



**H<sub>2</sub>**  
**HYDROGEN**



# **OPIS KOMPETENCJI W WYBRANYCH ZAWODACH GOSPODARKI WODOROWEJ**

SZCZECIN, 2025

## RAMY DOTYCZĄCE SPECJALNOŚCI: Inżynier ds. bezpieczeństwa instalacji wodorowych

W obliczu globalnych dążeń do transformacji energetycznej i osiągnięcia neutralności klimatycznej, wodór wyłania się jako kluczowy nośnik energii przyszłości. Jego potencjał w sektorach energetyki, transportu i przemysłu jest ogromny, jednak pełne wykorzystanie tych możliwości wymaga rygorystycznego przestrzegania norm i standardów bezpieczeństwa.

Bezpieczeństwo instalacji wodorowych jest kwestią o fundamentalnym znaczeniu. Wodór, jako gaz o unikatowych właściwościach fizykochemicznych—łatwopalności, szerokim zakresie wybuchowości oraz wysokiej przenikalności—stawia przed inżynierami specyficzne wyzwania technologiczne i organizacyjne. Dlatego projektowanie, wdrażanie i nadzorowanie systemów bezpieczeństwa w instalacjach produkcyjnych, magazynowych i dystrybucyjnych staje się priorytetem.

Skuteczne zarządzanie ryzykiem w takich instalacjach wymaga interdyscyplinarnych kompetencji, łączących wiedzę z zakresu inżynierii, technologii, materiałoznawstwa, procedur bezpieczeństwa oraz regulacji prawnych. W tym kontekście, inżynierowie ds. bezpieczeństwa instalacji wodorowych odgrywają strategiczną rolę w zapewnieniu stabilnego rozwoju gospodarki wodorowej.

Zapotrzebowanie na kompetencje w perspektywie 10 lat:

W perspektywie najbliższej dekady, zapotrzebowanie na specjalistów ds. bezpieczeństwa instalacji wodorowych będzie dynamicznie rosło, co wynika z następujących czynników:

- **Intensywna transformacja energetyczna:** Wdrożenie technologii wodorowych wymaga przestrzegania rygorystycznych norm bezpieczeństwa, które chronią życie, zdrowie i środowisko.
- **Dynamiczny rozwój infrastruktury wodorowej:** Rosnąca liczba instalacji produkcyjnych, magazynowych, dystrybucyjnych oraz stacji tankowania wodoru powoduje konieczność profesjonalnego zabezpieczenia tych obiektów przed ryzykiem awarii.
- **Postępująca regulacja prawna:** Rosnąca świadomość ryzyka oraz potrzeba spełniania rygorystycznych standardów bezpieczeństwa stawia nowe wymagania prawne wobec instalacji wodorowych.
- **Rozwój nowych technologii bezpieczeństwa:** Zaawansowane systemy detekcji, monitoringu oraz zabezpieczeń aktywnych będą stale się rozwijały, co będzie wymagało ciągłej aktualizacji wiedzy inżynierskiej.

Specjaliści z dziedziny bezpieczeństwa instalacji wodorowych będą bardzo poszukiwani przez firmy zajmujące się produkcją, przesyłem, magazynowaniem oraz wykorzystaniem wodoru. Ich kompetencje będą kluczowe nie tylko dla realizacji celów ekologicznych, ale również do zabezpieczenia infrastruktury krytycznej, zdrowia publicznego oraz środowiska naturalnego.

Rynek pracy dla specjalistów ds. bezpieczeństwa instalacji wodorowych będzie charakteryzował się dynamicznym wzrostem oraz wysokimi wymaganiami kwalifikacyjnymi, co czyni tę specjalność wyjątkowo atrakcyjną dla osób poszukujących stabilnego i perspektywicznego zawodu.

Opis kwalifikacji zawodowej: Inżynier ds. bezpieczeństwa instalacji wodorowych obejmuje umiejętności w zakresie identyfikacji zagrożeń, projektowania, wdrażania i zarządzania

systemami bezpieczeństwa w instalacjach wodorowych, zgodnie z obowiązującymi normami technicznymi, prawnymi oraz środowiskowymi.

Zaproponowana tematyka jest szczególnie zalecana dla:

- Inżynierów i specjalistów ds. bezpieczeństwa, pragnących zdobyć specjalistyczne kompetencje w zakresie instalacji wodorowych.
- Techników i inżynierów branży energetycznej, chemicznej i przemysłowej, którzy chcą rozszerzyć swoje kwalifikacje o aspekty bezpieczeństwa technologii wodorowych.
- Pracowników służb BHP oraz służb ratowniczych, dla których instalacje wodorowe są nowym, istotnym obszarem odpowiedzialności.
- Absolwentów i studentów uczelni technicznych i przyrodniczych, zainteresowanych technologiami przyszłości związanymi z gospodarką wodorową.
- Specjalistów i audytorów bezpieczeństwa, poszukujących specjalistycznych kompetencji w szybko rozwijającym się sektorze technologii wodorowych.
- Oferta skierowana jest również do osób zainteresowanych pracą w sektorze energetyki odnawialnej, przemysłu chemicznego, transportu oraz wszelkich branż wykorzystujących wodór jako źródło energii lub paliwo.

Poniższa tabela zawiera wykaz efektów uczenia się i kryteriów weryfikacji dla poszczególnych kompetencji:

### **Kompetencja 1: Stosowanie zasad bezpieczeństwa w projektowaniu, budowie i eksploatacji instalacji wodorowych**

- Szczegółowo opisuje zagrożenia wynikające z eksploatacji instalacji wodorowych, w tym wybuchy, pożary, przecieki wodoru.
- Dobiera materiały konstrukcyjne oraz urządzenia zabezpieczające odporne na działanie wodoru.
- Stosuje obowiązujące normy techniczne oraz wytyczne dotyczące bezpieczeństwa projektowania instalacji (np. ISO/TR 15916, PN-EN 60079, API RP).
- Analizuje specyfikę instalacji wodorowych pod kątem ryzyka powstawania kruchości wodorowej, korozji i uszkodzeń materiałowych.
- Stosuje środki ochrony indywidualnej i grupowej wymagane podczas eksploatacji instalacji.
- Wskazuje i stosuje środki zapobiegawcze wobec potencjalnych awarii wynikających z właściwości wodoru (np. detekcja, wentylacja, awaryjne odcięcie przepływu gazu).

- Tworzy dokumentację projektową uwzględniającą procedury bezpieczeństwa (np. instrukcje eksploatacyjne, plany bezpieczeństwa instalacji).

## **Kompetencja 2: Analiza ryzyka i zarządzanie sytuacjami kryzysowymi w instalacjach wodorowych**

- Przeprowadza szczegółową analizę ryzyka z wykorzystaniem metod takich jak HAZOP, FMEA, czy „fault tree analysis” (FTA).
- Opracowuje scenariusze zdarzeń awaryjnych (pożar, eksplozja, rozszczelnienie instalacji, wyciek wodoru) oraz strategie ich ograniczania.
- Opracowuje procedury awaryjne oraz plany działań ratunkowych i prewencyjnych dla instalacji wodorowych.
- Wyjaśnia mechanizmy powstawania sytuacji krytycznych w instalacjach wodorowych (np. zapłon od iskry, wybuch wskutek przekroczenia granic palności).
- Prowadzi symulacje sytuacji kryzysowych oraz szkolenia w zakresie reagowania na awarie i incydenty.
- Proponuje strategie minimalizacji ryzyka awarii instalacji wodorowych, uwzględniając czynniki techniczne, środowiskowe i organizacyjne.
- Współpracuje ze służbami ratowniczymi oraz organami kontroli podczas sytuacji awaryjnych.

## **Kompetencja 3: Zastosowanie wiedzy o właściwościach fizykochemicznych wodoru w zapewnieniu bezpieczeństwa instalacji**

- Opisuje i analizuje właściwości fizyczne wodoru (palność, wybuchowość, dyfuzyjność, gęstość w różnych stanach skupienia).
- Rozróżnia izotopy wodoru (protium, deuter, tryt) oraz wyjaśnia ich specyficzne właściwości istotne dla bezpieczeństwa.
- Analizuje wpływ orto- i parawodoru na procesy magazynowania i eksploatacji instalacji.
- Wskazuje kluczowe temperatury wodoru (np. wrzenia, krytyczna, punkt potrójny) i ich wpływ na konstrukcję i bezpieczeństwo instalacji.
- Wyjaśnia mechanizmy kruchości wodorowej oraz oddziaływania wodoru na materiały konstrukcyjne (stal, aluminium, kompozyty).
- Uzasadnia znaczenie granic wybuchowości wodoru w powietrzu (dolna i górna granica) dla bezpieczeństwa instalacji.
- Opisuje i ocenia ryzyko wynikające z wysokiej reaktywności chemicznej wodoru w reakcjach z tlenem, halogenami i metalami.
- Analizuje zachowanie wodoru w ekstremalnych warunkach ciśnienia i temperatury, oceniając potencjalne zagrożenia dla instalacji.

