

Possibilities of Utilization the Risk – Based Techniques in the Field of Offshore Wind Power Plants

Author

Przemysław Kacprzak

Keywords

offshore wind power plants, risk-based analyses

Summary

In the article the risk-based concept that may be applicable to offshore wind power plants has been presented. The aim of the concept is to aid designers in the early design and retrofit phases of the project in case of lack or insufficient information in relevant international standards. Moreover the initial classification of components within main system parts of offshore wind power plant has been performed. Such classification is essential in order to apply risk-based concept. However further scientific researches need to be performed in that field to develop detailed concept useful for future practical applications.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014307

1. Introduction

1.1. Prescriptive approach

Fast growing capacity of the single wind turbine, rapid development of the technology and the obligation imposed by the European Union on the member countries to fulfil the energy mix requirements lead to still increasing importance of the offshore wind power plants as an alternative and environmental friendly electrical energy generation source.

However, existing international standards refer in the little manner to the electrical part of the offshore wind power plants. There is no integrated framework devoted to the activities that shall be performed during the design of offshore wind power plants. Moreover considering the fact that mentioned industry branch is currently in the phase of fast dynamic growth there are no comprehensive requirements in the international standards, related to the electrical issues within the system, that shall be met in the design phase of the project as well as during retrofit.

As a result a prescriptive approach during the design phase of the offshore wind power plants becomes insufficient in the situation of lack of relevant international standards referring to its all parts. Considering that, the aid for the designers, especially in the early design phase, could be an approach that utilizes the techniques based on the risk analyses, where the most important factors are knowledge and experience of the designers' team [1].

1.2. Risk – based approach

Today there is no existing framework for performing risk – based analyses related to the electrical part of offshore wind power

plants in the design or retrofit phase of the project. However taking into account considerations made so far creation of such a framework could be beneficial in terms of safety and economic aspects of the project (high reliability of the plant means less repairs and maintenance) as well as could be valuable for the designers in preparing prototype design solutions (especially for the offshore HVAC and HVDC substations).

The main idea in the process of preparing a risk – based analysis framework is to adapt, adjust and implement currently existing frameworks from other industrial branches, where risk –based approach is already a well established practice. An example can be nuclear power industry.

2. Risk based approach

2.1. Initial decomposition of the offshore wind power plant

The risk – based techniques, in general, are based on two different concepts. The first one is the top-down concept and the second one is exactly opposite. In the wind energy sector it is proposed to use the first one. That means the offshore wind power plant is treated as a one system which needs to be decomposed for its main parts in order to perform the analysis. The main proposed general distinction is presented below:

1. Wind turbine(s)
2. Offshore substation(s)
3. Subsea power cables
4. External grid.

Each main part needs to be further decomposed taking into account its main components. This is the point of the top-down approach. This concept is illustrated in the Fig. 1.

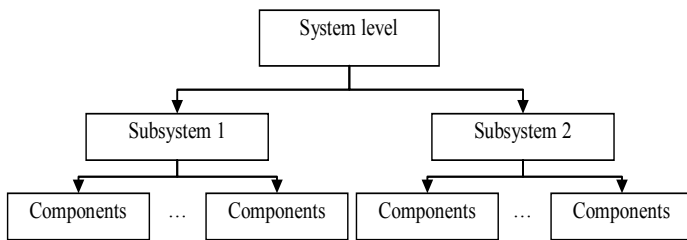


Fig. 1. General concept of the top-down approach in the risk – based analyses

2.2. General framework for the risk-based approach

The general concept of the of the risk-based approach that could be applicable to the offshore wind power plants is based on the general rules presented in the IEC 61508 devoted to functional safety with the intension be applied in the industrial practice) [2]. The framework presented in the IEC 61508 is focused mainly on the technical risk of the hardware and according to its generic form is a basis for application in the wide range of energy sectors with necessary adjustments specific for the branch.

Other relevant standards refer to the specific methods that could be utilized in the different phases of the risk-based approach [3, 4, 5, 6].

The general concept to be applied in the offshore wind power plants sector is presented in the Fig. 2.

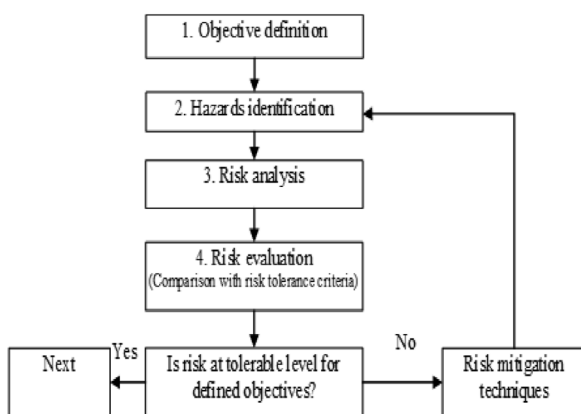


Fig. 2. General framework to perform risk-based analysis

2.3. Steps within framework to perform the analysis

The framework based on generic proposition from Fig. 1 adjusted to the offshore wind power plants should consist of the consecutive steps, where output from the current step is an direct input for the following step. The initial proposition of the steps within

framework with the reference to the general concept outlined in the previous section as well as figure justifying the presented concept are as follows:

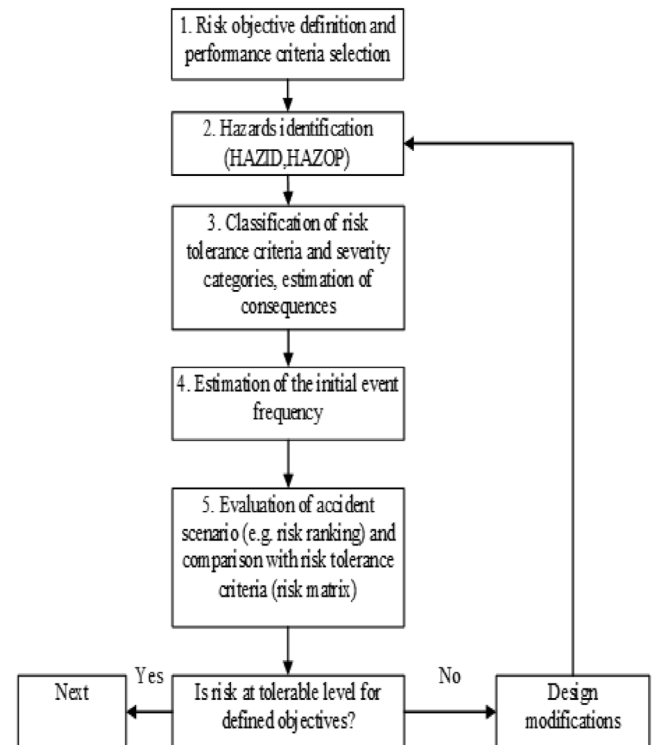


Fig. 3. Initial framework to perform risk-based analysis within offshore wind power plant

