



H₂
HYDROGEN



DESCRIPTION OF COMPETENCIES IN SELECTED HYDROGEN ECONOMY PROFESSIONS

SZCZECIN, 2025

RAMY DOTYCZĄCE SPECJALNOŚCI w zakresie logistyki magazynowania i transportu wodoru

W obliczu współczesnych globalnych wyzwań, takich jak przerwane łańcuchy dostaw, konflikty zbrojne oraz ograniczony dostęp do kluczowych zasobów, rośnie znaczenie alternatywnych i zrównoważonych źródeł energii. Wśród nich, wodór wyłania się jako kluczowy nośnik energii przyszłości. Wodór to również potencjał nie tylko sektora energetycznego, ale również transportu, przemysłu i wielu innych dziedzin. Potencjał wodoru jako czystego paliwa nie zostanie w pełni wykorzystany bez kilku istotnych, skutecznych i bezpiecznych rozwiązań w zakresie min. jego magazynowania i transportu.

Aspekty logistyczne w zakresie wodoru stanowią kompleksowe wyzwanie, wymagające specjalistycznej wiedzy i umiejętności, obejmujących zarówno zaawansowaną technologię, jak i rygorystyczne standardy bezpieczeństwa. Właśnie w tym kontekście, efektywna logistyka magazynowania i transportu wodoru staje się kluczowym elementem w drodze do wodorowej gospodarki.

Zapotrzebowanie na kompetencje w perspektywie 10 Lat:

Zapotrzebowanie na specjalistów z zakresu logistyki wodoru będzie w nadchodzących 10 latach **znacznie wzrastać**. Przyczyną są następujące trendy i czynniki:

1. **Transformacja energetyczna** - świat dąży do dekarbonizacji gospodarki, a wodór jest postrzegany jako kluczowy element tego procesu, szczególnie w sektorach takich jak transport, przemysł i energetyka.
2. **Rozwój technologii wodorowych** - intensywny rozwój technologii produkcji, magazynowania i transportu wodoru powoduje konieczność posiadania wykwalifikowanych specjalistów, którzy będą w stanie je wdrażać i obsługiwać.
3. **Inwestycje w infrastrukturę** - rządy i przedsiębiorstwa na całym świecie inwestują w budowę infrastruktury wodorowej, w tym rurociągów, stacji tankowania, terminali magazynowych i zakładów produkcji wodoru. Te inwestycje będą wymagały specjalistów od logistyki.
4. **Wzrost popytu na wodór** - wraz z rozwojem technologii wodorowych, popyt na wodór będzie gwałtownie rósł, co przełoży się na większe zapotrzebowanie na specjalistów ds. logistyki, którzy będą zarządzać łańcuchami dostaw.
5. **Nowe przepisy i standardy** - wraz z rozwojem rynku wodoru, będą powstawać nowe przepisy i standardy, które będą wymagały specjalistycznej wiedzy i umiejętności w ich interpretacji i wdrażaniu.

6. **Zrównoważony rozwój** - rosnąca świadomość ekologiczna i konieczność minimalizowania wpływu na środowisko będzie powodować potrzebę zatrudniania specjalistów, którzy będą wdrażać zrównoważone rozwiązania logistyczne.

7. **Edukacja i szkolenia** - wzrost zapotrzebowania na specjalistów ds. logistyki wodoru, specjalistów w zakresie magazynowania, będzie wymagał intensyfikacji programów edukacyjnych i szkoleń.

Specjaliści w zakresie Logistyki magazynowania i transportu wodoru będą bardzo poszukiwani na rynku pracy w nadchodzącej dekadzie. Ich wiedza i umiejętności będą kluczowe dla rozwoju gospodarki wodorowej nie tylko w kwestii realizacji celów klimatycznych. Będą oni mogli znaleźć zatrudnienie w firmach energetycznych, logistycznych, transportowych, a także w administracji publicznej i organizacjach badawczych.

Rynek pracy dla specjalistów z tej dziedziny będzie dynamicznie się rozwijał i stawiał wysokie wymagania kompetencyjne, co czyni tą kwalifikację atrakcyjnym wyborem dla osób poszukujących przyszłościowych kwalifikacji – kompetencji zawodowych.

Opis kwalifikacji w zakresie: **Logistyk magazynowania i transportu wodoru** - zawiera efekty przygotowuje specjalistów do skutecznego i odpowiedzialnego zarządzania łańcuchami dostaw wodoru poprzez magazynowanie, aż po transport do końcowego użytkownika.

Połączenie aspektów magazynowania i transport wodoru:

- **Technologia magazynowania:** magazynowanie wodoru pod wysokim ciśnieniem (350-700 bar) w butlach lub zbiornikach jest powszechne, ale ma ograniczenia pojemnościowe i wagowe. Magazynowanie wodoru w postaci skroplonej (LH2) jest bardziej efektywne pod względem objętości, ale wymaga bardzo niskich temperatur (-253°C) i jest energochłonne. Badane są również metody magazynowania wodoru w związkach chemicznych (np. amoniak, metanol), które pozwalają na bezpieczniejszy transport, ale wymagają dodatkowych procesów konwersji.
- **Infrastruktura transportowa:** transport wodoru wymaga specjalistycznej infrastruktury. Rurociągi wodorowe są efektywne na długich dystansach, ale ich budowa jest kosztowna. Transport drogowy i kolejowy wymagają specjalnych cystern, a transport morski - przystosowanych statków. Rozwój tej infrastruktury jest kluczowy dla efektywnej dystrybucji wodoru.
- **Bezpieczeństwo:** wódór jest łatwopalny i eksplozywny, bezpieczeństwo magazynowania i transportu jest priorytetem. Wymagane są odpowiednie normy, procedury, systemy detekcji i ochrony. Materiały konstrukcyjne zbiorników i rurociągów muszą być odporne na korozję i naprężenia.

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

Kompetencja 1: Bezpieczne i odpowiedzialne działania w zakresie organizowania magazynowania i transportu wodoru	
Stosuje zasady bezpieczeństwa w zakresie magazynowania i transportu wodoru	Identyfikuje i szczegółowo opisuje przyczyny wybuchów i pożarów związanych z wodorem. Potrafi wymienić i opisać podstawowe zasady bezpieczeństwa dotyczące magazynowania i transportu wodoru. Rozumie specyficzne właściwości wodoru, takie jak jego palność, wybuchowość oraz wymagania dotyczące przechowywania. Wyjaśnia zjawisko kruchości wodorowej i jej wpływ na materiały konstrukcyjne. Potrafi zidentyfikować potencjalne zagrożenia związane z niewłaściwym magazynowaniem lub transportem wodoru. Charakteryzuje różne scenariusze awaryjne (np. wyciek, rozszczelnienie, zapłon). Umie wskazać sytuacje ryzykowne i zaproponować odpowiednie środki zapobiegawcze. Prawidłowo stosuje procedury związane z magazynowaniem wodoru, takie jak kontrola szczelności pojemników, monitorowanie ciśnienia i temperatury. Dobiera i obsługuje odpowiednie urządzenia oraz materiały, np. zbiorniki wysokociśnieniowe lub kriogeniczne. Stosuje zasady bezpiecznego transportu wodoru, w tym zabezpieczanie pojemników, przestrzeganie oznaczeń i przepisów transportowych (np. ADR).

	Przewiduje/identyfikuje wpływ warunków zewnętrznych (np. temperatura, drgania) na bezpieczeństwo transportu. Analizuje metody detekcji wodoru i systemy alarmowe. Reaguje w sytuacji awaryjnej, np. w przypadku wycieku wodoru, zgodnie z obowiązującymi procedurami. Dobiera środki ochrony indywidualnej i grupowej, które należy zastosować w sytuacjach zagrożenia. Stosuje obowiązujące przepisy prawne oraz normy dotyczące magazynowania i transportu wodoru. Identyfikuje informacje w dokumentacji technicznej i przepisach dotyczących wodoru.
Określa właściwości fizyczne i chemiczne wodoru	Rozróżnia izotopy wodoru. Wyjaśnia, czym jest ortowodór i parawodór oraz jaki ma to wpływ na magazynowanie. Uzasadnia gęstość wodoru w różnych stanach skupienia (gaz, ciecz, stały). Wskazuje temperatury kluczowe dla wodoru (wrzenia, krytyczna, potrójny punkt). Opisuje zakres wybuchowości i granice palności wodoru w mieszaninie z powietrzem. Wyjaśnia dyfuzyjność wodoru i jej konsekwencje dla bezpieczeństwa. Analizuje właściwości korozyjne wodoru i jego wpływ na różne materiały. Opisuje wodór jako gaz łatwopalny i wybuchowy, podając dolną i górną granicę wybuchowości w mieszaninie z

	powietrzem. Uzasadnia wysoką reaktywność chemiczną wodoru, szczególnie w reakcjach z tlenem, halogenami i metalami. Wyjaśnia rolę wodoru jako reduktora w reakcjach chemicznych, np. w przemyśle chemicznym lub metalurgii. Opisuje występowanie wodoru w przyrodzie w postaci cząsteczkowej (H_2) oraz znaczenie wodoru atomowego w reakcjach chemicznych. Wymienia izotopy wodoru (protium, deuter, tryt) i ich podstawowe właściwości, podając przykłady ich zastosowania. Wyjaśnia wysokie przewodnictwo cieplne wodoru i jego znaczenie w zastosowaniach przemysłowych. Opisuje zachowanie wodoru w ekstremalnych warunkach, np. w bardzo wysokich temperaturach lub ciśnieniu, gdzie może rozpaść się na protony i elektrony.
Identyfikuje sytuacje awaryjne i krytyczne związane z wodorem	Potrafi przeprowadzić analizę ryzyka dla różnych scenariuszy logistycznych związanych z wodorem. Potrafi opracować plany awaryjne i procedury zapobiegawcze. Wyjaśnia procedury postępowania w sytuacjach awaryjnych (np. wyciek, pożar, wybuch). Stosuje zasady pierwszej pomocy w przypadku zatrucia lub oparzenia wodorem. Wyjaśnia mechanizmy powstawania

