

# Human Factors in Nuclear Power Engineering in Polish Conditions

## Authors

Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak  
Martin Catlow

## Keywords

human factor, nuclear power engineering

## Summary

The paper "Human factors in nuclear power engineering in polish conditions" focuses on analysis of dynamics of preparing polish society to build first nuclear power plant in XXI century in Poland. Authors compare experience from constructing nuclear power plant Sizewell B (Great Britain) and Sizewell C, which is in preparation phase with polish nuclear power program. Paper includes aspects e.g. of creating nuclear safety culture and social opinion about investment. Human factors in nuclear power engineering are as well important as relevant economical and technical factors, but very often negligible. In Poland where history about Czarnobyl is still alive, and social opinion is created on emotions after accident in Fukushima, human factors are crucial and should be under comprehensive consideration.

**DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014308**

## 1. Human factors

### 1.1. Definition and classification

In the beginning it is very important to understand well what a human factor is and how we could describe it.

In HSG48 document we could find a complex definition: "Human factors refer to environmental, organisational and job factors, and human and individual characteristics, which influence behaviour at work in a way which can affect health and safety" [1].

In this description of the human factor, mentioned categories are linked between each other, what is show in Fig. 1.

Human factors in reality are not isolated from surrounded external and internal environmental conditions. We can't think of human factors as isolated phenomena closed in laboratory. This specific environment creates tasks and needs with which human must cope.

Concept presented in Fig. 1 may be considered in relation to external and internal influences, what is shown in Fig. 2.

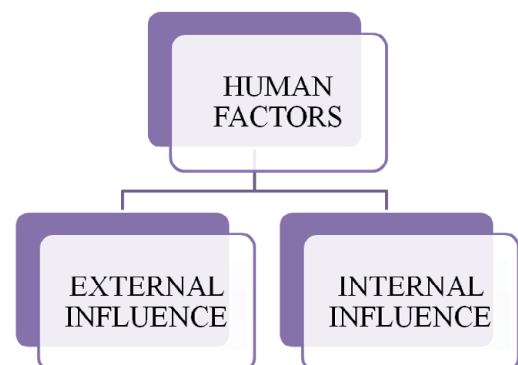
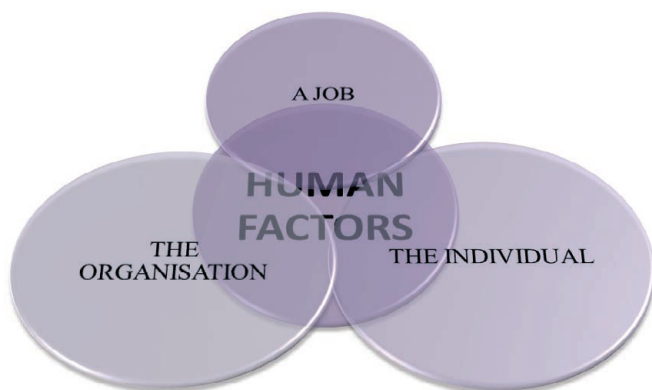


Fig. 1. Categories important to consider in comprehensive way a human factors

Fig. 2. Influence of human factors

Presented classification is general and may be used in any engineering branch with necessary adjustments taking into account its specification which determines in detail the groups of factors to consider in more detail analysis.

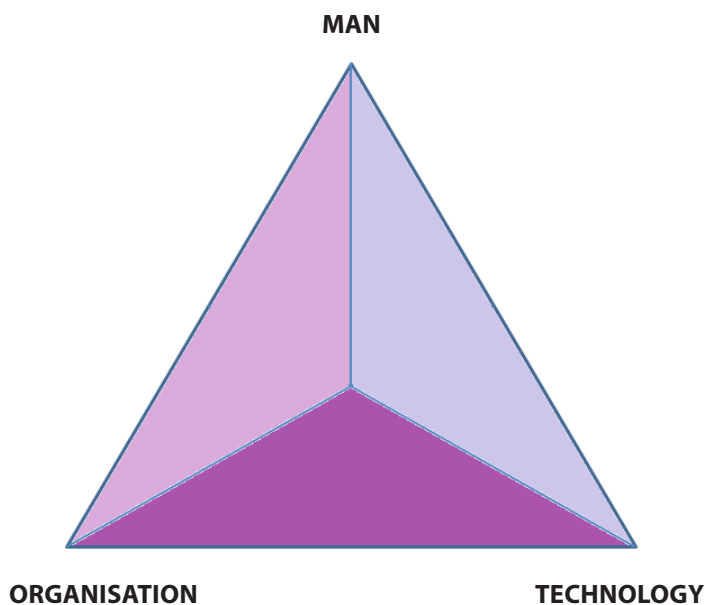


Fig. 3. Classification of human factor in NPP

Other well known classification in engineering practice is triangle MTO (Man, Technology and Organisation) or in other words HTO (Human Technology, Organisation) – Fig. 3. Drawing shows the relation between these three areas, what will be describe in subsection below.

### 1.2. The “Man” aspect of human factors in nuclear power engineering

Human, as individuals are never exactly the same to each other. People could vary from each other personally, mentally, physically and according to level of knowledge and experience.

Knowledge about individual’s capabilities and limitations in work is very important particularly in nuclear power plant. Not everyone will be good as a reactor operator or shift manager, but could be very good for e.g. as a writer.

Key point in selection of the staff in nuclear power plant or any other industry is to chose the best person for special job according to his/her predispositions. Essential features that selected people need to have are attitude, knowledge and skills. For each person suitable training and chance to personal development should be provided dedicated to its ambitions with relevance to performed job. Good worker is satisfied worker, who works more effective and takes care about safety during performing the tasks. Definitely is easier to make progress in knowledge or develop some skills than change peoples’ personality. This personality is the most critical and important when we manage human resources and human factors.

### 1.3. The “Organisation” aspect of human factors in nuclear power engineering

The organisation aspect of human factors includes e.g.: structure, the culture of the workplaces, management of resources, structure of communications, leadership, management of health and safety. All factors, which are listed above have influence on creating behaviour of staff.

The organisation also changes in time, what implicate creation new processes, trends and new technical solutions. So on organisation side is to prepare the requirements, which include the rules and standard of work for new workers or contractors, which should be updated accordingly.

Every message should be communicate in appropriate way adjusted to knowledge of individual worker. The organisation also should motivate to team work through team tasks and training, integration meetings and social company events.