3. Risk objective definition and criteria

In the initial stage one of the analysis decision must be made according to what will be the main focus of the analysis. The typical categories to choose are: safety, facility, environment. The first possibility concerns the safety of the personnel during normal operation of the plant, maintenance and abnormal situations. The second option refers to the functional and operational reliability of the equipment within offshore wind power plant. The third case apply to the environmental issues due to operation of the plant.

Typically each of described category is considered. The extend of the analysis with relation to the each category may be different and depends e.g. on the system part under consideration. For each category, if applicable, should be defined a baseline risk understood us quantitative or qualitative representation of the risk that is treated as tolerable. The baseline risk may be represented as risk matrix, graph or table. The example of the risk matrix is given below.

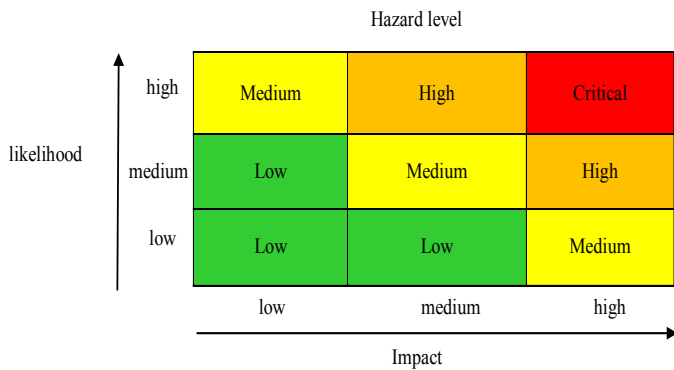


Fig. 4. Example of the risk as a method to determine the baseline risk (risk acceptance criteria)

4. Identification of hazards

In the second step, when the risk acceptance criteria for each category are defined, the list of identified hazards within all essential parts of the system under consideration should be identified. Each defined hazard should be now assessed in the context of its importance for the system.

This action is called as the screening. The aim of this action is to reduce the number of hazards that will need further investigation and detailed analysis. The least significant hazards for the system will not be further considered.

To provide comprehensive hazards identification further decomposition of system parts based on the general principle presented in the Fig. 1 should be performed. Within each system part of the offshore wind power plant there are essential components which perform functions important in terms of its proper performance. Team of experienced experts should consider all important functions for all important components within different parts of offshore wind power plant.

The methods that are applicable for that step are e.g. HAZOP/HAZID (*Hazard and Operability Study/Hazards Identification*) and FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Both techniques belongs to the qualitative hazards identification methods, but the FMEA is sometimes used in a combination with HAZOP. Then output from the HAZOP report prepared in the tabular form is then an input to perform FMEA analysis.

In the current established industrial practice the above solution has been widely applied and still developing [7]. The reason of this fact is that HAZOP is an general system approach technique and FMEA provide more detailed analysis where also apart from risk, the criticality of the failure may be assessed (FMECA method where C refers to criticality).

The example of utilization of described approach can be maritime industry where FMEA analysis is obligatory for the vessels with class notation DP 2 (*Dynamic positioning*) [7]. Taking into account the success of the risk – based approach in the several industry branches as nuclear power and maritime there are no contradictions to implement these approaches also to the offshore business and also offshore wind power plants [1, 8].

In the picture below the short summary and explanation about how HAZOP and FMEA methods may be used combined are

provided. Moreover the exemplary table of the HAZOP study as one of the hazard identification techniques is provided in the end of the paper. Table outlook is based on the related standard [3].

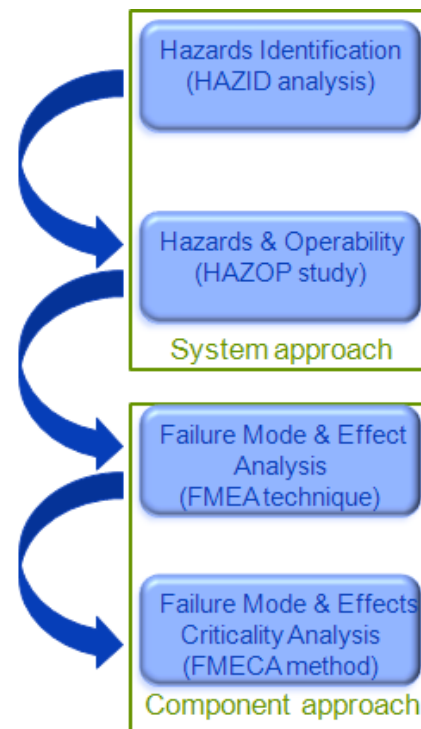


Fig. 5. Methods used for the hazard identification study

The short summary of the methods and their relations are as follows [5]:

HAZID

Input: Information of the system to be assessed

Evaluation: Brainstorming & team work performed by professionals

Output: List of potential hazards and hazardous situations.

HAZOP

Input: Design intends and specification of the system being examined

Evaluation: Revision of each part of the system in order to discover deviations which could effects system safety and performance

Output: List of causes and effect of defined deviations with possible actions to address possible problems.

FMEA

Input: Information about system and components (report from HAZOP study) of the system in the necessary level of detail to perform analysis

Evaluation: Decomposition of the system into components for which failure modes, causes and effects have to be assigned

Output: List of failure modes, causes and effects for each component and for the system as a whole

Category characteristic → Consequence characteristic ↓	1000–10.000 EURO	10.000–100.000 EURO	100.000–1.000.000 EURO	1.000.000–10.000.000 EURO	> 10.000.000 EURO
Equipment damage	Severity category 1	Severity category 2	Severity category 3	Severity category 4	Severity category 5

Tab. 1. Example of the severity category classification

Input: Based on the FMEA report

Evaluation: Classification of the defined failure modes according to its criticality

Output: Extension of FMEA report by inclusion of criticality rating for failures.