	sytuacji krytycznych, takich jak zapłon wodoru w wyniku iskrzenia, przegrzania lub nieszczelności instalacji. Rozpoznaje typowe zagrożenia związane z wodorem, w tym ryzyko wybuchu w zamkniętych przestrzeniach oraz skutki niskiej masy cząsteczkowej wodoru, prowadzącej do szybkiego rozprzestrzeniania się gazu. Charakteryzuje wpływ wysokiego ciśnienia i temperatury na przechowywanie i transport wodoru, w tym ryzyko uszkodzenia zbiorników ciśnieniowych. Wymienia przykłady awarii związanych z wodorem, takich jak kruchość wodorowa w materiałach oraz konsekwencje niewłaściwego użytkowania infrastruktury wodorowej. Wyjaśnia procedury reagowania na sytuacje awaryjne, w tym kontrolę wycieków, ewakuację stref zagrożenia oraz neutralizację zapłonu. Analizuje wpływ wodoru na bezpieczeństwo w przemyśle, w tym w odniesieniu do systemów magazynowania, transportu i użytkowania wodoru w urządzeniach technicznych. Proponuje strategie minimalizacji ryzyka, takie jak stosowanie materiałów odpornych na kruchość wodorową, kontrola ciśnienia i temperatury oraz monitorowanie atmosfery pod kątem obecności wodoru.
Kompetencja 2: Organizowanie magazynowania wodoru <i>Magazynowanie wodoru to technologia umożliwiająca przechowywanie tego gazu w bezpieczny i efektywny sposób.</i>	

Wodór jest najlżejszym pierwiastkiem w przyrodzie, a jego budowa pozwala na przechowywanie ogromnej ilości energii w małej objętości.

Poza tym jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków we wszechświecie, co z teoretycznego punktu widzenia sprawia, że jest nieskończonym źródłem energii.

- Organizuje magazynowanie sprężonego gazu Lub - Magazynuje sprężony gaz	- Opisuje różne rodzaje zbiorników ciśnieniowych (typu I, II, III, IV) i ich konstrukcję. - Wyjaśnia proces sprężania wodoru i technologie z tym związane. - Stosuje wytyczne dotyczące bezpieczeństwa i eksploatacji zbiorników ciśnieniowych. - Analizuje koszty związane z magazynowaniem sprężonego wodoru. - Obsługuje sprężarki do wodoru i systemy magazynowania sprężonego gazu. - Monitoruje parametry pracy urządzeń i systemów. - Przeprowadza podstawowe czynności serwisowe i konserwacyjne.
- Organizuje magazynowanie ciekłego wodoru Lub - Magazynuje ciekły wodór	- Opisuje proces skraplania wodoru i technologie kriogeniczne. - Charakteryzuje zbiorniki kriogeniczne i ich budowę (w tym izolację próżniową). - Stosuje/dobiera wytyczne dotyczące bezpieczeństwa i eksploatacji zbiorników kriogenicznych. - Analizuje zjawisko odparowywania (boil-off) i sposoby jego minimalizacji. - Obsługuje pompy kriogeniczne i systemy magazynowania ciekłego

	wodoru. ▪ Analizuje koszty związane z magazynowaniem ciekłego wodoru. ▪ Przeprowadza podstawowe czynności serwisowe i konserwacyjne. Wymienia i charakteryzuje materiały
▪ Organizowanie magazynowania wodoru związanego chemicznie Lub Nowoczesne formy przechowywania wodoru	▪ magazynujące wodór (np. hydridy metali, amoniak, metanol). ▪ Wyjaśnia proces absorpcji i desorpcji wodoru w materiałach magazynujących. ▪ Analizuje zalety i wady poszczególnych materiałów z punktu widzenia magazynowania i ich dalszego transportu. Identyfikuje wyzwania technologiczne ▪ związane z magazynowaniem wodoru.
Kompetencja 3: Organizowanie transportu wodoru	
Organizuje transport rurociągowy wodoru	▪ Opisuje konstrukcję rurociągów do transportu wodoru i materiały z jakich są wykonane. ▪ Stosuje zasady związane z przesyłem wodoru rurociągami (np. kruchość wodorowa, nieszczelności). ▪ Wyjaśnia metody monitorowania i kontroli rurociągów. Analizuje koszty związane z budową i eksploatacją rurociągów. Charakteryzuje budowę i wymagania
▪ Organizuje transport cysternami drogowymi i kolejowymi: Lub Realizuje transport wodoru cysternami drogowymi i/lub	▪ techniczne cystern do transportu wodoru (sprężonego i ciekłego). ▪ Stosuje wytyczne dotyczące bezpieczeństwa i procedury załadunku i rozładunku cystern.

kolejowymi	▪ Analizuje koszty transportu drogowego i kolejowego. ▪ Stosuje przepisy ADR (Umowa Europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych) w kontekście transportu wodoru. ▪ Obsługuje systemy załadunku i rozładunku cystern z wodorem. ▪ Monitoruje parametry pracy cystern podczas transportu. ▪ Korzysta z systemów monitoringu transportu.
▪ Organizuje Transport Morski Lub Realizuje transport wodoru drogą morską	▪ Charakteryzuje różne typy statków do transportu wodoru (np. zbiornikowce do LH2, statki do transportu amoniaku). ▪ Stosuje wymagania techniczne i operacyjne dla transportu morskiego wodoru. ▪ Analizuje koszty transportu morskiego i jego opłacalność dla różnych scenariuszy.
Bardzo istotną kompetencją w tym procesie jest: Kompetencja 4: Projektowanie magazynowania i logistyki wodoru Ta kompetencja będzie na pewno na wyższym poziomie	
▪ Opracowuje schematy logistyki wodoru dla konkretnego projektu	▪ Opracowuje schemat logistyki wodoru dla stacji tankowania, ▪ Opracowuje schemat logistyki wodoru dla magazynu. ▪ Dobiera odpowiednie metody magazynowania i transportu w zależności od specyfiki projektu.

	▪ Tworzy harmonogramy transportu i harmonogramy magazynowania. ▪ Planuje zapotrzebowanie na wodór. ▪ Identyfikuje potencjalne zagrożenia na każdym etapie logistyki wodoru. ▪ Opracowuje matrycę ryzyka i identyfikuje kluczowe czynniki ryzyka. ▪ Tworzy procedury zapobiegawcze.
▪ Projektuje strukturę kosztów magazynowania i transportu wodoru dla różnych wariantów. ▪	▪ Oblicza koszty magazynowania transportu sprężonego gazu. ▪ Oblicza koszty magazynowania i transportu ciekłego wodoru ▪ Oblicza koszty magazynowania i transportu wodoru związanego chemicznie ▪ Porównuje koszty i efektywność różnych rozwiązań. ▪ Monitoruje kluczowe wskaźniki wydajności (KPI) dla magazynowania i transportu wodoru. Oblicza koszty
▪ Charakteryzuje koszty magazynowania i transportu wodoru	▪ magazynowania i transportu wodoru dla różnych wariantów. Porównuje koszty i efektywność różnych rozwiązań. ▪ Wymienia i charakteryzuje główne
▪ Identyfikuje zachodzące procesy w produkcji wodoru	▪ metody produkcji wodoru (np. reforming parowy metanu, elektroliza wody, piroliza biomasy). Analizuje wpływ danej metody produkcji na czystość, koszty i logistykę dystrybucji wodoru. ▪ Rozumie pojęcie "zielonego wodoru" i jego znaczenie w kontekście

zrównoważonego rozwoju.

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:

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

2. Sporządza raporty i dokumentację z zakresu logistyki wodoru.

Kryteria weryfikacji:

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

3. Efektywnie współpracuje w zespole.

Kryteria weryfikacji:

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

4. Dzieli się wiedzą i doświadczeniem z innymi członkami zespołu.**Kryteria weryfikacji:**

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

5. Rozwiązuje konflikty w sposób konstruktywny.**Kryteria weryfikacji:**

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

6. Wdraża działania wspierające lokalne społeczności w rozwijaniu gospodarki wodorowej.**Kryteria weryfikacji:**

- o Inicjuje i uczestniczy w projektach edukacyjnych na temat wodoru skierowanych do lokalnych społeczności.
- o Współpracuje z lokalnymi organizacjami i instytucjami w celu propagowania wiedzy o technologiach wodorowych.
- o 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:**

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

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

Kryteria weryfikacji:

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

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:

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

2. Sumiennie wykonuje swoje zadania.**Kryteria weryfikacji:**

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

3. Podejmuje działania zgodne z etyką zawodową.**Kryteria weryfikacji:**

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

4. Samodzielnie planuje i realizuje powierzone zadania.**Kryteria weryfikacji:**

- o Tworzy harmonogram pracy dla wybranego zadania logistycznego.
- o Realizuje zadanie w ustalonym czasie, informując o postępach i napotkanych trudnościach.
- o Wprowadza poprawki do planu na podstawie zmieniających się warunków projektowych.

5. Wykazuje inicjatywę w poszukiwaniu nowych rozwiązań.**Kryteria weryfikacji:**

- o Proponuje innowacyjne podejścia do wyzwań logistycznych związanych z wodorem.
- o Wskazuje ulepszenia w istniejących procesach logistycznych.

- o Przedstawia rekomendacje na spotkaniach zespołowych, poparte analizą danych.

6. *Potrafi podejmować decyzje w sytuacjach kryzysowych.*

Kryteria weryfikacji:

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

7. *Jest świadomy konieczności ciągłego podnoszenia kwalifikacji.*

Kryteria weryfikacji:

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

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

Kryteria weryfikacji:

- o Prezentuje nowe technologie i przepisy podczas spotkań zespołowych.
- o Opracowuje notatki lub raporty na temat zmian regulacyjnych w logistyce wodoru.
- o Korzysta z nowo poznanych narzędzi lub technologii w praktycznych zadaniach.