### 1.4. The “Technology” of human factors in nuclear power engineering

The “technology” aspects of human factors are connected to e.g. technical requirements, technical training, technical analysis, simulation, planning and maintenance. The technology aspects must be “fit for the purpose”, that means adjusted to the position of the employee, his/her role in the organisation and everyday duties. The “Technology” aspect with respect to human factors in nuclear power plant is very wide domain, what is described e.g. in particular procedures and is related to technical risk assessment and optimization processes.

## 2. Specific of nuclear power engineering

Nuclear Power Engineering is unique in terms of industrial facility. The utilization of technology in nuclear part of the facility requires appropriate mentality from technical staff and high level of nuclear safety culture. Human factors from practical point of view, authors try to show on examples from Sizewell B Nuclear Power Plant (NPP) which is operating in Great Britain. In NPP triangle MTO should have indication to facilities which are in operation.



Photo 1. Sizewell A NPP and Sizewell B NPP

Below authors listed good practices based on own experience with short description:

**Safety message** – It is short information which is discussed during every morning team briefing. This is time to exchange the opinion and experiences about specified topic, but also a good opportunity to get some explanation from supervisor. The information to discuss is prepared by dedicated person.

**Nuclear safety culture** – could be summarized in the phrase “Doing the right thing when no one is looking”. The safety culture is the way of behaviour in different situations; it is large scale of activities, procedures, habits performed to create safety working conditions; It is a way of thinking and acting e.g. scheme of acting as turning off the mobile phones when going inside NPP in order not to interfere with pagers.

Another example is using the safety card in daily work which are shown in the picture below. The safety cards are essential of safety culture. They include information which describe: nuclear professionalism expectations; nuclear safety culture; pre-job brief; five key questions which should employee asked himself before starting a task (to consider decreasing risk); communication; phonetic alphabet; error precursors and ten tools to reduce errors probabilities; time-out for personal safety.



Photo 2. Safety cards which are used in Sizewell B NPP

The big impact is put on decreasing risk which is given with the following formula:

$$R = f \cdot C \quad (1)$$

where:  $R$  – risk,  $f$  – likelihood of error,  $C$  – consequence of error.

The formula 1 indicates directly preparedness of the employee to perform particular task. One of the international power engineering group includes their experiences into five key questions, which employee should asked himself before starting the case. The question are listed below:

1. Have we done this job before?
2. What are the critical steps?
3. What mistakes might we make?
4. What is the worst thing that could happen?
5. What defenses should we apply to prevent errors?

The answer for the first question refers to experiences of the staff. The second one is about defining of specific steps of particular task. This knowledge allows for better planning and performing these steps within tasks.

The third and fourth question are related to errors. Awareness of the errors that could happen let us prevent for them in the future. Finally question number five talks about preventing actions to decrease likelihood and consequences.

Nuclear safety culture is related to communication, training, procedures and unique company structures.



Photo 3. Simulator of control room

**Training** – it is on-going process. Everybody needs from time to time to refresh, update or fill the gaps of the theoretical knowledge by classroom training, but also very important is practical training to develop and improve skills and experiences. This is the main goal of Technical Training Centre in Sizewell B. On simulators people have a chance to see e.g. how some systems work as in reality. On simulator of control room, which is the most important practical part of training, shift crew (shift manager, supervisor, reactor’s operators, support engineer) could train situations in normal and abnormal operating conditions. “The exercises” is the biggest simulation of NPP operation, when everything is simulated in detail, and all personnel are obligated to take a part in training. During “the exercises” is checked how procedures are respected in abnormal conditions by personnel. In the simulator of control room some scenarios of NPP operation are trained, firstly according to normal operation and then immediately are switched into abnormal conditions. The aim of that training is to simulate how people will behave and react during accident/incident in NPP.

Another example is preparing to outage. During this time not only refuelling takes place, but also a lot of tasks which are train on special models what enables to check preparation before starting the repair and estimate required time to perform the necessary actions. It is very important, because during an outage time the reactor is in shutdown mode what results in losing the financial benefits.



**Communication** – is very important in facilities like NPP, very often tasks are performed by international teams and by people with various experience, so it is a clue to understand well the warnings, obligations and messages. It is good when these rules work in both directions, so we understand others and are also understood by them. This is why in NPP “phonetic alphabet” is used to be sure that we talk using the same “language”. In this alphabet all letters are assigned to particular words e.g.: H – Hotel, T – Tango or W – Whiskey.

**Procedure** – lists of particular actions that should be followed on particular time and in particular way, step by step. Procedures are prepared and approved by qualified persons.

**Structure** – it is essential and unique for each company, and is accessible for each employee. It is illustrated by graph with data, position and photo. Such description improves internal communication within company.

**Licence conditions** – is a group of 36 licences in the specific domains which shall be fulfilled under law. Each licence is focused on special area e.g.:

Number 9 is focused on ensuring that people who comes to a NPP get instructions about the risks and hazards. As a result they know what to do in an emergency conditions, what is called “Industrial Safety”.

Number 10 is about if all people on NPP receive training for every activity they perform that may affect safety. This condition is done in Technical Training Centre in Sizewell B by training courses for all staff members.



Photo 4. National Birds Reserve next to Sizewell NPP

Number 12 presents Duty Authorised People (DAPs) who are nominated after completeness of the “on the job training” supervised by the Station Manager and may control and supervise operations on the NPP that affect safety. A persons qualifications must match the job. E.g. external government Health and Safety Executive (HSE) in United Kingdom (example relevant for

Sizewell B NPP) have power to remove someone from the job if he/she is not a Suitably Qualified & Experienced Person (SQEP). Number 26 is similar to number 12 but says that all safety related operations must be carried out by SQEPs. This means that defined job positions with attached roles or course receive training to get a role or pass a course – Training administration organise this training at the right frequency.

**Local society** – group of people who must be considered when it comes to construction or/and operation of NPP.

The local society analyses actions of an investor. As a result the social opinion is created. Local society very often is a key point of the project, what means that this is the main group, which provides accommodation and catering for NPP’s employees, contractors and supervisors during, construction of the plant. Location of NPP is important to consider, because the plant is often the main employer in the region and financial resource for community budget.

**Local consultations** – is the one of the NPP building phases. It is an opportunity to get an opinion of local society and their expectations. External experience about local consultations before constructing of Hinkley Point C NPP and Sizewell C NPP may be used in polish conditions. As a result of such consultations could be e.g. development of surrounded transport infrastructure.

