. Muszą być one traktowane poważnie.

6) Czy jest coś co szczególnie utrudnia obserwacje? W jakich okolicznościach lub warunkach jest to najtrudniejsze?

W mojej karierze i według opinii, które wymieniałem z moimi kolegami, najbardziej dokuczliwy był hałas i wibracje. Wiązało się to z pracą silnika, szczególnie na mniejszych jednostkach.

Według mnie zbyt komfortowe warunki na mostku usypiają jednak czujność, a te trudniejsze mobilizują. Trzeba znaleźć dobry balans między komfortem a bezpieczeństwem. Na razie poziom elektroniki nie jest wystarczający, żeby można było zrezygnować całkowicie z człowieka i jego wzroku oraz innych zmysłów.

7) Jakie obiekty są najtrudniejsze w obserwacji?

Prawdziwą zmorą w ostatnich latach są gubione kontenery. Duże kontenerowce bardzo często nie są po prostu w stanie porządnie zabezpieczyć wszystkich kontenerów przy tak dużej ich ilości i krótkich przeładunkach. Co gorsza nie mają oświetlenia, AIS i tym podobne. Są jak małe góry lodowe, niebezpieczne dla mniejszych jednostek.

8) Na symulatorach można ćwiczyć różne scenariusze, zwykle związane z sytuacją nawigacyjną. Czy dobrym pomysłem byłoby ćwiczenie, które polegałoby na kontrolowaniu warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu mostka? Jakie można wymienić potencjalne zalety takiego ćwiczenia i czy spotkał się Kapitan z podobnym szkoleniem w przeszłości?

Brzmi to rozsądnie, na pewno nie zaszkodziłoby być bardziej świadomym. Nie spotkałem się z ćwiczeniem o takich założeniach w przeszłości, jednak raczej byłbym przeciwny, żeby był to długi, osobny kurs. Mogłoby być to włączone przykładowo w kurs Bridge Team Management.

9) Czy są jakieś wady albo obawy, związane z przeprowadzaniem takiego ćwiczenia?

Tak jak wspomniałem, jeśli ćwiczenie będzie na siłę wykonywane jako oddzielny kurs, to może być irytujące jako kolejny obowiązek i dodatkowe koszty.

Wywiad z Ekspertem nr 2:

1) Proszę powiedzieć coś o sobie. Doświadczenie w pracy na morzu, doświadczenia z pilotażem i typami statków oraz inne istotne kwestie związane z zawodem.

Mam 36 lat i zakończyłem edukację na studiach jednolitych Akademii Morskiej w Gdyni w 2010 r. Po krótkiej przerwie powróciłem do firmy, w której odbywałem praktyki i rozpocząłem oficerską karierę jako Trzeci Oficer na nowym statku Ro-Ro w roku 2011. Po dwóch kontraktach awansowałem na Drugiego Oficera i przeniósłem się na statki typu Ro-Pax. W 2014 r. zacząłem

pływać jako Safety Officer, a w 2016 r. jako Chief Officer. Pływałem na Ro-Paxach na Morzu Bałtyckim, Północnym, Irlandzkim, Śródziemnym oraz Żółtym. Od 2019 regularnie na zmianę wykonywałem pracę Chiefa Officera oraz Kapitana, a od 2022 jestem Kapitanem. Posiadam zwolnienia pilotowe na wiele portów, w których operują jednostki naszej firmy.

2) Jakie trendy obserwowane są w nawigacji morskiej w ostatnich latach? Czy pojawiające się nowe technologie odciążają nawigatora w codziennej pracy, czy wręcz przeciwnie, dokładają mu obowiązków związanych z ich obsługą?

Na pewno nowe technologie ułatwiają poniekąd pracę nawigatorów. Brak map papierowych i poprawki elektroniczne publikacji skracają czas wcześniej poświęcany na te obowiązki. Powoli wprowadzane są również elektroniczne dzienniki pokładowe, pozycje statku są zapisywane automatycznie. Czy to dobry kierunek? Ja jestem akurat wielkim zwolennikiem rozwoju technologicznego, nie tylko na statku, ale i w życiu codziennym. Wiem jednak, że to mnie rozleniwia. Tak samo może być z nawigatorami. Brak fizycznego obowiązku nanoszenia pozycji na mapę papierową powoduje, że zapominają oni o jej sprawdzaniu. Regularne audyty nawigacyjne pokazują, że mimo doskonałej edukacji i praktyki zapominamy o podstawowych umiejętnościach i przede wszystkich obowiązkach. Jak często oficer korzysta z pozycji z zamiaru i odległości? Czy nadal wie jak to zrobić poprawnie przy użyciu ECDIS?

3) Czy Kapitan sugeruje swoim oficerom w trakcie prowadzenia nawigacji dostosowanie warunków ergonomicznych na mostku, czy raczej zostawia to w pełni w ich gestii?

Jeżeli mam do czynienia z nowym oficerem to dzielę się swoim doświadczeniem i wskazówkami. Staram się niczego nie narzucać, a jedynie przekazać wady i zalety pewnych zmian w przygotowaniach do wachty na mostku. Każdy statek jest specyficzny. Nie zawsze można przenieść bezpośrednio z poprzedniego ulubionych ustawień.

4) Czy w erze nowoczesnych technologii człowiek wciąż odgrywa kluczową rolę w nawigacji? Czy ważniejsze jest wyszkolenie nawigatora czy zapewnienie mu najnowocześniejszych technologii?

Zdecydowanie to pierwsze. Korzystaliśmy przez lata ze sztucznej inteligencji opracowanej przez dział rozwoju naszej firmy, która dostosowywała nastawy na silniku analizując poprzednie podróże oraz prognozowane warunki hydro-meteorologiczne. Byliśmy w stanie zaoszczędzić dużo paliwa. Wiem jednak, że nasi doświadczeni oficerowie, którzy doskonale znali osiągi poszczególnych silników, czas ich eksploatacji i oczywiście powyższe warunki są w stanie być równie efektywni jak algorytmy sztucznej inteligencji. Tak samo będzie z innymi technologiami. Niemniej mówimy o doświadczonych oficerach. Czasem zmian kadrowych jest tyle, że zdecydowanie takie rozwiązania są bardzo pomocne, kiedy mamy do czynienia ze kimś nowym i mało doświadczonym.

5) Istotną częścią szkolenia nawigatorów są symulatory. Jaki jest stosunek Kapitana do ćwiczeń praktycznych na symulatorach? Czy uważa je Kapitan za pożyteczne w szkoleniu marynarzy?

Zdecydowanie! W ostatnim roku pojawiły się w naszej firmie specjalne szkolenia dla nawigatorów, skrojone bezpośrednio pod nasze statki. Uwzględniają wypadki i incydenty, które miały miejsce w naszej szerokiej flocie. Od razu się upewniłem, że będzie miejsce dla wszystkich moich oficerów. Sam zgłosiłem się w pierwszej kolejności i wiele wyniosłem z tego doświadczenia. Wiedziałem jak przygotować swoich oficerów do ćwiczeń.

Pozwala nam taki symulator na wyjście z własnej strefy komfortu. Sprawdza naszą odporność na stres i szybkość czy sposób reakcji. Szczerze wolę palący się statek na środku kanału w Rotterdamie z brakiem zasilania w warunkach symulowanych niż w realnych. Ważna jest tu jednak jedna kwestia. Musimy podejść do takich ćwiczeń sumiennie. Wiele osób robi wszystko by tylko nie popełnić błędu przed instruktorem albo kolegą z innego statku, biorącego udział w tym samym szkoleniu. Nie możemy się tego bać. Jeżeli tam nie unikniemy kolizji to nauczymy się dzięki temu, co zrobić by efekt był taki jak powinien w prawdziwej sytuacji.

6) Czy jest coś, co szczególnie utrudnia obserwacje? W jakich okolicznościach lub warunkach jest to najtrudniejsze?

Poza ograniczoną widzialnością? Zauważyłem, że wielu oficerów paraliżują takie warunki. Wielu nie do końca rozumie правило 19 COLREG. Poza tym, najprawdopodobniej ostatni raz czytali je 5–10 lat temu w szkole, prawda? Nie sięgamy do książek. Być może się wstydzimy, bo przecież powinniśmy to wiedzieć.

Myślę również, że najbardziej obserwację utrudniają telefony komórkowe członków załogi. Brak skupienia na wykonywanej pracy ogranicza ich efektywność. Nie wszędzie są wprowadzane procedury o zakazie używania/posiadania telefonów na mostku.

7) Jakie obiekty są najtrudniejsze w obserwacji?

W strefach przybrzeżnych są to małe jednostki. Zarówno rybackie, jak i wypoczynkowe. Niezwykle ważne jest pilnowanie wydajności swoich radarów, czasu pracy magnetronów, odpowiednie ustawienia i strojenie. Lornetki są na mostku, ale zbyt rzadko z nich korzystają oficerowie i marynarze, nie wspomagając się nimi podczas obserwacji wzrokowej.

8) Na symulatorach można ćwiczyć różne scenariusze, zwykle związane z sytuacją nawigacyjną. Czy dobrym pomysłem byłoby ćwiczenie, które polegałoby na kontrolowaniu warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu mostka? Jakie można wymienić potencjalne zalety takiego ćwiczenia i czy spotkał się Kapitan z podobnym szkoleniem w przeszłości?

Nie spotkałem się z takim szkoleniem, ale wiem, że osobiście nie lubię zbyt dużej ilości światła pochodzącego od ekranów i przyrządów podczas warunków nocnych. Światła z restauracji/baru pod mostkiem na statku pasażerskim również nie pomagają. Osobiście jestem mocno przewrażliwiony na tym punkcie, ale nie wszyscy widzą w tym problem. Myślę, że warto by było pokazać właśnie jak łatwo można przeoczyć małą jednostkę przy większym falowaniu, gdzie

radar może mieć z nią problem, a sami nie widzimy małego światła, bo rozprasza nas obicie w szybkie wskaźniki.

Wielokrotnie jednak ćwiczyliśmy błędy i awarie sprzętów nawigacyjnych: żyroskopu, radaru, mapy elektronicznej. To akurat pokazywało jak rzadko sprawdzamy swój sprzęt i jak bardzo mu ufamy.

9) Czy są jakieś wady albo obawy, związane z przeprowadzaniem takiego ćwiczenia?

Jak przy każdym szkoleniu, ważne by do niego podejść na poważnie. Jeżeli przyjdziemy nastawieni negatywnie, bo armator albo kapitan kazał nam w wolnym czasie przyjechać na symulator to nigdy nie osiągniemy zamierzonego efektu. Nauka będzie żadna, a inwestycja zmarnowana. Każda forma ćwiczeń powinna pomóc nam coś z nich wynieść. Wiem, że nasz czas w domu z rodziną jest bezcenny, ale czasem musimy go poświęcić, żeby ciągle się rozwijać.