5. Classification of severity categories and estimation of consequences

In previous step the hazards that need special attention and more sophisticated analysis has been specified (based on the rough risk estimation). If, for example HAZOP study has been chosen (see Tab. 1 to understand the structure of worksheet) the cause and consequence pair have been described in the written form without any qualitative or quantitative estimation (only significance of the hazard).

Now, after screening the remain hazards are to be analyzed in terms of risk. The first thing to do is to assign to each consequence the severity category. These categories are defined by experienced experts and are mostly tailor made for the specific project. In general, as a generic principle, it is assumed that no more than five categories should be defined.

Below the example of classification of severity categories for consequence related to the economic loss, because of equipment damage is presented.

6. Estimation of the event frequency

Estimation of the cause frequency that may lead to the undesirable consequence can be performed with utilization of qualitative or quantitative methods. The qualitative method is e.g. risk ranking defined in the written form as frequent, probable, unlikely, rare with special conditions assigned to each category, e.g. frequent – happened several times per year in the location. The most common quantitative technique used for frequency estimation is FTA (*Fault Tree Analysis*). However in this article the main focus is on qualitative techniques as the most applicable so far for the offshore wind power plants [1, 8, 9]. However quantitative methods probably also will be applied to that branch in the future. This concept is yet not well known in the wind energy sector and requires further researches.

7. Evaluation of the accident scenario risk against acceptance criteria

In general, the risk is the combination of the frequency and the severity of the consequences. After evaluation of these required factors the decision of the risk level can be made by the team performing the analysis. Then, if risk tolerance criteria are not met, based on experts' judgment, the risk reduction design solutions are prepared in order to reduce the risk to the tolerable zone.

		Consequences				
		Severity category 1	Severity category 2	Severity category 3	Severity category 4	Severity category 5
		1000–10.000 EURO	10.000–100.000 EURO	100.000–1.000.000 EURO	1.000.000–10.000.000 EURO	>10.000.000 EURO
Frequen cy/year	Frequent (<0.1;0.2)	II	II	II	I	I
	Probable (<0.2; 0.5)	II	II	II	I	I
	Unlikely (<0.5; 0.05)	III	II	II	II	II
	Rare (<0.05; 0.001)	III	II	II	II	II
	Impossible (<0.001)	III	III	III	III	III
Risk category		Explanation				
Risk class		III	Acceptable			
		II	Tolerable			
		I	Not acceptable			

Tab. 2. Risk matrix example

CONSEQUENCE					INCREASING PROBABILITY				
Severity Rating	People	Assets	Environment	Reputation	A	B	C	D	E
					Rarely occurred in E&P industry	Happened several times per year in industry	HJas occurred in operating company	Happened several times per year in operating company	Happened several times in location
0	Zero injury	Zero damage	Zero effect	Zero Impact	Manage for continue improvement				
1	Slight injury	Slight damage	Slight effect	Slight Impact					
2	Minor injury	Minor damage	Monor effect	Limited Impact					
3	Major injury	Local damage	Local effect	Considerable Impact	Intolerable				
4	Single fatality	Major damage	Major effect	Major national impact					
5	Multiple fatalities	Exstensive damage	Massive effect	Major international impact					
					Incorporate risk reducing measures				

Tab. 3. Example of the risk matrix presented in one of the international standards [6]

The qualitative method applicable at this stage is e.g. risk matrix. An example is provided below as well as another example to compare taken from one of the relevant standards.

8. Initial classification of components within offshore wind power plant

For the purpose of using the risk-based framework presented above in the design or retrofit phase to offshore wind power plants the following components division within its main parts is proposed.

For these components relevant functions, indispensable for proper performance of the system, should be specified. So defined approach will enable to apply risk-based approach to the wind energy sector. The aim of the analyses is to aid the design process to fulfil risk tolerance criteria and to provide high reliability of the plant.

The general division of the components within part of the system defined as offshore wind power plant are described below. The division is on its initial stage and require further investigation and development by the author.

The most important part of the system where the most rapid growth and technology development can be seen is offshore substation (HVAC and/or HVDC). Even at this initial stage, the conclusion can be made that it will be the most critical part of the system relating to the electrical issues and need special and comprehensive consideration.

Wind turbine components and systems:

1. Generator
2. Converter
3. Main and auxiliary power transformer
4. Main power cables selection and arrangement
5. MV switchgear.

Lightning protection system:

1. Pitch system and pitch motors
2. Emergency power supply system and independent emergency pitch power supply system
3. Control and protection system

Study title		HAZOP example					Sheet: 1 z 1		
Team							Date:		
Part considered							Date of meeting:		
Design intent									
Nr	Guide word	Element	Deviation	Possible causes	Consequences	Safeguards	Risk (rough estimation – optional)	Actions required	Actions allocated
1	No								

Tab. 4. Hazop worksheet example [3]

Subsea power cables main aspects:

1. Location on the sea bottom
2. Selection
3. Arrangement.

Offshore substation:

1. MV/HV transformer (including grounding transformer)
2. MV/HV Gas insulated switchgear
3. Reactive power compensation devices
4. Power cables selection and arrangement
5. Control and protection system
6. Emergency power supply system for islanded conditions
7. HVDC transmission system (optional).

9. Conclusions

In the article the innovative approach of risk-based analyses as a tool to aid designers of offshore wind power plants has been presented. The general concept is derived from well established practice in that manner from nuclear power and maritime industries.

Nowadays rapid development of the technology, increasing capacity within wind turbines and the European union energy mix requirements justify the need to provide high reliable and safe not only for the personnel but also environmental friendly design solutions in offshore wind energy sector. These factors justify that selected topic of the paper is an answer for the current industrial needs.

The presented in the article concept is in its initial phase and require further development and scientific researches.