9. *Uczestniczy w szkoleniach i konferencjach.*

Kryteria weryfikacji:

- o Regularnie bierze udział w wybranych szkoleniach branżowych (udokumentowane certyfikaty).
- o Przygotowuje krótkie podsumowania i wnioski z udziału w konferencjach.
- o Stosuje zdobytą wiedzę w realizowanych projektach logistycznych.

10. *Angażuje się w inicjatywy mające na celu propagowanie zrównoważonych rozwiązań w logistyce wodoru.*

Kryteria weryfikacji:

- o Uczestniczy w organizacji wydarzeń promujących technologie wodorowe (np. dni otwarte, pokazy).
- o Opracowuje propozycje działań proekologicznych w logistyce wodoru, takich jak redukcja emisji gazów cieplarnianych.
- o Monitoruje i raportuje wpływ działań logistycznych na środowisko w projektach lokalnych i międzynarodowych.

11. Inicjuje działania na rzecz współpracy pomiędzy sektorem publicznym, prywatnym i naukowym w kontekście logistyki wodoru.

Kryteria weryfikacji:

- o Opracowuje strategie współpracy międzysektorowej na poziomie regionalnym i krajowym.
- o Uczestniczy w przygotowaniu i realizacji projektów badawczo-rozwojowych z zakresu technologii wodorowych.
- o Tworzy bazy danych kontaktów interesariuszy oraz monitoruje ich zaangażowanie w projekty.

12. Angażuje się w międzynarodowe projekty logistyczne, pełniąc aktywną rolę w zarządzaniu i koordynacji działań.

- o Organizuje i prowadzi spotkania online oraz warsztaty z partnerami zagranicznymi.
- o Śledzi i wdraża międzynarodowe standardy (np. normy ISO, regulacje UE) w realizowanych projektach.

Dla powyższych efektów i kryteriów weryfikacji zaproponowano opracowanie następujących modułów. Moduły mogłyby stanowić oddzielne mini learningi - dzięki czemu

- a) łatwiej będzie je przyswajać,
- b) będzie można je aktualizować i rozbudowywać, bez zaburzania części, które nie wymagają zmian, c) będzie można robić je jako element ścieżki w mikropoświadczeniach prowadzące do uzyskania kwalifikacji (jeśli zostanie zgłoszona),
- d) mogą stanowić wsad do innych kwalifikacji (pokrewnych)

Obecnie rozpisane moduły mają następujące czasy trwania, w sumie ok. 160h, w tym 140 godzin to learning plus ćwiczenia, a 20 to warsztaty stacjonarne:

- **Moduł 1: Bezpieczeństwo i analiza ryzyka w postępowaniu z wodorem – 24 godziny**
- **Moduł 2: Wprowadzenie do wodoru i jego właściwości – 20 godzin**
- **Moduł 3: Technologie magazynowania wodoru – 24 godziny**
- **Moduł 4: Metody transportu wodoru – 20 godzin**
- **Moduł 5: Logistyka wodoru a zrównoważony rozwój i ekologia – 16 godzin**
- **Moduł 6: Podstawy logistyki i zarządzania łańcuchem dostaw wodoru – 20 godzin**
- **Moduł 7: Zarządzanie projektami logistycznymi w gospodarce wodorowej – 20 godzin**
- **Modułu 8: Prawo i regulacje w gospodarce wodorowej – 16 godzin**

Moduły mogą stanowić podstawy do opracowania programu szkoleń, które w zależności od potrzeb rynkowych mogą być dedykowane danym grupom odbiorców.

Zaproponowana tematyka modułów w szczególności polecana/zalecana jest dla:

- Specjalistów ds. logistyki i transportu, którzy nabędą dodatkowe umiejętności w zakresie nowych technologii wodorowych
- Inżynierów i techników z branży energetycznej rozszerzających swoje kompetencje o aspekty wodoru
- Pracowników firm transportowych i logistycznych, dla których wodór będzie nowym wyzwaniem jak i koniecznością

- Absolwentów uczelni technicznych i przyrodniczych, gdyż wodór jest istotnym wyzwaniem min. dla aspektów klimatycznych i zrównoważonego rozwoju.
- Osób poszukujących specjalistycznych kwalifikacji w zakresie nowych technologii takich jak np. wodór.

Propozycja modułów skierowana jest/będzie do osób zainteresowanych pracą w sektorze energetyki odnawialnej, logistyki, transportu, chemii i pokrewnych dziedzinach jak również w motoryzacji i wielu innych branżach otwartych na nowe technologie.

Po zrealizowaniu modułów uczestnicy będą:

- Posiadać ~~dogłębną~~ wiedzę na temat właściwości wodoru i technologii jego magazynowania i transportu.
- Znać regulacje prawne i normy dotyczące logistyki wodoru.
- Umieć planować, organizować i optymalizować procesy logistyczne.
- Obsługiwać urządzenia i technologie związane z magazynowaniem i transportem wodoru.
- Przeprowadzać analizę ryzyka i reagować w sytuacjach awaryjnych.
- Współpracować efektywnie w zespołach i komunikować się jasno i precyzyjnie.
- Być świadomymi roli logistyki wodoru w zrównoważonym rozwoju.

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 godzin):

- Regulacje UE (np. dyrektywa Seveso III, przepisy ADR, IMDG).
- 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. Izotopy wodoru i ich charakterystyka (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw.)

- Wprowadzenie do izotopów wodoru: prot, deuter i tryt – budowa, właściwości fizyczne i chemiczne.
- Rola izotopów w przemyśle i technologii, w tym zastosowanie deuteru i trytu w energetyce jądrowej.
- Porównanie właściwości izotopów wodoru na podstawie danych literaturowych i eksperymentalnych..

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” (2 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.

MODUŁ 3: TECHNOLOGIE MAGAZYNOWANIA WODORU

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

Poziom ERK: 5-6

- **Cel:** Poznanie różnych metod magazynowania wodoru, ich zalet i wad oraz wymagań technicznych.
- **Tematy:**

1. Magazynowanie sprężonego gazu (3 godz. - wykłady, 3 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Rodzaje zbiorników ciśnieniowych (typu I, II, III, IV): budowa, materiały konstrukcyjne i ich zastosowanie.
- Proces sprężania wodoru: urządzenia sprężające, wymogi techniczne i parametry operacyjne.
- Bezpieczeństwo i eksploatacja zbiorników ciśnieniowych: zasady użytkowania, ryzyka i systemy zabezpieczeń.
- Koszty magazynowania sprężonego wodoru: analiza czynników wpływających na koszty.
- Analiza właściwości zbiorników różnych typów i ich zastosowań w praktyce.
- Obliczenia związane z procesem sprężania wodoru (np. praca sprężarki, zużycie energii).
- Ocena ryzyk związanych z eksploatacją zbiorników ciśnieniowych na podstawie studiów przypadku.
- Symulacja procesu sprężania i magazynowania wodoru z wykorzystaniem modeli komputerowych.

2. Magazynowanie ciekłego wodoru (3 godz. - wykłady, 3 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Proces skraplania wodoru: technologia kriogeniczna, wymogi energetyczne i kluczowe parametry procesu.
- Zbiorniki kriogeniczne: budowa, rodzaje izolacji oraz technologie minimalizujące straty ciepła.
- Bezpieczeństwo i eksploatacja zbiorników kriogenicznych: ryzyko zamarzania, wycieki, systemy zabezpieczeń.
- Zjawisko odparowywania (boil-off): przyczyny, wpływ na eksploatację oraz metody minimalizacji strat.
- Koszty magazynowania ciekłego wodoru: analiza ekonomiczna w kontekście technologii kriogenicznej.
- Obliczenia strat energetycznych związanych ze skraplaniem wodoru.
- Analiza przypadków wycieków ciekłego wodoru i opracowanie procedur bezpieczeństwa.
- Dobór zbiorników kriogenicznych do konkretnych zastosowań przemysłowych.
- Projektowanie systemu magazynowania ciekłego wodoru dla wybranego scenariusza (np. transport wodoru do stacji paliw).

MODUŁ 4: METODY TRANSPORTU WODORU

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

Poziom ERK: 5-6

- **Cel:** Poznanie różnych metod transportu wodoru, ich zalet i wad oraz wymagań technicznych i regulacyjnych.

- **Tematy:**

1. Transport rurociągami (3 godz. - wykłady, 3 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Konstrukcja i materiały rurociągów do wodoru: dobór materiałów odpornych na kruchość wodorową, projektowanie systemów przesyłowych.
- Wyzwania przesyłu wodoru rurociągami: kruchość wodorowa, nieszczelności, wpływ ciśnienia i temperatury na eksploatację.
- Metody monitorowania i kontroli rurociągów: systemy detekcji wycieków, inspekcja stanu technicznego.
- Koszty budowy i eksploatacji rurociągów: analiza ekonomiczna w kontekście przesyłu wodoru na dużą skalę.
- Studium przypadku: analiza problemów technicznych przesyłu wodoru w istniejących rurociągach.
- Obliczenia: wpływ ciśnienia i temperatury na wydajność przesyłu wodoru rurociągami.
- Symulacja procesu przesyłu wodoru rurociągiem, uwzględniająca monitorowanie wycieków.
- Opracowanie modelu rurociągu do przesyłu wodoru z uwzględnieniem wymagań technicznych i kosztów inwestycyjnych.