Wywiad z Ekspertem nr 3:

1) Proszę powiedzieć coś o sobie. Doświadczenie w pracy na morzu, doświadczenia z pilotażem i typami statków oraz inne istotne kwestie związane z zawodem.

Obecnie jestem zatrudniony na stanowisku kapitana na tankowcu do przewozu produktów ropopochodnych. Z morzem jestem związany od 20 lat, zaczynając swoją karierę jako praktykant pokładowy po ukończeniu szkoły morskiej. Większość mojej kariery zawodowej spędziłem na tankowcach przewożących produkty olejowe i chemikalia. Z pilotażem mam do czynienia w portach i w tranzytach przez kanały.

2) Jakie trendy obserwowane są w nawigacji morskiej w ostatnich latach? Czy pojawiające się nowe technologie obciążają nawigatora w codziennej pracy, czy wręcz przeciwnie, dokładają mu obowiązków związanych z ich obsługą?

Z mojej perspektywy, bardzo duży postęp nastąpił w dziedzinie map elektronicznych i publikacji dostępnych na statku. Zaczynając karierę pracowałem tylko z publikacjami i mapami papierowymi, a aktualizacje do nich przychodziły w portach, gdyż nie było Internetu tak dostępnego jak obecnie. Obecnie posiadamy mapy elektroniczne, tak jak i publikacje, a aktualizacje do nich przychodzą pocztą elektroniczną lub przez Internet. Oczywiście nie jest też tak kolorowo, gdyż w mojej ocenie często na mapach elektronicznych po naniesieniu przez nawigatora informacji wymaganych przez różne organizacje, mapa elektroniczna staje się mniej czytelna, jest na niej aż za dużo informacji. Chyba największym minusem map elektronicznych, w porównaniu do map papierowych, jest ich rozmiar, mam na myśli w tym przypadku wielkość monitora w porównaniu do mapy papierowej. Kluczem, aby te nowe technologie były przydatne jest odpowiednie przeszkolenie operatora.

3) Czy Kapitan sugeruje swoim oficerom w trakcie prowadzenia nawigacji dostosowanie warunków ergonomicznych na mostku, czy raczej zostawia to w pełni w ich gestii?

Na statkach, których ja jestem kapitanem, sugeruję nawigatorom dostosowywanie mostka do swoich wymagań. W mojej ocenie, każdy oficer przejmujący wachtę powinien sprawdzać urządzenia nawigacyjne i pozostałe urządzenia wpływające na komfort pełnienia wachty

nawigacyjnej. Przykładowo, niedostosowanie temperatury na mostku w godzinach porannych może powodować senność u oficera, co jest bardzo niebezpieczne.

4) Czy w erze nowoczesnych technologii człowiek wciąż odgrywa kluczową rolę w nawigacji? Czy ważniejsze jest wyszkolenie nawigatora czy zapewnienie mu najnowocześniejszych technologii?

Zawsze wybiorę znakomicie wyszkolonego oficera ponad technologie. Na co się przyda oficer, który nie będzie potrafił obsłużyć nowoczesnych urządzeń lub będzie korzystał z nich niepoprawnie.

5) Istotną częścią szkolenia nawigatorów są symulatory. Jaki jest stosunek Kapitana do ćwiczeń praktycznych na symulatorach? Czy uważa je Kapitan za pożyteczne w szkoleniu marynarzy?

Ćwiczenia na symulatorach uważam za bardzo pożyteczne. Podczas takich ćwiczeń oficerowie mają możliwość doskonalenia swoich umiejętności w zakresie manewrowania statkiem oraz współpracy na mostku. Takie ćwiczenia powinny być obowiązkowe.

6) Czy jest coś co szczególnie utrudnia obserwacje? W jakich okolicznościach lub warunkach jest to najtrudniejsze?

Warunki atmosferyczne potrafią szczególnie utrudniać obserwacje, wliczając w to mgłę, mocne opady deszczu, śniegu itp. Pora dnia jest dodatkowym elementem utrudniającym obserwacje, według mnie krytyczne momenty to tuż przed wschodem i zaraz po zachodzie Słońca.

7) Jakie obiekty są najtrudniejsze w obserwacji?

Najtrudniejsze w obserwacji bywają małe łodzie rybackie oraz ich sieci. Radar często ich nie wykrywa i można je dostrzec jedynie wzrokowo, w dobrych warunkach pogodowych w najczęściej w odległości 2 lub 3 mil morskich.

8) Na symulatorach można ćwiczyć różne scenariusze, zwykle związane z sytuacją nawigacyjną. Czy dobrym pomysłem byłoby ćwiczenie, które polegałoby na kontrolowaniu warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu mostka? Jakie można wymienić potencjalne zalety takiego ćwiczenia i czy spotkał się Kapitan z podobnym szkoleniem w przeszłości?

Nie spotkałem się jeszcze z takim ćwiczeniem, a nawet o takim nie słyszałem. Warunki ergonomiczne mogą mieć znaczący wpływ na komfort pracy i obserwację. Komfort pracy oficera przekłada się także na zwiększenie bezpieczeństwa.

9) Czy są jakieś wady albo obawy, związane z przeprowadzaniem takiego ćwiczenia?

Nie przychodzi mi do głowy jakiejkolwiek obawy związane z takim ćwiczeniem.

Wywiad z Ekspertem nr 4:

1) Proszę powiedzieć coś o sobie. Doświadczenie w pracy na morzu, doświadczenia z pilotażem i typami statków oraz inne istotne kwestie związane z zawodem.

Od wielu lat jestem związany zawodowo z wszelkiego rodzaju tankowcami (produktowcami, chemikaliowcami, przewożącymi surową ropę naftową). Pracuję jako kapitan od 2022 roku, korzystamy z pilotażu przy wejściu do każdego portu.

2) Jakie trendy obserwowane są w nawigacji morskiej w ostatnich latach? Czy pojawiające się nowe technologie odciążają nawigatora w codziennej pracy, czy wręcz przeciwnie, dokładają mu obowiązków związanych z ich obsługą?

Nawigacja została zepchnięta na boczny tor, to bardzo niepokojące. Oczywiście nawigatorzy pełnią swoje obowiązki tak jak powinni, ale mnogość systemów, które trzeba monitorować, niejednokrotnie przewyższa ich możliwości by robić to efektywnie. Obecnie personel, który pełni obowiązki oficerów to niestety coraz częściej użytkownicy urządzeń nawigacyjnych, a nie pełnoprawni nawigatorzy.

3) Czy Kapitan sugeruje swoim oficerom w trakcie prowadzenia nawigacji dostosowanie warunków ergonomicznych na mostku, czy raczej zostawia to w pełni w ich gestii?

Dostosowanie dotyczące ustawień nie, uczulam natomiast na niechlujstwo. Siedzenie na krześle podczas wachty to jedno, ale rozłożenie się na nim i picie kawy z nogami wyłożonymi na urządzenia nawigacyjne jest nieakceptowalne.

4) Czy w erze nowoczesnych technologii człowiek wciąż odgrywa kluczową rolę w nawigacji? Czy ważniejsze jest wyszkolenie nawigatora czy zapewnienie mu najnowocześniejszych technologii?

Odpowiedź jest prosta – wyszkolenie oficera. Prawdziwe wyszkolenie, a nie tylko na papierze, jak to się coraz częściej zdarza. Standardy szkolenia niestety zauważalnie spadają.

5) Istotną częścią szkolenia nawigatorów są symulatory. Jaki jest stosunek Kapitana do ćwiczeń praktycznych na symulatorach? Czy uważa je Kapitan za pożyteczne w szkoleniu marynarzy?

Pomocne, ale pomimo zaawansowanych technologii, siedząc w zamkniętym „pokoju” nie sposób w pełni ocenić sytuację. Poczucie przestrzeni jest nieodzowne i nie do zastąpienia tylko poprzez symulacje. Niektóre ćwiczenia symulacyjne są bardzo przydatne, na przykład te egzekwujące COLREG, inne natomiast są potrzebne w mniejszym stopniu.

6) Czy jest coś co szczególnie utrudnia obserwację? W jakich okolicznościach lub warunkach jest to najtrudniejsze?

Mnogość kontrolerek, ekranów i innych podświetlonych elementów na mostku bardzo obniżają zdolności percepcyjne nawigatorów i rozpraszają ich, przynajmniej tak wynika z moich rozmów z moją załogą. Również przymocowanie krzeseł na stałe w jednym miejscu nie ułatwia obserwacji.

7) Jakie obiekty są najtrudniejsze w obserwacji?

Problematyczne są małe jednostki, statki żaglowe lub rybackie. Na obszarach, na których pływamy, często obecne są także okręty wojskowe lub łodzie podwodne. Są one zaangażowane w patrolowanie wybrzeży lub ćwiczenia, często celowo chcąc pozostać niezauważone lub niewykryte, rozumiem założenie, ale to poważne utrudnienie dla nawigatorów na statkach handlowych.

- 8) Na symulatorach można ćwiczyć różne scenariusze, zwykle związane z sytuacją nawigacyjną. Czy dobrym pomysłem byłoby ćwiczenie, które polegałoby na kontrolowaniu warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu mostka? Jak można wymienić potencjalne zalety takiego ćwiczenia i czy spotkał się Kapitan z podobnym szkoleniem w przeszłości?**

Należy pamiętać, że nawigatorzy i inni marynarze przechodzą regularne, restrykcyjne badania dotyczące zdrowia. Mostek nawigacyjny jest przeznaczony dla ludzi sprawnych. Ergonomia jest istotna, ale nie jestem pewny czy odegra kluczową rolę w bezpieczeństwie. Nie spotkałem się jednak z takim ćwiczeniem w przeszłości, więc nie wypowiem się, gdyż nie znam jego formy.

- 9) Czy są jakieś wady albo obawy, związane z przeprowadzaniem takiego ćwiczenia?**

Obawą jest strata czasu, statki i ich załogi każdego dnia są obciążane dużą ilością zbytecznych informacji i zaleceń nierealnych do wyegzekwowania w rzeczywistej eksploatacji.

Wywiad z Ekspertem nr 5:

- 1) Proszę powiedzieć coś o sobie. Doświadczenie w pracy na morzu, doświadczenia z pilotażem i typami statków oraz inne istotne kwestie związane z zawodem.**

Na morzu prawie 40 lat, ostatnie 30 lat na statkach offshore (statki sejsmiczne). Wcześniej różnego rozmiaru masowce, promy pasażerskie, kutry rybackie na Bałtyku, duże chłodniowce pływające po całym świecie. Kariera od marynarza po kapitana, teraz jestem audytorem ISM/ISPS/MLC.