#### **Kompetencja 4: Zastosowanie przepisów prawa, norm branżowych oraz standardów technicznych dotyczących bezpieczeństwa instalacji wodorowych**

- Wskazuje obowiązujące krajowe oraz europejskie przepisy prawa regulujące projektowanie, budowę i eksploatację instalacji wodorowych.
- Interpretuje i stosuje wymagania norm ISO, PN-EN, IEC dotyczących bezpieczeństwa instalacji wodorowych oraz urządzeń przeciwwybuchowych.
- Opracowuje dokumentację techniczną zgodną z obowiązującymi przepisami prawnymi oraz normami technicznymi (instrukcje eksploatacji, dokumentacja UDT, procedury bezpieczeństwa).
- Stosuje wymogi regulacji ADR w przypadku transportu oraz magazynowania wodoru.
- Śledzi zmiany legislacyjne i normatywne w obszarze technologii wodorowych, aktualizując rozwiązania techniczne i organizacyjne.
- Ocenia zgodność istniejących instalacji wodorowych z obowiązującymi normami bezpieczeństwa, formułując zalecenia do dostosowania do aktualnych wymogów prawnych.

#### **Kompetencja 5: Kontrola i audyt bezpieczeństwa instalacji wodorowych**

- Projektuje i realizuje procesy monitorowania parametrów eksploatacyjnych instalacji (np. ciśnienie, temperatura, koncentracja wodoru, integralność konstrukcji).
- Stosuje metodykę audytu instalacji wodorowych pod kątem zgodności z przepisami i normami bezpieczeństwa.
- Analizuje dane techniczne instalacji wodorowych, identyfikując potencjalne zagrożenia i nieprawidłowości.
- Przygotowuje raporty z audytów oraz rekomendacje dotyczące poprawy stanu bezpieczeństwa technicznego instalacji.
- Przeprowadza inspekcje i kontrole techniczne instalacji, uwzględniając specyfikę ryzyk związanych z wodorem (np. korozja wodorowa, wycieki).
- Wdraża procedury ciągłego doskonalenia bezpieczeństwa instalacji wodorowych, uwzględniając wyniki audytów, incydenty oraz rekomendacje organów nadzoru.
- Realizuje ćwiczenia praktyczne dotyczące przeprowadzania audytów oraz analizy dokumentacji bezpieczeństwa instalacji wodorowych.

#### **Kompetencja 6 - Kompetencje personalne**

- Komunikuje się w sposób jasny i precyzyjny z innymi członkami zespołu oraz z klientami.
- Sporządza raporty i dokumentację z zakresu logistyki wodoru.
- Efektywnie współpracuje w zespole.
- Dzieli się wiedzą i doświadczeniem z innymi członkami zespołu.

- Rozwiązuje konflikty w sposób konstruktywny.
- Wdraża działania wspierające lokalne społeczności w rozwijaniu gospodarki wodorowej.
- Buduje i rozwija relacje z przedstawicielami sektora przemysłowego, samorządowego i naukowego.
- Dostosowuje pracę do wymogów globalnego rynku i różnic kulturowych.

## **Kompetencje personalne z dodatkowymi kryteriami weryfikacji**

### **1. Komunikuje się w sposób jasny i precyzyjny z innymi członkami zespołu oraz z klientami.**

#### **Kryteria weryfikacji:**

- Prowadzi skuteczne rozmowy z klientami i zespołem w ramach symulowanych scenariuszy (np. omówienie planu zapewnienia bezpieczeństwa produkcji wodoru, logistyki).
- Tworzy zrozumiałe i precyzyjne komunikaty, dostosowując styl do odbiorcy (np. techniczne szczegóły dla zespołu, uproszczone informacje dla klienta).
- Używa narzędzi wspierających komunikację, takich jak prezentacje, raporty wizualne, czy dokumenty podsumowujące.

### **2. Sporządza raporty i dokumentację z zakresu logistyki wodoru.**

#### **Kryteria weryfikacji:**

- Sporządza/ raport dotyczący realizacji projektu logistycznego, zawierający dane techniczne, analizę ryzyka i rekomendacje.
- Opracowuje czytelne instrukcje i procedury eksploatacji urządzeń logistycznych.
- Przygotowuje dokumentację zgodną z wymogami prawnymi i standardami branżowymi (np. raporty zgodne z normami ATEX, ADR, itp.).

### **3. Efektywnie współpracuje w zespole.**

#### **Kryteria weryfikacji:**

- Aktywnie uczestniczy w symulowanych zadaniach grupowych (np. wspólne opracowanie planu logistycznego).
- Wspiera członków zespołu w rozwiązywaniu problemów technicznych lub organizacyjnych.
- Udziela konstruktywnych opinii i sugestii w celu usprawnienia pracy zespołu.

### **4. Dzieli się wiedzą i doświadczeniem z innymi członkami zespołu.**

#### **Kryteria weryfikacji:**

- Prowadzi krótkie szkolenie lub prezentację dla zespołu na temat wybranego aspektu bezpieczeństwa instalacji wodoru.
- Udostępnia wypracowane materiały (np. raporty, checklisty) innym członkom zespołu.
- Angażuje się w mentoring lub coaching mniej doświadczonych członków zespołu.

## 5. Rozwiązuje konflikty w sposób konstruktywny.

### Kryteria weryfikacji:

- Przeprowadza symulację rozwiązywania konfliktu w zespole (np. różnice zdań dotyczące planu transportu).
- Wskazuje przyczyny konfliktu i proponuje realistyczne rozwiązania.
- Wykorzystuje techniki negocjacyjne i mediacyjne w trudnych sytuacjach zespołowych.

## 6. Wdraża działania wspierające lokalne społeczności w rozwijaniu gospodarki wodorowej.

### Kryteria weryfikacji:

- Inicjuje i uczestniczy w projektach edukacyjnych na temat wodoru skierowanych do lokalnych społeczności.
- Współpracuje z lokalnymi organizacjami i instytucjami w celu propagowania wiedzy o technologiach wodorowych.
- Przygotowuje materiały promocyjne (np. broszury, prezentacje) dotyczące korzyści gospodarki wodorowej dla społeczności lokalnych.

## 7. Buduje i rozwija relacje z przedstawicielami sektora przemysłowego, samorządowego i naukowego.

### Kryteria weryfikacji:

- Organizuje spotkania i warsztaty z udziałem przedstawicieli różnych sektorów w celu wymiany wiedzy i doświadczeń.
- Tworzy raporty podsumowujące potrzeby i oczekiwania różnych interesariuszy w kontekście gospodarki wodorowej.
- Wdraża wspólne inicjatywy, takie jak projekty pilotażowe lub demonstracyjne.

## 8. Dostosowuje pracę do wymogów globalnego rynku i różnic kulturowych.

### Kryteria weryfikacji:

- Prowadzi negocjacje i współpracę z partnerami zagranicznymi, uwzględniając różnice kulturowe i prawne.
- Przygotowuje dokumentację projektową i raporty w języku angielskim.
- Uczestniczy w międzynarodowych wydarzeniach branżowych (konferencje, targi, szkolenia) i wykorzystuje zdobytą wiedzę w projektach lokalnych.

## Kompetencja 7 - Kompetencje społeczne

- Jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo własne i innych.
- Sumiennie wykonuje swoje zadania.
- Podejmuje działania zgodne z etyką zawodową.
- Samodzielnie planuje i realizuje powierzone zadania.
- Wykazuje inicjatywę w poszukiwaniu nowych rozwiązań.

- Potrafi podejmować decyzje w sytuacjach kryzysowych.
- Jest świadomy konieczności ciągłego podnoszenia kwalifikacji.
- Śledzi nowości technologiczne i zmiany w przepisach.
- Uczestniczy w szkoleniach i konferencjach.
- Angażuje się w inicjatywy mające na celu propagowanie zrównoważonych rozwiązań w logistyce wodoru.
- Inicjuje działania na rzecz współpracy pomiędzy sektorem publicznym, prywatnym i naukowym w kontekście logistyki wodoru.
- Angażuje się w międzynarodowe projekty logistyczne, pełniąc aktywną rolę w zarządzaniu i koordynacji działań.