2. Transport cysternami drogowymi i kolejowymi (3 godz. - wykłady, 3 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Budowa cystern do wodoru (sprężonego i ciekłego): wymagania techniczne, materiały konstrukcyjne, izolacja.
- Bezpieczeństwo, załadunek i rozładunek cystern: procedury operacyjne, systemy zabezpieczeń, minimalizacja strat wodoru.
- Koszty transportu drogowego i kolejowego: analiza kosztów logistycznych i ich wpływ na opłacalność.
- Przepisy ADR (Umowa Europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych): kluczowe regulacje dotyczące wodoru.
- Analiza przypadków wycieków wodoru podczas transportu cysternami oraz opracowanie procedur reagowania.
- Obliczenia związane z załadunkiem i rozładunkiem cystern w różnych warunkach.
- Projektowanie systemu logistycznego dla transportu wodoru cysternami na wybrane odległości.

- Symulacja procesu transportu wodoru cysterną drogową lub kolejową, uwzględniająca załadunek, transport i rozładunek.

3. Transport morski (2 godz. - wykłady, 2 godz. - ćw., 2 - godz. - warsztaty)

- Typy statków do transportu wodoru (LH2, amoniak): budowa, technologie kriogeniczne, systemy zabezpieczeń.
- Wymagania techniczne i operacyjne: specyfika załadunku, transportu i rozładunku wodoru w portach.
- Koszty i opłacalność transportu morskiego: analiza ekonomiczna w kontekście globalnego rynku wodoru.
- Analiza porównawcza kosztów i opłacalności transportu wodoru drogą morską w różnych formach (LH2, amoniak).
- Obliczanie strat odparowywania (boil-off) wodoru podczas transportu morskiego.
- Studium przypadku: opracowanie koncepcji transportu wodoru drogą morską na wybranej trasie, z uwzględnieniem wyzwań technicznych i regulacyjnych.

MODUŁ 5: LOGISTYKA WODORU A ZRÓWNOWAŻONY ROZWÓJ I EKOLOGIA

Czas trwania: 16 godzin (8 godzin wykładów, 4 godziny ćwiczeń, 4 godziny warsztatów).

Poziom ERK: 6

- **Cel:** Zrozumienie wpływu logistyki wodoru na środowisko i poznanie metod minimalizacji tego wpływu.
- **Tematy:**

1. Emisje gazów cieplarnianych związane z logistyką wodoru (2 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Analiza emisji gazów cieplarnianych w różnych etapach logistyki wodoru (produkcja, transport, magazynowanie).
- Porównanie emisji CO₂ w przypadku wodoru „zielonego”, „niebieskiego” i „szarego”.
- Globalny wpływ emisji z procesów logistycznych na zmiany klimatyczne.
- Obliczenia emisji CO₂ dla różnych metod transportu wodoru na zadanej odległości.
- Studium przypadku: analiza emisji gazów cieplarnianych związanych z transportem wodoru w wybranym scenariuszu logistycznym.
- Opracowanie strategii logistycznej zmniejszającej emisje gazów cieplarnianych dla wybranego modelu dystrybucji wodoru.

2. Rola logistyki w redukcji śladu węglowego (2 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Kluczowe strategie logistyczne w redukcji śladu węglowego w sektorze wodorowym.
- Optymalizacja tras transportowych a minimalizacja emisji.
- Wdrażanie technologii cyfrowych (np. IoT, AI) w monitorowaniu śladu węglowego w logistyce wodoru.
- Analiza porównawcza śladu węglowego w różnych modelach transportu wodoru (rurociągi, transport morski, cysterny).
- Symulacja wpływu zmiany parametrów logistycznych (np. trasa, rodzaj transportu) na redukcję emisji.
- Projektowanie modelu logistyki wodoru z uwzględnieniem minimalizacji śladu węglowego i optymalizacji efektywności energetycznej.

3. Metody odzysku i recyklingu wodoru (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Technologie odzyskiwania wodoru w procesach przemysłowych i logistycznych.
- Praktyczne zastosowanie recyklingu wodoru: ograniczanie strat podczas transportu i magazynowania.
- Analiza kosztów i korzyści wdrażania systemów odzysku wodoru w łańcuchach logistycznych.
- Opracowanie propozycji wdrożenia systemu odzysku wodoru w wybranym procesie logistycznym.

4. Technologie redukcji emisji NOx i innych zanieczyszczeń (2 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Źródła emisji NOx i innych zanieczyszczeń w logistyce wodoru.
- Technologie redukcji emisji w transporcie wodoru (np. filtry katalityczne, optymalizacja spalania).
- Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w logistyce wodoru.
- Symulacja wpływu zastosowania nowoczesnych technologii redukujących emisję na środowisko naturalne.
- Dyskusja i analiza przypadków wdrożenia technologii redukcji emisji w logistyce wodoru w różnych krajach.

5. Rola ogniw paliwowych w logistyce (1 godz. - wykłady, 1 godz. - ćw., 1 - godz. - warsztaty)

- Zasada działania ogniw paliwowych i ich zastosowanie w transporcie wodoru.
- Zalety ogniw paliwowych w porównaniu z tradycyjnymi źródłami energii.
- Wpływ wykorzystania ogniw paliwowych na zrównoważony rozwój w logistyce wodoru.
- Analiza efektywności energetycznej ogniw paliwowych w kontekście logistyki wodoru.
- Projektowanie systemu logistycznego opartego na wykorzystaniu ogniw paliwowych do zasilania infrastruktury transportowej.

MODUŁ 6: PODSTAWY LOGISTYKI I ZARZĄDZANIA ŁAŃCUCHEM DOSTAW WODORU

Czas trwania: 20 godzin (10 godzin wykładów, 6 godzin ćwiczeń, 4 godziny warsztatów).

Poziom ERK: 6

- **Cel:** Zdobycie wiedzy i umiejętności z zakresu logistyki, które są niezbędne do efektywnego zarządzania łańcuchem dostaw wodoru.

- **Tematy:**

1. Analiza łańcucha dostaw wodoru od produkcji do użytkownika końcowego (4 godziny):

- Omówienie etapów produkcji, magazynowania, transportu i dystrybucji wodoru.
- Identyfikacja kluczowych wyzwań na poszczególnych etapach (np. bezpieczeństwo, koszty, zgodność z przepisami).
- Mapowanie łańcucha dostaw z uwzględnieniem roli różnych technologii (np. elektrolizery, stacje tankowania).

2. Planowanie zapasów wodoru (3 godziny):

- Metody prognozowania zapotrzebowania na wodór.
- Strategiczne podejście do zarządzania zapasami w kontekście technologii wodorowych.
- Scenariusze zarządzania zapasami w sytuacjach kryzysowych (np. przerwy w dostawach).

3. Optymalizacja tras transportowych (3 godziny):

- Specyfika transportu wodoru różnymi środkami (cysterny, rurociągi, transport morski).
- Techniki optymalizacji tras z uwzględnieniem kosztów, bezpieczeństwa i ograniczeń prawnych.
- Wykorzystanie narzędzi cyfrowych do planowania tras (np. systemy GPS, oprogramowanie optymalizacyjne).

4. Zarządzanie magazynem wodoru (3 godziny):

- Specyfikacja magazynów wodorowych (np. ciśnieniowe, kriogeniczne).
- Standardy bezpieczeństwa i zgodność z regulacjami w zarządzaniu magazynami.
- Technologie automatyzacji magazynów dedykowane dla wodoru.

5. Metody optymalizacji procesów logistycznych (3 godziny):

- Wprowadzenie do metod Lean i Six Sigma w logistyce wodoru.
- Analiza procesów logistycznych z perspektywy minimalizacji strat i poprawy efektywności.
- Przykłady optymalizacji procesów logistycznych w realnych projektach.

6. Wykorzystanie oprogramowania WMS i TMS (4 godziny – ćwiczenia i warsztaty):

- Praktyczne zastosowanie systemów Warehouse Management System (WMS) i Transport Management System (TMS) w gospodarce wodorowej.
- Omówienie integracji systemów logistycznych z technologiami IoT i AI.
- Warsztaty: Symulacja zarządzania magazynem wodoru i transportem z wykorzystaniem WMS i TMS.

MODUŁ 7: ZARZĄDZANIE PROJEKTAMI LOGISTYCZNYMI W GOSPODARCE WODOROWEJ

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

Poziom ERK: 6

Cel:

Zdobycie umiejętności planowania, zarządzania i monitorowania projektów związanych z logistyką wodoru w dynamicznie zmieniających się warunkach rynkowych..

Tematy:

1. Podstawy zarządzania projektami (6 godz.):

- o Tworzenie harmonogramów i planów projektów logistycznych.
- o Analiza budżetów i kosztorysów.
- o Zarządzanie zmianą w projekcie.

2. Specyfika projektów w gospodarce wodorowej (8 godz.):

- o Zarządzanie infrastrukturą: stacje tankowania, magazyny, rurociągi.
- o Zarządzanie technologiami wodorowymi w projektach logistycznych.
- o Omówienie zrealizowanych projektów logistycznych w gospodarce wodorowej, ich wyzwań i sukcesów.

3. Warsztaty praktyczne (6 godz.):

- o Tworzenie studium wykonalności dla projektu infrastrukturalnego związanego z wodorem.

MODUŁ 8: PRAWO I REGULACJE W GOSPODARCE WODOROWEJ

Czas trwania: 16 godzin (8 godzin wykładów, 4 godziny ćwiczeń, 4 godziny warsztatów).

Poziom ERK: 6

Cel:

Zapoznanie uczestników z krajowymi i międzynarodowymi przepisami oraz regulacjami prawnymi dotyczącymi gospodarki wodorowej i logistyki.