REFERENCES

1. DNV-OS-J201, Offshore substations for Wind Farms, Edition 2009.
2. IEC 61508-1, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Part 1: General requirements, Edition 2010.
3. BS IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies), application guide 2001.
4. IEC 60812: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effect analysis, Second edition 2006.
5. IEC/ISO 31010, Risk management – Risk assessment techniques, First edition 2009.
6. ISO 17776, Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment, First edition 2000.
7. DNV-RP-D102, Failure mode and effect analysis for redundant systems, Edition 2012.
8. IEC 61400-1, Wind Turbines, Part 1 – Design requirements, Edition 2005.
9. ISO 13849-1, Safety of machinery. Safety-related parts of control system, Part 1 – General principles for design, Edition 2008.

Przemysław Kacprzak

Det Norske Veritas sp. z o.o.

e-mail: przemyslaw.kacprzak@dnv.com

Graduate of Faculty of Electrical and Control Engineering Gdansk University of Technology (2008) specialization of Automation and postgraduate studies The basic of nuclear power plant (2011).

The professional duties are related to design verification of electrical part within offshore wind power plants and FMEA analyses within maritime projects. Participant of research project concerning implementation of Human Reliability Analysis – HRA in the Oil and Gas sector.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 79–84. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Możliwości zastosowania metod bazujących na ocenie ryzyka w obszarze morskich farm wiatrowych

Autor
Przemysław Kacprzak

Słowa kluczowe
morskie farmy wiatrowe, metody oceny ryzyka

Streszczenie

W artykule zaproponowano oraz przedstawiono wstępnie koncepcję wykorzystania metod bazujących na ocenie ryzyka w obszarze morskich farm wiatrowych. Celem zaproponowanej koncepcji jest wsparcie projektantów systemów elektrycznych morskich farm wiatrowych na wczesnym etapie projektu lub podczas modernizacji w sytuacji braku wystarczających wytycznych w międzynarodowych standardach dotyczących tej dziedziny wiedzy. Ponadto w artykule dokonano wstępnie klasyfikacji podstawowych systemów i komponentów wchodzących w skład morskich farm wiatrowych. Taka klasyfikacja jest niezbędna w celu zastosowania metod bazujących na ocenie ryzyka. Przedstawiona w artykule koncepcja jest na wczesnym etapie i wymaga dalszej analizy naukowej w celu opracowania szczegółowego procesu oceny ryzyka dla morskich farm wiatrowych możliwych do zastosowania w praktyce przemysłowej.

1. Wprowadzenie

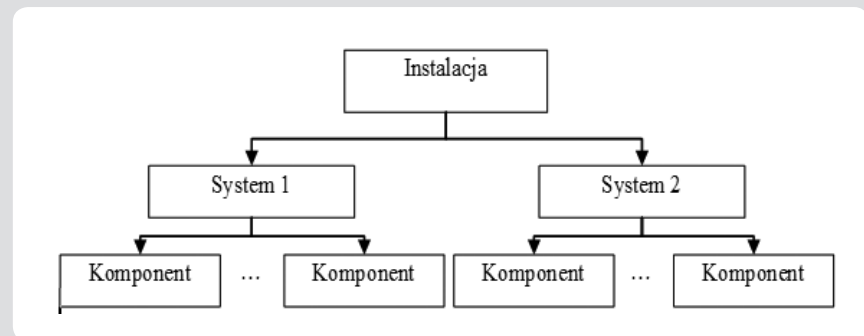
1.1. Podejście normatywne

Szybki wzrost mocy zainstalowanej pojedynczej turbiny wiatrowej jak również dynamiczny rozwój technologiczny oraz wymagania nakładane na kraje członkowskie przez Unię Europejską, dotyczące dywersyfikacji dostaw energii elektrycznej z różnych źródeł w ramach tzw. miksu energetycznego, spowodowały, że morskie farmy wiatrowe zyskują na znaczeniu jako alternatywne źródło energii przyjazne dla środowiska naturalnego.

W międzynarodowych standardach brak jest obecnie dedykowanych i szczegółowych wytycznych odnoszących się do projektowania instalacji elektrycznych w obszarze morskich farm wiatrowych. Brak jest także zintegrowanej metodyki postępowania poświęconej zagadnieniom projektowania w tym obszarze. W efekcie podejście normatywne w procesie projektowania morskich farm wiatrowych staje się niewystarczające.

1.2. Podejście bazujące na ocenie ryzyka

Mając na uwadze powyższe stwierdzenia jako wsparcie procesu projektowania, zasadne staje się przeprowadzanie oceny ryzyka na wstępnym etapie cyklu życia projektu, której celem jest zidentyfikowanie szczegółowych wymagań normatywnych w zakresie projektowania, słabych punktów w projekcie wymagających poprawy lub zastosowania dobrych praktyk inżynierskich [1]. Rezultatem wdrożenia metodyki oceny ryzyka do praktyki przemysłowej byłoby zwiększenie bezpieczeństwa operacji obiektów technicznych (w tym także morskich farm wiatrowych), a także korzyści ekonomiczne. Opracowana i wdrożona metodyka stanowiłaby także narzędzie mające na celu wsparcie projektantów na wczesnych etapach życia projektu (zwłaszcza podczas projektowania morskich podstacji HVAC & HVDC). Koncepcja wykorzystania metod oceny ryzyka w obszarze morskich farm wiatrowych zakłada dostosowanie istniejących metod oraz metodyk oceny ryzyka szeroko stosowanych w praktyce przemysłowej w innych gałęziach przemysłu (np. w przemyśle



Rys. 1. Koncepcja „z góry na dół” w ocenie ryzyka

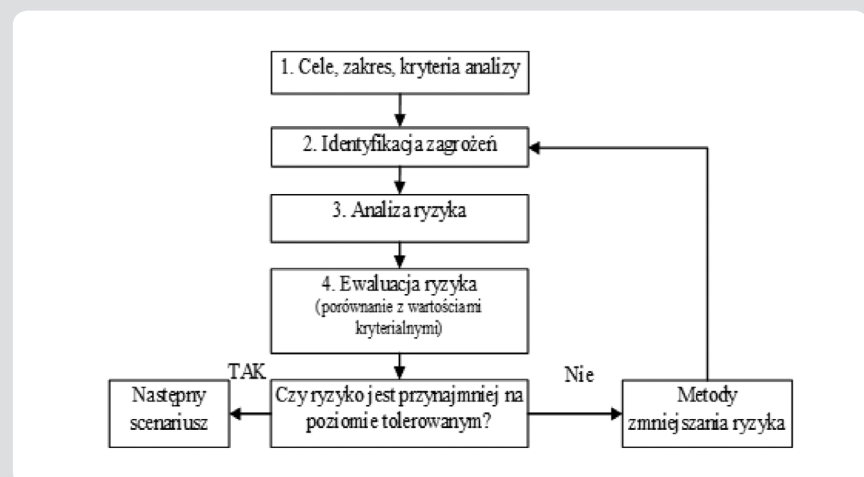
lotniczym, petrochemicznym, morskim, jądrowym).