- 2) Jakie trendy obserwowane są w nawigacji morskiej w ostatnich latach? Czy pojawiające się nowe technologie odciążają nawigatora w codziennej pracy, czy wręcz przeciwnie, dokładają mu obowiązków związanych z ich obsługą?**

Na statkach sejsmicznych mamy więcej technologii niż na statkach handlowych. Oprócz wyposażenia nawigacyjnego mamy systemy sejsmiczne, bardzo pomagające nam w żegludze i unikaniu kursów kolizyjnych. W idealnym scenariuszu oficer jest w stanie ogarniać wszystkie pomoce, jakie ma dostępne na mostku, ale ogólne lenistwo i brak koncentracji w ciężkich przejściach prowadzi do tego, że młodego oficera nie zostawiamy już samego na mostku. Poza tym młodzi oficerowie często nie mają podstaw, których uczono w starych czasach. Po wyłączeniu autopilota następuje ogólna panika i wtedy potrzeba starszego oficera lub kapitana na mostku.

- 3) Czy Kapitan sugeruje swoim oficerom w trakcie prowadzenia nawigacji dostosowanie warunków ergonomicznych na mostku, czy raczej zostawia to w pełni w ich gestii?**

Staramy się podpowiadać „młodzieży”, ale generalnie spotykam się z arogancją i tym, że młody człowiek sam wie lepiej, bo lepiej obsługuje regularny komputer. Na morzu arogancja nie pomaga, używanie prywatnych telefonów czy głośna muzyka, zagłuszająca radio GMDSS, to obecnie nagminnie występujące zachowania, które nie mogą być akceptowane podczas wachty.

4) Czy w erze nowoczesnych technologii człowiek wciąż odgrywa kluczową rolę w nawigacji? Czy ważniejsze jest wyszkolenie nawigatora czy zapewnienie mu najnowocześniejszych technologii?

My, „starzy oficerowie”, kiedyś pływalismy po świecie licząc boje i bazując na charakterystyce ich światła. Dziś już tego praktycznie nie ma. Wybrałbym oficera, który poradzi sobie na wypadek awarii tych najnowszych technologii.

5) Istotną częścią szkolenia nawigatorów są symulatory. Jaki jest stosunek Kapitana do ćwiczeń praktycznych na symulatorach? Czy uważa je Kapitan za pożyteczne w szkoleniu marynarzy?

Jak najbardziej, symulatory są bardzo pomocne. Sam brałem udział w wielu kursach na symulatorach, które nie były obowiązkowe, a wyniosłem z nich bardzo wiele. Zapadły mi w pamięć takie ćwiczenia jak przykładowo manewrowanie statkiem podchodzącym do sejsmika z wyłożonymi kablami lub te, gdzie przerabialiśmy działanie w niebezpiecznych sytuacjach.

6) Czy jest coś co szczególnie utrudnia obserwacje? W jakich okolicznościach lub warunkach jest to najtrudniejsze?

Niepotrzebni ludzie na mostku, którzy przeszkadzają w pracy i ogólny brak koncentracji. Ja w kluczowych momentach nie pozwalam ludziom przebywać na mostku, jeśli nie potrafią pomóc w nawigacji. Zabraniam też muzyki i staram się utrzymywać podświetlanie konsol na minimalnym poziomie.

7) Jakie obiekty są najtrudniejsze w obserwacji?

Ostatnie 30 lat spędziłem w sektorze offshore, operując blisko platform, statków specjalistycznych i rybackich. Każdy z nich jest ograniczony swoją zdolnością manewrową ze względu na wykonywaną pracę. Trzeba być przygotowanym na wszystko, a nie raz nie jest łatwo nawet stwierdzić jakie światła nawigacyjne są zapalone, jeśli pokłady są intensywnie oświetlone przez światła robocze. Oczywiście pomaga AIS, jeśli zmieniono w nim status danej jednostki. Wskazałbym także jachty noszące znikome światła nawigacyjne, źle widzialne w ciężkich warunkach pogodowych.

8) Na symulatorach można ćwiczyć różne scenariusze, zwykle związane z sytuacją nawigacyjną. Czy dobrym pomysłem byłoby ćwiczenie, które polegałoby na kontrolowaniu warunków ergonomicznych panujących w pomieszczeniu mostka? Jak można wymienić potencjalne zalety takiego ćwiczenia i czy spotkał się Kapitan z podobnym szkoleniem w przeszłości?

Tak jak pisałem, spędziłem mnóstwo godzin na symulatorach w Cork, Rotterdamie, czy w Gdyni. Nie miałem styczności z konkretnie takim ćwiczeniem. Ogólnie, ćwiczenia symulacyjne są bardzo potrzebne i były to najlepsze kursy zawodowe jakie kiedykolwiek miałem. Najbardziej cieszę kursy, z których wiedzę można wykorzystać w życiu.

9) Czy są jakieś wady albo obawy, związane z przeprowadzaniem takiego ćwiczenia?

Nie widzę osobiście żadnych wad, sam zawsze pisałbym się na udział w ćwiczeniach na symulatorze.

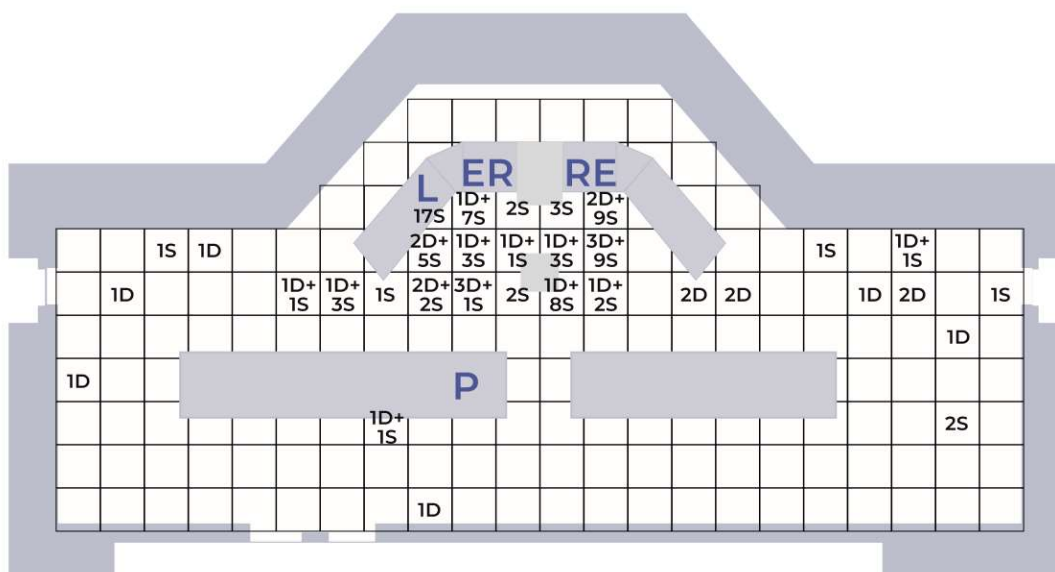
Załącznik E: Statyczne i dynamiczne pozycje zarejestrowane podczas obserwacji poruszania się nawigatorów na mostkach

Załącznik związany jest z podrozdziałem 3.5.

Zarejestrowane pozycje statyczne oznaczono na planach mostków jako „S”, zaś pozycje dynamiczne jako „D”, co przedstawiono na rys. E.1–E.20. Lokalizacja kluczowego wyposażenia i urządzeń została przedstawiona za pomocą liter:

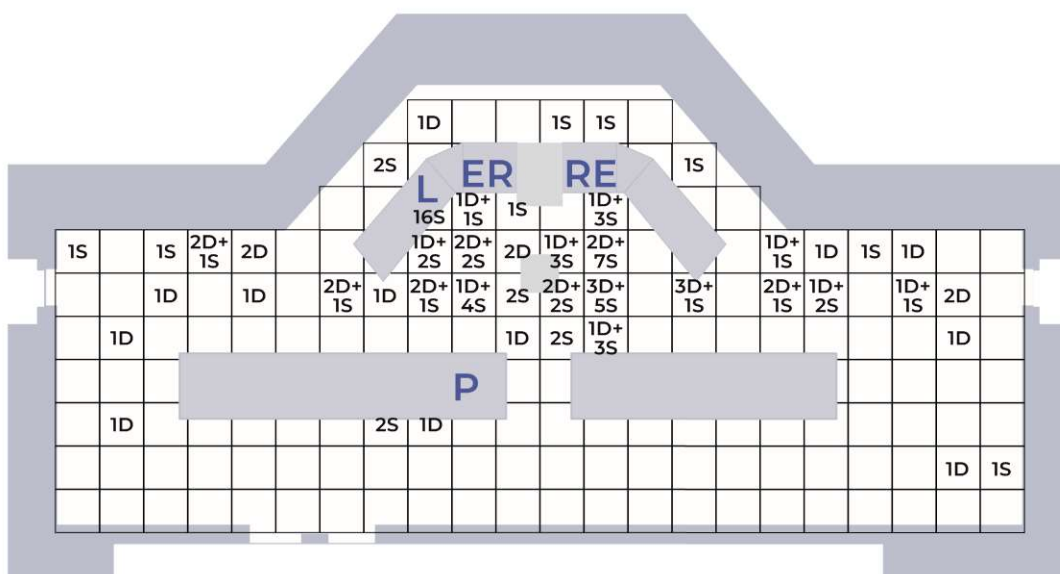
- E – ECDIS,
- R – wskaźnik radarowy,
- L – dziennik pokładowy (papierowy),
- P – stacja komputerowa ogólnego przeznaczenia (komputer stacjonarny),
- C – krzesło.

1) Obserwacja 1 na Tankowcu 1 (nocna wachta)



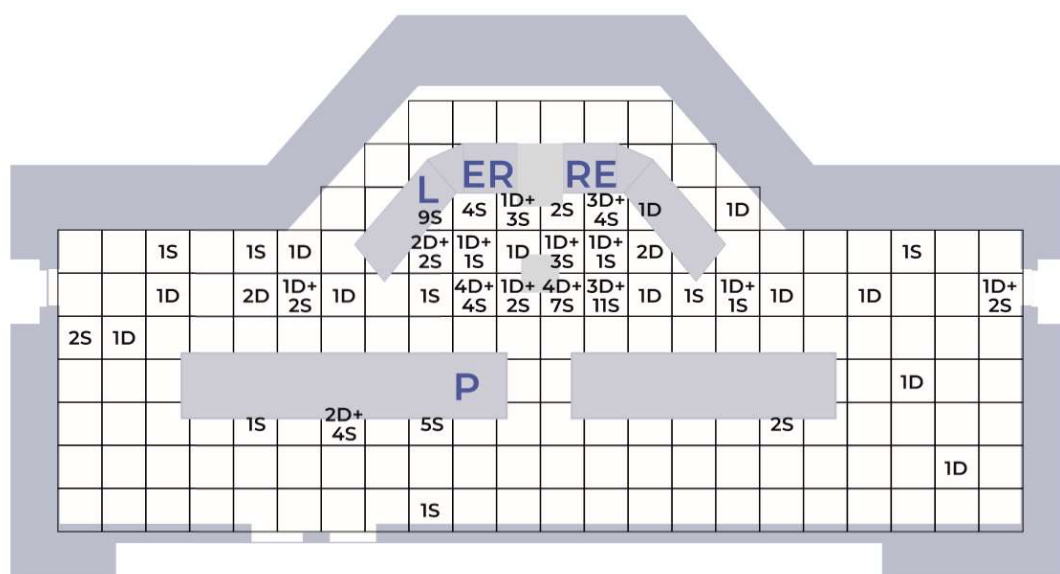
Rys. E.1. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na Tankowcu 1.