Tematy:**1. Podstawy regulacji prawnych w logistyce wodoru (6 godz.):**

- Aktualne krajowe regulacje prawne dotyczące gospodarki wodorowej (2 godziny):
 - Omówienie polskich przepisów regulujących rozwój gospodarki wodorowej, w tym definicje, zasady certyfikacji i działalności operatorów systemów wodorowych.
- Międzynarodowe standardy i regulacje (2 godziny):
 - Analiza międzynarodowych norm i standardów dotyczących technologii wodorowych, takich jak normy ISO oraz regulacje Unii Europejskiej.
- Bezpieczeństwo w transporcie i magazynowaniu wodoru (2 godziny):
 - Przegląd przepisów dotyczących bezpieczeństwa w transporcie i magazynowaniu wodoru, w tym regulacje ADR (Umowa europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych) oraz przepisy IMDG (Międzynarodowy kodeks morski towarów niebezpiecznych).

2. Aspekty środowiskowe i etyczne (6 godz.):

- Zasady odpowiedzialności środowiskowej w gospodarce wodorowej.
- Analiza przypadków łamania regulacji i ich konsekwencje.

3. Warsztaty praktyczne (4 godz.):

- Analiza regulacji dla hipotetycznego projektu transportowego z uwzględnieniem krajowych i międzynarodowych przepisów.

FRAMEWORK FOR SPECIALISATION in *hydrogen storage and transport logistics*

In the face of contemporary global challenges such as disrupted supply chains, armed conflicts and limited access to key resources, the importance of alternative and sustainable energy sources is growing. Among them, hydrogen is emerging as a key energy carrier of the future. Hydrogen also has potential not only in the energy sector, but also in transport, industry and many other areas. The potential of hydrogen as a clean fuel will not be fully exploited without several important, effective and safe solutions in areas such as its storage and transport.

The logistical aspects of hydrogen are a complex challenge, requiring specialist knowledge and skills, including both advanced technology and rigorous safety standards. It is in this context that effective hydrogen storage and transport logistics become a key element on the road to a hydrogen economy.

Demand for skills in the next 10 years:

The demand for specialists in hydrogen logistics will **increase significantly** over the next 10 years. This is due to the following trends and factors:

8. **Energy transition** – the world is moving towards decarbonisation of the economy, and hydrogen is seen as a key element of this process, especially in sectors such as transport, industry and energy.
9. **Development of hydrogen technologies** - the intensive development of hydrogen production, storage and transport technologies creates a need for qualified specialists who will be able to implement and operate them.
10. **Investments in infrastructure** – governments and companies around the world are investing in the construction of hydrogen infrastructure, including pipelines, refuelling stations, storage terminals and hydrogen production plants. These investments will require logistics specialists.
11. **Increased demand for hydrogen** – as hydrogen technologies develop, demand for hydrogen will grow rapidly, which will translate into greater demand for logistics specialists to manage supply chains.
12. **New regulations and standards** – as the hydrogen market develops, new regulations and standards will emerge that will require specialist knowledge and skills to interpret and implement.
13. **Sustainable development** – growing environmental awareness and the need to minimise environmental impact will create a need to hire specialists who will implement sustainable logistics solutions.
14. **Education and training** – the growing demand for hydrogen logistics specialists and storage specialists will require the intensification of educational programmes and training.

Specialists in hydrogen storage and transport logistics will be in high demand on the labour market in the coming decade. Their knowledge and skills will be crucial for the development of the hydrogen economy, not only in terms of achieving climate goals. They will be able to find employment in energy, logistics and transport companies, as well as in public administration and research organisations. The labour market for

specialists in this field will develop dynamically and set high competence requirements, which makes this qualification an attractive choice for those seeking future-oriented qualifications – professional competences. Description of

the qualification in the field of **hydrogen storage and transport**

logistics – includes outcomes prepares specialists for the effective and responsible management of hydrogen supply chains, from storage to transport to the end user.

Combination of hydrogen storage and transport aspects:

- **Storage technology:** high-pressure hydrogen storage (350-700 bar) in cylinders or tanks is common, but has capacity and weight limitations. Storing hydrogen in liquid form (LH₂) is more efficient in terms of volume, but requires very low temperatures (-253°C) and is energy-intensive. Methods of storing hydrogen in chemical compounds (e.g. ammonia, methanol) are also being investigated, which allow for safer transport but require additional conversion processes.
- **Transport infrastructure:** hydrogen transport requires the development of specialised infrastructure. Hydrogen pipelines are efficient over long distances, but their construction is costly. Road and rail transport require special tankers, and maritime transport requires specially adapted ships. The development of this infrastructure is key to the efficient distribution of hydrogen.
- **Safety:** Hydrogen is flammable and explosive, so safety in storage and transport is a priority. Appropriate standards, procedures, detection and protection systems are required. The construction materials of tanks and pipelines must be resistant to corrosion and stress.

The table below lists the learning outcomes and assessment criteria for each competency:

Competence 1: Safe and responsible actions in the organisation of hydrogen storage and transport

Applies safety rules for hydrogen storage and transport

Identifies and describes in detail the causes of hydrogen-related explosions and fires.

Is able to list and describe the basic safety rules for hydrogen storage and transport.

Understands the specific properties of hydrogen, such as its flammability, explosiveness and storage requirements.

Explains the phenomenon of hydrogen embrittlement and its impact on construction materials.

Can identify potential hazards associated with improper storage or transport of hydrogen.

Characterises various emergency scenarios (e.g. leakage, unsealing, ignition).

	Is able to identify risky situations and propose appropriate preventive measures. Correctly applies procedures related to hydrogen storage, such as checking the tightness of containers, monitoring pressure and temperature. Selects and operates appropriate equipment and materials, e.g. high-pressure or cryogenic tanks. Applies the principles of safe hydrogen transport, including securing containers, complying with transport markings and regulations (e.g. ADR). Anticipates/identifies the impact of external conditions (e.g. temperature, vibrations) on transport safety. Analyses hydrogen detection methods and alarm systems. Responds to emergencies, e.g. hydrogen leaks, in accordance with applicable procedures. Selects personal and collective protective equipment to be used in emergency situations. Applies applicable legal regulations and standards for the storage and transport of hydrogen. Identifies information in technical documentation and regulations concerning hydrogen. Distinguishes between hydrogen
Determines the physical and chemical properties of hydrogen.	isotopes. Explains what orthohydrogen and parahydrogen are and how they affect storage. Justifies the density of hydrogen in

	different states of aggregation (gas, liquid, solid). Indicates key temperatures for hydrogen (boiling point, critical point, triple point). Describes the explosive range and flammability limits of hydrogen in a mixture with air. Explains the diffusivity of hydrogen and its consequences for safety. Analyses the corrosive properties of hydrogen and its effect on various materials. Describes hydrogen as a flammable and explosive gas, giving the lower and upper explosion limits in a mixture with air. Justifies the high chemical reactivity of hydrogen, especially in reactions with oxygen, halogens and metals. Explains the role of hydrogen as a reducing agent in chemical reactions, e.g. in the chemical industry or metallurgy. Describes the occurrence of hydrogen in nature in molecular form (H_2) and the importance of atomic hydrogen in chemical reactions. Lists hydrogen isotopes (protium, deuterium, tritium) and their basic properties, giving examples of their applications. Explains the high thermal conductivity of hydrogen and its importance in industrial applications. Describes the behaviour of hydrogen in extreme conditions, e.g. at very high temperatures or pressures, where it can break down into protons and electrons.
--	--

Identifies emergency and critical situations related to hydrogen.

Is able to conduct a risk analysis for various hydrogen-related logistics scenarios.

Is able to develop emergency plans and preventive procedures.

Explains emergency procedures (e.g. leak, fire, explosion).

Applies first aid rules in case of hydrogen poisoning or burns.

Explains the mechanisms of critical situations, such as hydrogen ignition due to sparking, overheating or installation leaks.

Recognises typical hazards associated with hydrogen, including the risk of explosion in confined spaces and the effects of hydrogen's low molecular weight, which leads to rapid gas dispersion.

Describes the impact of high pressure and temperature on hydrogen storage and transport, including the risk of damage to pressure vessels.

Lists examples of hydrogen-related failures, such as hydrogen embrittlement in materials and the consequences of improper use of hydrogen infrastructure.

Explains emergency response procedures, including leak control, evacuation of danger zones and ignition neutralisation.

Analyses the impact of hydrogen on industrial safety, including in relation to hydrogen storage, transport and use in technical equipment.

It proposes risk minimisation strategies, such as the use of hydrogen embrittlement-resistant materials, pressure and temperature control, and

	monitoring the atmosphere for the presence of hydrogen.
Competence 2: Organising hydrogen storage <i>Hydrogen storage is a technology that enables the safe and efficient storage of this gas.</i> <i>Hydrogen is the lightest element in nature, and its structure allows it to store a huge amount of energy in a small volume.</i> <i>In addition, it is one of the most abundant elements in the universe, which, from a theoretical point of view, makes it an infinite source of energy.</i>	
- Organises the storage of compressed gas Or - Stores compressed gas	- Describes different types of pressure vessels (type I, II, III, IV) and their design. - Explains the process of hydrogen compression and related technologies. - Applies guidelines for the safety and operation of pressure vessels. - Analyses the costs associated with compressed hydrogen storage. - Operates hydrogen compressors and compressed gas storage systems. - Monitors the operating parameters of equipment and systems. - Performs basic servicing and maintenance activities.
Organises the storage of liquid hydrogen.	Describes the hydrogen liquefaction process and cryogenic technologies.

Or Stores liquid hydrogen	- Characterises cryogenic tanks and their construction (including vacuum insulation). - Applies/selects guidelines for the safety and operation of cryogenic tanks. - Analyses the phenomenon of boil-off and ways to minimise it. - Operates cryogenic pumps and liquid hydrogen storage systems. - Analyses the costs associated with liquid hydrogen storage. - Performs basic service and maintenance activities. - Lists and characterises hydrogen
Organising the storage of chemically bound hydrogen Or Modern forms of hydrogen storage	- storage materials (e.g. metal hydrides, ammonia, methanol). Explains the process of hydrogen absorption and desorption in storage materials. Analyses the advantages and - disadvantages of individual materials from the point of view of storage and further transport. Identifies the technological challenges - associated with hydrogen storage.
Competence 3: Organising hydrogen transport	
Organises hydrogen pipeline transport	- Describes the design of pipelines for hydrogen transport and the materials from which they are made. - Applies the principles related to the transmission of hydrogen through pipelines (e.g. hydrogen embrittlement, leaks). - Explains methods for monitoring and

	controlling pipelines. Analyses the costs associated with the construction and operation of pipelines.
Organises transport by road and rail tankers: Or Carries out hydrogen transport by road and/or rail tankers	- Describes the construction and technical requirements of tankers for transporting hydrogen (compressed and liquid). - Applies safety guidelines and procedures for loading and unloading tankers. - Analyses road and rail transport costs. - Applies ADR regulations (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) in the context of hydrogen transport. - Operates hydrogen tanker loading and unloading systems. - Monitors the operating parameters of tankers during transport. - Uses transport monitoring systems.
Organises maritime transport Or Carries out hydrogen transport by sea	- Characterises different types of vessels for hydrogen transport (e.g. LH2 tankers, ammonia transport vessels). - Applies technical and operational requirements for the maritime transport of hydrogen. - Analyses the costs of maritime transport and its profitability for various scenarios.
<i>A very important competence in this process is:</i>	

Competence 4: Designing hydrogen storage and logistics

This competence will certainly be at a higher level

▪ Develops hydrogen logistics schemes for a specific project	▪ Develops a hydrogen logistics scheme for refuelling stations ▪ Develops hydrogen logistics schemes for storage facilities. ▪ Selects appropriate storage and transport methods depending on the specifics of the project. ▪ Creates transport schedules and storage schedules. ▪ Plans hydrogen demand. ▪ Identifies potential risks at each stage of hydrogen logistics. ▪ Develops a risk matrix and identifies key risk factors. ▪ Creates preventive procedures. ▪
▪ Designs the cost structure for hydrogen storage and transport for different variants. ▪	▪ Calculates the costs of compressed gas storage and transport. ▪ Calculates the costs of storing and transporting liquid hydrogen. ▪ Calculates the costs of storing and transporting chemically bound hydrogen. ▪ Compares the costs and efficiency of different solutions. ▪ Monitors key performance indicators (KPIs) for hydrogen storage and transport. ▪
▪ Characterises the costs of hydrogen storage and transport.	▪ Calculates the costs of hydrogen storage and transport for different variants. ▪ Compares the costs and efficiency of

	different solutions.
Identifies the processes involved in hydrogen production	- Lists and characterises the main methods of hydrogen production (e.g. steam methane reforming, water electrolysis, biomass pyrolysis). - Analyses the impact of a given production method on the purity, costs and logistics of hydrogen distribution. - Understands the concept of "green hydrogen" and its importance in the context of sustainable development.

Personal competences

- Communicates clearly and precisely with other team members and customers.
- Prepares reports and documentation on hydrogen logistics.
- Works effectively in a team.
- Shares knowledge and experience with other team members.
- Resolves conflicts constructively.
- Implements measures to support local communities in developing the hydrogen economy.
- Builds and develops relationships with representatives of industry, local government and academia.
- Adapts work to the requirements of the global market and cultural differences.

Personal competences with additional verification criteria

9. Communicates clearly and precisely with other team members and customers.

Verification criteria:

- o Conducts effective conversations with clients and the team in simulated scenarios (e.g. discussing a logistics plan).
- o Creates clear and precise messages, adapting the style to the recipient (e.g. technical details for the team, simplified information for the customer).
- o Uses communication support tools such as presentations, visual

reports and summary documents.

10. Prepares reports and documentation on hydrogen logistics.

Verification criteria:

- o Prepares a report on the implementation of a logistics project, including technical data, risk analysis and recommendations.
- o Develops clear instructions and procedures for the operation of logistics equipment.
- o Prepares documentation in accordance with legal requirements and industry standards (e.g. reports in accordance with ADR standards).

11. Works effectively in a team.

Verification criteria:

- o Actively participates in simulated group tasks (e.g. joint development of a logistics plan).
- o Supports team members in solving technical or organisational problems.
- o Provides constructive feedback and suggestions to improve team performance.

12. Shares knowledge and experience with other team members.

Verification criteria:

- o Conducts a short training session or presentation for the team on a selected aspect of hydrogen logistics.
- o Shares developed materials (e.g. reports, checklists) with other team members.
- o Engages in mentoring or coaching less experienced team members.

13. Resolves conflicts in a constructive manner.

Verification criteria:

- o Conducts a simulation of conflict resolution within the team (e.g. differences of opinion regarding the transport plan).
- o Identifies the causes of the conflict and proposes realistic solutions.
- o Uses negotiation and mediation techniques in difficult team situations.

14. Implements measures to support local communities in developing the hydrogen economy.

Verification criteria:

- o It initiates and participates in educational projects on hydrogen aimed at

local communities.

- o It cooperates with local organisations and institutions to promote knowledge about hydrogen technologies.
- o Prepares promotional materials (e.g. brochures, presentations) on the benefits of the hydrogen economy for local communities.

15. Builds and develops relationships with representatives of industry, local government and academia.

Verification criteria:

- o Organises meetings and workshops with representatives of various sectors to exchange knowledge and experience.
- o Creates reports summarising the needs and expectations of various stakeholders in the context of the hydrogen economy.
- o Implements joint initiatives, such as pilot or demonstration projects in the field of hydrogen logistics.

16. Adapts its work to global market requirements and cultural differences.

Verification criteria:

- o Conducts negotiations and cooperation with foreign partners, taking into account cultural and legal differences.
- o Prepares project documentation and reports in English.
- o Participates in international industry events (conferences, trade fairs, training courses) and applies the knowledge gained in local projects.

Social competences:

- Is responsible for their own safety and that of others.
- Conscientiously performs their tasks.
- Acts in accordance with professional ethics.
- Independently plans and carries out assigned tasks.
- Shows initiative in seeking new solutions.
- Is able to make decisions in crisis situations.
- Is aware of the need for continuous professional development.
- Keeps abreast of technological developments and changes in regulations.
- Participates in training courses and conferences.

- Engages in initiatives aimed at promoting sustainable solutions in hydrogen logistics.
- Initiates activities for cooperation between the public, private and scientific sectors in the context of hydrogen logistics.
- He is involved in international logistics projects, playing an active role in the management and coordination of activities.

Social competences with verification criteria

13. *Is responsible for their own safety and that of others.*

Verification criteria:

- o Conducts simulations of situations requiring a response to a safety threat.
- o Identifies potential threats in the logistics process and proposes preventive measures.
- o Monitors compliance with safety rules among team members.

14. *Conscientiously performs their tasks.*

Verification criteria:

- o Regularly submits reports and documentation in accordance with the agreed schedule.
- o Performs tasks with due diligence, meeting project guidelines.
- o Engages in the achievement of team goals by supporting other team members.

15. *Acts in accordance with professional ethics.*

Verification criteria:

- o Analyses the scenario for compliance with professional ethics.
- o Makes decisions that take into account the well-being of the team and clients.
- o Assesses the consequences of professional actions from the perspective of social responsibility.

16. *Independently plans and carries out assigned tasks.*

Verification criteria:

- o Creates a work schedule for a selected logistics task.
- o Completes the task within the agreed time frame, reporting on progress and any difficulties encountered.

- o Makes adjustments to the plan based on changing project conditions.

17. *Shows initiative in seeking new solutions.*

Verification criteria:

- o Proposes innovative approaches to hydrogen-related logistical challenges.
- o Identifies improvements in existing logistics processes.
- o Presents recommendations at team meetings, supported by data analysis.

18. *Is able to make decisions in crisis situations.*

Verification criteria:

- o Simulates a response to a crisis situation (e.g. hydrogen leak, transport failure).
- o Assesses possible scenarios and selects the optimal option.
- o Implements decisions quickly and effectively, minimising losses and risks.

19. *Is aware of the need for continuous professional development.*

Verification criteria:

- o Prepares a professional development plan that includes training and certifications.
- o Assesses their own skills in the context of labour market needs.
- o Regularly updates knowledge of new technologies and logistics solutions.

20. *Keeps track of technological innovations and changes in regulations.*

Verification criteria:

- o Presents new technologies and regulations during team meetings.
- o Prepares notes or reports on regulatory changes in hydrogen logistics.
- o Uses newly learned tools or technologies in practical tasks.

21. *Participates in training courses and conferences.*

Verification criteria:

- o Regularly participates in selected industry training courses (documented certificates).
- o Prepares short summaries and conclusions from participation in

conferences.

- o Applies acquired knowledge in logistics projects.

22. Engages in initiatives aimed at promoting sustainable solutions in hydrogen logistics.

Verification criteria:

- o Participates in the organisation of events promoting hydrogen technologies (e.g. open days, demonstrations).
- o Develops proposals for environmentally friendly measures in hydrogen logistics, such as reducing greenhouse gas emissions.
- o Monitors and reports on the environmental impact of logistics activities in local and international projects.

23. Initiates cooperation between the public, private and scientific sectors in the context of hydrogen logistics.

Verification criteria:

- o Develops strategies for cross-sector cooperation at regional and national level.
- o Participates in the preparation and implementation of research and development projects in the field of hydrogen technologies.
- o Creates databases of stakeholder contacts and monitors their involvement in projects.

24. Engages in international logistics projects, playing an active role in the management and coordination of activities.

- o Organises and conducts online meetings and workshops with foreign partners.
- o Monitors and implements international standards (e.g. ISO standards, EU regulations) in ongoing projects.

The following modules have been proposed for the above outcomes and verification criteria. The modules could constitute separate mini-learning courses, which would make them

- a) they will be easier to assimilate,
- b) they can be updated and expanded without disrupting the parts that do not require changes, c) they can be made part of a micro-certification path leading to a qualification (if requested),
- d) they could be used as input for other (related) qualifications

The currently scheduled modules have the following durations, totalling approx. 160 hours, including 140 hours of learning plus exercises and 20 hours of classroom workshops:

- **Module 1: Safety and risk analysis in handling hydrogen – 24 hours**
- **Module 2: Introduction to hydrogen and its properties – 20 hours**
- **Module 3: Hydrogen storage technologies – 24 hours**
- **Module 4: Hydrogen transport methods – 20 hours**
- **Module 5: Hydrogen logistics and sustainable development and ecology – 16 hours**
- **Module 6: Fundamentals of hydrogen logistics and supply chain management – 20 hours**
- **Module 7: Logistics project management in the hydrogen economy – 20 hours**
- **Module 8: Law and regulations in the hydrogen economy – 16 hours**

The modules can form the basis for the development of a training programme which, depending on market needs, can be tailored to specific target groups.

The proposed topics of the modules are particularly recommended for:

- Logistics and transport specialists who will acquire additional skills in the field of new hydrogen technologies
- Engineers and technicians from the energy sector who are expanding their competences to include aspects of hydrogen
- Employees of transport and logistics companies for whom hydrogen will be a new challenge and a necessity

- Graduates of technical and natural science universities, as hydrogen is an important challenge for climate and sustainable development, among other things.
- People seeking specialist qualifications in new technologies such as hydrogen.

The modules are/will be aimed at people interested in working in the renewable energy, logistics, transport, chemical and related sectors, as well as in the automotive industry and many other industries open to new technologies.

After completing the modules, participants will:

- Have ~~in-depth~~ knowledge of the properties of hydrogen and the technologies for its storage and transport.
- Be familiar with the legal regulations and standards relating to hydrogen logistics.
- Be able to plan, organise and optimise logistics processes.
- Be able to operate equipment and technologies related to hydrogen storage and transport.
- Be able to conduct risk analysis and respond to emergency situations.
- Work effectively in teams and communicate clearly and precisely.
- Be aware of the role of hydrogen logistics in sustainable development.

PROPOSED TOPICAL SCOPE OF MODULES:

MODULE 1: SAFETY AND RISK ANALYSIS IN HANDLING HYDROGEN

Duration: 24 hours (10 hours of lectures, 8 hours of practical exercises, 6 hours of workshops).

EQF level: 5-6

- **Objective:** To acquire knowledge of regulations, norms and standards relating to hydrogen logistics, as well as the skills to analyse risks and respond to emergency situations.
- **Topics:**

7. Current ISO and IEC standards for hydrogen (4 hours):

- Discussion of key standards such as ISO 14687 (specification of hydrogen as a fuel) and IEC 60079 (explosion safety).
- Overview of standards for the transport, storage and use of hydrogen in various industrial sectors.

- Analysis of the latest guidelines related to the certification of hydrogen equipment.

8. National and international safety and environmental regulations (4 hours):

- EU regulations (e.g. Seveso III Directive, ADR regulations, IMDG).
- National regulations on the handling of hazardous substances and environmental protection.
- Case studies: accidents involving hydrogen and their legal consequences.

9. Emergency response procedures (leak, fire, explosion) (4 hours – 2 hours of lectures, 2 hours of exercises):

- Mechanics and physics of emergency events involving hydrogen.
- Detailed discussion of procedures for specific situations (e.g. area isolation, hydrogen fire extinguishing).
- Interactive simulations of responses to hydrogen leaks, fires and explosions.

10. First aid rules in case of hydrogen poisoning/burns (2 hours):

- Physiological effects of contact with hydrogen and its derivatives (e.g. cryogenic burns, gas poisoning).
- Standard procedures for assisting victims.
- Practical workshops: simulation of first aid in various scenarios.

11. Risk analysis methods (4 hours):

- Introduction to HAZOP (Hazard and Operability Study) and FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) methods. Identification of potential hazards in the hydrogen logistics chain.
- Assessment of the consequences and probability of risky events.

12. Development of emergency plans and preventive procedures (6 hours – 2 hours of lectures, 4 hours of workshops):

- Creating comprehensive emergency plans for hydrogen installations.
- Practical exercises: development of preventive and emergency procedures for hypothetical scenarios.
- Analysis of the effectiveness of plans based on crisis simulations.

MODULE 2: INTRODUCTION TO HYDROGEN AND ITS PROPERTIES

Duration: 20 hours (8 hours of lectures, 8 hours of exercises, 4 hours of workshops).

EQF level: 4-5

- **Objective:** To understand the basic physical and chemical properties of hydrogen that are key to safe storage and transport.

- **Topics:**

1. Hydrogen isotopes and their characteristics (1 hour - lectures, 1 hour - practicals)

- Introduction to hydrogen isotopes: prot, deuterium and tritium – structure, physical and chemical properties.
- The role of isotopes in industry and technology, including the use of deuterium and tritium in nuclear energy.
- Comparison of the properties of hydrogen isotopes based on literature and experimental data.

2. Hydrogen: ortho and para – impact on storage (1 hour – lectures, 1 hour – practical classes)

- Explanation of the differences between ortho- and para-hydrogen.
- The importance of hydrogen isomerism in the context of storage and stability at low temperatures.
- Calculations of energy changes during ortho- and para-hydrogen transformations.
 - Analysis of liquid hydrogen storage processes depending on isomer content.

3. Hydrogen density in different states of aggregation (1 hour - lectures, 1 hour - exercises)

- Hydrogen density in the gaseous, liquid and solid states – differences and their technological significance.
- The effect of pressure and temperature on hydrogen density.
- Calculations of hydrogen density at different pressure and temperature parameters.
- Analysis of hydrogen phase diagrams.

4. Key temperatures for hydrogen (boiling point, critical point, triple point) (1 hour - lectures, 1 hour - practicals)

- Explanation of key temperatures: boiling point, critical point, triple point.
- The importance of these parameters for storing hydrogen in liquid and gaseous states.
- Analysis of hydrogen phase diagrams.
- Exercise: identification of appropriate conditions for hydrogen storage based on its thermodynamic parameters.

5. Explosive range and flammability limits of hydrogen (1 hour - lectures, 1 hour - exercises)

- Discussion of the flammability limits of hydrogen and its explosion range in air.
- Causes and mechanisms of hydrogen explosions.
- Analysis of cases of hydrogen-related explosions in industry.
- Determination of safety conditions for working with hydrogen.

6. Hydrogen diffusivity and its consequences (1 hour - lectures, 1 hour - practicals)

- High diffusivity of hydrogen and its impact on storage and transport safety.
- Discussion of potential hazards resulting from diffusion.

- Calculations concerning hydrogen diffusion through various materials.
- Selection of appropriate materials for hydrogen storage.

7. Corrosive properties of hydrogen (1 hour - lectures, 1 hour - practicals)

- The phenomenon of hydrogen embrittlement and its impact on construction materials.
- Corrosive properties of hydrogen in contact with metals.
- Analysis of data on the hydrogen resistance of materials.
- Exercise: designing hydrogen-resistant systems.

8. Hazards associated with hydrogen: causes of explosions and fires, hydrogen embrittlement (2 hours – workshop)

- Case studies of hydrogen-related accidents.
- Designing safety procedures for working with hydrogen.

9. Hydrogen detection methods and alarm systems (1 hour - lectures, 1 hour - workshops).

- Overview of hydrogen detection technologies, including sensors and alarm systems.
- The role of detection systems in ensuring safety.
- Configuration and testing of hydrogen sensors.

10. Overview of hydrogen production methods and the concept of "green hydrogen" (2 hours - lectures, 1 hour - workshops)

- Hydrogen production methods: steam methane reforming, water electrolysis, biomass pyrolysis.
- Explanation of the concept of "green hydrogen" and its role in the energy transition.
- Group discussion: assessment of the potential for green hydrogen production in Poland and worldwide.

MODULE 3: HYDROGEN STORAGE TECHNOLOGIES

Duration: 24 hours (10 hours of lectures, 10 hours of exercises, 4 hours of workshops).

ERK level: 5-6

- **Objective:** To learn about different methods of hydrogen storage, their advantages and disadvantages, and technical requirements.
- **Topics:**

1. Compressed gas storage (3 hours - lectures, 3 hours - exercises, 1 hour - workshops)

- Types of pressure vessels (types I, II, III, IV): design, construction materials and their application.
- Hydrogen compression process: compression equipment, technical requirements and operating parameters.
- Safety and operation of pressure vessels: rules of use, risks and safety systems.
- Costs of compressed hydrogen storage: analysis of factors affecting costs.
- Analysis of the properties of different types of tanks and their practical applications.
- Calculations related to the hydrogen compression process (e.g. compressor operation, energy consumption).
- Assessment of risks associated with the operation of pressure vessels based on case studies.
- Simulation of the hydrogen compression and storage process using computer models.

2. Liquid hydrogen storage (3 hours - lectures, 3 hours - exercises, 1 hour - workshops)

- Hydrogen liquefaction process: cryogenic technology, energy requirements and key process parameters.
- Cryogenic tanks: construction, types of insulation and technologies to minimise heat loss.
- Safety and operation of cryogenic tanks: risk of freezing, leaks, safety systems.
- Boil-off phenomenon: causes, impact on operation and methods of minimising losses.
- Liquid hydrogen storage costs: economic analysis in the context of cryogenic technology.
- Calculation of energy losses associated with hydrogen liquefaction.
- Analysis of liquid hydrogen leak cases and development of safety procedures.
- Selection of cryogenic tanks for specific industrial applications.
- Designing a liquid hydrogen storage system for a selected scenario (e.g. hydrogen transport to a filling station).

MODULE 4: HYDROGEN TRANSPORT METHODS

Duration: 20 hours (8 hours of lectures, 8 hours of exercises, 4 hours of workshops).

ERK level: 5-6

- **Objective:** To learn about different methods of hydrogen transport, their advantages and disadvantages, and technical and regulatory requirements.
- **Topics:**

1. Pipeline transport (3 hours - lectures, 3 hours - practical classes, 1 hour - workshops)

- Design and materials of hydrogen pipelines: selection of materials resistant to hydrogen embrittlement, design of transmission systems.
- Challenges of hydrogen transmission via pipelines: hydrogen embrittlement, leaks, impact of pressure and temperature on operation.
- Pipeline monitoring and control methods: leak detection systems, technical condition inspection.
- Pipeline construction and operating costs: economic analysis in the context of large-scale hydrogen transmission.
- Case study: analysis of technical problems of hydrogen transmission in existing pipelines.
- Calculations: the impact of pressure and temperature on the efficiency of hydrogen transmission through pipelines.
- Simulation of the hydrogen transmission process through a pipeline, including leak monitoring.
- Development of a model for a hydrogen transmission pipeline, taking into account technical requirements and investment costs.

2. Transport by road and rail tankers (3 hours - lectures, 3 hours - exercises, 1 hour - workshops)

- Construction of hydrogen tanks (compressed and liquid): technical requirements, construction materials, insulation.
- Safety, loading and unloading of tanks: operating procedures, safety systems, minimisation of hydrogen losses.
- Road and rail transport costs: analysis of logistics costs and their impact on profitability.
- ADR regulations (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road): key regulations concerning hydrogen.
- Analysis of hydrogen leakage incidents during tanker transport and development of response procedures.
- Calculations related to the loading and unloading of tankers in various conditions.
- Design of a logistics system for the transport of hydrogen by tankers over selected distances.
- Simulation of the process of transporting hydrogen by road or rail tanker, including loading, transport and unloading.

3. Maritime transport (2 hours - lectures, 2 hours - exercises, 2 hours - workshops)

- Types of ships for transporting hydrogen (LH2, ammonia): construction, cryogenic technologies, safety systems.
- Technical and operational requirements: specifics of loading, transport and unloading of hydrogen in ports.
- Costs and profitability of maritime transport: economic analysis in the context of the global hydrogen market.

- Comparative analysis of the costs and profitability of transporting hydrogen by sea in various forms (LH2, ammonia).
- Calculation of hydrogen boil-off losses during maritime transport.
- Case study: development of a concept for hydrogen transport by sea on a selected route, taking into account technical and regulatory challenges.

MODULE 5: HYDROGEN LOGISTICS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ECOLOGY

Duration: 16 hours (8 hours of lectures, 4 hours of exercises, 4 hours of workshops).

ERK level: 6

- **Objective:** To understand the impact of hydrogen logistics on the environment and learn methods to minimise this impact.

- **Topics:**

1. Greenhouse gas emissions associated with hydrogen logistics (2 hours - lectures, 1 hour - practical classes, 1 hour - workshops)

- Analysis of greenhouse gas emissions at various stages of hydrogen logistics (production, transport, storage).
- Comparison of CO2 emissions for green, blue and grey hydrogen.
- Global impact of emissions from logistics processes on climate change.
- Calculation of CO2 emissions for different methods of hydrogen transport over a given distance.
- Case study: analysis of greenhouse gas emissions associated with hydrogen transport in a selected logistics scenario.
- Development of a logistics strategy to reduce greenhouse gas emissions for a selected hydrogen distribution model.

2. The role of logistics in reducing the carbon footprint (2 hours - lectures, 1 hour - exercises, 1 hour - workshops)

- Key logistics strategies for reducing the carbon footprint in the hydrogen sector.
- Optimisation of transport routes and minimisation of emissions.
- Implementation of digital technologies (e.g. IoT, AI) in monitoring the carbon footprint in hydrogen logistics.
- Comparative analysis of the carbon footprint in different hydrogen transport models (pipelines, maritime transport, tankers).
- Simulation of the impact of changes in logistics parameters (e.g. route, type of transport) on emission reduction.
- Designing a hydrogen logistics model that minimises the carbon footprint and optimises energy efficiency.

3. Hydrogen recovery and recycling methods (1 hour - lectures, 1 hour - exercises, 1 hour - workshops)

- Hydrogen recovery technologies in industrial and logistics processes.
- Practical application of hydrogen recycling: reducing losses during transport and storage.
- Cost-benefit analysis of implementing hydrogen recovery systems in logistics chains.
- Development of a proposal for the implementation of a hydrogen recovery system in a selected logistics process.

4. Technologies for reducing NOx and other pollutant emissions (2 hours - lectures, 1 hour - exercises, 1 hour - workshops)

- Sources of NOx and other pollutant emissions in hydrogen logistics.
- Technologies for reducing emissions in hydrogen transport (e.g. catalytic filters, combustion optimisation).
- The use of renewable energy sources in hydrogen logistics.
- Simulation of the impact of modern emission reduction technologies on the natural environment.
- Discussion and analysis of cases of implementation of emission reduction technologies in hydrogen logistics in different countries.

5. The role of fuel cells in logistics (1 hour - lectures, 1 hour - exercises, 1 hour - workshops)

The principle of fuel cell operation and their application in hydrogen transport.

-
- Advantages of fuel cells compared to traditional energy sources.
- The impact of fuel cell use on sustainable development in hydrogen logistics.
- Analysis of the energy efficiency of fuel cells in the context of hydrogen logistics.
- Designing a logistics system based on the use of fuel cells to power transport infrastructure.

MODULE 6: BASICS OF LOGISTICS AND HYDROGEN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Duration: 20 hours (10 hours of lectures, 6 hours of exercises, 4 hours of workshops).

ERK level: 6

- **Objective:** To acquire the knowledge and skills in logistics that are necessary for the effective management of the hydrogen supply chain.

- **Topics:**

7. Analysis of the hydrogen supply chain from production to end user (4 hours):

- Discussion of the stages of hydrogen production, storage, transport and distribution.
- Identification of key challenges at each stage (e.g. safety, costs, regulatory compliance).
- Mapping the supply chain, taking into account the role of various technologies (e.g. electrolyzers, refuelling stations).

8. Hydrogen inventory planning (3 hours):

- Methods for forecasting hydrogen demand.
- Strategic approach to inventory management in the context of hydrogen technologies.
- Inventory management scenarios in crisis situations (e.g. supply interruptions).

9. Transport route optimisation (3 hours):

- Specifics of hydrogen transport by various means (tankers, pipelines, maritime transport).
- Techniques for optimising routes, taking into account costs, safety and legal restrictions.
- Use of digital tools for route planning (e.g. GPS systems, optimisation software).

10. Hydrogen storage management (3 hours):

- Specification of hydrogen storage facilities (e.g. pressurised, cryogenic).
- Safety standards and regulatory compliance in storage management.
- Storage automation technologies dedicated to hydrogen.

11. Methods for optimising logistics processes (3 hours):

- Introduction to Lean and Six Sigma methods in hydrogen logistics.
- Analysis of logistics processes from the perspective of minimising losses and improving efficiency.
- Examples of logistics process optimisation in real projects.

12. Use of WMS and TMS software (4 hours – exercises and workshops):

- Practical application of Warehouse Management System (WMS) and Transport Management System (TMS) in the hydrogen economy.
- Discussion of the integration of logistics systems with IoT and AI technologies.
- Workshops: Simulation of hydrogen storage and transport management using WMS and TMS.

MODULE 7: LOGISTICS PROJECT MANAGEMENT IN THE HYDROGEN ECONOMY

Duration: 20 hours (8 hours of lectures, 8 hours of exercises, 4 hours of workshops).

ERK level: 6

Objective:

To acquire the skills to plan, manage and monitor projects related to hydrogen logistics in a dynamically changing market environment.

Topics:**4. Fundamentals of project management (6 hours):**

- o Creating schedules and plans for logistics projects.
- o Analysis of budgets and cost estimates.
- o Managing change in a project.

5. Specifics of projects in the hydrogen economy (8 hours):

- o Infrastructure management: refuelling stations, warehouses, pipelines.
- o Management of hydrogen technologies in logistics projects.
- o Discussion of completed logistics projects in the hydrogen economy, their challenges and successes.

6. Practical workshops (6 hours):

- o Creating a feasibility study for a hydrogen-related infrastructure project.

MODULE 8: LAW AND REGULATIONS IN THE HYDROGEN ECONOMY

Duration: 16 hours (8 hours of lectures, 4 hours of exercises, 4 hours of workshops).

ERK level: 6

Objective:

To familiarise participants with national and international laws and regulations concerning the hydrogen economy and logistics.

Topics:**4. Basics of legal regulations in hydrogen logistics (6 hours):**

- o Current national legal regulations concerning the hydrogen economy (2 hours):
 - Discussion of Polish regulations governing the development of the hydrogen economy, including definitions, certification rules and the activities of hydrogen system operators.
- o International standards and regulations (2 hours):
 - Analysis of international norms and standards for hydrogen technologies, such as ISO standards and European Union regulations.
- o Safety in hydrogen transport and storage (2 hours):

- Overview of regulations concerning safety in hydrogen transport and storage, including ADR (European Agreement concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road) regulations and IMDG (International Maritime Dangerous Goods Code) regulations.

5. Environmental and ethical aspects (6 hours):

- o Principles of environmental responsibility in the hydrogen economy.
- o Analysis of cases of regulatory violations and their consequences.

6. Practical workshops (4 hours):

- o Analysis of regulations for a hypothetical transport project, taking into account national and international regulations.

All results generated by the "Professionals and their skills in hydrogen" project are available under an open license (CC BY-SA 4.0 DEED). They can be used free of charge and without restrictions. Reproduction or reuse of these materials, in whole or in part, without the author's consent is prohibited. Any use of the results must include the funding source and the authors.

Funded by the EU. The views and opinions expressed are solely those of the author(s) and do not necessarily reflect the views and opinions of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor the EACEA are responsible for them.