2. Ocena ryzyka – koncepcja

2.1. Dekompozycja morskiej farmy wiatrowej na systemy i komponenty

Metody oceny ryzyka można podzielić m.in. na „z góry na dół” oraz „z dołu do góry”. W obszarze morskich farm wiatrowych

proponowane jest pierwsze podejście. Oznacza to, że morska farma wiatrowa jest traktowana jako jeden obiekt/instalacja, który wymaga podziału na systemy i komponenty w celu wykonania oceny ryzyka. Wstępny proponowany podział instalacji na systemy zaprezentowano poniżej:



Rys. 2. Ogólna koncepcja metodyki oceny ryzyka

1. Turbina wiatrowa
 2. Morska podstacja HVAC/HVDC
 3. Kable podwodne
 4. Zewnętrzna sieć elektroenergetyczna.
- Każdy z systemów wymaga następnie podziału na komponenty. Tak zdefiniowana koncepcja analizy opiera się na podejściu „z góry na dół” (zobacz rys. 1).

2.2. Założenia koncepcyjne metodyki bazującej na ocenie ryzyka

Koncepcja wykorzystania w praktyce przemysłowej metod bazujących na ocenie ryzyka w obszarze morskich farm wiatrowych bazuje na zasadach przedstawionych w międzynarodowym standardzie dotyczącym bezpieczeństwa funkcjonalnego IEC 61508 [2]. Metodyka postępowania zaprezentowana w standardzie IEC 61508 dotyczy głównie (ale nie tylko) ryzyka technicznego związanego z wyposażeniem instalacji. Z powodu dużego poziomu ogólności metodyki może być ona zastosowana w wielu gałęziach przemysłowych, po odpowiednim dostosowaniu do specyfiki danej branży. W każdym z kroków oceny ryzyka mają zastosowanie różne metody jego oceny [3, 4, 5, 6]. Ogólna koncepcja metodyki oceny ryzyka została zaprezentowana na rys. 2.

2.3. Kroki analizy w metodyce oceny ryzyka

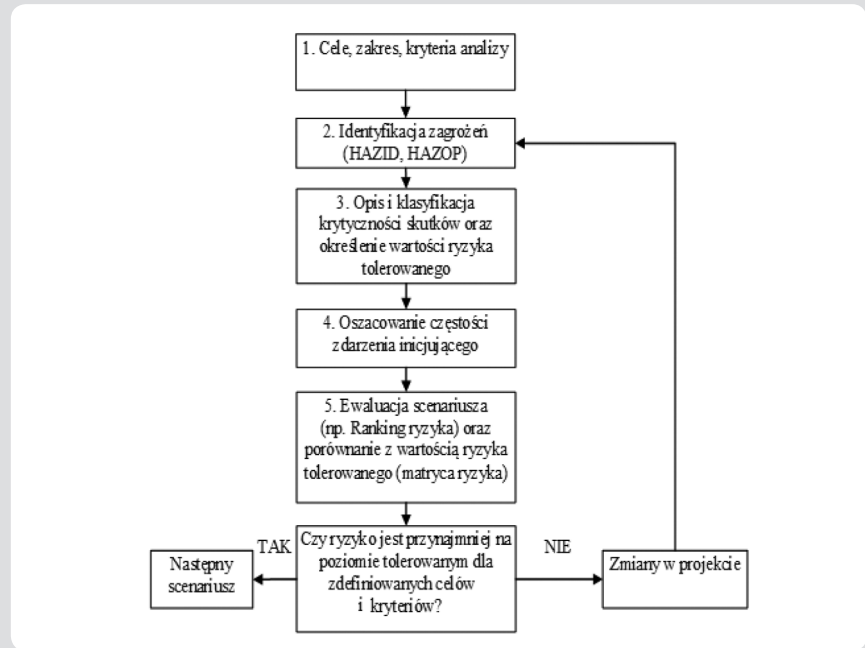
Metodyka oceny ryzyka (rys. 2) na podstawie koncepcji „z góry na dół” (rys. 1) zakłada wykonanie kilku kroków analizy (rys. 3).

3. Cele, zakres, kryteria analizy

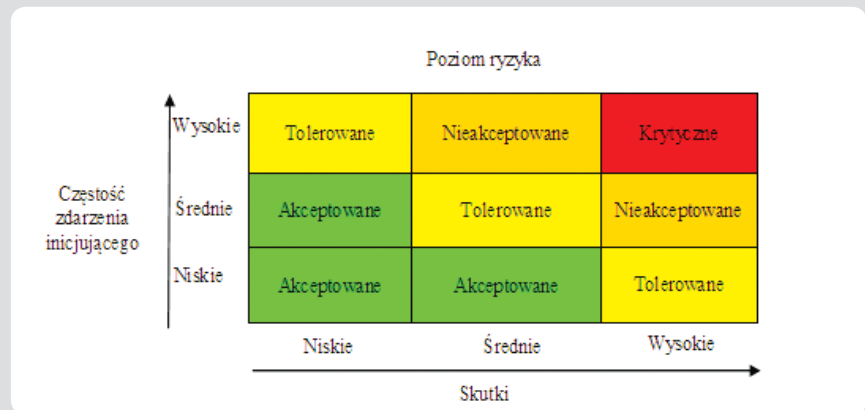
W początkowej fazie analizy należy zdefiniować cele (np. maksymalizacja produkcji energii elektrycznej), kryteria (np. bezpieczeństwo personelu, instalacji, środowiska) oraz zakres analizy (np. cała instalacja, morska podstacja HVAC/HVDC, kable podwodne, zewnętrzna sieć elektroenergetyczna). Zazwyczaj każde z wymienionych powyżej kryteriów jest uwzględniane podczas oceny ryzyka. Dla każdego z kryteriów należy zdefiniować niezależną matrycę ryzyka (reprezentacja jakościowa lub ilościowa przedziałów ryzyka) oraz określić obszar ryzyka tolerowanego. Przykład matrycy ryzyka przedstawiono na rys. 4.

4. Identyfikacja zagrożeń

Identyfikacja zagrożeń polega na stworzeniu listy zagrożeń dla analizowanej instalacji (dla systemów oraz opcjonalnie dla komponentów), dla każdego ze zdefiniowanych kryteriów. Poziom szczegółowości analizy, jaką będzie trzeba przeprowadzić, zależy od zakresu, celów i kryteriów zdefiniowanych w punkcie poprzednim. Na tym etapie wszystkie istotne systemy (oraz opcjonalnie komponenty i funkcje) w ramach instalacji powinny być rozpatrzone w kontekście zdefiniowanych kryteriów, dlatego analizę przeprowadzają specjaliści w danej dziedzinie odpowiadający za konkretne systemy i komponenty w analizowanej instalacji. W praktyce przemysłowej szerokie zastosowanie podczas identyfikacji zagrożeń mają np. metody HAZOP/HAZID (ang. *Hazard and Operability Study / Hazards Identification*). Obie techniki należą do jakościowych metod identyfikacji zagrożeń. Metoda HAZOP polega na analizie systemów (oraz opcjonalnie

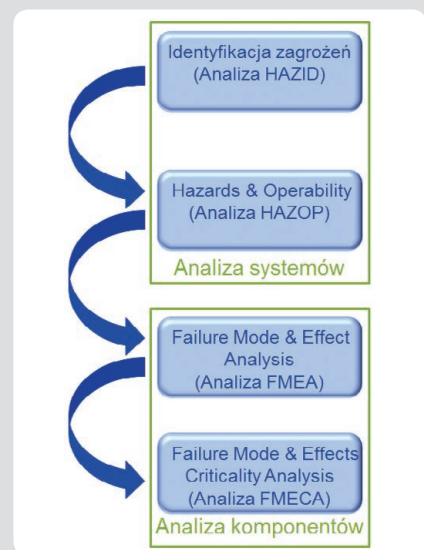


Rys. 3. Wstępna koncepcja podziału na kroki oceny ryzyka dla morskich farm wiatrowych



Rys. 4. Przykład matrycy ryzyka z podziałem na obszary ryzyka

komponenty i funkcje), a następnie identyfikacji słabych ogniw, tzw. zagrożeń dla bieżących rozwiązań projektowych. Rezultatem identyfikacji zagrożeń na podstawie metody HAZOP jest raport oraz przygotowywana w formie tabelarycznej lista rekomendacji, które mają na celu zasugerowanie zmian w projekcie, tak aby zmniejszyć poziom ryzyka tam, gdzie jest to konieczne i/lub uzasadnione przynajmniej do poziomu tolerowanego [3, 5, 6]. Szerokie zastosowanie metody HAZOP w praktyce przemysłowej w celu identyfikacji zagrożeń jest podyktowane uniwersalnością i prostotą metody (metoda analizy systemów), co sprawia, że może być stosowana w wielu gałęziach przemysłu. Alternatywną metodą, jaką można zastosować w tym kroku, jest analiza FMEA (ang. *Failure Modes and Effects Analysis*). Jest to metoda bardziej dokładna niż HAZOP, ponieważ polega na szczegółowej analizie nie tylko systemów, ale także poszczególnych komponentów (metoda analizy komponentów) wchodzących w skład instalacji.



Rys. 5. Metody stosowane w praktyce podczas identyfikacji zagrożeń

Ponadto analiza zawiera także część dotyczącą nie tylko identyfikacji zagrożeń, ale także analizy ryzyka polegającej na opisie oraz klasyfikacji krytyczności skutków, jak również w rozszerzonej formie, analiza FMECA, gdzie C oznacza *criticality*, ewaluacji ryzyka poprzez porównanie z wartością ryzyka tolerowanego dla zdefiniowanych kryteriów.

Przykładem praktycznym jest przemysł morski, gdzie analiza FMEA jest obligatoryjna dla jednostek pływających wyposażonych w system dynamicznego pozycjonowania DP (ang. *Dynamic Positioning*) [7].

Na rys. 5 zaprezentowano zestawienie oraz powiązanie ze sobą metod identyfikacji zagrożeń. Ponadto na końcu artykułu zamieszczono przykład arkusza kalkulacyjnego stosowanego podczas identyfikacji zagrożeń z wykorzystaniem metody HAZOP, bazując na wytycznych standardu IEC 61882 [3].

Krótki opis metod zaprezentowanych na rys. 5:

HAZID

Zakres niezbędnej dokumentacji: Opis funkcjonalny rozpatrywanych systemów.

Przebieg analizy: Burza mózgów, wielodyscyplinarny zespół specjalistów w rozważanych dziedzinach.

Rezultat: Lista zagrożeń dla rozpatrywanych systemów.

HAZOP

Zakres niezbędnej dokumentacji: Specyfikacja techniczna, opisy działania oraz schematy technologiczne rozpatrywanych systemów.

Przebieg analizy: Podział instalacji na sekcje oraz węzły (logiczne fragmenty tworzące razem spójną całość). Analiza przeprowadzana jest dla zdefiniowanych słów kluczowych oraz kryteriów analizy (bezpieczeństwo ludzi, instalacji, środowiska) i polega na identyfikacji zagrożeń, które mogą wystąpić podczas pracy instalacji. Dodatkowym zakresem może być wykonanie rankingu ryzyka, którego zadaniem jest analiza ryzyka podczas warsztatu oraz porównanie wartości ryzyka (ewaluacja) dla poszczególnych zagrożeń ze zdefiniowanymi wcześniej wartościami kryterialnymi. Zagrożenia o ryzyku krytycznym bądź wysokim wymagają zmian projektowych (zobacz rys. 4).

Rezultat: Raport w postaci arkusza kalkulacyjnych oraz lista rekomendacji mających na celu ograniczenie ryzyka zidentyfikowanych zagrożeń do poziomu przynajmniej tolerowanego.

FMEA

Zakres niezbędnej dokumentacji: Schematy rozpatrywanych instalacji, np. elektrycznych, kontrolnych, automatyki, I/O, obliczenia oraz opisy działania dotyczące poszczególnych systemów i komponentów.

Przebieg analizy: Metoda FMEA polega na dekompozycji instalacji na systemy oraz komponenty. Dla zidentyfikowanych systemów i komponentów analizowany jest wpływ pojedynczej awarii na poprawność działania całego systemu w odniesieniu do zidentyfikowanego maksymalnego akceptowalnego uszkodzenia.

Zakresy strat → Charakterystyka skutku ↓	1000–10 000 euro	10 000–100 000 euro	100 000–1 000 000 euro	1 000 000–10 000 000 euro	> 10 000 000 euro
Ogólny koszt zdarzenia	Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3	Kategoria 4	Kategoria 5

Tab. 1. Przykład klasyfikacji krytyczności skutków

		Skutki				
		Kategoria krytyczności 1	Kategoria krytyczności 2	Kategoria krytyczności 3	Kategoria krytyczności 4	Kategoria krytyczności 5
		1000–10 000 euro	10 000–100 000 euro	100 000–1 000 000 euro	1 000 000–10 000 000 euro	>10 000 000 euro
Częstość	Częste <0,1; 0,2	II	II	II	I	I
	Prawdopodobne (<0,2; 0,5)	II	II	II	I	I
	Mało prawdopodobne (<0,5; 0,05)	III	II	II	II	II
	Rzadkie (<0,05; 0,001)	III	II	II	II	II
	Prawie niemożliwe <0,001	III	III	III	III	III
Obszar ryzyka		III II I	Akceptowalne Tolerowane Nieakceptowalne			

Tab. 2. Przykład matrycy ryzyka

Rezultat: Raport zawierający szczegółową analizę każdego z systemów i komponentów oraz rekomendację zmian mającą na celu usprawnienie projektu, w odniesieniu do zidentyfikowanego maksymalnego akceptowalnego uszkodzenia.

5. Opis i klasyfikacja krytyczności skutków oraz określenie wartości ryzyka tolerowanego (matryca ryzyka)

W poprzednim kroku w trakcie przeprowadzania analizy HAZOP dla każdego ze zdefiniowanych zagrożeń została przyporządkowana para przyczyna-skutek (zobacz przykładowy arkusz kalkulacyjny HAZOP na końcu artykułu). W przypadku przeprowadzenia podstawowej analizy HAZOP przyczyna oraz skutek dla każdego zagrożenia zostały wyszczególnione w sposób słowny, a analiza oraz ewaluacja ryzyka nie zostały przeprowadzone. W takim przypadku w obecnym kroku oceny ryzyka należy dokonać klasyfikacji krytyczności skutków na kategorie (ich liczba jest definiowana przez zespół przeprowadzający ocenę ryzyka i zależy od specyfiki instalacji). Rzadko definiuje się więcej niż pięć kategorii krytyczności skutków. Poniżej przedstawiono przykładową tablicę krytyczności dla skutków ekonomicznych, przy czym dokonano podziału na pięć kategorii.

6. Oszacowanie częstości zdarzenia inicjującego

Estymacja częstości zdarzenia inicjującego dla rozpatrywanego zagrożenia może zostać przeprowadzona w sposób jakościowy lub ilościowy. Metody jakościowe, jak np. ranking ryzyka, definiuje skalę częstości zdarzenia inicjującego w postaci słownej, np. częste, prawdopodobne,

mało prawdopodobne, rzadkie. Każdemu elementowi ze zdefiniowanej skali należy także przyporządkować opis słowny ułatwiający wybór częstości zdarzenia inicjującego dla każdego rozpatrywanego zagrożenia.

Przykładem ilościowej metody estymacji częstości zdarzenia inicjującego jest np. metoda drzew niezdatności FTA (ang. *Fault Tree Analysis*) [5]. Metoda zapewnia dokładny liczbowy wynik, wymaga natomiast szczegółowych danych do przeprowadzenia analizy, co często jest istotnym ograniczeniem i limituje skutecznie zastosowanie metod ilościowych na szeroką skalę w praktyce.

7. Oszacowanie ryzyka scenariusza oraz porównanie z wartością ryzyka tolerowanego

Ryzyko jest rozumiane jako kombinacja częstości zdarzenia oraz krytyczności skutków. Oba składniki ryzyka mogą zostać oszacowane za pomocą metod jakościowych lub ilościowych. Po oszacowaniu obu składników ryzyka należy podjąć decyzję, czy otrzymana wartość ryzyka znajduje się przynajmniej w obszarze ryzyka tolerowanego dla zdefiniowanych kryteriów (obszary ryzyka zostały zdefiniowane w postaci matrycy ryzyka dla każdego kryterium). Jeśli wymagania dotyczące poziomu ryzyka nie zostały spełnione, należy zastosować zmiany w rozpatrywanym projekcie, mające na celu zredukowanie poziomu ryzyka do wartości przynajmniej tolerowanej. Następnie należy przeprowadzić ocenę ryzyka, ponownie uwzględniając zaproponowane zmiany. Jeśli uzyskana wartość ryzyka jest przynajmniej na poziomie tolerowanym, to kolejny scenariusz zostaje poddany analizie.

SKUTKI					CZĘSTOŚĆ				
Kryteria → Kategoria krytyczności ↓	Ludzie	Instalacja	Środowisko	Reputacja	Rzadko w tej gałęzi przemysłu	Kilka razy w roku w tej gałęzi przemysłu	Miało miejsce w tym przedsiębiorstwie	Kilka razy w roku w tym przedsiębiorstwie	Kilka razy w ramach tego samego systemu w tym przedsiębiorstwie
0	Brak obrażeń	Brak zniszczeń	Brak negatywnego wpływu	Brak negatywnego wpływu	Akceptowane (monitorowanie i zarządzanie ryzykiem)				
1	Niewielkie obrażenia	Niewielkie zniszczenia	Niewielki negatywny wpływ	Niewielki negatywny wpływ					
2	Małe obrażenia	Małe zniszczenia	Mały negatywny wpływ	Mały negatywny wpływ					
3	Znaczone obrażenia	Zniszczenie jednej sekcji/części	Wpływ negatywny lokalny	Wpływ negatywny lokalny	Tolerowane (zalecana redukcja ryzyka)				
4	Śmiertelne obrażenia	Poważne zniszczenia	Znaczny negatywny wpływ	Wpływ negatywny krajowy					
5	Wiele ofiar śmiertelnych	Rozległe zniszczenia	Rozległy negatywny wpływ	Wpływ negatywny międzynarodowy	Nie akceptowalne				

Tab. 3. Przykład matrycy ryzyka według [6]

2.4. Wstępna klasyfikacja komponentów wchodzących w skład morskich farm wiatrowych

W celu przeprowadzenia oceny ryzyka dla morskich farm wiatrowych na podstawie koncepcji przedstawionej w artykule zaproponowano w rozdz. 2.1 wstępny podział na systemy. Dla tych systemów zaproponowano także klasyfikację na komponenty, która może być również użyteczna podczas wykonywania oceny ryzyka. Dla zdefiniowanych komponentów należy rozważyć wszystkie istotne funkcje niezbędne do prawidłowego funkcjonowania instalacji. Zaprezentowany poniżej podział na komponenty jest propozycją wstępną i wymaga dalszych szczegółowych badań w celu określenia nie tylko komponentów, ale także funkcji istotnych do rozważenia w trakcie oceny ryzyka.

Na tym etapie badań można już wyciągnąć wniosek, że najszybciej rozwijającą się technologią w tematyce morskich farm wiatrowych są morskie podstacje HVAC i zwłaszcza HVDC. Ten system wymaga także szczególnej uwagi podczas przeprowadzania oceny ryzyka.

Systemy i komponenty turbiny wiatrowej:

1. Generator
2. Konwerter (AC/AC, AC/DC)
3. Transformatory (główne i potrzeb własnych)
4. Dobór kabli energetycznych
5. Rozdzielnica SN
6. Instalacja odgromowa
7. System regulacji kąta wychylenia płatów turbiny (sterowanie i zasilanie – główne i awaryjne)
8. System zasilania awaryjnego
9. Systemy sterowania i automatyki zabezpieczeniowej

Dobór podwodnych kabli energetycznych

1. Sposób posadowienia na dnie morskim (kable podwodne)

Nazwa:		Przykład HAZOP					Arkusz: 1 z 1			
Rozważana część systemu (sekcja):							Data:			
Intencja działania „design intent”:							Data spotkania:			
Nr	Słowo kluczowe	Element/Węzeł	Zagrożenie	Przyczyna	Skutek	Zabezpieczenia	Poziom ryzyka	Wymagane akcje	Wykonał	
1	BRAK									

Tab. 4. Przykład arkusza kalkulacyjnego HAZOP [3]

2. Dobór kabli
3. Ułożenie kabli

Systemy i komponenty podstacji morskiej

1. WN/SN transformatory (wraz z systemem uziemianym)
2. Systemy i komponenty przeznaczone do kompensacji mocy biernej
3. Dobór i ułożenie kabli energetycznych
4. Rozdzielnica WN/SN (GIS)
5. Systemy sterowania i automatyki zabezpieczeniowej
6. System zasilania awaryjnego dla warunków wyspowych
7. System przesyłowy HVDC (opcja)

8. Podsumowanie

W artykule przedstawiono wstępnie innowacyjną koncepcję możliwości zastosowania oceny ryzyka w obszarze morskich farm wiatrowych jako narzędzia wspierającego proces projektowania takich instalacji/objektów. Koncepcja bazuje na metodach i wytycznych, które mają szerokie zastosowanie w praktyce przemysłowej w innych gałęziach przemysłu (np. przemysł petrochemiczny, morski, jądrowy).

Obecnie szybki postęp technologiczny, wzrastająca moc zainstalowana oraz zmiany w wymaganiach prawnych narzuconych przez Unię Europejską, dotyczące tzw. miksu energetycznego, uzasadniają potrzebę dostosowania do nich rozwiązań technicznych również w sektorze morskich farm wiatrowych przy jednoczesnym zapewnieniu wysokiej niezawodności, bezpieczeństwa oraz pozytywnego wpływu na środowisko takich obiektów. Zastosowanie metod oceny ryzyka jako wsparcia dla projektantów takich instalacji jest uzasadnione, co uargumentowano w artykule i odpowiada na obecne potrzeby praktycznej przemysłu. Zaprezentowana w artykule koncepcja oceny ryzyka w obszarze morskich farm wiatrowych jest na wczesnym etapie i wymaga szczegółowych badań w celu opracowania metodyki, która będzie miała praktyczne zastosowanie w tej gałęzi przemysłu.

Bibliografia

1. DNV-OS-J201, Offshore substations for Wind Farms, Edition 2009.
2. IEC 61508-1, Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems, Part 1: General requirements, Edition 2010.
3. BS IEC 61882, Hazard and operability studies (HAZOP studies), application guide 2001.
4. IEC 60812: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effect analysis, Second edition 2006.
5. IEC/ISO 31010, Risk management – Risk assessment techniques, First edition 2009.
6. ISO 17776, Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment, First edition 2000.
7. DNV-RP-D102, Failure mode and effect analysis for redundant systems, Edition 2012.
8. IEC 61400-1, Wind Turbines, Part 1 – Design requirements, Edition 2005.
9. ISO 13849-1, Safety of machinery. Safety-related parts of control system, Part 1 – General principles for design, Edition 2008.

Przemysław Kacprzak

Det Norske Veritas Poland sp. z o.o.

e-mail: przemyslaw.kacprzak@dnv.com

W pracy zawodowej zajmuje się weryfikacją zagadnień elektrycznych w projektach związanych z morskimi farmami wiatrowymi, analizą FMEA w przemyśle morskim oraz jest uczestnikiem projektu naukowego dotyczącego implementacji metod Human Reliability Analysis HRA w sektorze Oil and Gas. Absolwent Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (2008) o specjalności automatyka. Absolwent studiów podyplomowych Podstawy Energetyki Jądrowej na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (2011).