2) Obserwacja 2 na Tankowcu 1 (dzienna wachta)



Rys. E.2. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na Tankowcu 1.

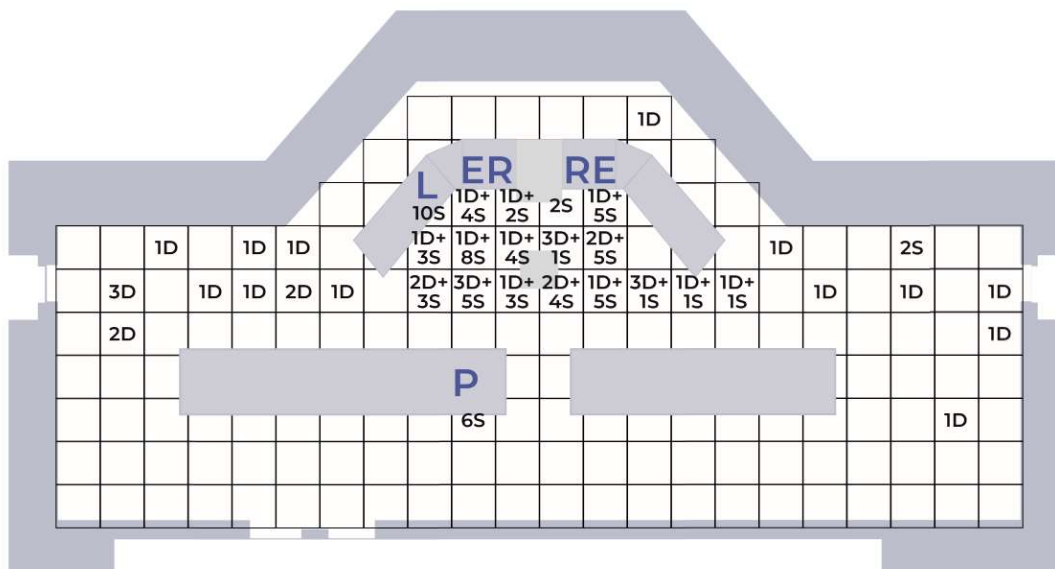
3) Obserwacja 3 na Tankowcu 1 (dzienna wachta)



Rys. E.3. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na Tankowcu 1.

[illegible]

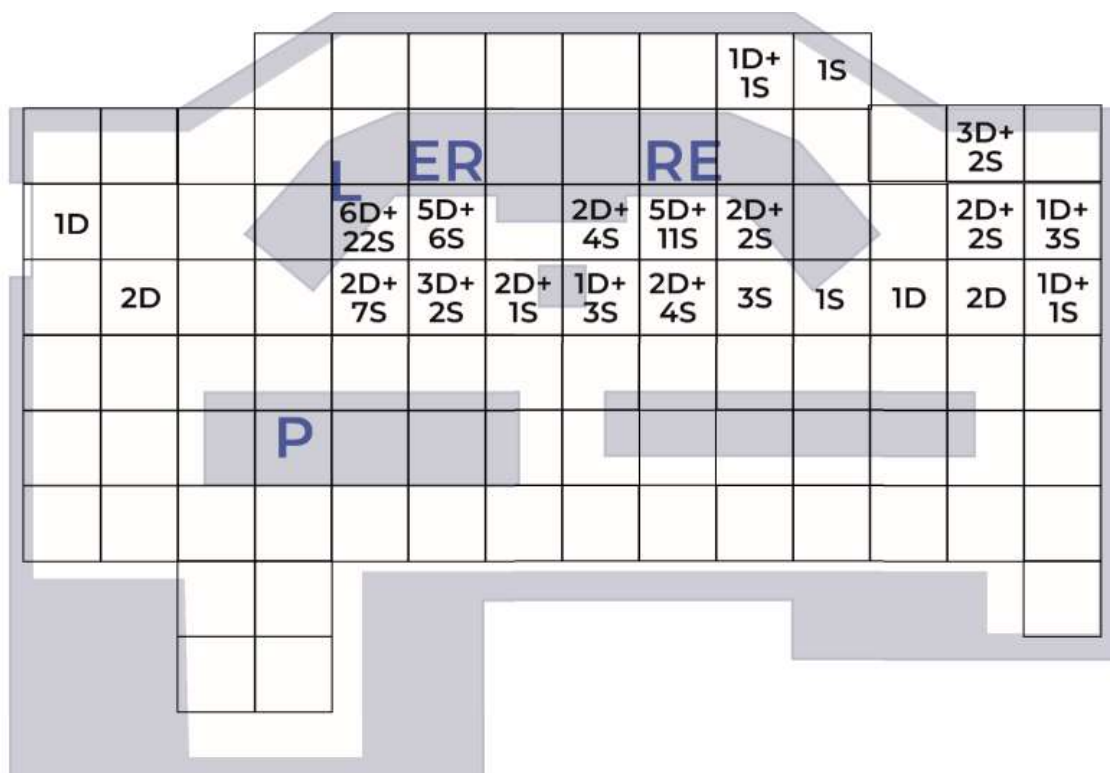
5) Obserwacja 5 na Tankowcu 1 (dzienna wachta)



190

Diagram illustrating a grid layout with a central 5x5 sub-grid. The sub-grid contains the letters L, E, R, R, E in a row. Below the letters are numbers: 7S, 3S, 1D+, 1S, 1D+ 6S. Below these are more numbers: 1D+ 2S, 3D+ 5S, 2D+ 6S, 3D+ 4S, 2D+ 8S. Below these are more numbers: 3D+ 1S, 3D+ 3S, 5D+ 6S, 9S, 1D+ 8S, 4D+ 5S, 4D+ 5S, 2D. The grid is surrounded by a thick grey border.

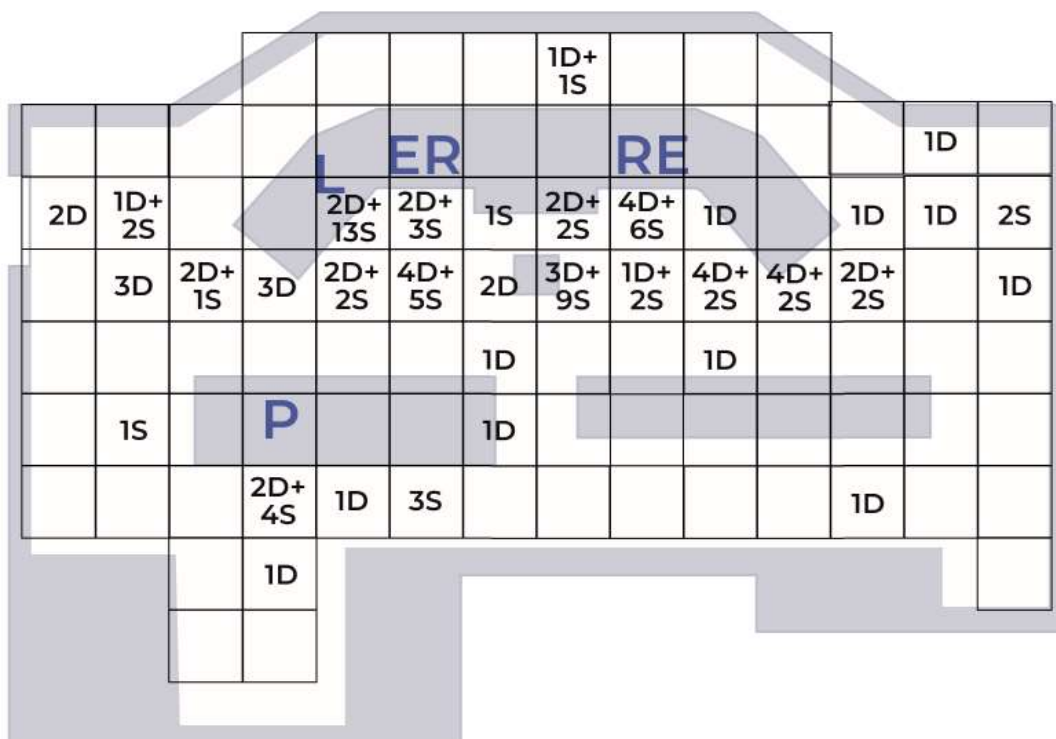
7) Obserwacja 1 na Tankowcu 2 (nocna wachta)



191

[illegible]

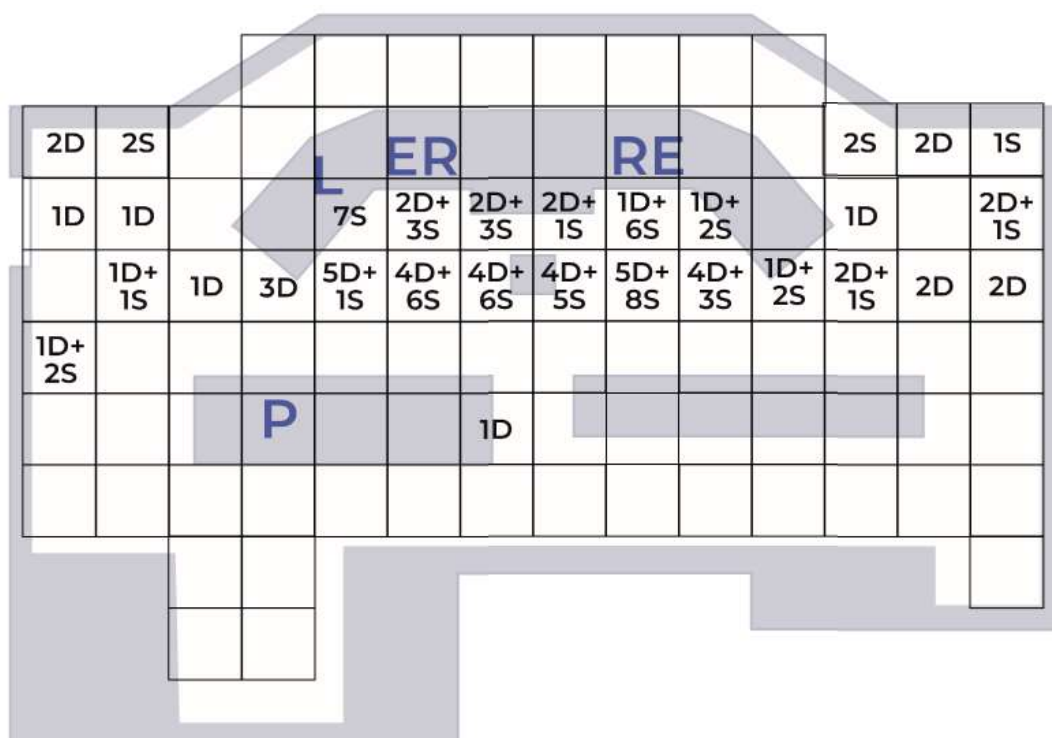
9) Obserwacja 3 na Tankowcu 2 (dzienna wachta)