### Kompetencje społeczne z kryteriami weryfikacji

#### 1. Jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo własne i innych.

##### Kryteria weryfikacji:

- Przeprowadza symulację sytuacji wymagającej reakcji na zagrożenie bezpieczeństwa.
- Identyfikuje potencjalne zagrożenia w procesie logistycznym i proponuje działania zapobiegawcze.
- Monitoruje przestrzeganie zasad bezpieczeństwa wśród członków zespołu.

#### 2. Sumiennie wykonuje swoje zadania.

##### Kryteria weryfikacji:

- Regularnie dostarcza raporty i dokumentację zgodnie z ustalonym harmonogramem.
- Wykonuje zadania z należytą starannością, spełniając wytyczne projektu.
- Angażuje się w realizację celów zespołowych, wspierając innych członków zespołu.

#### 3. Podejmuje działania zgodne z etyką zawodową.

##### Kryteria weryfikacji:

- Przeprowadza analizę scenariusza pod kątem zgodności z zasadami etyki zawodowej.
- Podejmuje decyzje uwzględniające dobro zespołu i klientów.
- Ocenia konsekwencje działań zawodowych z perspektywy odpowiedzialności społecznej.

#### 4. Samodzielnie planuje i realizuje powierzone zadania.

##### Kryteria weryfikacji:

- Tworzy harmonogram pracy dla wybranych zadań związanych z zapewnieniem bezpieczeństwa instalacji wodorowych.
- Realizuje zadanie w ustalonym czasie, informując o postępach i napotkanych trudnościach.
- Wprowadza poprawki do planu na podstawie zmieniających się warunków projektowych.

**5. Wykazuje inicjatywę w poszukiwaniu nowych rozwiązań.**

**Kryteria weryfikacji:**

- Proponuje innowacyjne podejścia do wyzwań związanych z bezpieczeństwem przy projektowaniu i obsłudze instalacji wodorowych.
- Wskazuje ulepszenia w istniejących procesach.
- Przedstawia rekomendacje na spotkaniach zespołowych, poparte analizą danych.

**6. Potrafi podejmować decyzje w sytuacjach kryzysowych.**

**Kryteria weryfikacji:**

- Symuluje reakcję na sytuację kryzysową (np. wyciek wodoru, awarie).
- Ocenia możliwe scenariusze działania i wybiera optymalną opcję.
- Szybko i skutecznie wdraża decyzje, minimalizując straty i zagrożenia.

**7. Jest świadomy konieczności ciągłego podnoszenia kwalifikacji.**

**Kryteria weryfikacji:**

- Przygotowuje plan rozwoju zawodowego, uwzględniający szkolenia i certyfikaty.
- Ocenia własne umiejętności w kontekście potrzeb rynku pracy.
- Regularnie aktualizuje wiedzę na temat nowych technologii wodorowych.

**8. Śledzi nowości technologiczne i zmiany w przepisach.**

**Kryteria weryfikacji:**

- Prezentuje nowe technologie i przepisy podczas spotkań zespołowych.
- Opracowuje notatki lub raporty na temat zmian regulacyjnych w tematyce bezpieczeństwa obsługi instalacji wodorowych.
- Korzysta z nowo poznanych narzędzi lub technologii w praktycznych zadaniach.

**9. Uczestniczy w szkoleniach i konferencjach.**

**Moduł 1: Bezpieczeństwo i analiza ryzyka w instalacjach wodorowych (24 godziny)**

**Moduł 2: Wprowadzenie do wodoru i jego właściwości (20 godzin)**

**Moduł 3: Technologie produkcji wodoru (24 godziny)**

**Moduł 4: Technologie magazynowania wodoru (16 godzin)**

**Moduł 5: Bezpieczeństwo transportu wodoru (16 godzin)**

**Moduł 6: Projektowanie systemów bezpieczeństwa dla instalacji wodorowych (20 godzin)**

**Moduł 7: Monitorowanie, kontrola oraz audyt bezpieczeństwa instalacji wodorowych (20 godzin)**

**Moduł 8: Prawo, normy i regulacje dot. bezpieczeństwa. Procedury awaryjne w gospodarce wodorowej (20 godzin)**

**Moduł 9: Aspekty społeczne i ekonomiczne zastosowania wodoru w gospodarce (16 godzin)**

**Moduł 10: Kompetencje miękkie i komunikacja w zarządzaniu bezpieczeństwem wodorowym (16 godzin)**

**Moduł 11: Megatrendy, zmiany klimatu, transformacja energetyczna (18 godzin)**

**MODUŁ 12: Projekt zintegrowany z zakresu bezpieczeństwa instalacji wodorowych (30 godzin)**

**ŁĄCZNIE 240 godzin**

**PROPONOWANY ZAKRES TEMATYCZNY MODUŁÓW:**

**MODUŁ 1: BEZPIECZEŃSTWO I ANALIZA RYZYKA W POSTĘPOWANIU Z WODOREM**

**Czas trwania:** 24 godziny (10 godzin wykładów, 8 godzin ćwiczeń praktycznych, 6 godzin warsztatów).

**Poziom ERK:** 5-6

**Cel:** Zdobycie wiedzy na temat przepisów, norm i standardów dotyczących logistyki wodoru oraz umiejętności analizy ryzyka i postępowania w sytuacjach awaryjnych.

**Tematy:**

**1. Aktualne normy ISO i IEC dotyczące wodoru (4 godziny):**

- Omówienie kluczowych standardów, takich jak ISO 14687 (specyfikacja wodoru jako paliwa) i IEC 60079 (bezpieczeństwo przeciwwybuchowe).
- Przegląd norm dotyczących transportu, magazynowania i wykorzystania wodoru w różnych sektorach przemysłu.
- Analiza najnowszych wytycznych związanych z certyfikacją urządzeń wodorowych.

**2. Krajowe i międzynarodowe przepisy dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska (4 godziny):**

- Regulacje UE (np. dyrektywa Seveso III, przepisy ADR, IMDG, ATEX).
- Krajowe przepisy dotyczące postępowania z substancjami niebezpiecznymi i ochrony środowiska.
- Analiza przypadków (case studies): wypadki związane z wodorem i ich skutki prawne.

**3. Procedury postępowania w sytuacjach awaryjnych (wyciek, pożar, wybuch) (4 godzin – 2 godziny wykładów, 2 godziny ćwiczeń):**

- Mechanika i fizyka zdarzeń awaryjnych z udziałem wodoru.

- Szczegółowe omówienie procedur dla poszczególnych sytuacji (np. izolacja obszaru, gaszenie pożarów wodoru).
- Interaktywne symulacje reakcji na wycieki, pożary i eksplozje wodoru.

#### **4. Zasady pierwszej pomocy w przypadku zatrucia/oparzenia wodorem (2 godziny):**

- Fizjologiczne skutki kontaktu z wodorem i jego pochodnymi (np. kriogeniczne oparzenia, zatrucia gazowe).
- Standardowe procedury udzielania pomocy poszkodowanym.
- Warsztaty praktyczne: symulacja udzielania pierwszej pomocy w różnych scenariuszach.

#### **5. Metody analizy ryzyka (4 godziny):**

- Wprowadzenie do metod HAZOP (Hazard and Operability Study) i FMEA (Failure Mode and Effects Analysis).
- Identyfikacja potencjalnych zagrożeń w łańcuchu logistycznym wodoru.
- Ocena skutków i prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń ryzykownych.

#### **6. Opracowywanie planów awaryjnych i procedur zapobiegawczych (6 godzin – 2 godziny wykładów, 4 godziny warsztatów):**

- Tworzenie kompleksowych planów awaryjnych dla instalacji wodorowych.
- Ćwiczenia praktyczne: opracowanie procedur zapobiegawczych i awaryjnych dla hipotetycznych scenariuszy.
- Analiza skuteczności planów na podstawie symulacji sytuacji kryzysowych.

### **MODUŁ 2: WPROWADZENIE DO WODORU I JEGO WŁAŚCIWOŚCI**

**Czas trwania:** 20 godzin (8 godzin wykładów, 8 godzin ćwiczeń, 4 godziny warsztatów).

**Poziom ERK:** 4-5

**Cel:** Zrozumienie podstawowych właściwości fizycznych i chemicznych wodoru, które są kluczowe dla bezpiecznego magazynowania i transportu.

#### **Tematy:**

##### **1. 1. Wodór, Izotopy wodoru, charakterystyka (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Właściwości fizyczne wodoru (stan skupienia, barwa, zapach, gstość i rozpuszczalność w różnych substancjach, temperatury topnienia i wrzenia, przewodnictwo cieplne i elektryczne)
- Właściwości chemiczne wodoru (reaktywność z innymi pierwiastkami i związkami chemicznymi, palność,

- Rola wodoru w przemyśle

## **2. Wodór: orto i para – wpływ na magazynowanie (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Wyjaśnienie różnic między orto- i para-wodorem.
- Znaczenie izomerii wodoru w kontekście magazynowania i stabilności przy niskich temperaturach.
- Obliczenia zmian energii przy przemianach orto- i para-wodoru.
- Analiza procesów przechowywania ciekłego wodoru w zależności od zawartości izomerów.