### 3. Human factor from economical point of view

The business aspect of human factors in nuclear power engineering can be described by analogy to the rule originated in medicine: “better prevent than cure”. It is quite hard to change social opinion about safety technology after accidents like Czarnobyl or Three Mile Island. These two accidents are just the most famous, but of course, the list of accidents and incidents is longer. Since 1989 have been used the special International Nuclear Events Scale (INES), developed by International Atomic Energy Agency and the Nuclear Energy Agency Organisation members of Economic Co-operation and Development (OECD/NEA). The aim is to rank from ‘anomaly’ to ‘major accident’ the possible incidents in NPP. INES scale is presented in the Fig. 4.

The previous accidents have a big impact on Polish social opinion about nuclear power technology. It doesn’t matter how long and how many nuclear power plants are operating without any problems.

That is why the education about nuclear power engineering is of great importance mainly during conceptual phase of the investment. Well educated society knows well advantages and disadvantages of NPPs. This awareness provides us a chance of fair judgement related to nuclear power technology. Developing the awareness refers also to the information written in the newspapers. This is an issues to give the clear and true messages to the community what prevent from creating the opinion based on imagination. Company’s safe image based on social awareness and knowledge cost a lot. That cost can’t be compared with any different industrial branch, but it is worth to invest in it, because

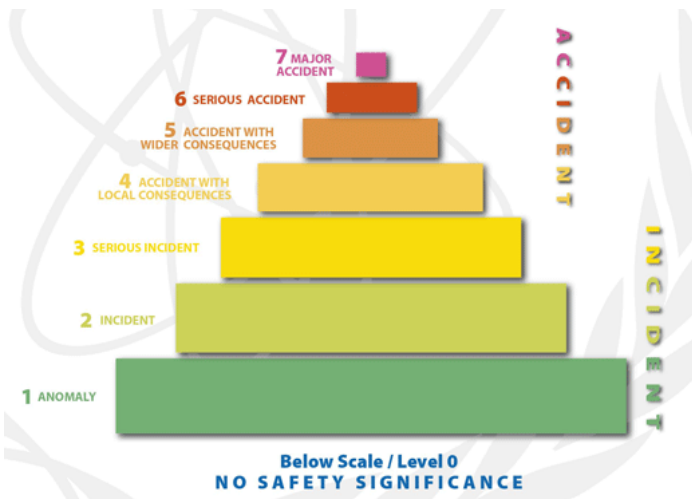


Fig. 4. International Nuclear Events Scale (INES) [3]

this will increase the chances for successful completion of the investment. By providing a good knowledge we can discuss on arguments when it comes to make a decision of NPP localization.

## 4. Polish Nuclear Power Program

### 4.1. About Polish Nuclear Power Program

This is not the first time when Poland tries to build nuclear power plant. This fact shows that a lot of factors have influence on success of such unique project. To take this ideas to reality in 2010 polish nuclear power program has been created.

This document considers human factors aspect in two chapters. In chapter 11 the issue regarding preparation of qualified staff to work in nuclear power branch is presented whereas the chapter 16 is devoted to widely understood “people and society” where issues as education and information campaigns are introduced.

Attention should be paid that Polish Nuclear Power Program is just a draft and the polish society at the moment has only experience from operating of nuclear research reactors. Polish society needs more time to get used to NPPs as a normal view outside the windows. Similar situation was observed before, when the onshore wind power plants were installed. Creating such mentality in society is a long and time consuming process.

The institutions which have impact on preparing society to realisation of Polish Nuclear Power Program are: Ministry of Economy, Ministry of National Education, Ministry of Science and Higher Education, National Atomic Energy Agency, Radioactive Waste Management Plant, Office of Technical Supervision, Investor – Polish Energy Group S.A. and academic and scientific institutions. One of the actions performed by The Ministry of Economy was program dedicated for academic lecturers – Educators of Nuclear Power Engineering. Program took place in the years 2009–2012 and included three phases. The intention was to prepare 36 lecturers to get knowledge about French experiences from nuclear power branch.

In the first phase participants during 6 weeks visited French and Belgian nuclear power plants, scientific institutions, fuel

production companies etc. The second phase was aimed to Nuclear Engineering Training in French Commissariat for Atomic Energy and Alternative Energies (CEA) Saclay. During three months the group, which is shown in Photo 5, attended in theoretical course about e.g. nuclear physic, nuclear technology, nuclear reactors and materials. The last phase was an individual internship in institution form nuclear power engineering branch chosen by each participant according to their scientific expectations.

### 4.2. Universities, Companies and Associations

Polish Nuclear Power Program and plan to build first Nuclear Power Plant in Poland has activated academic society.



Photo 5. Polish Educators in CEA Saclay in 2010

The result is change of current, and refresh the good old programs from 80-ies, when the NPP in Żarnowiec was built. This is the new age of teaching about nuclear power engineering. Consequently most of technical universities started the new field of studies or specialization in existing studies regarding nuclear power engineering

Another action is to form new association to promote idea of building nuclear power plant e. g. “Association for the construction of a nuclear power plant in the Pomerania area”.

Very active are also companies which would like to deliver the technology or coordinate the process of building of first Polish Nuclear Power Plant. These companies organize a lot of meetings, conferences and workshops for: engineers, polish companies, students and all interested people.

## 5. Conclusion

“Human factors” is very important factor in each phase on realisation of Polish Nuclear Power Program. If we compare Polish and external experience we will observe that long and difficult way is in front of us. Technical aspects are well known, managing of companies is also well known. Only human aspects are

completely new and are the most sensitive factors during whole project. In Polish conditions a lot of things could work differently than in external reality. That is why Polish investor should carefully and in detail consider each task and action within particular phase where success depends on human factors. If we add also the political relation to polish power engineering, and moods of society then we receive a picture of influence on polish nuclear power branch.

## REFERENCES

---

1. HSG48, Reducing error and influencing behavior, 1999.
  2. Salvendy G., Handbook of Human Factors and Ergonomics, 2012 New Jersey.
  3. IASA.org, International Atomic Energy Agency website, 2013.
  4. Polish Nuclear Power Program, Ministry of Economy Warsaw, 2010.
  5. The Power To Manage Safety, Det Norske Veritas AS-01 – 2011.
- 

### **Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak**

Gdańsk University of Technology

e-mail: a.kaczmarek@eia.pg.gda.pl

Graduate of Faculty of Electrical and Control Engineering Gdansk University of Technology specialization of Power engineering – Power Plant and Energy Management and I edition of postgraduate studies The basic of Nuclear Power Plant; educator of nuclear power plant – Program of The Ministry of Economy , internship Nuclear Power Plant Sizewell B. Areas of interest: Gas Power Engineering, Nuclear Power Engineering, CHP generation.