192

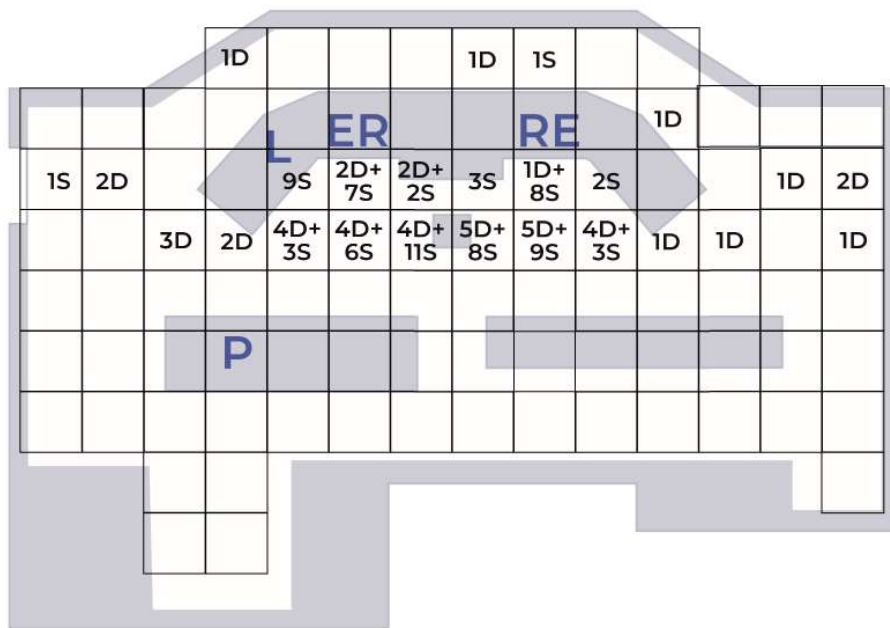
[illegible]

11) Obserwacja 5 na Tankowcu 2 (dzienna wachta)



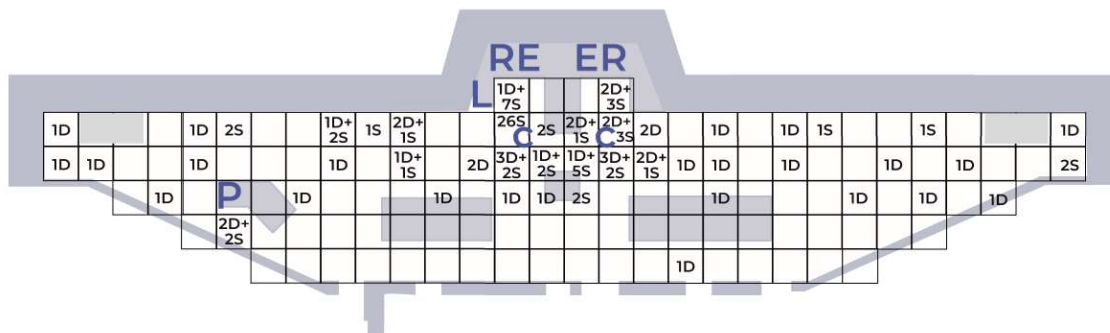
193

12) Obserwacja 6 na Tankowcu 2 (nocna wachta)



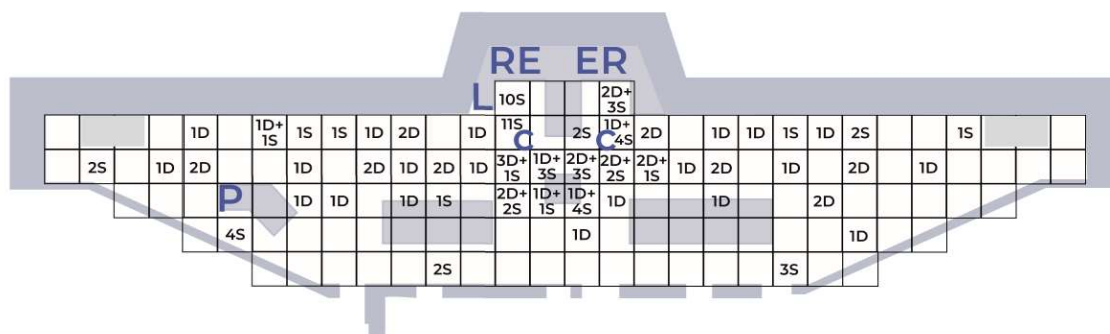
Rys. E.12. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 6 na Tankowcu 2.

13) Obserwacja 1 na statku Ro-Pax 1 (nocna wachta)



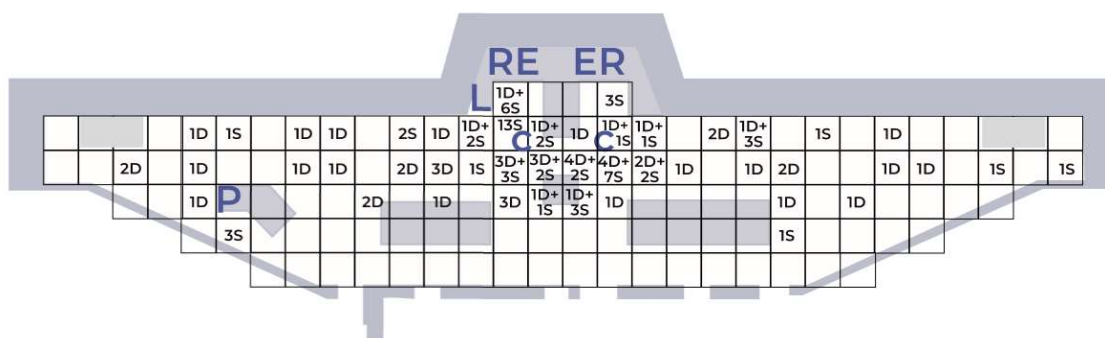
Rys. E.13. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na statku Ro-Pax 1.

14) Obserwacja 2 na statku Ro-Pax 1 (dzienna wachta)



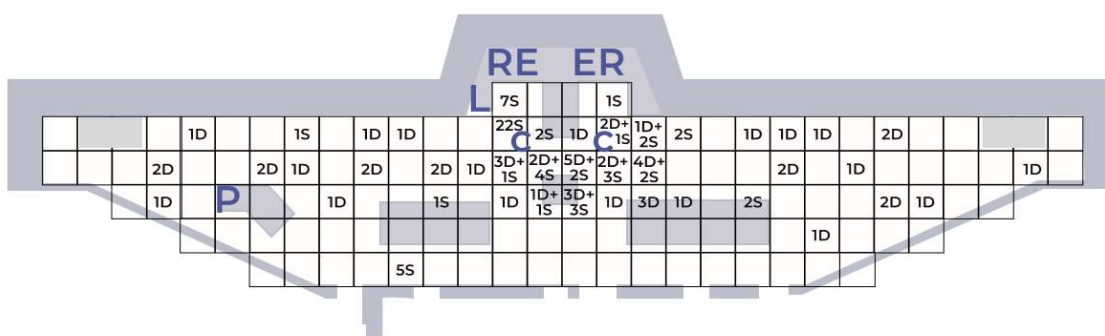
Rys. E.14. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na statku Ro-Pax 1.

15) Obserwacja 3 na statku Ro-Pax 1 (nocna wachta)



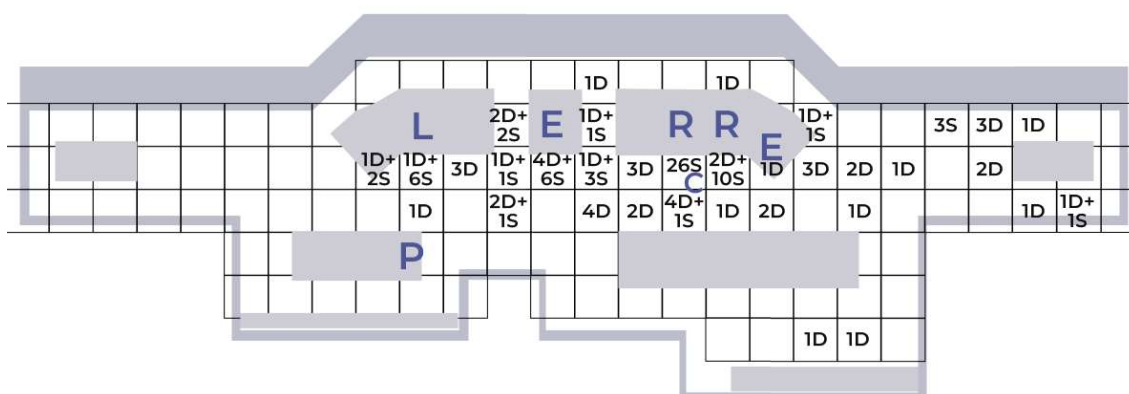
Rys. E.15. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na statku Ro-Pax 1.

16) Obserwacja 4 na statku Ro-Pax 1 (dzienna wachta)



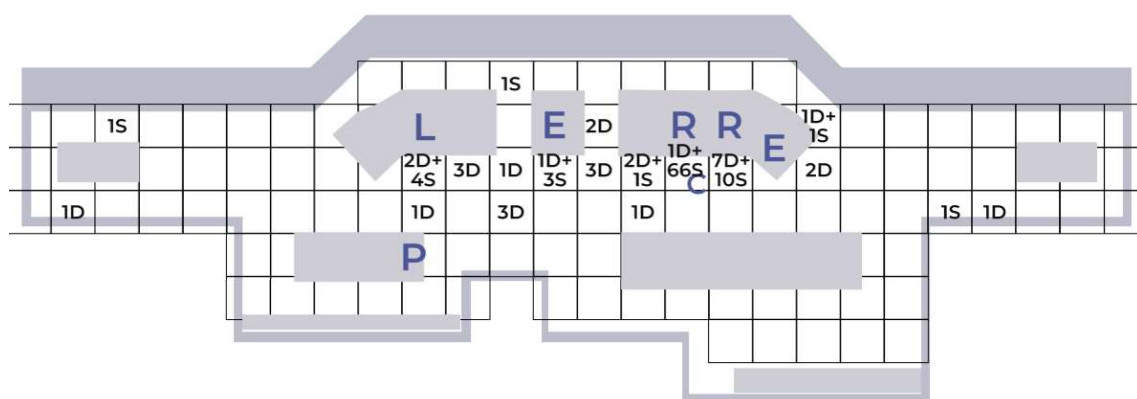
Rys. E.16. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 4 na statku Ro-Pax 1.