## **3. Gęstość wodoru w różnych stanach skupienia (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Gęstość wodoru w stanie gazowym, ciekłym i stałym – różnice i ich znaczenie technologiczne.
- Wpływ ciśnienia i temperatury na gęstość wodoru.
- Obliczenia gęstości wodoru przy różnych parametrach ciśnienia i temperatury.
- Analiza wykresów fazowych wodoru.

## **4. Temperatury kluczowe dla wodoru (wrzenia, krytyczna, punkt potrójny) (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Wyjaśnienie kluczowych temperatur: temperatura wrzenia, punkt krytyczny, punkt potrójny.
- Znaczenie tych parametrów dla przechowywania wodoru w stanie ciekłym i gazowym.
- Analiza wykresów fazowych wodoru.
- Ćwiczenie: identyfikacja odpowiednich warunków przechowywania wodoru na podstawie jego parametrów termodynamicznych.

## **5. Zakres wybuchowości i granice palności wodoru (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Omówienie granic palności wodoru i jego zakresu wybuchowości w powietrzu.
- Przyczyny i mechanizmy wybuchów wodoru.
- Analiza przypadków wybuchów związanych z wodorem w przemyśle.
- Określanie warunków bezpieczeństwa dla pracy z wodorem.

## **6. Dyfuzyjność wodoru i jej konsekwencje (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Wysoka dyfuzyjność wodoru i jej wpływ na bezpieczeństwo przechowywania i transportu.

- Omówienie potencjalnych zagrożeń wynikających z dyfuzji.
- Obliczenia dotyczące dyfuzji wodoru przez różne materiały.
- Wybór odpowiednich materiałów do przechowywania wodoru.

#### **7. Korozyjne właściwości wodoru (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)**

- Zjawisko kruchości wodorowej i jej wpływ na materiały konstrukcyjne.
- Korozyjne właściwości wodoru w kontakcie z metalami.
- Analiza danych dotyczących odporności materiałów na wodór.
- Ćwiczenie: projektowanie systemów odpornych na działanie wodoru.

#### **8. Zagrożenia związane z wodorem: przyczyny wybuchów i pożarów, kruchość wodorowa (2 godz. - warsztaty)**

- Studium przypadków awarii związanych z wodorem.
- Projektowanie procedur bezpieczeństwa w pracy z wodorem.

#### **9. Metody detekcji wodoru i systemy alarmowe (1 godz. - wykłady, 1 godz. - warsztaty.)**

- Przegląd technologii detekcji wodoru, w tym czujników i systemów alarmowych.
- Rola systemów detekcji w zapewnieniu bezpieczeństwa.
- Konfiguracja i testowanie czujników wodoru.

#### **10. Przegląd metod produkcji wodoru i pojęcie „zielonego wodoru” (6 godz. - wykłady, 1 godz. - warsztaty)**

- Metody produkcji wodoru: reforming parowy metanu, elektroliza wody, piroliza biomasy.
- Wyjaśnienie pojęcia „zielonego wodoru” i jego rola w transformacji energetycznej.
- Dyskusja grupowa: ocena potencjału produkcji zielonego wodoru w Polsce i na świecie.

#### **11. Przegląd metod wykorzystania wodoru(6 godz. - wykłady, 1 godz. - warsztaty)**

- Ogniw paliwowe: Ogniw alkaliczne (AFC), ogniw fosforanowe (PAFC), ogniw węglanowe (MCFC), ogniw stałotlenkowe (SOFC), ogniw polimerowe (PEFC, SPCF, PEMFC), ogniw metanolowe (DMFC - podgrupa PEMFC), ogniw protonowe (PCFC)
- Spalanie wodoru (silniki spalania wewnętrzne, kotły i palniki wodorowe, inne)
- Wykorzystanie wodoru w procesach chemicznych (produkcja nawozów, produkcja stali, proces rafinacji ropy naftowej, inne)

### **MODUŁ 3: TECHNOLOGIE MAGAZYNOWANIA WODORU I ICH BEZPIECZEŃSTWO**

**Czas trwania:** 24 godziny (10 godzin wykładów, 10 godzin ćwiczeń praktycznych, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 5–6

**Cel modułu:** Celem modułu jest zapoznanie uczestników z różnymi technologiami magazynowania wodoru – zarówno fizycznymi, jak i chemicznymi – oraz z ryzykami i wymaganiami bezpieczeństwa towarzyszącymi tym technologiom. Uczestnicy zdobędą wiedzę dotyczącą właściwości systemów magazynowania, doboru odpowiednich rozwiązań do zastosowań przemysłowych oraz metod minimalizowania ryzyka awarii.

#### **1. Wprowadzenie do metod magazynowania wodoru (2 godz. wykładów)**

- Klasyfikacja metod:
  - Magazynowanie fizyczne: sprężony wodór, ciekły wodór
  - Magazynowanie chemiczne: wodorki metali, ciecze organiczne, związki chemiczne (np. amoniak)
- Porównanie podstawowych parametrów: gęstość energetyczna, bezpieczeństwo, koszty, zastosowania

#### **2. Magazynowanie wodoru w formie sprężonego gazu (CGH<sub>2</sub>) (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Zbiorniki ciśnieniowe: typy (I–IV), materiały konstrukcyjne, odporność na kruchość wodorową
- Parametry operacyjne: ciśnienie robocze (350–700 bar, B+R), cykle ładowania/rozładowania
- Zasady bezpiecznej eksploatacji zbiorników: normy, kontrole, systemy bezpieczeństwa
- Ćwiczenia: dobór zbiornika do zastosowania, obliczenia objętości, analiza zagrożeń

#### **3. Magazynowanie ciekłego wodoru (LH<sub>2</sub>) (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Proces skraplania i przechowywania wodoru w temperaturze –253°C
- Budowa i typy zbiorników kriogenicznych – izolacja, boil-off, zarządzanie stratami
- Zagrożenia kriogeniczne i przeciwybuchowe, procedury bezpieczeństwa
- Ćwiczenia: analiza strat boil-off, projekt zbiornika kriogenicznego dla zadanej instalacji

#### **4. Magazynowanie wodoru w wodorkach metali (hydrydy) (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Mechanizm wiązania i uwalniania wodoru w materiałach metalicznych

- Typowe materiały: LaNi<sub>5</sub>, MgH<sub>2</sub>, TiFe, intermetale
- Wady i zalety: bezpieczeństwo, gęstość energii, temperatura pracy
- Ćwiczenia: analiza właściwości wybranego hydrydu i symulacja procesu magazynowania

#### **5. Magazynowanie wodoru w postaci ciekłych związków organicznych (metanol, etanol) (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Mechanizm działania: reforming metanolu i etanolu – wytwarzanie wodoru na żądanie
- Bezpieczeństwo przechowywania i transportu alkoholi – zagrożenia pożarowe i toksyczne
- Porównanie z wodorem sprężonym i ciekłym pod względem efektywności i kosztów
- Ćwiczenia: analiza scenariusza awaryjnego z udziałem metanolu jako nośnika wodoru

#### **6. Magazynowanie wodoru w amoniaku (NH<sub>3</sub>) (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Amoniak jako nośnik wodoru: gęstość energetyczna, dekompozycja do H<sub>2</sub> i N<sub>2</sub>
- Wymagania techniczne magazynowania (temperatura, ciśnienie)
- Zagrożenia toksyczne i środowiskowe – wymagania dla zbiorników, instalacji odwadniających, wentylacji
- Ćwiczenia: analiza ryzyka wycieku amoniaku z instalacji magazynowej

#### **7. Dobór technologii magazynowania w zależności od zastosowania (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Czynniki decydujące o wyborze technologii:
  - Miejsce i cel magazynowania (stacjonarne vs mobilne)
  - Dostępność energii, przestrzeni, technologii
  - Aspekty ekonomiczne, środowiskowe i bezpieczeństwa
- Ćwiczenia: analiza przypadku – wybór metody magazynowania dla mobilnego generatora H<sub>2</sub>

#### **8. Warsztaty praktyczne: Projekt systemu magazynowania wodoru dla instalacji przemysłowej (4 godz. warsztatów)**

- Opracowanie kompletnego systemu magazynowania wodoru dla przykładowej instalacji (np. hub energetyczny, zakład chemiczny, stacja tankowania)
- Zadania:
  - Dobór metody magazynowania