### **Martin Catlow**

EDF British Energy

e-mail: martin.catlow@edf-energy.com

B Tech hons. MI Mech E. C Eng. Currently a Fleet Certified Instructor within Central Technical Training at Edf Headquarters. The author has main control room operations experience at Sizewell B PWR & Heysham 2 AGR nuclear power stations.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 90–95. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Czynniki ludzkie w energetyce jądrowej w krajowych realiach

### Autorzy

Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak  
Martin Catlow

### Słowa kluczowe

czynniki ludzkie, energetyka jądrowa

### Streszczenie

Artykuł zatytułowany jest analizą rozwoju przygotowania polskiego społeczeństwa do budowy w XXI wieku pierwszej elektrowni jądrowej. Autorzy porównują polski program energetyki jądrowej z doświadczeniami z realizacji budowy elektrowni jądrowej Sizewell B w Wielkiej Brytanii oraz przygotowaniem do realizacji planów budowy elektrowni jądrowej Sizewell C. Artykuł porusza aspekty kreowania postaw kultury bezpieczeństwa jądrowego oraz opinii społecznej w odniesieniu do planowanych inwestycji. Czynniki ludzkie w energetyce jądrowej jest tak samo ważny w eksploatacji oraz budowie elektrowni jądrowej jak aspekty ekonomiczne czy techniczne. Często jest on jednak lekceważony. W Polsce, gdzie pamięć o wydarzeniach w Czarnobylu jest wciąż żywa, a opinia społeczna kształtowana jest pod wpływem emocji po awarii w Fukushima, czynnik ludzki tym bardziej musi być rozważany w działaniach podejmowanych w obszarze budowy polskiej elektrowni jądrowej.

### 1. Czynniki ludzkie

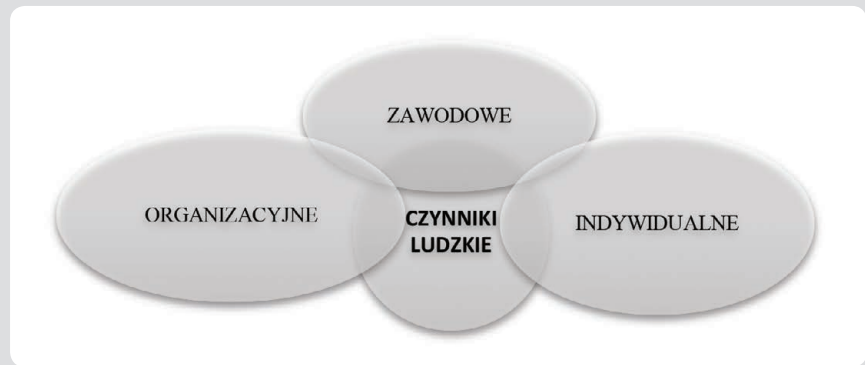
#### 1.1. Definicje i klasyfikacja czynników ludzkich

Podjęmując tematykę czynników ludzkich, należy zwrócić uwagę na właściwe rozumienie pojęcia „czynniki ludzkie” oraz możliwości ich opisu. W normie HSG48 (ang. *Health and Safety Guidance*) możemy znaleźć kompleksową definicję, która w wolnym tłumaczeniu brzmi: „Czynniki ludzkie odnoszą się do ochrony środowiska, organizacji (sposobu zarządzania, specyfiki firmy), czynników warunkujących prace, jak również zasobów ludzkich, indywidualnych i ludzkich cech jednostki, które wpływają na zachowania w pracy, w sposób przekładający się na zdrowie i bezpieczeństwo” [1]. W powyższej definicji czynników ludzkich wymieniono kategorie/obszary, które wzajemnie zależą od siebie, co pokazano na rys. 1.

Czynniki ludzkie w realnych warunkach nie są hermetycznie odizolowane od zewnętrznych i wewnętrznych wpływów. Nie możemy analizować czynników ludzkich niczym próbki w zamkniętej komorze laboratoryjnej w sterylnych warunkach. Czynniki ludzkie są bowiem zmienne i ściśle powiązane ze środowiskiem, które kreuje zadania i potrzeby, jakim człowiek musi sprostać. Koncepcja przedstawiona na rys. 1 może być rozważana w odniesieniu do oddziaływań zewnętrznych i wewnętrznych, co zostało pokazane na rys. 2.

Powyżej zaprezentowana klasyfikacja jest podejściem ogólnym i może być wykorzystywana w odniesieniu do każdej dziedziny inżynierskiej z uwzględnieniem specyfiki danej branży, która to determinuje szczegółowo grupy czynników rozważane podczas dokonywania szczegółowej analizy.

Innym podejściem do klasyfikacji czynnika ludzkiego w praktyce inżynierskiej jest tzw. Trójkąt MTO (ang. *Man, Technology and Organisation*), określane również trójkątem HTO (ang. *Human, Technology, Organisation*), zaprezentowany na rys. 3. Poniższa grafika przedstawia relacje pomiędzy ww. trzema obszarami, które zostaną opisane w kolejnym podrozdziale.



Rys. 1. Kategorie istotne do rozważenia podczas kompleksowej analizy czynników ludzkich

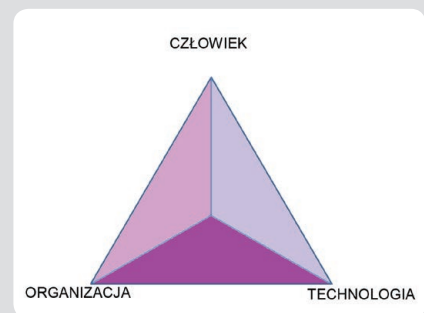


Rys. 2. Oddziaływania na czynniki ludzkie

#### 1.2. Człowiek jako element wpływający na kształtowanie czynników ludzkich w energetyce jądrowej

Nie ma dwóch identycznych pod każdym względem osób. Ludzie różnią się osobowością, mentalnością, fizycznością i poziomem wiedzy oraz doświadczenia. Wiedza o indywidualnych możliwościach i ograniczeniach w pracy jest bardzo ważna, szczególnie w eksploatacji elektrowni jądrowej. Nie każdy pracownik sprawdzi się jako operator reaktora czy kierownik zmiany, co nie wyklucza, że może być np. uznanym pisarzem.

Kluczowe jest, by przy wyborze obsługi elektrowni jądrowej czy jakiegokolwiek innego obiektu przemysłowego



Rys. 3. Klasyfikacja czynnika ludzkiego w elektrowni jądrowej



kierować się kryterium najlepszej osoby na konkretne stanowisko, uwzględniając jej/jego predyspozycje, tj. postawę, wiedzę i umiejętności. Każda osoba wymaga odpowiedniego, dedykowanego szkolenia i możliwości rozwoju osobistego, uwzględniającego jej/jego ambicje w odniesieniu do wykonywanej pracy. Dobry pracownik to zadowolony pracownik, usatysfakcjonowany i spełniony zawodowo. Wówczas pracuje bardziej skutecznie i dba o bezpieczeństwo podczas wykonywania zadań. Zdecydowanie łatwiej jest rozwinąć wiedzę i umiejętności pracownika, niż zmienić ludzką osobowość. To osobowość jest najbardziej krytycznym i ważnym elementem w zarządzaniu zasobami ludzkimi i czynnikami ludzkimi.

### 1.3. Organizacja jako element wpływający na kształtowanie czynników ludzkich w energetyce jądrowej

Aspekty organizacji jako elementu kształtującego czynniki ludzkie obejmują: strukturę organizacji, kulturę miejsca pracy, zarządzanie zasobami, strukturę komunikacji, zarządzanie zdrowiem i bezpieczeństwem. Powyższe wymienione czynniki mają wpływ na kreowanie zachowań personelu. Organizacja ulega zmianom w czasie, co pociąga za sobą powstawanie nowych procesów, trendów i nowych rozwiązań technologicznych. Po stronie organizacyjnej przedsiębiorstwa jest przygotowanie wytycznych i zaleceń obejmujących zasady i standardy pracy dla nowych pracowników i kontrahentów, które powinny być odpowiednio modyfikowane w zależności od wprowadzanych zmian w przedsiębiorstwie. Każda przekazywana wiadomość musi zostać odpowiednio przedstawiona, adekwatnie do wiedzy danego pracownika. To organizacja powinna również motywować do pracy zespołowej poprzez współpracę personalną nad zadaniami i wspólny trening, spotkania integracyjne i wydarzenia społeczne.

### 1.4. Technologia jako aspekt kształtujący czynniki ludzkie w energetyce jądrowej

Technologia w odniesieniu do czynników ludzkich ma swoje odzwierciedlenie w: wytycznych i zaleceniach technicznych, procesach szkoleniowych w zakresie aspektów technicznych, analizach, symulacjach, planowaniu i utrzymaniu elektrowni jądrowej.

Warunki techniczne muszą uwzględniać założone cele do realizacji. Tym samym muszą być dostosowane do stanowiska pracy pracownika, jego/jej roli w organizacji i obowiązków.

Wiedza wynikająca z uwzględnienia obszaru aspektów technologicznych w kształtowaniu czynników ludzkich jest bardzo szeroką dziedziną, opisaną np. procedurami dla określonych działań eksploatacyjnych, działań związanych z oceną ryzyka technicznego i procesów optymalizacyjnych.

### 2. Specyfika energetyki jądrowej

Energetyka jądrowa jest jedyną w swoim rodzaju gałęzią przemysłu. Specyfika wykorzystywanej technologii w elektrowniach jądrowych wymaga odpowiedniego podejścia mentalnego personelu technicznego

i wysokiego poziomu kultury bezpieczeństwa jądrowego. Uwzględnienie czynnika ludzkiego w eksploatacji bloku jądrowego autorzy zaprezentują na podstawie doświadczenia z pracy elektrowni jądrowej (EJ) Sizewell B, zaopatrującej w energię elektryczną mieszkańców Wielkiej Brytanii. Klasyfikacja czynników ludzkich MTO, zaprezentowana w rozdz. 1, ma zastosowanie w obiektach jądrowych, tj. Sizewell B.

Poniżej autorzy przedstawiają dobre praktyki wykorzystywane w eksploatacji bloku jądrowego, uwzględniające wpływ czynnika ludzkiego na prawidłową pracę bloku, oparte na własnym doświadczeniu wraz z krótkimi komentarzami.

**Safety message** (wiadomość bezpieczeństwa) – to krótka informacja poddawana dyskusji podczas porannego spotkania zespołu pracowników. To czas przeznaczony na poznanie opinii i wymianę wiedzy w zespole na zadany temat, to również szansa na uzyskanie dodatkowych informacji czy wyjaśnienie wątpliwości przez kierownika zespołu. Wiadomość bezpieczeństwa przygotowywana jest przez wyznaczone do tego osoby.

**Nuclear safety culture** (kultura, bezpieczeństwa jądrowego) – można zamknąć ją w definicji: „Rób wszystko właściwie, nawet gdy nikt nie patrzy”. Kultura bezpieczeństwa to sposób postępowania w różnych sytuacjach; to niezliczona liczba działań, procedur, zwyczajów w celu wykreowania bezpiecznych warunków pracy; to sposób myślenia i działania, np. przyzwyczajenie do wyłączenia telefonów komórkowych w trakcie przebywania na terenie elektrowni jądrowej, by nie zakłócać pracy pagerów pracowniczych, za pomocą których komunikuje się załoga elektrowni.

Innym przykładem jest korzystanie z kart bezpieczeństwa (fot. 2) w codziennej pracy. Karty bezpieczeństwa zawierają istotę założeń kultury bezpieczeństwa. Zawierają informacje, które opisują: oczekiwania stawiane zawodowej energetyce jądrowej; kulturę bezpieczeństwa jądrowego; przygotowanie do wykonywanych zadań w pracy; pięć kluczowych pytań, które powinien zadać sobie pracownik przed przystąpieniem do realizacji powierzonych zadań; komunikację; alfabet fonetyczny; przyczyny występowania błędów i dziesięć narzędzi do zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia błędów.