17) Obserwacja 1 na statku Ro-Pax 2 (dzienna wachta)



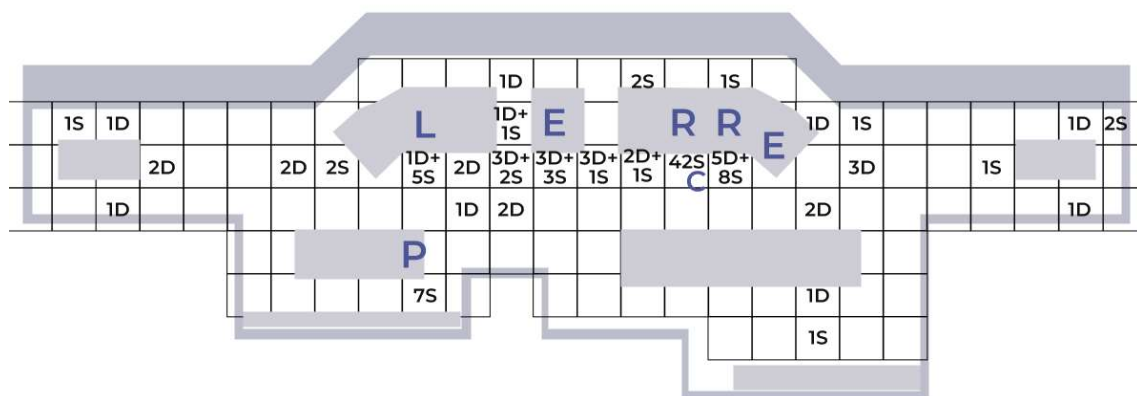
Rys. E.17. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 1 na statku Ro-Pax 2.

18) Obserwacja 2 na statku Ro-Pax 2 (nocna wachta)



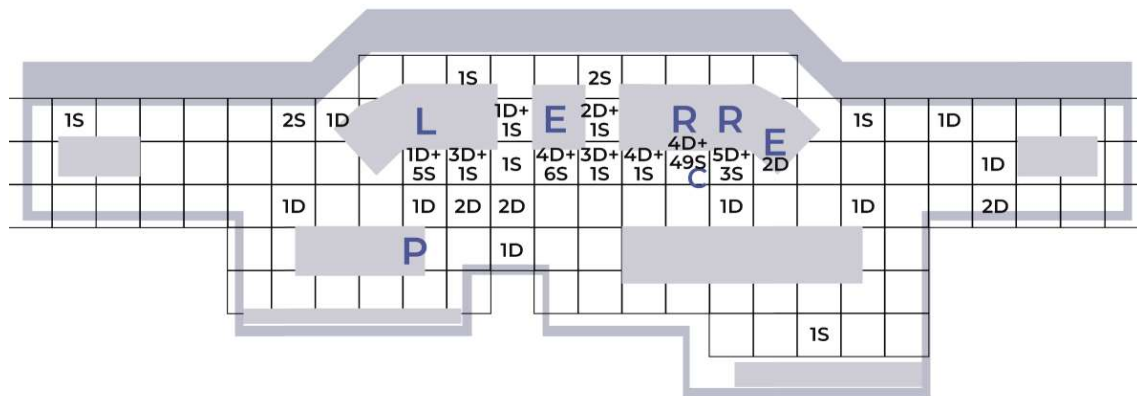
Rys. E.18. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 2 na statku Ro-Pax 2.

19) Obserwacja 3 na statku Ro-Pax 2 (dzienna wachta)



Rys. E.19. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 3 na statku Ro-Pax 2.

20) Obserwacja 4 na statku Ro-Pax 2 (nocna wachta)



Rys. E.20. Statyczne i dynamiczne pozycje podczas obserwacji 4 na statku Ro-Pax 2.

Załącznik F: Obliczanie wskaźnika transmisji mowy (STI)

Załącznik związany jest z podrozdziałem 5.2.3. Funkcja przenoszenia modulacji, za pomocą której obliczane jest zmniejszenie wskaźnika modulacji, przedstawiona jest wzorem (F.1):

$$m_{k,f} = \frac{m_o(k, f)}{m_i(k, f)} \quad (F.1)$$

gdzie:

$m_{k,f}$ – wartość funkcji przenoszenia modulacji dla pasma oktawowego k i częstotliwości modulującej f [-],

$m_o(k, f)$ – wskaźnik modulacji sygnału wyjściowego dla danej częstotliwości [-],

$m_i(k, f)$ – wskaźnik modulacji sygnału wejściowego dla danej częstotliwości [-] [182].

Wartość funkcji przenoszenia modulacji dla poszczególnego pasma oktawowego k i częstotliwości modulującej f ($m_{k,f}$) można obliczyć także z parametrów opisujących charakterystykę akustyczną pomieszczenia, a dokładnie czasu pogłosu i stosunku sygnału do szumu [276]. Zależność taka jest opisana wzorem (F.2):

$$m_{k,f} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi f_{k,f} T}{13,8}\right)^2}} \times \frac{1}{\sqrt{1 + 10^{(-SNR/10)}}} \quad (F.2)$$

gdzie:

$m_{k,f}$ – wartość funkcji przenoszenia modulacji dla pasma oktawowego k i częstotliwości modulującej f [-],

$f_{k,f}$ – częstotliwość danego pasma oktawowego k i częstotliwości modulującej f [Hz],

T – czas pogłosu [s],

SNR – stosunek sygnału do szumu [dB] [182, 277].

Zgodnie z zaleceniami, sygnał testowy nie powinien być modulowany z taką samą częstotliwością we wszystkich pasmach oktaowych, gdyż mogłoby to uniemożliwić odróżnienie sygnału testowego od składowych zniekształceń wynikających z nieliniowości. Maskowanie słuchowe jest obniżeniem słuchowej czułości odbioru dźwięku przez dźwięk o niższej częstotliwości [278]. Zarówno maskowanie, jak i absolutny próg rozumienia, są uwzględniane przy modelowaniu szumów i obliczeniach STI. Maskowanie zależne jest od poziomu sygnału, zaś absolutny próg rozumienia określany jest przez absolutny próg słyszalności i minimalny wymagany zakres dynamiki w celu właściwego rozpoznania dźwięków mowy [182].

Natężenie maskowania w danym pasmie oktaowym wyrażane jest wzorem (F.3):

$$I_{am,k} = I_{k-1} \times amf \quad (F.3)$$

gdzie:

$I_{am,k}$ – natężenie maskowania w danym pasmie oktaowym [Pa^2],

I_{k-1} – natężenie sygnału maskującego w najbliższym niższym pasmie oktaowym [Pa^2],

amf – współczynnik maskowania [-] [182].

W kontekście metody STI, oktaowe poziomy natężenia ($\bar{I}_k$) są równe kwadratowi poziomów ciśnienia akustycznego w danej oktawie i są wykorzystywane przy obliczeniach efektu maskowania słuchowego [182].

Natężenie sygnału maskującego w najbliższym niższym pasmie jest określone za pomocą wzoru (F.4):

$$I_{k-1} = 10^{(L_{k-1}/10)} \quad (F.4)$$

gdzie:

I_{k-1} – natężenie sygnału maskującego w najbliższym niższym pasmie oktaowym [Pa²],

L_{k-1} – całkowity poziom ciśnienia akustycznego w najbliższym niższym pasmie [dB] [182].

Współczynnik maskowania (amf) wyraża się wzorem (F.5):

$$amf = 10^{(amdB/10)} \quad (F.5)$$

gdzie:

amf – współczynnik maskowania [-],

$amdB$ – maskowanie słuchowe [dB] [182].

Wartość maskowania słuchowego ($amdB$), potrzebna do obliczenia wartości współczynnika maskowania, jest zależna od całkowitego ciśnienia akustycznego w najbliższym niższym pasmie oktaowym, co przedstawiono w tabeli F.1.

Tabela F.1. Maskowanie słuchowe jako funkcja ciśnienia akustycznego w pasmie oktaowym

Ciśnienie akustyczne (L) w najbliższym niższym pasmie oktaowym (k-1) [dB]	<63	≥63 i <67	≥67 i <100	≥100
amdB [dB]	0,5×L-65	1,8×L-146,9	0,5×L-59,8	-10

Źródło: International Electrotechnical Commission [182]

Natężenie bezwzględnego progu rozumienia mowy dla danego pasma oktaowego jest określone za pomocą wzoru (F.6):

$$I_{rt,k} = 10^{(ART_k/10)} \quad (F.6)$$

gdzie:

$I_{rt,k}$ – natężenie bezwzględnego progu rozumienia mowy dla danego pasma oktaowego [Pa²],

ART_k – bezwzględny próg rozumienia mowy [dB] [182].

Wartości bezwzględnego progu rozumienia mowy przedstawiono w tabeli F.2.

Tabela F.2. Bezwzględny próg rozumienia mowy w pasmach oktaowych

Pasmo oktaowe [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Bezwzględny próg rozumienia mowy ART_k [dB]	46	27	12	6,5	7,5	8	12

Źródło: International Electrotechnical Commission [182]

Następnie wartości funkcji przenoszenia modulacji dla każdego pasma oktaowego (k) oraz częstotliwości modulującej (f) są korygowane stosując poprawki dla maskowania i progu rozumienia mowy, co określone jest wzorem (F.7):

$$m'_{k,f} = m_{k,f} \times \frac{I_k}{I_k + I_{am,k} + I_{rt,k}} \quad (F.7)$$

gdzie:

$m'_{k,f}$ – skorygowana wartość funkcji przenoszenia modulacji dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [-],

$m_{k,f}$ – wartość funkcji przenoszenia modulacji dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [-],

I_k – natężenie sygnału maskującego w danym pasmie oktaowym [Pa^2],

$I_{am,k}$ – natężenie maskowania w danym pasmie oktaowym [Pa^2],

$I_{rt,k}$ – natężenie bezwzględnego progu rozumienia mowy dla danego pasma oktaowego [Pa^2] [182].

Skorygowana wartość funkcji przenoszenia modulacji powinna zawierać się w przedziale 0–1, więc jeśli obliczone wartości przewyższą wartość 1, powinny zostać do niej obniżone [182].