- Ocena zagrożeń i scenariuszy awaryjnych
- Dobór zabezpieczeń (zawory, czujniki, wentylacja, systemy detekcji)
- Schemat technologiczny z elementami systemu bezpieczeństwa
- Prezentacja projektów, wspólna analiza i dyskusja

## **MODUŁ 4: ANALIZA I OCENA RYZYKA W INSTALACJACH WODOROWYCH**

### **1. Wprowadzenie do analizy ryzyka w gospodarce wodorowej (2 godz.)**

- Podstawowe pojęcia i definicje związane z analizą ryzyka (zagrożenie, ryzyko, konsekwencje, prawdopodobieństwo)
- Specyfika ryzyka instalacji wodorowych (pożarowe, wybuchowe, toksyczne, kriogeniczne)
- Etapy procesu analizy ryzyka (identyfikacja zagrożeń, analiza scenariuszy awaryjnych, ocena ryzyka)

### **2. Metody identyfikacji zagrożeń specyficznych dla instalacji wodorowych (4 godz.)**

Szczegółowe omówienie metod identyfikacji zagrożeń:

- HAZOP (Hazard and Operability Study)
- FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)
- FTA (Fault Tree Analysis)
- ETA (Event Tree Analysis)
- Ćwiczenia praktyczne: przeprowadzenie uproszczonej analizy HAZOP oraz FMEA dla przykładowej instalacji produkcji wodoru (np. elektrolizera lub reformera parowego).

### **3. Analiza scenariuszy awaryjnych w instalacjach wodorowych (4 godz.)**

- Tworzenie scenariuszy awaryjnych: typowe scenariusze wycieków, pożarów, eksplozji wodoru
- Charakterystyka zdarzeń inicjujących awarie (np. uszkodzenie zaworów, awarie sprężarek, błędy ludzkie)
- Analiza wpływu warunków środowiskowych (temperatura, wilgotność, wiatr) na rozwój awarii
- Ćwiczenia praktyczne: opracowanie scenariuszy awaryjnych dla wybranej instalacji magazynowania lub dystrybucji wodoru (np. stacja tankowania wodoru)

### **4. Ilościowa analiza ryzyka (QRA – Quantitative Risk Assessment) w instalacjach wodorowych (4 godz.)**

- Wprowadzenie do metod QRA (metody probabilistyczne)

- Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia zdarzeń awaryjnych
- Modelowanie konsekwencji awarii (np. eksplozji, pożarów, wycieków gazowych)
- Ćwiczenia praktyczne: wykonanie uproszczonej analizy QRA dla hipotetycznej instalacji magazynowania ciekłego lub sprężonego wodoru

#### **5. Analiza efektów fizycznych awarii w instalacjach wodorowych (4 godz.)**

- Modelowanie efektów fizycznych awarii:
  - Dyspersja i dyfuzja wodoru
  - Charakterystyka eksplozji (BLEVE, UVCE)
  - Promieniowanie cieplne i skutki pożarów wodoru
  - Deflagracja
  - Przegląd programów komputerowych (PHAST, ALOHA, CFD)
  - ? Ćwiczenia praktyczne: symulacja skutków awarii (wybuch, pożar, rozprzestrzenianie gazu) dla wybranej instalacji wodorowej za pomocą programu komputerowego (np. ALOHA lub PHAST)

#### **6. Ocena ryzyka w ATmosferach wybuchowych (ATEX) z udziałem wodoru (3 godz.)**

- Podstawowe wymagania dyrektywy ATEX dotyczące ATmosfer wybuchowych z wodorem
- Klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem wodoru (strefa 0, 1, 2)
- Dobór urządzeń przeciwwybuchowych i ich wpływ na redukcję ryzyka
- Warsztat: klasyfikacja stref zagrożenia wybuchem dla wybranej instalacji produkcyjnej lub dystrybucyjnej wodoru

#### **7. Ocena ryzyka dla obiektów infrastruktury krytycznej wykorzystujących wodór (3 godz.)**

- Definicja i klasyfikacja infrastruktury krytycznej z wykorzystaniem wodoru (np. duże instalacje przemysłowe, elektrownie wodorowe, systemy przesyłowe)
- Specyfika ryzyka infrastruktury krytycznej: analiza potencjalnych skutków awarii dla społeczeństwa, gospodarki i środowiska
- Warsztaty praktyczne: ocena ryzyka awarii infrastruktury krytycznej na przykładzie hipotetycznej elektrowni opartej na ogniwach paliwowych lub instalacji przesyłowej wodoru

### **MODUŁ 5: BEZPIECZEŃSTWO TRANSPORTU WODORU**

**Czas trwania:** 20 godzin (9 godzin wykładów, 7 godzin ćwiczeń praktycznych, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 5–6

**Cel modułu:** Zdobyć wiedzę na temat różnych metod transportu wodoru, ich specyfiki, potencjalnych zagrożeń oraz praktycznych umiejętności zapewniania bezpieczeństwa podczas transportu wodoru, ze szczególnym uwzględnieniem regulacji prawnych, norm technicznych oraz procedur awaryjnych.

### 1. Wprowadzenie do bezpieczeństwa transportu wodoru (2 godz.)

- Charakterystyka specyficznych zagrożeń w transporcie wodoru (wycieki, pożary, eksplozje, zagrożenia kriogeniczne).
- Omówienie podstawowych metod transportu wodoru: rurociągi, cysterny drogowe, kolejowe, transport morski.
- Klasyfikacja zagrożeń związanych z różnymi formami wodoru (gaz sprężony, ciekły, związki chemiczne).

### 2. Bezpieczeństwo transportu wodoru sprężonego (3 godz.)

- Szczegółowy opis technologii transportu wodoru w postaci sprężonego gazu (cysterny typu I-IV, parametry pracy do 700 bar).
- Dobór materiałów konstrukcyjnych zbiorników ciśnieniowych – analiza odporności na kruchość wodorową.
- Procedury bezpieczeństwa podczas załadunku, transportu i rozładunku cystern ze sprężonym wodorem.
- Ćwiczenia praktyczne: ocena ryzyka transportu sprężonego wodoru drogą lądową (symulacje, analizy przypadków).

### 3. Bezpieczeństwo transportu ciekłego wodoru (3 godz.)

- Charakterystyka technologii transportu wodoru ciekłego (LH2) w warunkach kriogenicznych (-253°C).
- Analiza specyficznych zagrożeń kriogenicznych: zagrożenie zamarzania armatury, boil-off (odparowywanie), izolacja próżniowa zbiorników.
- Procedury bezpieczeństwa związane z załadunkiem, transportem oraz rozładunkiem ciekłego wodoru.
- Ćwiczenia praktyczne: symulacja analizy bezpieczeństwa i procedur transportowych dla ciekłego wodoru.

### 4. Bezpieczeństwo transportu rurociągowego wodoru (3 godz.)

- Budowa i eksploatacja rurociągów wodorowych – specyficzne zagrożenia, m.in. nieszczelności, ryzyko kruchości i korozji wodorowej.
- Metody monitorowania stanu technicznego rurociągów wodorowych (detekcja przecieków, pomiary ciśnienia, analiza materiałowa).
- Strategie minimalizacji ryzyka podczas przesyłu wodoru na duże odległości.

- Ćwiczenia praktyczne: analiza zagrożeń, ocena ryzyka oraz opracowanie procedur bezpieczeństwa dla hipotetycznej infrastruktury rurociąkowej.

## **5. Bezpieczeństwo transportu wodoru w postaci związków chemicznych: wodorki metali, metanol, etanol, amoniak (4 godz.)**

- Charakterystyka nośników chemicznych wodoru: właściwości fizykochemiczne i mechanizmy uwalniania wodoru.
- Specyfika zagrożeń podczas transportu wodoru związanego chemicznie (toksyczność amoniaku, łatwopalność alkoholi, stabilność wodorków metali).
- Środki bezpieczeństwa, dobór opakowań i zbiorników, wymogi temperaturowe i ciśnieniowe.
- Przegląd regulacji prawnych i oznaczeń ADR dla poszczególnych związków chemicznych.
- Ćwiczenia: analiza scenariusza awaryjnego z udziałem transportu wodoru w postaci amoniaku lub metanolu, procedury awaryjne.

## **6. Regulacje prawne oraz normy bezpieczeństwa w transporcie wodoru (2 godz.)**

- Przepisy krajowe i międzynarodowe dotyczące transportu wodoru (ADR, IMDG, ATEX).
- Normy techniczne ISO, PN-EN regulujące bezpieczeństwo transportu wodoru (np. ISO/TR 15916, ISO 19880).
- Obowiązki prawne oraz dokumentacja wymagana przy transporcie wodoru (dokumenty przewozowe, procedury awaryjne).
- Przykłady zastosowania regulacji prawnych w praktyce.

## **7. Procedury awaryjne i zarządzanie ryzykiem w transporcie wodoru – warsztaty (3 godz.)**

- Scenariusze typowych awarii w transporcie wodoru (wyciek z cysterny, awaria zaworów, pożar na drodze, eksplozja zbiornika).
- Metodyka opracowywania procedur awaryjnych specyficznych dla transportu wodoru (izolacja miejsca zdarzenia, ewakuacja, działania ratunkowe).
- Warsztaty praktyczne: opracowanie planów awaryjnych dla wybranych scenariuszy transportowych (np. symulacja zdarzenia podczas transportu cysterną drogową).

## **MODUŁ 6: PROJEKTOWANIE SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA DLA INSTALACJI WODOROWYCH**

**Czas trwania:** 20 godzin (8 godzin wykładów, 8 godzin ćwiczeń praktycznych, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel modułu:** Zdobyć wiedzę i umiejętności z zakresu projektowania systemów bezpieczeństwa w instalacjach wodorowych, z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych wodoru, wymagań normatywnych, doboru materiałów, komponentów zabezpieczających oraz integracji systemów detekcji i sterowania.

### **1. Podstawy projektowania instalacji wodorowych z uwzględnieniem bezpieczeństwa (2 godz. wykładów)**

- Zasady projektowania bezpiecznych instalacji gazowych i kriogenicznych.
- Specyfika instalacji wodorowych (duża dyfuzyjność, szeroki zakres palności, kruchość materiałów).
- Przegląd typowych obszarów ryzyka w instalacjach wodorowych: produkcja, magazynowanie, przesył, wykorzystanie.

### **2. Dobór materiałów i komponentów instalacji odpornych na działanie wodoru (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Właściwości materiałów konstrukcyjnych: odporność na kruchość wodorową, korozję i ciśnienie.
- Wymagania normatywne dot. materiałów stosowanych w instalacjach wodorowych (np. stal austenityczna, kompozyty).
- Dobór uszczelnień, zaworów, rur i zbiorników.
- Ćwiczenia: analiza kart technicznych i dobór odpowiednich materiałów do instalacji pracującej pod wysokim ciśnieniem lub w niskiej temperaturze.

### **3. Projektowanie systemów detekcji i monitorowania wodoru (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Technologie detekcji wodoru: czujniki elektrochemiczne, półprzewodnikowe, optyczne.
- Rozmieszczenie czujników – zasady wynikające z właściwości wodoru (mniejszy ciężar niż powietrze, szybka dyfuzja).
- Integracja czujników z systemami alarmowymi i centralami sterującymi.
- Ćwiczenia: projektowanie rozmieszczenia systemu detekcji wodoru w instalacji (np. stacja tankowania lub kontenerowa elektrolizerownia).

### **4. Systemy zabezpieczeń technicznych – pasywne i aktywne (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Zawory bezpieczeństwa, zawory odcinające, zawory zwrotne, systemy odpowietrzania.
- Systemy pasywnej ochrony przeciwwybuchowej (np. panele dekompresyjne, przegrody wybuchowe).

- Aktywne systemy zabezpieczeń (gaszenie wodoru, awaryjne odcięcie zasilania, automatyczne wyłączenia).
- Ćwiczenia: projektowanie układu zabezpieczeń instalacji kriogenicznej i ciśnieniowej (dobór zaworów, schematy awaryjne).

### **5. Bezpieczna integracja technologii – zasilanie, wentylacja, układy sterowania (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Zasady wentylacji naturalnej i mechanicznej w przestrzeniach zagrożonych wybuchem wodoru.
- Projektowanie zasilania awaryjnego i sterowania bezpieczeństwem w warunkach awarii.
- Wymagania dla systemów zasilania i komunikacji w strefach ATEX.
- Ćwiczenia: projektowanie układu wentylacji i zasilania awaryjnego dla wybranej instalacji (np. kontenerowej stacji z elektrolizerem).

### **6. Warsztaty projektowe: Kompleksowe opracowanie koncepcji systemu bezpieczeństwa (4 godz. warsztatów)**

- Studium przypadku: projekt instalacji do tankowania wodoru lub elektrolizera w kontenerze.
- Etapy pracy projektowej:
  - Identyfikacja zagrożeń
  - Dobór materiałów i urządzeń
  - Zaprojektowanie systemu detekcji i wentylacji
  - Zaprojektowanie systemu alarmowego i zaworów bezpieczeństwa
  - Opracowanie uproszczonego schematu funkcjonalnego
- Przedstawienie projektu w grupach z omówieniem ryzyk i proponowanych rozwiązań zabezpieczających.

## **MODUŁ 7: MONITOROWANIE, KONTROLA, AUDYT BEZPIECZEŃSTWA INSTALACJI WODOROWYCH**

**Czas trwania:** 20 godzin (8 godzin wykładów, 8 godzin ćwiczeń praktycznych, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel modułu:** Celem modułu jest przygotowanie uczestników do prowadzenia nadzoru nad bezpieczeństwem instalacji wodorowych poprzez wdrażanie systemów monitorowania i kontroli oraz wykonywanie audytów technicznych i proceduralnych. Uczestnicy poznają narzędzia i standardy służące do oceny stanu bezpieczeństwa oraz nauczą się podejmowania decyzji na podstawie danych operacyjnych.

## **1. Systemy monitorowania bezpieczeństwa w instalacjach wodorowych (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Rodzaje parametrów podlegających monitorowaniu (ciśnienie, temperatura, przepływ, stężenie H<sub>2</sub>, poziom O<sub>2</sub>, VOC).
- Zastosowanie systemów SCADA, DCS, BMS oraz czujników środowiskowych.
- Wymagania dot. rejestrowania, archiwizacji i analizy danych z systemów monitorujących.
- Ćwiczenia: interpretacja danych z przykładowego systemu SCADA dla instalacji produkcji i magazynowania wodoru.

## **2. Wykrywanie i diagnostyka zagrożeń w czasie rzeczywistym (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Integracja czujników detekcji wodoru z automatyką bezpieczeństwa (np. systemy ESD – Emergency Shutdown).
- Rozpoznawanie anomalii w pracy instalacji wodorowych: analiza trendów, alarmów, fałszywych sygnałów.
- Wczesne ostrzeganie o potencjalnych awariach – wykorzystanie uczenia maszynowego i algorytmów predykcyjnych.
- Ćwiczenia: analiza wykresów trendów operacyjnych, wskazanie możliwych źródeł zagrożeń.

## **3. Audyt bezpieczeństwa instalacji wodorowych – teoria i praktyka (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Rodzaje audytów: wewnętrzne, zewnętrzne, inspekcje techniczne, kontrole zgodności z regulacjami.
- Zakres audytu bezpieczeństwa w instalacjach wodorowych: elementy infrastruktury, dokumentacja, organizacja pracy, kultura bezpieczeństwa.
- Narzędzia i formularze stosowane w audytach (checklisty, matryce ocen, kwestionariusze).
- Ćwiczenia: symulacja przeprowadzenia audytu uproszczonego dla kontenerowej stacji z wodorem lub na stacji tankowania pojazdów wodorowych (HRS).

## **4. Ocena skuteczności systemów bezpieczeństwa i reagowania (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Wskaźniki efektywności bezpieczeństwa (KPI): LOPA, liczba incydentów, czas reakcji, niezawodność systemów.
- Analiza luk w zabezpieczeniach i propozycje działań naprawczych (CAPA).
- Porównanie stanu obecnego z wymaganiami normatywnymi (np. ISO 19880-1, IEC 61508/61511, PN-EN ISO 45001).

- Ćwiczenia: ocena systemu detekcji wodoru na podstawie studium przypadku – rekomendacje audytowe.

## 5. Warsztaty: Audyt bezpieczeństwa – projekt i symulacja (4 godziny)

- Warsztaty prowadzone w grupach – symulacja audytu pełnego (technicznego + organizacyjnego) dla wybranej instalacji (np. magazyn wodoru, elektrolizerownia).
- Zakres warsztatów:
  - Przygotowanie planu audytu
  - Opracowanie listy kontrolnej
  - Analiza danych z systemów monitorujących
  - Ocena zgodności z normami i przepisami
  - Opracowanie raportu końcowego z audytu oraz rekomendacji działań naprawczych

## MODUŁ 8: PRAWO, NORMY I REGULACJE DOT. BEZPIECZEŃSTWA. PROCEDURY AWARYJNE W GOSPODARCE WODOROWEJ

**Czas trwania:** 20 godzin (8 godzin wykładów, 8 godzin ćwiczeń praktycznych, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel modułu:** Zapoznanie uczestników z krajowymi i międzynarodowymi regulacjami dotyczącymi bezpieczeństwa instalacji wodorowych, w tym z aktualnymi normami technicznymi, przepisami prawa oraz zasadami opracowywania i wdrażania procedur awaryjnych. Uczestnicy nabędą umiejętność interpretacji przepisów oraz ich praktycznego stosowania w przemyśle i transporcie.

### 1. Przepisy prawa krajowego i międzynarodowego dotyczące wodoru i instalacji wodorowych (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)

- Kluczowe akty prawne UE i Polski:
  - Dyrektywa Seveso III
  - Rozporządzenie CLP, REACH
  - Ustawa Prawo ochrony środowiska
  - Krajowa strategia wodorowa
- Przepisy dotyczące obiektów o zwiększonym i dużym ryzyku (ZZR i ZDR) – obowiązki operatorów
- Odpowiedzialność prawna w przypadku awarii z udziałem wodoru
- Ćwiczenia: analiza przypadków naruszeń przepisów i konsekwencji prawnych

## **2. Normy techniczne i standardy bezpieczeństwa instalacji wodorowych (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Przegląd najważniejszych norm:
  - ISO/TR 15916: Zasady ogólne bezpieczeństwa systemów wodorowych
  - ISO 19880 (części 1–8): Tankowanie wodoru, systemy przesyłu
  - IEC 60079: Urządzenia elektryczne w atmosferach wybuchowych
  - PN-EN 60079, PN-EN ISO 45001 (BHP)
- Obowiązkowa dokumentacja techniczna (np. DoZW – Dokument zabezpieczenia przed wybuchem)
- Ćwiczenia: przyporządkowanie odpowiednich norm do wybranych elementów instalacji

## **3. Transport wodoru a regulacje ADR, RID, IMDG (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Wymagania formalne i dokumentacyjne dla transportu wodoru w różnych postaciach (gaz, ciecz, związki chemiczne):
  - ADR – transport drogowy
  - RID – transport kolejowy
  - IMDG – transport morski
- Klasyfikacja zagrożeń, oznaczenia, pakowanie, zasady ładowania i wyładowywania
- Obowiązki nadawcy, przewoźnika i odbiorcy
- Ćwiczenia: wypełnienie dokumentacji ADR dla transportu wodoru ciekłego lub w amoniaku

## **4. Opracowanie i wdrażanie procedur awaryjnych w instalacjach wodorowych (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Rodzaje scenariuszy awaryjnych: wyciek, zapłon, eksplozja, uszkodzenie systemu chłodzenia
- Zasady budowy procedur reagowania na zagrożenia w instalacjach z wodorem
- Koordynacja działań wewnętrznych i współpraca ze służbami zewnętrznymi (PSP, UDT, inspekcja środowiskowa)
- Ćwiczenia: opracowanie procedury awaryjnej dla wybranej sytuacji (np. wyciek w stacji tankowania, awaria elektrolizera)

## **5. Warsztaty praktyczne: analiza regulacji i procedur dla konkretnego projektu (4 godz. warsztatów)**

- Studium przypadku: projekt instalacji do produkcji i tankowania wodoru (np. hub wodorowy, elektrolizer + stacja tankowania)

- Uczestnicy przygotowują:
  - analizę obowiązujących przepisów i norm
  - zestaw wymaganych dokumentów formalnych (w tym DoZW, PZA, instrukcje awaryjne)
  - schemat procedur awaryjnych dla poszczególnych scenariuszy ryzyka
- Prezentacja opracowanego planu i wspólna analiza poprawności oraz zgodności z regulacjami

## **MODUŁ 9: ASPEKTY SPOŁECZNE I EKONOMICZNE ZASTOSOWANIA WODORU W GOSPODARCE**

**Czas trwania:** 16 godzin (6 godzin wykładów, 6 godzin ćwiczeń, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel modułu:** Celem modułu jest ukazanie szerszego kontekstu rozwoju gospodarki wodorowej – w tym wpływu na społeczeństwo, rynek pracy, systemy energetyczne, środowisko oraz modele biznesowe. Uczestnicy naberą wiedzę o czynnikach społecznych, ekonomicznych i regulacyjnych wpływających na wdrażanie technologii wodorowych, a także umiejętności oceny projektów wodorowych pod kątem ich opłacalności i akceptowalności społecznej.

### **1. Wodór jako element transformacji energetycznej i polityki klimatycznej (2 godz. wykładów)**

- Wodór w strategiach UE, Polski i świata (Fit for 55, Zielony Ład, krajowa strategia wodorowa)
- Rola wodoru w dekarbonizacji przemysłu, transportu, energetyki i ciepłownictwa
- Integracja wodoru z odnawialnymi źródłami energii (Power-to-Gas, magazynowanie sezonowe)

### **2. Ekonomia projektów wodorowych – modele kosztów i finansowania (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Koszt produkcji wodoru – LCOH (Levelized Cost of Hydrogen)
- Analiza kosztów CAPEX i OPEX w instalacjach produkcji, magazynowania i dystrybucji
- Finansowanie projektów: dotacje, kredyty, instrumenty unijne (np. IPCEI, Horizon Europe)

- Ćwiczenia: uproszczona analiza opłacalności projektu stacji wodorowej lub mikrosieci

### **3. Modele biznesowe i łańcuchy wartości w gospodarce wodorowej (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Kluczowi gracze: producenci, operatorzy infrastruktury, odbiorcy końcowi
- Modele biznesowe: on-site vs off-site, lokalne klastry energii, partnerstwa publiczno-prywatne
- Analiza rynku wodoru: popyt, konkurencja, ryzyka
- Ćwiczenia: opracowanie prostego modelu łańcucha wartości dla lokalnej inwestycji wodorowej

### **4. Wpływ społeczny wdrażania wodoru – akceptacja, edukacja, komunikacja (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Społeczne postrzeganie wodoru: obawy, dezinformacja, rola edukacji i mediów
- Akceptacja społeczna inwestycji wodorowych (LESSONS LEARNED z projektów w UE i Japonii)
- Rola władz lokalnych i społeczności w procesie planowania i wdrażania inwestycji
- Ćwiczenia: analiza studium przypadku – konflikty społeczne wokół inwestycji wodorowej, opracowanie strategii komunikacyjnej

### **5. Ślad środowiskowy i zrównoważony rozwój w gospodarce wodorowej (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Analiza cyklu życia (LCA) wodoru – od produkcji do wykorzystania
- Porównanie śladu węglowego wodoru szarego, niebieskiego, zielonego
- Wodór a cele zrównoważonego rozwoju (SDGs)
- Ćwiczenia: ocena wpływu wybranej technologii wodorowej na środowisko (LCA uproszczona)

### **6. Warsztaty: Studium przypadku – społeczno-ekonomiczna analiza inwestycji wodorowej (4 godziny)**

- Praca w grupach nad projektem inwestycji (np. lokalna stacja tankowania H<sub>2</sub>, zakład produkcji zielonego wodoru, hub przemysłowy)
- Analiza:
  - Ekonomiczna: koszty, źródła finansowania, rentowność
  - Społeczna: wpływ na rynek pracy, akceptację lokalną
  - Środowiskowa: ślad węglowy, zgodność z politykami klimatycznymi

- Prezentacja wyników i omówienie w grupie – wnioski i rekomendacje

## **MODUŁ 10: KOMPETENCJE MIĘKKIE I KOMUNIKACJA W ZARZĄDZANIU BEZPIECZEŃSTWEM WODOROWYM**

**Czas trwania:** 16 godzin (6 godzin wykładów, 6 godzin ćwiczeń, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel modułu:** Celem modułu jest rozwój kompetencji interpersonalnych i organizacyjnych niezbędnych do skutecznego zarządzania bezpieczeństwem w projektach i instalacjach wodorowych. Uczestnicy nauczą się prowadzić skuteczną komunikację techniczną i społeczną, zarządzać zespołem, podejmować decyzje w sytuacjach kryzysowych oraz budować kulturę bezpieczeństwa w środowisku pracy.

### **1. Komunikacja techniczna w kontekście instalacji wodorowych (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Zasady tworzenia dokumentacji bezpieczeństwa: raporty, instrukcje, plany awaryjne
- Przekazywanie informacji w sytuacjach awaryjnych i w stresie
- Komunikacja z różnymi grupami odbiorców (inżynierowie, operatorzy, społeczeństwo, decydenci)
- Ćwiczenia: redagowanie komunikatu kryzysowego, uproszczona instrukcja awaryjna

### **2. Kultura bezpieczeństwa i przywództwo w środowisku technologicznym (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Czym jest kultura bezpieczeństwa – dobre i złe praktyki
- Rola lidera bezpieczeństwa w organizacji technicznej
- Budowanie zaangażowania zespołu - przestrzeganie procedur i norm
- Ćwiczenia: symulacja rozmowy z pracownikiem łamiącym procedury, techniki

### **3. Zarządzanie zespołem i współpraca interdyscyplinarna (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Praca w zespołach wielobranżowych (inżynierowie, ratownicy, IT, zarząd)
- Style zarządzania w środowisku projektowym i produkcyjnym
- Konflikty i negocjacje w zespole technicznym – rozwiązywania
- Ćwiczenia: symulacja zebrania sztabu kryzysowego

### **4. Podejmowanie decyzji w sytuacjach ryzyka i niepewności (1 godz. wykładów + 1 godz. ćwiczeń)**

- Szybka analiza ryzyka pod presją czasu
- Wspieranie decyzji danymi – kiedy i jak sięgać po modele i symulacje
- Dylematy etyczne i odpowiedzialność osobista
- Ćwiczenia: scenariusze decyzyjne z udziałem instalacji wodorowej

### **5. Warsztaty: symulacja zarządzania bezpieczeństwem w projekcie wodorowym (4 godziny)**

- Praca w grupach – symulacja pełnego cyklu komunikacji i koordynacji w kontekście sytuacji awaryjnej (np. wyciek wodoru w zakładzie)
- Role: kierownik techniczny, oficer ds. bezpieczeństwa, rzecznik prasowy, przedstawiciel służb
- Zadania:
  - Opracowanie planu działań
  - Przygotowanie komunikatu do mediów
  - Symulacja odprawy wewnętrznej zespołu
- Refleksja: ocena efektywności współpracy i komunikacji

## **MODUŁ 11: MEGATRENDY, ZMIANY KLIMATU, TRANSFORMACJA ENERGETYCZNA**

**Czas trwania:** 18 godzin (6 godzin wykładów, 6 godzin ćwiczeń, 4 godziny warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel modułu:** Celem modułu jest ukazanie szerszego, strategicznego kontekstu rozwoju gospodarki wodorowej i bezpieczeństwa technologii wodorowych jako odpowiedzi na megatrendy XXI wieku: kryzys klimatyczny, dekarbonizację, cyfryzację, automatyzację i geopolityczne zmiany w dostępie do surowców energetycznych. Uczestnicy poznają również koncepcję zielonej przewagi konkurencyjnej jako podstawy strategii transformacyjnych Unii Europejskiej i rozwoju nowoczesnych gospodarek.

### **1. MEGATRENDY - WPŁYW NA SEKTOR ENERGII I PRZEMYSŁU (2 godz. wykładów)**

- Kluczowe megatrendy XXI wieku:
  - Zmiany klimatu i presja środowiskowa
  - Napięcia geopolityczne i bezpieczeństwo energetyczne
  - Rozwój technologii cyfrowych (AI, IoT, automatyzacja)
  - Starzenie się społeczeństw i zmiana modeli pracy
- Wpływ megatrendów na transformację energetyczną, przemysł 5.0 i sektor surowców

- Miejsce wodoru jako odpowiedzi na globalne wyzwania

## **2. Zmiany klimatu i ich znaczenie dla gospodarki, przemysłu i infrastruktury (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Podstawy naukowe zmian klimatycznych: scenariusze IPCC, systemy prognozowania
- Koszty zmian klimatu – analiza kosztów „zaniechania” vs kosztów transformacji
- Wpływ zmian klimatu na infrastrukturę energetyczną i przemysłową (zagrożenia fizyczne, adaptacja)
- Ćwiczenia: ocena ryzyka klimatycznego dla infrastruktury krytycznej (np. instalacji wodorowej, stacji tankowania)

## **3. Strategia UE: transformacja energetyczna, gospodarka niskoemisyjna, Europejski Zielony Ład (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Zielony Ład i cele klimatyczne UE do 2030 i 2050 r.
- Pakiety „Fit for 55”, „REPowerEU” – znaczenie wodoru i energii odnawialnej
- Taksonomia UE i mechanizmy finansowe wspierające inwestycje zrównoważone
- Ćwiczenia: analiza zgodności projektu inwestycyjnego z celami Europejskiego Zielonego Ładu (case study: elektrolizer + magazyn wodoru)

## **4. Zielona przewaga konkurencyjna – nowy paradygmat rozwoju gospodarki (2 godz. wykładów + 2 godz. ćwiczeń)**

- Koncepcja „zielonej konkurencyjności” – jak budować przewagę konkurencyjną w oparciu o megatrendy, ochrona klimatu i środowiska impulsem do innowacji
- ESG, zrównoważone modele biznesowe i ślad węglowy jako element decyzji rynkowych i inwestycyjnych
- Wodór jako element budowania konkurencyjności technologicznej i suwerenności gospodarczej UE
- Ćwiczenia: opracowanie założeń „zielonego modelu biznesowego” opartego na wodorze

## **5. Warsztaty strategiczne: Planowanie projektów wodorowych w kontekście megatrendów i celów klimatycznych (4 godziny)**

- Praca w zespołach nad symulacją projektu:
  - cel: zrównoważony rozwój regionu/branży z wykorzystaniem wodoru
  - uwzględnienie: uwarunkowań klimatycznych, polityki UE, ryzyk geopolitycznych i społecznych
- Opracowanie:

- modelu działania
- analizy ryzyka związanego z megatrendami
- planu komunikacji społecznej i propozycji finansowania
- Prezentacja i wspólna analiza wyników

## **MODUŁ 12: PROJEKT ZINTEGROWANY Z ZAKRESU BEZPIECZEŃSTWA INSTALACJI WODOROWYCH**

**Czas trwania:** 30 godzin (10 godzin wykładów, 10 godzin ćwiczeń praktycznych, 10 godzin warsztatów)

**Poziom ERK:** 6

**Cel:** Zastosowanie i integracja wiedzy oraz umiejętności zdobytych w poprzednich modułach poprzez opracowanie kompleksowego projektu z zakresu bezpieczeństwa instalacji wodorowej, obejmującego analizę ryzyka, projektowanie systemów bezpieczeństwa oraz opracowanie procedur awaryjnych.

### **1. Wprowadzenie do projektu zintegrowanego (2 godziny wykładów):**

- Omówienie celów i zakresu projektu.
- Przegląd kluczowych aspektów technicznych, prawnych i organizacyjnych związanych z bezpieczeństwem instalacji wodorowych.

### **2. Analiza ryzyka i identyfikacja zagrożeń (4 godziny – 2 godziny wykładów, 2 godziny ćwiczeń):**

- Zastosowanie metod analizy ryzyka, takich jak HAZOP czy FMEA, w kontekście instalacji wodorowych.
- Identyfikacja potencjalnych zagrożeń związanych z eksploatacją instalacji wodorowych.

### **3. Projektowanie systemów bezpieczeństwa (6 godzin – 2 godziny wykładów, 4 godziny ćwiczeń):**

- Dobór odpowiednich technologii i urządzeń zabezpieczających.
- Integracja systemów detekcji, alarmowych oraz przeciwwybuchowych.

### **4. Opracowanie procedur awaryjnych i planów ewakuacyjnych (4 godziny – 2 godziny wykładów, 2 godziny ćwiczeń):**

- Tworzenie procedur postępowania w sytuacjach awaryjnych, takich jak wycieki czy pożary wodoru.
- Planowanie ewakuacji i współpracy ze służbami ratunkowymi.

## 5. Warsztaty projektowe: opracowanie kompleksowego planu bezpieczeństwa (10 godzin):

- Praca zespołowa nad stworzeniem planu bezpieczeństwa dla wybranej instalacji wodorowej.
- Prezentacja opracowanych planów i omówienie zastosowanych rozwiązań.

Wszystkie rezultaty wypracowane w ramach projektu „Professionals and their skills in hydrogen” udostępniane są na zasadzie otwartych licencji (CC BY-SA 4.0 DEED). Można z nich korzystać bezpłatnie i bez ograniczeń. Kopiowanie lub przetwarzanie tych materiałów w całości lub w części bez zgody autora jest zabronione. W przypadku wykorzystania rezultatów niezbędne jest podanie źródła finansowania oraz jego autorów.

Sfinansowane ze środków UE. Wyrażone poglądy i opinie są jedynie opiniami autora lub autorów i niekoniecznie odzwierciedlają poglądy i opinie Unii Europejskiej lub Europejskiej Agencji Wykonawczej ds. Edukacji i Kultury (EACEA). Unia Europejska ani EACEA nie ponoszą za nie odpowiedzialności.