Duży nacisk kładzie się na zmniejszenie ryzyka związanego z potencjalną awarią, określanego poniższym wzorem:

$$R = f \cdot C \quad (1)$$

gdzie:  $R$  – ryzyko,  $f$  – prawdopodobieństwo wystąpienia awarii,  $C$  – konsekwencje wystąpienia awarii.

Zależność (1) przedstawia ogólny wzór opisu ryzyka, którego składowe wskaźniki obszary do analizy przez pracownika podczas wykonywania określonych zadań. Jedną z wiodących międzynarodowych grup energetycznych przełożyła zdobyte doświadczenia na pięć kluczowych pytań, które pracownik powinien sobie zadać, nim przystąpi do wykonywania obowiązków.



Fot. 1. Elektrownie jądrowe Sizewell A i Sizewell B



Fot. 2. Przykładowe karty bezpieczeństwa w elektrowni jądrowej

Pytania te zaprezentowano poniżej:

1. Jak wykonywana była ta praca/zadanie wcześniej?
2. Jakie są newralgiczne kroki?
3. Jakie pomyłki można popełnić?
4. Jaki byłby najgorszy scenariusz realizacji zadania?
5. Jak można przeciwdziałać popełnieniu błędów?

Odpowiedź na pierwsze pytanie bazuje na doświadczeniu pracownika. Drugie pytanie ma na celu określenie konkretnych kroków realizacji zadania. Wiedza ta bowiem pozwoli na lepsze zaplanowanie i wykonanie zadania. Trzecie i czwarte pytanie odnosi się do błędów. Świadomość błędów możliwych do popełnienia pozwala podjąć działania profilaktyczne na przyszłość. Ostatnie, piąte pytanie dotyczy podejmowania aktywności zapobiegawczych w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia błędu oraz konsekwencji awarii. Kultura bezpieczeństwa jądrowego jest powiązana z komunikacją, treningiem, procedurami obowiązującymi na obiekcie oraz specyfiką struktury firmy.

**Training** (szkolenie) – to proces będący ciągle w toku. Każdy od czasu do czasu potrzebuje odświeżenia swojej wiedzy, uaktualnienia jej, uzupełnienia luk w zagadnieniach teoretycznych. Bardzo ważne jest, by wiedza teoretyczna była poparta szkoleniami praktycznymi pozwalającymi rozwijać i udoskonalać umiejętności oraz doświadczenie. Tak rozumiany proces szkoleniowy stanowi cel działalności Centrum Szkolenia Technicznego przy elektrowni jądrowej Sizewell B. Na symulatorach obiektów rzeczywistych załoga elektrowni ma możliwość zobaczyć, w jaki sposób niektóre instalacje pracują





Fot. 3. Symulator nastawni elektrowni jądrowej



Fot. 4. Narodowy rezerwat ptaków w sąsiedztwie elektrowni jądrowej Sizewell B

w normalnej eksploatacji. Na symulatorze nastawni, który stanowi najważniejszą część treningu, zmiana pracowników nastawni (m.in. kierownik zmiany, operator reaktora, supervisor, inżynier urządzeń pomocniczych) mogą przećwiczyć eksploatację obiektu w normalnych i szczególnych warunkach pracy. *The exercises* to największe symulacje szkoleniowe pracy elektrowni jądrowej, wówczas wszystko, co dzieje się w obiekcie, jest odwzorowywane w szczegółach w centrum szkoleniowym. Cały personel elektrowni jest zobligowany do uczestniczenia w ćwiczeniach. Podczas *the exercises* sprawdza się, jak przestrzegane są procedury podczas eksploatacji obiektu, poza normalnymi warunkami pracy, przez pracowników elektrowni. Na symulatorze nastawni elektrowni jądrowej podczas ww. ćwiczeń prowadzona jest praca elektrowni jądrowej, zgodnie ze scenariuszem określonych wydarzeń, przy czym rozpoczyna się pracą normalną obiektu, a następnie zespół szkółacy wprowadza stan inny od normalnego (w tym również może to być stan awaryjny), na który załoga nastawni, a następnie pracownicy elektrowni muszą odpowiednio zareagować. Celem takiego treningu jest przeciwcwiczenie zachowania i reakcji pracowników podczas awarii lub zdarzenia w elektrowni jądrowej. Innym przykładem procesu szkolenia jest przygotowanie do odstawienia reaktora. *Outage* to czas przeznaczony nie tylko na wymianę paliwa, ale również na naprawy. Okres przed odstawieniem poprzedzony jest niezliczonymi szkoleniami praktycznymi, podczas których na modelach o identycznym wyglądzie jak urządzenia pracujące w obiekcie pracownicy ćwiczą sposób wykonania napraw, modernizacji, zmian i inne niezbędne czynności potrzebne w czasie wykonania zadania. Trening ten pozwala na optymalizację czasu pracy pracowników podczas odstawienia reaktora, co z kolei pozwala ograniczyć straty finansowe z tytułu nieeksploatowania elektrowni jądrowej.

**Communication** (komunikacja) – jest niezwykle ważna w obiekcie, jakim jest elektrownia jądrowa. Bardzo często na terenie elektrowni prace wykonywane są przez zespoły międzynarodowe, jak również pracowników o różnicowanym doświadczeniu zawodowym. Dlatego istotne jest, by dobrze zrozumieć ostrzeżenia, obowiązki i przekazywane informacje. Ważne, by zasada zrozumienia działała w obu kierunkach, czyli zrozumieć innych, ale być i przez nich zrozumianym. To dlatego

w elektrowni jądrowej korzysta się z tzw. alfabetu fonetycznego, aby upewnić się, że rozmawiamy za pomocą tego samego języka. Alfabet ten zawiera przypisanie wszystkich liter do poszczególnych słów, np.: H – Hotel, T – Tango lub W – whisky.

**Procedure** (procedura) – wykaz konkretnych działań, które powinny być wykonane w określonym czasie i w określony sposób, krok po kroku. Procedury są przygotowywane i zatwierdzane przez osoby wykwalifikowane.

**Structure** (struktura organizacyjna) – jest niezbędna i specyficzna dla każdej firmy, jej opis jest dostępny dla każdego pracownika. Struktura przedstawia w sposób graficzny informacje o danym pracowniku, tj. zajmowane stanowisko, zakres powierzonych zadań czy fotografię. Taki opis sprzyja dobrej komunikacji wewnętrznej w firmie.

**Licence conditions** (warunki licencji) – warunki uzyskania pozwolenia to zespół 36 licencji w określonych obszarach, które muszą być spełnione z prawnego punktu widzenia. Każda licencja dedykowana jest konkretnym zagadnieniom tematycznym, jak np.: Licencja nr 9 skupia się na zagadnieniach zapewnienia wytycznych i informacji, dotyczących zagrożeń i ryzyka występujących na terenie elektrowni jądrowych, osobom na nim przebywającym. W rezultacie tego goście i pracownicy elektrowni jądrowej wiedzą, jak postępować w sytuacjach zagrożenia, co określane jest jako „Bezpieczeństwo Przemysłowe”.

Licencja nr 10 dotyczy zagadnień zapewnienia dedykowanych szkoleń personelowi oraz wykonawcom zewnętrznym, w zależności od realizowanych zadań, a mogących mieć wpływ na bezpieczeństwo. Warunek ten jest spełniany poprzez realizację programów szkoleniowych w Centrum Szkoleń Technicznych w Sizewell B. Licencja nr 12 prezentuje *Duty Authorised People (DAPs)*, czyli osoby o określonych kwalifikacjach potwierdzonych przez właściwe do tego służby, które po ukończeniu odpowiedniego przeszkolenia nadzorowanego przez dyrektora elektrowni jądrowej są delegowane do kontroli i nadzoru działań mających wpływ na bezpieczeństwo. Kwalifikacje personelu muszą być dostosowane do wykonywanej pracy. Potwierdzeniem sposobu podejścia w tym zakresie decydentów w elektrowni jądrowej w Sizewell B jest choćby fakt, iż zewnętrznym organ wykonawczy HSE (ang. *Health and Safety Executive*) w Wielkiej Brytanii ma prawo usunąć pracownika z miejsca pracy, jeśli jego kwalifikacje bądź doświadczenie nie są wystarczające (SQEP).

Licencja nr 26 jest zbliżona zagadnieniami do licencji nr 12 i mówi o tym, że wszystkie czynności związane z bezpieczeństwem muszą być wykonywane przez SQEPs (ang. *Suitably Qualified & Experienced Person*). Oznacza to, że określone stanowiska wraz z przypisanymi rolami mogą zostać podejmowane po odpowiednim przeszkoleniu organizowanym przez jednostkę szkoleniową z określoną częstotliwością.

**Local society** (społeczność lokalna) – to grupa ludzi, których należy brać pod uwagę, planując budowę czy eksploatację elektrowni jądrowej. Grupa ta analizuje działania inwestora, czego efektem jest kreowanie opinii społecznej. Udział społeczności lokalnej w projekcie budowy elektrowni jądrowej bardzo często jest kluczowy, co oznacza, że jest to główna grupa, która zapewnia zakwaterowanie i wyżywienie pracowników, wykonawców, nadzorców. Rozważając lokalizację elektrowni jądrowej, warto mieć na uwadze, iż elektrownia często staje się głównym pracodawcą w regionie, jak i znacznym źródłem finansującym lokalne przedsięwzięcia.



Rys. 4. Międzynarodowa skala zdarzeń jądrowych i wypadków radiologicznych INES [nuclear.pl]

**Local consultations** (lokalne konsultacje) – stanowią jeden z etapów budowy elektrowni jądrowej. Jest to okazja, aby uzyskać opinię społeczności lokalnej i poznać jej oczekiwania. Doświadczenie zdobyte przed budową elektrowni jądrowej Hinkley Point C i elektrowni jądrowej Sizewell C mogą mieć zastosowanie w polskich warunkach. Wynikiem konsultacji lokalnych może być m.in. rozwój infrastruktury drogowej.

### 3. Czynniki ludzkie a ekonomika

Z finansowego punktu widzenia czynniki ludzkie w energetyce jądrowej można opisać zasadą zapożyczoną z medycyny: lepiej zapobiegać, niż leczyć. Bardzo trudno jest zmienić sposób myślenia społeczeństwa o bezpieczeństwie technologii jądrowych w świetle awarii w Czarnobylu czy Three Mile Island. Przytoczone wypadki są tymi z najsłynniejszych, ale oczywiście lista awarii jest zdecydowanie dłuższa. Od 1989 roku używa się specjalnej międzynarodowej skali zdarzeń jądrowych i radiologicznych INES (ang. *International Nuclear and Radiological Event Scale*) opracowanej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej oraz Agencję Energii Jądrowej OECD. Celem INES jest przedstawienie możliwych zdarzeń niepożądanych w elektrowni jądrowej, w postaci skali od „anomalia” do „poważna awaria”. Skala została przedstawiona na rys. 4.

Minione awarie jądrowe mają ogromny wpływ na opinię społeczną i poczucie bezpieczeństwa w odniesieniu do eksploatowanych obiektów energetycznych. Nie ma znaczenia, jak długo oraz jak wiele elektrowni jądrowych pracuje bezawaryjnie.

Dlatego tak istotną jest edukacja o energetyce jądrowej, szczególnie w początkowej fazie realizacji inwestycji. Świadome społeczeństwo zna nie tylko wady, ale również zalety eksploatacji bloków jądrowych. Ta świadomość daje ludziom szansę wyrobienia sobie wyważonej opinii dotyczącej technologii wytwarzania energii elektrycznej. Wzrost świadomości odnosi się również do informacji przekazywanych w prasie.

Zrozumiałe i prawdziwe wiadomości przekazywane społeczeństwu zapobiegają tworzeniu opinii na podstawie wyobraźni człowieka. Wizerunek firmy postrzeganej jako bezpieczna opiera się na świadomości społecznej i wiedzy, co może rodzić znaczne koszty. Kosztów tych nie da się bezpośrednio porównać z żadną inną gałęzią przemysłu, ale warto w nie inwestować, ponieważ to zwiększa szanse na pomyślne zakończenie inwestycji. Przez zapewnienie znajomości tematu możemy również dyskutować na argumenty w kwestii dotyczącej podjęcia decyzji o lokalizacji przyszłej elektrowni jądrowej.

### 4. Program Polskiej Energetyki Jądrowej

#### 4.1. Kilka słów o Programie Polskiej Energetyki Jądrowej

Powstanie elektrowni jądrowej to kolejna próba realizacji tego typu przedsięwzięcia w Polsce. Pokazuje to, jak wiele czynników ma wpływ na sukces tak specyficznego projektu, jakim jest budowa bloku jądrowego. Program Polskiej Energetyki Jądrowej, uchwalony w 2010 roku, ma

wspierać rozwój energetyki jądrowej, a tym samym dywersyfikację źródeł wytwarzania energii elektrycznej. Dokument porusza kwestie czynników ludzkich w dwóch rozdziałach.

W rozdz. 11 podjęto temat przygotowania wykwalifikowanej kadry na potrzeby energetyki jądrowej, zaś rozdz. 16 poświęcono informacji i edukacji społecznej w zakresie energetyki jądrowej oraz realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Należy zwrócić uwagę, że Program Polskiej Energetyki Jądrowej to tylko projekt, a krajowe doświadczenia pochodzą głównie z eksploatacji jądrowych reaktorów badawczych. Sprawia to, że polskie społeczeństwo potrzebuje więcej czasu, aby przyzwyczaić się do widoku elektrowni jądrowej za oknami. Podobna sytuacja miała miejsce, gdy powstawały pierwsze lądowe elektrownie wiatrowe. Kreowanie społecznej mentalności stanowi bowiem długi i czasochłonny proces.

Tu pojawia się przestrzeń dla instytucji, które mają wpływ na przygotowanie społeczeństwa do realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej: Ministerstwa Gospodarki, Ministerstwa Edukacji Narodowej, Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Państwowej Agencji Atomistyki, Zakładu Zagospodarowania Odpadów Promieniotwórczych, Urzędu Dozoru Technicznego, Inwestora – Polskiej Grupy Energetycznej SA oraz instytucji akademickich i naukowych.

Jednym z działań realizowanych przez Ministerstwo Gospodarki był program dedykowany dla nauczycieli akademickich – Edukatorzy Energetyki Jądrowej. Program zrealizowano w latach 2009–2012 i obejmował on trzy etapy. Intencją było przygotowanie 36 wykładowców, aby uzyskali wiedzę na podstawie francuskich doświadczeń w energetyce jądrowej. W pierwszej fazie szkolenia uczestnicy podczas sześciu tygodni odwiedzali francuskie i belgijskie elektrownie jądrowe, instytucje naukowe, przedsiębiorstwa wytwarzające paliwa itp. Druga faza szkolenia „Nuclear Engineering Training” miała miejsce w CEA (Francuski Komisariat ds. Energii Atomowej i Energii Alternatywnych) w Saclay we Francji. W ciągu trzech miesięcy grupa polskich wykładowców (fot. 5) brała udział w kursie poświęconym m.in. fizyce jądrowej, technologiom jądrowym, reaktorom jądrowym i materiałom wykorzystywanym w przemyśle jądrowym. Ostatni etap szkolenia to indywidualny staż techniczny w obiekcie jądrowym, tj. elektrowni jądrowej, instytucji naukowej podejmującej badania nad tematyką energetyki jądrowej, wybranej przez każdego uczestnika zgodnie z jej/jego oczekiwaniami naukowymi.

#### 4.2. Uczelnie wyższe, przedsiębiorstwa i stowarzyszenia

Program polskiej energetyki jądrowej i plan budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce uaktywnił społeczność akademicką. Efektem tego jest zmiana podejścia w nauczaniu o energetyce jądrowej, czerpiąc z dobrych programów z lat 80., kiedy to była budowana elektrownia jądrowa w Żarnowcu. W związku z powyższym większość uczelni technicznych wprowadziła jako nowy kierunek studiów lub nową



Fot. 5. Polscy edukatorzy w CEA Saclay w 2010 roku

specjalność na prowadzonych dotychczas studiach, nawiązującą do tematyki energetyki jądrowej.

Pośród innych podejmowanych aktywności można zaobserwować powstawanie nowych stowarzyszeń, których celem jest promowanie idei budowy elektrowni jądrowej, czego dobrym przykładem jest Stowarzyszenie na rzecz Elektrowni Jądrowej w Województwie Pomorskim. Bardzo aktywne są również firmy, które chciałyby dostarczyć technologię lub koordynować proces budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Firmy te organizują wiele spotkań, konferencji i warsztatów przeznaczonych dla: inżynierów, polskich firm, studentów i wszystkich zainteresowanych osób.

### 5. Podsumowanie

Czynniki ludzkie są bardzo ważne na każdym etapie powstawania elektrowni jądrowej. Jeśli porównamy krajowe i zagraniczne doświadczenia, można wówczas zaobserwować, jak długa i trudna droga przed nami.

Technologia, jak również zarządzanie przedsiębiorstwem – to tematy znane. Człowiek stanowi najbardziej newralgiczny punkt każdego przedsięwzięcia w energetyce. W polskich warunkach często wiele etapów projektów wygląda zupełnie inaczej niż w inwestycjach prowadzonych w zagranicznych obiektach. Dlatego też inwestorzy powinni dokładnie i szczegółowo rozważyć poszczególne zadania i działania w danej fazie projektu, zwłaszcza tam, gdzie sukces zależy od czynnika ludzkiego. Jeśli dodamy również polityczny stosunek do polskiej energetyki i nastroje społecznie, to uzyskamy obraz czynników wpływających na polską energetykę jądrową.

### Bibliografia

1. HSG48, Reducing error and influencing behavior, 1999.
2. Salvendy G., Handbook of Human Factors and Ergonomics, 2012 New Jersey.
3. IAEA.org, serwis internetowy Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, 2013.
4. Program Polskiej Energetyki Jądrowej, Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, 2010.
5. The Power To Manage Safety, Det Norske Veritas AS-01 – 2011.

---

**Agnieszka Kaczmarek-Kacprzak**

mgr inż.

Politechnika Gdańska

e-mail: a.kaczmarek@eia.pg.gda.pl

Absolwentka Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej (specjalizacja energetyka) oraz pierwszej edycji studiów podyplomowych Podstawy energetyki jądrowej. Edukatorka w obszarze energetyki jądrowej w ramach programu Ministerstwa Gospodarki, stażystka w Elektrowni Jądrowej Sizewell B. Obszary zainteresowań: energetyka gazowa, energetyka jądrowa, kogeneracja.

**Martin Catlow**

B Tech hons. MI Mech E. C Eng

EDF British Energy

e-mail: martin.catlow@edf-energy.com

Obecnie certyfikowany instruktor parku maszynowego w Centrum Szkoleń w siedzibie EDF. Posiada doświadczenie w pracy w nastawni blokowej w EJ Sizewell B z reaktorem PWR oraz Heysham 2 z reaktorem AGR.