Zmniejszenie wartości funkcji przenoszenia modulacji jest interpretowane przez pojęcie efektywnego stosunku sygnału do szumu (ang. SNR_{eff} – *effective signal-to-noise ratio*). Przyczyna zmniejszenia jest niezależna, wliczając w to echo, pogłos, składowe zniekształceń nieliniowych lub szum zakłócający. Efektywny stosunek sygnału do szumu (SNR_{eff}) wyraża się wzorem (F.8):

$$\text{SNR}_{\text{eff } k,f} = 10 \times \log \left(\frac{m'_{k,f}}{1 - m'_{k,f}} \right) \quad (F.8)$$

gdzie:

$\text{SNR}_{\text{eff } k,f}$ – efektywny stosunek sygnału do szumu dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [dB],

$m'_{k,f}$ – skorygowana wartość funkcji przenoszenia modulacji dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [-] [182].

Należy odnotować, że zgodnie z koncepcją STI, wartości SNR_{eff} są ograniczone do wartości $\pm 15\text{dB}$. Wartości przekraczające są podawane jako najbliższe wartości graniczne [182].

Efektywny stosunek sygnału do szumu jest następnie przekształcany do wskaźnika transmisji (ang. TI – *Transmission Index*). Jest to opisane wzorem (F.9):

$$TI_{k,f} = \frac{\text{SNR}_{\text{eff } k,f} + 15}{30} \quad (F.9)$$

gdzie:

$TI_{k,f}$ – wskaźnik transmisji dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [-],

$\text{SNR}_{\text{eff } k,f}$ – efektywny stosunek sygnału do szumu dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [dB] [182].

W każdym pasmie oktaowym uzyskuje się tym samym 14 wskaźników transmisji o częstotliwościach modulujących od 0,63 Hz do 12,5 Hz. Następnie, ich wartość uśredniana jest w każdym pasmie oktaowym, uzyskując wskaźnik przenoszenia modulacji (ang. MTI – *Modulation Transfer Index*), co opisuje wzór (F.10):

$$MTI_k = \frac{1}{n} \sum_{m=1}^n TI_{k,fm} \quad (F.10)$$

gdzie:

MTI_k – wskaźnik przenoszenia modulacji dla pasma oktaowego k [-],

n – liczba częstotliwości modulujących,

$MTI_{k,f}$ – wskaźnik transmisji dla pasma oktaowego k i częstotliwości modulującej f [-] [182].

Z uwagi na różnicę pomiędzy męską i damską mową, stosuje się odpowiednie oktaowe współczynniki ważenia. Mowa damska jest uznawana za lepiej zrozumiałą niż męska, dlatego to ta druga jest powszechnie stosowana przy wyznaczaniu STI. Omawiane oktaowe współczynniki ważenia (α), a także współczynniki korekcji redundancji (β), związanego z udziałem sąsiednich pasm częstotliwości, przedstawione są w tabeli F.3.

Tabela F.3. oktaowe współczynniki ważenia

Pasma oktaowe [Hz]		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Mowa męska	α	0,085	0,127	0,230	0,233	0,309	0,224	0,173
	β	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	-
Mowa damska	α	-	0,117	0,223	0,216	0,328	0,250	0,194
	β	-	0,099	0,066	0,062	0,025	0,076	-

Źródło: International Electrotechnical Commission [182]

Wskaźnik transmisji mowy (STI), uwzględniający wszystkie 7 pasm oktaowych, maskowanie oraz próg rozumienia, obliczany jest za pomocą wzoru (F.11):

$$STI = \sum_{k=1}^7 \alpha_k \times MTI_k - \sum_{k=1}^6 \beta_k \times \sqrt{MTI_k \times MTI_{k+1}} \quad (F.11)$$

gdzie:

STI – wskaźnik transmisji mowy [-],

α_k – oktaowe współczynniki ważenia dla pasma oktaowego k [-],

β_k – współczynniki korekcji redundancji pomiędzy pasmami oktaowymi k oraz $k+1$ [-],

MTI_k – wskaźnik przenoszenia modulacji dla pasma oktaowego k [-] [182].

Sposób pomiaru i określenia STI jest opisany w standardzie IEC 60268-16:2020 [182]. Pomiary potrzebne do obliczeń mogą być wykonane za pomocą wyemitowania sygnałów testowych, imitujących mowę, przy pomocy wysokiej jakości głośników i zarejestrowaniu ich przez wysokiej jakości mikrofon [279]. Za przykład nadajnika mogą posłużyć sztuczne usta, zgodne ze standardami zawartymi w ITU-T P.51 [280], zaś odbiornikiem powinno być urządzenie rejestrujące o zbliżonej charakterystyce do ucha ludzkiego, zgodne ze standardem IEC 60318-1:2009 [281]. Zgodnie z rekomendacją zamieszczoną w standardzie IEC 60268-16:2020, w każdym punkcie pomiarowym należy wykonać dwa lub trzy kolejne pomiary i uśrednić otrzymane wartości STI. Pomiary powinny zostać przeprowadzone przy wyposażeniu i umeblowaniu zgodnym z przeznaczeniem pomieszczenia i bez obecności ludzi [182].

Źródło dźwięku, z środkiem emisji sygnału akustycznego na wysokości 1,5 metra nad powierzchnią podłogi, powinno być umiejscowione i ukierunkowane w sposób odpowiadający użytkownikowi pomieszczenia. Powinno uwzględniać się co najmniej dwie pozycje, z których emitowany jest dźwięk, tak by odpowiadały one typowej lokalizacji i kierunkowi, w którym zwrócony jest zwykle mówca. Punkty, w których dokonywany jest pomiar odbieranego sygnału, powinny być rozmieszczone równomiernie na całym obszarze, w którym znajdują się osoby

słuchające. W każdym punkcie pomiarowym należy wykonać pomiar przy każdym usytuowaniu źródła dźwięku. Mikrofony nie powinny znajdować się także zbyt blisko powierzchni odbijającej dźwięk, przykładowo ściany, dlatego odpowiednią odległością będzie około 1 metr. Nie należy umieszczać mikrofonu zbyt bliskiego od źródła sygnału, tak by uniknąć zbyt silnego wpływu dźwięku bezpośredniego [282].

W odniesieniu do normy ISO 7240-19:2007, dotyczącej sygnałów ostrzegawczych i ich zrozumiałości w pomieszczeniu, odległość między punktami pomiarowymi nie powinna przekraczać 12 metrów, zaś ich całkowita liczba powinna być zależna od powierzchni pomieszczenia, co przedstawiono w tabeli F.4. Nie więcej niż jedna trzecia punktów pomiarowych powinna znajdować się na osi głośnika nadającego sygnał.

Tabela F.4. Minimalna liczba punktów pomiarowych w pomieszczeniu

Powierzchnia pomieszczenia [m²]	Minimalna liczba punktów pomiarowych
Poniżej 25	1
25 i więcej, ale mniej niż 100	3
100 i więcej, ale mniej niż 500	6
500 i więcej, ale mniej niż 1500	10
1500 i więcej, ale mniej niż 2500	15
Powyżej 2500	Skalowane liniowo w stosunku 15 na 2500m ²

Źródło: International Organization for Standardization [283]

Załącznik G: Obliczanie czasu pogłosu i chłonności akustycznej pomieszczenia

Załącznik związany jest z podrozdziałem 5.2.3. Pogłos definiowany jest jako czas, po którym poziom natężenia dźwięku spadnie o 60 dB po zakończeniu jego emisji [284]. Czas pogłosu można zmierzyć, ale także policzyć na etapie projektowania. W normach dotyczących akustyki budowlanej i w odniesieniu do pomieszczeń w budynkach mieszkalnych oraz użyteczności publicznej można przedstawić czas pogłosu za pomocą wzoru Sabine'a, przedstawionego wzorem (G.1) [285, 286]:

$$T = 0,161 \frac{V}{A} \quad (G.1)$$

gdzie:

T – czas pogłosu [s],

V – kubatura pomieszczenia [m^3]

A – całkowita chłonność akustyczna pomieszczenia [m^2] [287].

Zdolność danej powierzchni do pochłaniania dźwięku jest zależna od rodzaju materiału, z którego jest wykonana i zawiera się w zakresie 0–1, co jest określane jako współczynnik pochłaniania dźwięku (α) [288]. Współczynnik ten jest właściwie ilorazem energii akustycznej pochłoniętej przez dany materiał i energii akustycznej padającej fali, tym samym im wyższa jego wartość, tym większy procent energii jest pochłaniany [289]. W normie ISO 11654:1997 wyszczególniono 5 klas materiałów (od A do E), podzielonych ze względu na wartość współczynnika pochłaniania dźwięku. Materiały najwyższej klasy (A), cechują się współczynnikiem pochłaniania dźwięku 0,9 i wyższym, natomiast materiały nieklasyfikowane mają tę wartość nie większą niż 0,1 [290].

Chłonność akustyczna pomieszczenia (A) to hipotetyczne pole powierzchni całkowicie pochłaniającej dźwięk, przy którym czas pogłosu byłby taki sam jak w pomieszczeniu, jeżeli ta powierzchnia byłaby tam jedynym elementem pochłaniającym [185], co można opisać wzorem (G.2):

$$A = S \times \alpha_{sr} \quad (G.2)$$

gdzie:

A – całkowita chłonność akustyczna pomieszczenia [m^2],

S – całkowita powierzchnia pomieszczenia [m^2],

α_{sr} – średni współczynnik pochłaniania dźwięku pomieszczenia [-] [185].

Całkowita chłonność akustyczna jest też sumą chłonności akustycznej powierzchni ograniczających pomieszczenie, wszystkich obiektów znajdujących się w nim, a także samego powietrza, co jest opisane wzorem (G.3):

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i + \sum_{j=1}^o A_{obj,j} + A_{air} \quad (G.3)$$

gdzie:

A – całkowita chłonność akustyczna pomieszczenia [m^2],

n – liczba powierzchni,

α_i – współczynnik pochłaniania dźwięku powierzchni [-],

S – pole powierzchni [m^2],

A_{obj} – chłonność akustyczna pojedynczego obiektu [m^2],

A_{air} – chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku przez powietrze [m^2] [185].

Załącznik H: Algorytm wyznaczający wzniesienie i azymut rzeczywisty Słońca

Załącznik związany jest z podrozdziałem 5.3.1. W tym załączniku opisano proces wyznaczania wzniesienia i azymutu rzeczywistego Słońca, nazwany w pracy Algorytmem 1. Wzory potrzebne do obliczenia wzniesienia Słońca zostały przedstawione za pomocą zależności (H.1), (H.2) i (H.3).

- Wyznaczenie wzniesienia Słońca:

$$Hc = \sin^{-1}(\sin \varphi \times \sin d + \cos \varphi \times \cos d \times \cos LHA) \quad (H.1)$$

gdzie:

Hc – wzniesienie Słońca [°],

φ – szerokość geograficzna [°],

d – deklinacja Słońca [°],

LHA – miejscowy kąt godzinny [°] [229].

Jeśli szerokość geograficzna i deklinacja Słońca są północne, ich wartość jest dodatnia, a jeśli południowe, należy traktować je jako ujemne [229].

- Wyznaczenie miejscowego kąta godzinnego (LHA):

a) jeśli długość geograficzna jest wschodnia:

$$LHA = GHA + \lambda \quad (H.2)$$

gdzie:

LHA – miejscowy kąt godzinny [°],

GHA – kąt godzinny Greenwich [°],

λ – długość geograficzna [°].

Jeśli otrzymany wynik jest większy niż 360°, należy pomniejszyć go o 360°.

b) jeśli długość geograficzna jest zachodnia:

$$LHA = GHA - \lambda \quad (H.3)$$

gdzie:

LHA – miejscowy kąt godzinny [°],

GHA – kąt godzinny Greenwich [°],

λ – długość geograficzna [°].

Jeśli otrzymany wynik jest mniejszy niż 360°, należy powiększyć go o 360° [229].

Azymut rzeczywisty Słońca wyznacza się za pomocą wzoru (H.4):

$$Z = \cos^{-1}\left(\frac{\sin d - \sin \varphi \times \sin Hc}{\cos \varphi \times \cos Hc}\right) \quad (H.4)$$

gdzie:

Z – kąt azymutalny [°],

d – deklinacja Słońca [°],

φ – szerokość geograficzna [°],

Hc – wzniesienie Słońca [°] [229].

Azymut rzeczywisty przyjmuje wartości w zależności od szerokości geograficznej i wartości miejscowego kąta godzinnego. Jest to odpowiednio:

a) Na północnej półkuli według wzoru (H.5) lub (H.6):

- jeśli LHA jest większe niż 180° :

$$Zn = Z \quad (H.5)$$

gdzie:

Zn – azymut rzeczywisty $[\circ]$,

Z – kąt azymutalny $[\circ]$.

- jeśli LHA jest mniejsze niż 180° :

$$Zn = 360^\circ - Z \quad (H.6)$$

gdzie:

Zn – azymut rzeczywisty $[\circ]$,

Z – kąt azymutalny $[\circ]$.

b) Na południowej półkuli według wzoru (H.7) lub (H.8):

- jeśli LHA jest większe niż 180° :

$$Zn = 180^\circ - Z \quad (H.7)$$

gdzie:

Zn – azymut rzeczywisty $[\circ]$,

Z – kąt azymutalny $[\circ]$.

- jeśli LHA jest mniejsze niż 180° :

$$Zn = 180^\circ + Z \quad (H.8)$$

gdzie:

Zn – azymut rzeczywisty $[\circ]$,

Z – kąt azymutalny $[\circ]$ [229].

W celu wyznaczenia azymutu rzeczywistego i wzniesienia Słońca potrzebne są więc następujące podstawowe dane wejściowe:

- 1) Szerokość geograficzna,
- 2) Długość geograficzna,
- 3) Deklinacja Słońca,
- 4) Kąt godzinny Greenwich (do obliczenia miejscowego kąta godzinnego),
- 5) Aktualna data i czas.

Obecnie każdy statek, niezależnie od swojej wielkości, powinien posiadać odbiornik globalnego systemu nawigacji satelitarnej, takiego jak na przykład: GPS, Galileo lub GLONASS (ros. *Globalnaja Nawigacionnaja Sputnikowaja Sistiema*) [40]. Dane z takiego odbiornika są podstawą nowoczesnych, zintegrowanych mostków nawigacyjnych, dostarczając na bieżąco informacje dotyczące aktualnej pozycji geograficznej oraz czasu do innych urządzeń. Ponadto dostarczana godzina podawana jest w czasie niezależnym od czasu statkowego, który nie zawsze pokrywa się z czasem geograficznym. Kąt godzinny Greenwich oraz deklinacja Słońca

na dany dzień i godzinę otrzymywana jest zwykle na statkach ze stabelaryzowanych wartości, dostępnych na przykład w publikacji „*The Nautical Almanac (NP314)*”, wydawanej na dany rok przez UKHO. Z uwagi na potrzebę dużej uniwersalności i uniknięcia konieczności częstych aktualizacji, zarówno kąt godzinny Greenwich i deklinację Słońca najlepiej będzie wyznaczyć korzystając kolejno ze wzorów (H.9) i (H.10):

$$GHA = UT + \frac{E}{240} + 180 \quad (H.9)$$

gdzie:

GHA – kąt godzinny Greenwich [°],

UT – czas uniwersalny, w tym kontekście równy GMT (Greenwich Mean Time) [°]

E – równanie czasu [s] [291].

$$d = \tan^{-1}(\tan \varepsilon \times \sin \alpha) \quad (H.10)$$

gdzie:

d – deklinacja Słońca [°],

ε – nachylenie równika względem ekliptyki [°],

α – rektascensja [°] [291].

Do obliczeń za pomocą powyższej metody, potrzebne jest więc wykonanie obliczeń pomocniczych, za pomocą wzorów (H.11), (H.12), (H.13), (H.14), (H.15), (H.16):

$$\varepsilon = \tan^{-1}(0.43382 - 0.00027 \times T) \quad (H.11)$$

gdzie:

ε – nachylenie równika względem ekliptyki [°],

T – liczba wieków juliańskich od 1900 (daty juliańskiej 2415020,0) [291].

$$\alpha = L - \frac{E}{240} \quad (H.12)$$

gdzie:

α – rektascensja [°],

L – średnia długość geograficzna Słońca [°],

E – równanie czasu [s] [291].

$$T = \frac{D}{36525} \quad (H.13)$$

gdzie:

T – liczba wieków juliańskich od 1900 (daty juliańskiej 2415020,0),

D – liczba dni, które upłynęły od 1900 (daty juliańskiej 2415020,0) [291].

$$D = JD - 2415020 \quad (H.14)$$

gdzie:

D – liczba dni, które upłynęły od 1900 (daty juliańskiej 2415020,0),

JD – data juliańska [291].

$$L = 279,697 + 36000,769 \times T \quad (H.15)$$

gdzie:

L – średnia długość geograficzna Słońca [°],

T – liczba wieków juliańskich od 1900 (daty juliańskiej 2415020,0) [291].

$$\begin{aligned}
E = & -(93,0 + 14,23 \times T - 0,0144 \times T^2) \times \sin L \\
& - (432,5 - 3,71 \times T - 0,2063 \times T^2) \times \cos L \\
& + (596,9 - 0,81 \times T - 0,0096 \times T^2) \times \sin(2 \times L) \\
& - (1,4 + 0,28 \times T) \times \cos(2 \times L) \\
& + (3,8 + 0,60 \times T) \times \sin(3 \times L) \\
& + (19,5 - 0,21 \times T - 0,0103 \times T^2) \times \cos(3 \times L) - (12,8 \\
& - 0,03 \times T) \times \sin(4 \times L)
\end{aligned} \tag{H.16}$$

gdzie:

E – równanie czasu [s],

T – liczba wieków juliańskich od 1900 (daty juliańskiej 2415020,0),

L – średnia długość geograficzna Słońca [°] [291].

Z racji konieczności używania do obliczeń daty juliańskiej, należy przekonwertować datę z kalendarza gregoriańskiego do kalendarza juliańskiego. Wzór na taką zamianę, który można stosować dla dat późniejszych niż 23 listopada 4713 r.p.n.e., przedstawiono za pomocą równania (H.17):

$$JD = JDN + \frac{h - 12}{24} + \frac{m}{1440} + \frac{s}{86400} \tag{H.17}$$

gdzie:

JD – data juliańska,

JDN – numer dnia juliańskiego,

h – godzina (czasu UTC),

m – minuta (czasu UTC),

s – sekunda (czasu UTC) [292].

Numer dnia juliańskiego otrzymywany jest za pomocą wzoru (H.18):

$$\begin{aligned}
JDN = & (1461 \times (Y + 4800 + (M - 14) \div 12)) \div 4 + (367 \times (M - 2 \\
& - 12 \times ((M - 14) \div 12))) \div 12 - (3 \times ((Y + 4900 \\
& + (M - 14) \div 12) \div 100)) \div 4 + D - 32075
\end{aligned} \tag{H.18}$$

gdzie:

JDN – numer dnia juliańskiego,

Y – rok w kalendarzu gregoriańskim,

M – miesiąc w kalendarzu gregoriańskim,

D – dzień w kalendarzu gregoriańskim [292].

Należy zaznaczyć, że każde dzielenie przeprowadzone w powyższym wzorze na numer dnia juliańskiego powinno zostać zaokrąglone w dół do liczby całkowitej [292].

Załącznik I: Patronat Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego

Załącznik związany jest z podrozdziałem 7.2. Patronat Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego przedstawiono na rys. I.1.



Znak pisma: BP-WKSP.060.30.2025.8.JO

Warszawa, 17 czerwca 2025 r.

Pan
Michał Stopa
ul. Mokwy 9
81-458 Gdynia

Dotyczy: objęcia patronatu nad projektem „Zbadanie problemów i potrzeb ergonomicznych maszynistów w transporcie kolejowym”

Szanowny Panie,

miło mi poinformować o objęciu patronatu honorowego nad projektem „Zbadanie problemów i potrzeb ergonomicznych maszynistów w transporcie kolejowym”, który będzie realizowany od września 2025 do września 2026 r.

Ergonomia i komfort miejsca pracy maszynistów może przekładać się na warunki pracy i wpływać na lepszą koncentrację maszynistów. To zaś może pośrednio wpływać na bezpieczeństwo ruchu kolejowego.

Podnoszenie poziomu bezpieczeństwa na kolei, jest zagadnieniem kluczowym dla Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego. Przygotowywany przez Pana projekt jest niezwykle ciekawy i liczę, że przyniesie inspirujące do dalszych działań wnioski.

Życzę powodzenia przy przeprowadzaniu badania, a także w dalszej pracy naukowej.

Z wyrazami szacunku

IGNACY GÓRA
PREZES URZĘDU TRANSPORTU
KOLEJOWEGO
/podpisano elektronicznie/

Informacje w tej sprawie można uzyskać pod numerem tel. 22 749 14 35

Urząd Transportu Kolejowego – Biuro Prezesa

Prezes Urzędu Transportu Kolejowego przetwarza przekazane dane osobowe zgodnie z przepisami.

Szczegółowe informacje znajdują się na stronie www.utk.gov.pl/pl/rodo

tel. 22 749 14 00
e-mail: utk@utk.gov.pl
www.utk.gov.pl

Urząd Transportu Kolejowego
Al. Jerozolimskie 134
02-305 Warszawa

Rys. I.1. Patronat Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego.