



VIOLET

AR/VR International Welding Engineer Qualification



D2.3 Raport w sprawie potrzeb szkoleniowych w zakresie I/EWE



Revision	Date	Author/Organisation	Description
1 st	15.07.2026-	ASR	Creation of the document
2 nd	20.07.2026	ASR	Review of the Document
3 rd	23.07.2026	EWf	Review of the Document
4 th	23.07.2026	L-USIT	Review of the Document
5 th	29.07.2026	ASR	Review of the Document
6 th	29.07.2026	ASR	Review of the Document
7 th	25.08.2026	L-USIT	Translation into Polish

Spis treści

1. Streszczenie	3
2. Wprowadzenie	4
2.1. Kontekst i tło	4
2.2. Cele.....	5
2.3. Metodologia.....	5
2.4. Charakterystyka grupy docelowej.....	6
3. Analiza wyników badań	6
3.1. Wyniki badań grupy docelowej – inżynierowie	6
3.1.1. Sekcja A: Profil.....	6
3.1.2. Sekcja B: technologie cyfrowe	8
3.1.3. Sekcja C: procesy spawania i cięcia.....	9
3.1.4. Sekcja D: materiały i ich właściwości w procesie spawania	13
3.1.5. Sekcja E: Projektowanie konstrukcji spawanych.....	15
3.1.6. Sekcja F: Problemy wytwarzania konstrukcji spawanych.....	18
3.1.7. Sekcja G: Ocena korzyści płynących z zastosowania XR w strategicznym planie szkoleń	24
3.1.8 Komentarze końcowe z ankiety przeprowadzonej wśród inżynierów	34
3.2. Wyniki ankiety przeprowadzonej wśród przedstawicieli ośrodków przemysłowych	36
3.2.1. Sekcja A: Profil.....	38
3.2.2. Sekcja B: Potrzeby kompetencyjne	40
3.2.3. Sekcja C: Postrzeganie VR/AR.....	41
3.2.4. Sekcja D: Zainteresowanie i zaangażowanie.....	43
3.3. Podsumowanie wyników ankiet.....	53
4. Wnioski	54
4.1. Wnioski z analizy	55
5. Rekomendacje.....	56
5.1 Obszary programu nauczania o największym potencjale do realizacji zdalnej z wykorzystaniem technologii XR.....	56
5.2. Obszary programu nauczania wymagające realizacji stacjonarnej/ praktycznej.....	64
5.3. Synteza: Najbliższa dostępna odpowiedź na postawiony cel.....	64
6. Załączniki: formularze ankietowe	65

1. Streszczenie

Celem niniejszego dokumentu jest dostarczenie informacji opartych na dowodach, które wesprą rozwój innowacyjnych, skoncentrowanych na uczestniku szkoleń rozwiązań edukacyjnych oraz przyszłą integrację cyfrowych metod nauczania z systemem kwalifikacji I/EWE. Raport identyfikuje obszary, w których technologie XR mogą przynieść najwyższą wartość edukacyjną, uwzględniając zarówno możliwości, jak i ograniczenia ich wdrożenia w edukacji spawalniczej oraz szkoleniach przemysłowych.

Analiza, oparta na informacjach zwrotnych zebranych od inżynierów spawalników, trenerów i przedstawicieli przemysłu w ramach konsorcjum projektowego, wskazuje na duże zainteresowanie wykorzystaniem technologii XR do doskonalenia szkoleń spawalniczych. Chociaż obecny poziom wykorzystania XR pozostaje ograniczony, większość respondentów dostrzega potencjał rozwiązań opartych na VR/AR/AI w zwiększaniu skuteczności nauczania, bezpieczeństwa i dostępności szkoleń.

Główne wnioski wskazują, że technologie XR są szczególnie przydatne do wspierania działań edukacyjnych o charakterze teoretycznym, analitycznym i proceduralnym, takich jak:

- symulacja procesów spawalniczych,
- dobór parametrów spawania,
- przekazywanie informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym dotyczącej techniki spawania,
- identyfikacja niezgodności i wad,
- optymalizacja WPS/WPQR,
- wizualizacja złożonych zjawisk metalurgicznych.

Przedstawiciele przemysłu i eksperci techniczni uznają te zastosowania za bardzo wartościowe dla pogłębiania wiedzy oraz przygotowania uczestników przed rozpoczęciem praktycznych zajęć na rzeczywistych urządzeniach.

Jednocześnie analiza potwierdza, że rozwiązania XR powinny uzupełniać, a nie zastępować szkolenia praktyczne. Doświadczenie zdobywane na rzeczywistym sprzęcie spawalniczym, obejmujące bodźce sensoryczne i rzeczywiste warunki pracy, pozostaje niezbędne dla rozwoju umiejętności psychomotorycznych oraz uzyskania kwalifikacji zawodowych. Za najbardziej odpowiedni model uznano zatem podejście „blended learning”, łączące aktywności cyfrowe oparte na XR z tradycyjnymi zajęciami praktycznymi.

Raport stwierdza, że technologie XR mogą znacząco przyczynić się do modernizacji szkolenia I/EWE poprzez zwiększenie elastyczności, poprawę efektywności uczenia się oraz wspieranie

cyfrowej transformacji edukacji spawalniczej. Zidentyfikowane priorytety szkoleniowe i rekomendacje będą stanowiły podstawę do opracowania przyszłych materiałów dydaktycznych, scenariuszy szkoleniowych oraz ram szkoleniowych opartych na XR w projekcie VIOLET.

2. Wprowadzenie

Niniejszy raport przedstawia wyniki analizy potrzeb przeprowadzonej w ramach projektu VIOLET, której celem było określenie aktualnego poziomu świadomości, potrzeb szkoleniowych oraz oczekiwań związanych z wykorzystaniem technologii Rozszerzonej Rzeczywistości (XR) w edukacji i szkoleniu Międzynarodowych/Europejskich Inżynierów Spawalników (I/EWE).

Analiza opiera się na odpowiedziach ankietowych zebranych od inżynierów spawalników, trenerów oraz przedstawicieli przemysłu z krajów uczestniczących w konsorcjum projektowym. Wyniki dostarczają cennych informacji na temat obecnych wyzwań, luk kompetencyjnych w zakresie umiejętności cyfrowych oraz priorytetów związanych z wdrażaniem innowacyjnych technologii edukacyjnych do kształcenia i szkolenia zawodowego.

Głównym celem raportu jest wsparcie projektowania nowoczesnych, skoncentrowanych na uczestniku rozwiązań szkoleniowych poprzez identyfikację obszarów, w których technologie XR mogą przynieść największą wartość edukacyjną. Wyniki będą stanowiły podstawę do opracowania cyfrowych materiałów dydaktycznych, praktycznych scenariuszy szkoleniowych XR oraz rekomendacji dotyczących aktualizacji kwalifikacji I/EWE zgodnie z ewoluującymi potrzebami przemysłu i cyfrową transformacją edukacji zawodowej.

Raport tworzy podstawę dla kolejnych działań projektu VIOLET, zapewniając, że proponowane ramy szkoleniowe są oparte na dowodach, odpowiadają rzeczywistym potrzebom oraz są zgodne z rozwojem technologii i wymaganiami rynku pracy.

2.1. Kontekst i tło

Sektor produkcyjny i spawalniczy przechodzą obecnie istotne przemiany napędzane cyfryzacją, automatyzacją oraz coraz szerszym wdrażaniem koncepcji Przemysłu 4.0 i Przemysłu 5.0. Zmiany te generują nowe wymagania kompetencyjne, obejmujące między innymi umiejętność wykorzystania technologii cyfrowych w procesach przemysłowych oraz środowiskach szkoleniowych.

Jednocześnie systemy kształcenia i szkolenia zawodowego stają przed wyzwaniem dostosowania dotychczasowych metod nauczania do potrzeb nowoczesnego przemysłu. Inżynierowie spawalnicy, trenerzy oraz specjaliści techniczni potrzebują zaktualizowanych metod

szkoleniowych, które łączą wiedzę teoretyczną z praktycznym doświadczeniem oraz kompetencjami cyfrowymi.

Rozszerzona Rzeczywistość (XR), obejmująca Wirtualną Rzeczywistość (VR) oraz Rzeczywistość Rozszerzoną (AR), stanowi nową szansę na podniesienie jakości edukacji technicznej i szkoleń zawodowych. Technologie te umożliwiają immersyjne doświadczenia edukacyjne, realistyczne symulacje scenariuszy przemysłowych oraz bezpieczne środowiska do ćwiczeń służących rozwijaniu złożonych umiejętności technicznych.

W tym kontekście projekt VIOLET odpowiada na potrzebę badania i integracji rozwiązań opartych na technologiach XR w ścieżce kształcenia i szkolenia Międzynarodowych/Europejskich Inżynierów Spawalników (I/EWE). Celem projektu jest wspieranie innowacji w kształceniu zawodowym poprzez opracowanie metod szkoleniowych zgodnych z rozwojem technologii, oczekiwaniami przemysłu oraz przyszłymi wymaganiami kompetencyjnymi.

2.2. Cele

Projekt VIOLET ma na celu stworzenie ram dla modernizacji kwalifikacji I/EWE poprzez opracowanie internetowych materiałów szkoleniowych oraz narzędzi cyfrowych, przyczyniając się tym samym do poprawy jakości, dostępności i atrakcyjności kształcenia oraz szkolenia zawodowego w sektorze spawalniczym.

Niniejszy raport opiera się na gromadzeniu i analizie danych pochodzących z badań ankietowych, które pomagają zidentyfikować wiedzę, umiejętności oraz potrzeby szkoleniowe niezbędne do efektywnego wykorzystania technologii XR (Extended Reality).

2.3. Metodologia

W początkowej fazie projektu opracowano dwa kwestionariusze ankietowe: jeden skierowany do inżynierów z sektora produkcyjnego, a drugi do przedstawicieli przemysłu. W celu zebrania informacji niezbędnych do opracowania ram modernizacji kwalifikacji I/EWE wszyscy partnerzy projektu zidentyfikowali grupy docelowe obejmujące instytucje szkoleniowe oraz przedsiębiorstwa spawalnicze, które mogły uczestniczyć w badaniu. Działanie to miało na celu stworzenie bazy danych inżynierów oraz przedstawicieli sektora przemysłowego, którzy wzięliby udział w obu ankietach.

Następnie partner odpowiedzialny za realizację badań ankietowych (ASR) opracował pytania ankietowe, które zostały poddane przeglądowi i ocenie przez wszystkich partnerów projektu. Po uzgodnieniu ostatecznych wersji kwestionariuszy zostały one rozesłane do przedsiębiorstw przemysłowych oraz inżynierów wskazanych przez poszczególnych partnerów.

Na podstawie analizy odpowiedzi ankietowych zidentyfikowano zainteresowania, cele, dostępność oraz oczekiwania interesariuszy dotyczące metodologii szkoleniowej.

Ponadto, w celu uzyskania kompleksowego obrazu istniejących rozwiązań i uwarunkowań, przeprowadzono analizę dostępnej dokumentacji i materiałów źródłowych (desk research), a najważniejsze wnioski zostały podsumowane.

W końcowej części przedstawiono najbardziej istotne wyniki oraz wnioski uzyskane w ramach realizacji niniejszego rezultatu projektu.

2.4. Charakterystyka grupy docelowej

Na podstawie zaproponowanej przez partnerów listy przedsiębiorstw przemysłowych oraz inżynierów, kwestionariusze zostały rozpowszechnione za pośrednictwem mediów społecznościowych oraz sieci kontaktów każdego z partnerów. Otrzymano 121 odpowiedzi od inżynierów oraz 44 odpowiedzi od przedstawicieli sektora przemysłowego.

Charakterystykę grupy docelowej uczestniczącej w badaniu przedstawiono na poniższych wykresach, na których wskazano stanowiska/funkcje respondentów (Rysunek 1), kraj pochodzenia (Rysunek 2) oraz liczbę lat doświadczenia zawodowego (Rysunek 3).

3. Analiza wyników badań

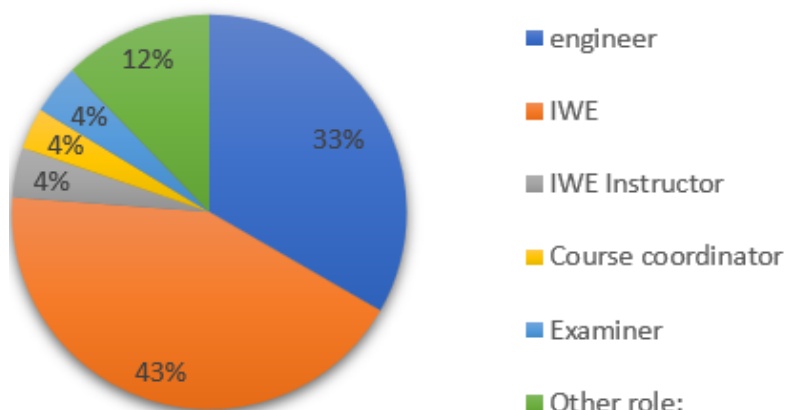
3.1. Wyniki badan grupy docelowej – inżynierowie

3.1.1. Sekcja A: Profil

Rola uczestników badania

Wniosek (Rysunek 1): łącznie 121 uczestników ukończyło badanie ankietowe. Większość stanowili Międzynarodowi Inżynierowie Spawalnicy (IWE), którzy stanowili 42,9% respondentów, następnie Inżynierowie (33,3% respondentów). Pozostali uczestnicy reprezentowali inne role zawodowe (12,2% respondentów), Instruktorów IWE (4,1% respondentów), Egzaminatorów (4,1% respondentów) oraz Koordynatorów Kursów (3,4% respondentów).

Taki rozkład respondentów wskazuje, że ankieta przede wszystkim odzwierciedla opinie specjalistów bezpośrednio zaangażowanych w inżynierię spawalniczą, a jednocześnie uwzględnia cenny wkład ekspertów zajmujących się szkoleniami i oceną kompetencji.

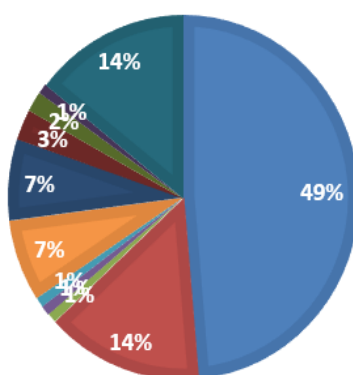


Rysunek 1. Rola uczestników badania

Kraj zamieszkania uczestników badania

Wniosek (Rysunek 2): łącznie 121 uczestników z 11 krajów wzięło udział w badaniu ankietowym. Najwyższy udział odnotowano w Rumunii (48,6%), następnie w Portugalii i Polsce (po 14,4%), Turcji i Słowenii (po 7,2%), Niderlandach (2,7%), Niemczech (1,8%) oraz Belgii, Irlandii, Francji i na Węgrzech (po 0,9%). Wyniki wskazują na szeroki międzynarodowy udział respondentów, co stanowi solidną podstawę do opracowania zmodernizowanych ram kwalifikacyjnych I/IWE.

■ Romania ■ Portugal ■ Belgium ■ Ireland ■ Hungary ■ Turkey ■ Slovenia ■ Netherland ■ Germany ■ France ■ Poland

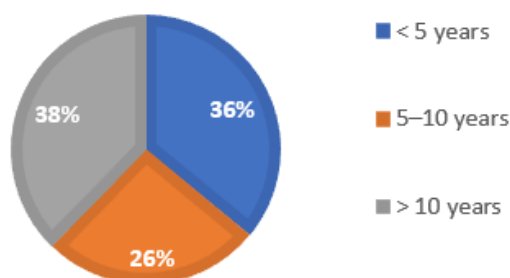


Rysunek 2. Kraj zamieszkania uczestników badania

Doświadczenie w spawalnictwie

Wniosek (Rysunek 3): spośród 121 respondentów 37,7% wykazało ponad 10 lat doświadczenia w spawalnictwie, 36,0% miało mniej niż 5 lat doświadczenia, a 26,3% od 5 do 10 lat. Taki rozkład

odzwierciedla zrównoważoną strukturę uczestników, obejmującą zarówno doświadczonych specjalistów, jak i osoby będące na wczesnym etapie kariery zawodowej.



Rysunek 3. Doświadczenie w spawalnictwie

3.1.2. Sekcja B: technologie cyfrowe

Zastosowanie VR/AR/AI w szkoleniu personelu spawalniczego

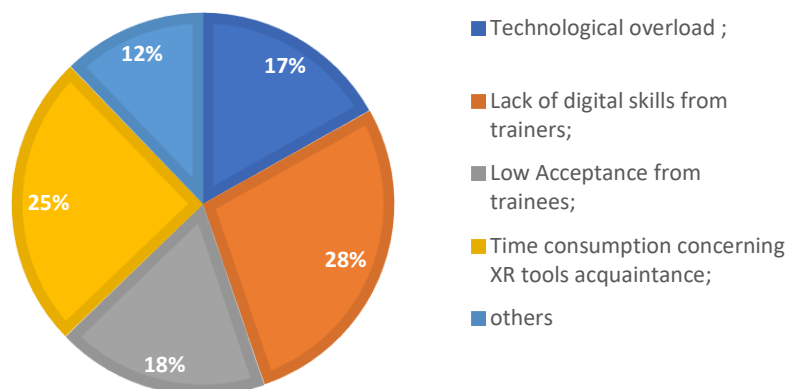
Wniosek (Rysunek 4): spośród 121 respondentów 62,0% nie korzystało wcześniej z technologii VR/AR/AI w procesach szkoleniowych, natomiast 38,0% miało już doświadczenie w wykorzystywaniu tych technologii. Wyniki wskazują, że zastosowanie VR/AR/AI w szkoleniach jest nadal ograniczone, co podkreśla potencjał do ich szerszego wdrożenia w edukacji spawalniczej.



Rysunek 4. Zastosowanie VR/AR/AI w szkoleniu personelu spawalniczego

Przewidywane ryzyko związane z wykorzystaniem narzędzi cyfrowych w szkoleniach IWE

Wniosek (Rysunek 5): Wyniki wskazują, że za najistotniejsze dostrzegane ryzyka związane z wdrażaniem technologii XR w szkoleniach IWE uznano brak kompetencji cyfrowych trenerów (27,9%) oraz czas potrzebny na zapoznanie się z narzędziami XR (25,0%). Za mniej istotne uznano natomiast niski poziom akceptacji uczestników szkoleń (18,0%), przeciążenie technologiczne (16,9%) oraz inne obawy (12,2%).

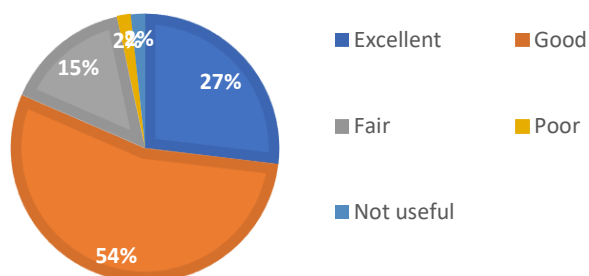


Rysunek 5. Przewidywane ryzyko związane z wykorzystaniem narzędzi cyfrowych w szkoleniach IWE

3.1.3. Sekcja C: procesy spawania i cięcia

Przydatność symulacji AR/VR do ćwiczeń procesów MMA/MIG-MAG/TIG, pozycji spawania oraz kontroli jeziorka spawalniczego (zgodnie z IAB-089 „Welding Simulating Systems”)

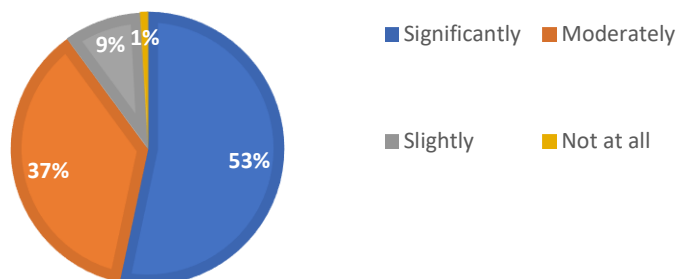
Wniosek (Rysunek 6): wyniki wskazują na bardzo pozytywną ocenę wykorzystania symulacji AR/VR do ćwiczenia procesów spawania MMA/MIG-MAG/TIG. Ponad połowa respondentów oceniła jej przydatność jako dobrą (54,6%), natomiast 26,9% uznało ją za doskonałą. Jedynie 3,4% badanych oceniło ją jako mało przydatną lub nieprzydatną, co świadczy o szerokiej akceptacji symulacji AR/VR jako skutecznego narzędzia szkoleniowego do nauki pozycji spawania oraz kontroli jeziorka spawalniczego.



Rysunek 6. Przydatność symulacji AR/VR do ćwiczeń procesów

Zakładane korzyści z wykorzystania AR/VR do szkolenia w zakresie ustawiania parametrów (natężenie prądu, napięcie, przepływ gazu) na rzeczywistym sprzęcie spawalniczym

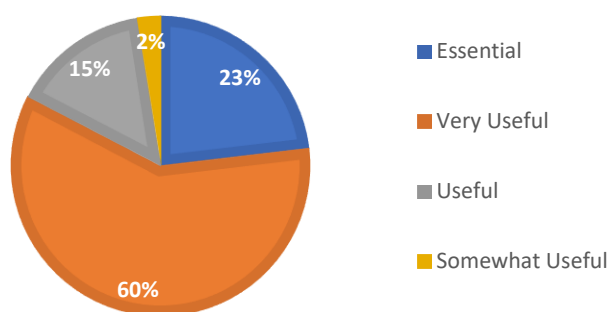
Wnioski (Rysunek 7): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii AR/VR w szkoleniach dotyczących ustawiania parametrów rzeczywistych urządzeń spawalniczych. Większość respondentów uważa, że AR/VR znacząco poprawi efektywność szkoleń (53,3%) lub poprawi ją w stopniu umiarkowanym (36,7%). Jedynie 9,2% ankietowanych spodziewa się niewielkiej poprawy, a 0,8% nie dostrzega żadnych korzyści. Wyniki te świadczą o szerokim zaufaniu do technologii AR/VR jako skutecznego narzędzia wspierającego praktyczne szkolenie spawalnicze.



Rysunek 7. Zakładane korzyści z wykorzystania AR/VR do szkolenia w zakresie ustawiania parametrów

Przydatność technologii AR/VR/AI do zapewniania informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym na temat odchyień parametrów spawania (np. prędkości prowadzenia oraz kąta ustawienia uchwytu)

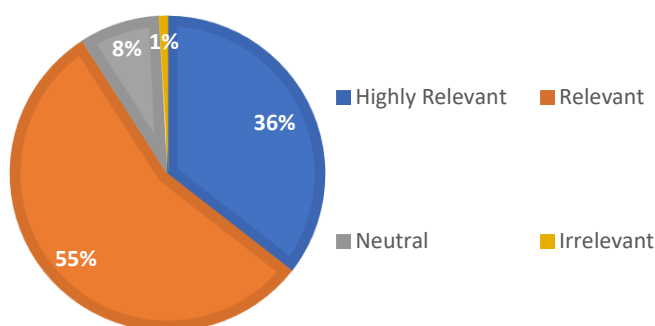
Wniosek (Rysunek 8): wyniki zdecydowanie potwierdzają zasadność wykorzystania technologii AR/VR/AI do dostarczania informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym dotyczącej odchyień występujących podczas spawania. Większość respondentów oceniła tę funkcjonalność jako bardzo przydatną (59,5%) lub niezbędną (23,1%), podczas gdy 14,9% uznało ją za przydatną, a jedynie 2,5% za umiarkowanie przydatną. Ogółem wyniki podkreślają wysoką postrzeganą wartość inteligentnej informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym dla doskonalenia procesu szkolenia spawalniczego oraz poprawy jakości wykonywanych prac spawalniczych.



Rysunek 8. Przydatność technologii AR/VR/AI do zapewniania informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym na temat odchyłeń parametrów spawania

Przydatność technologii VR/AR w szkoleniu z zakresu procesów cięcia (plazmowego, tlenowo-gazowego i laserowego) do demonstracji zasad bezpieczeństwa oraz ścieżek cięcia

Wniosek (Rysunek 9): wyniki wskazują, że technologie VR/AR są powszechnie postrzegane jako wartościowe narzędzie do prezentowania procedur bezpieczeństwa oraz ścieżek cięcia w procesach cięcia plazmowego, tlenowo-gazowego i laserowego. Większość respondentów oceniła ich znaczenie jako istotne (55,4%) lub bardzo istotne (35,5%), podczas gdy jedynie 0,8% uznało je za nieistotne. Potwierdza to silne poparcie dla integracji technologii VR/AR z programami szkoleniowymi dotyczącymi procesów cięcia.

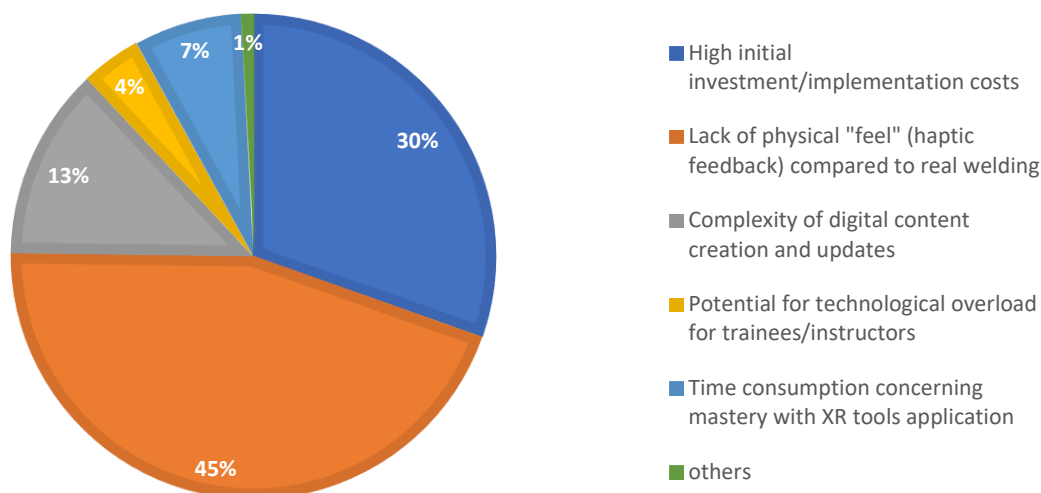


Rysunek 9. Przydatność technologii VR/AR w szkoleniu z zakresu procesów cięcia

Przewidywane najistotniejsze ograniczenia technologii VR/AR/AI

Wnioski (Rysunek 10): główne wyzwania związane z wdrażaniem technologii XR to brak fizycznego „odczucia” lub realizmu doświadczeń (44,8%) oraz wysokie koszty początkowych inwestycji (30,4%). Rzadziej wskazywano inne problemy, takie jak złożoność tworzenia treści cyfrowych (12,8%), czas potrzebny na opanowanie narzędzi XR (7,2%) oraz przeciążenie

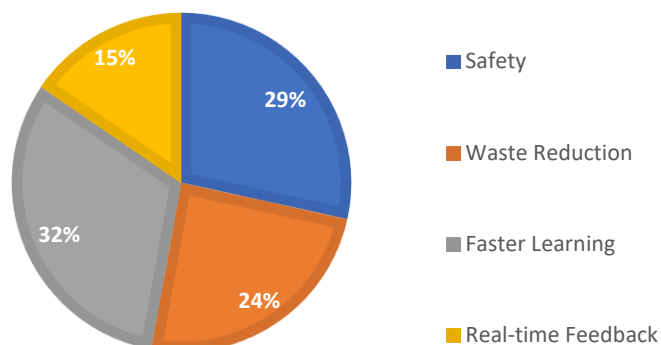
technologiczne (4,0%). Ogólnie wyniki sugerują, że najważniejszymi barierami dla szerszego wdrażania technologii XR są ograniczony realizm techniczny oraz koszty implementacji.



Rysunek 10. Przewidywane ograniczenia technologii VR/AR/AI

Przewidywane główne korzyści technologii VR/AR/AI

Wnioski (Rysunek 11): wyniki wskazują, że najważniejszą oczekiwaną korzyścią wynikającą z wykorzystania technologii XR jest szybsze uczenie się (31,7%). Kolejnymi najczęściej wskazywanymi korzyściami są poprawa bezpieczeństwa (28,5%) oraz ograniczenie ilości odpadów i strat materiałowych (24,4%). Możliwość uzyskiwania informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym (15,4%) była wybierana rzadziej, co sugeruje, że respondenci postrzegają technologie XR przede wszystkim jako narzędzie zwiększające efektywność procesu uczenia się oraz podnoszące skuteczność szkoleń.

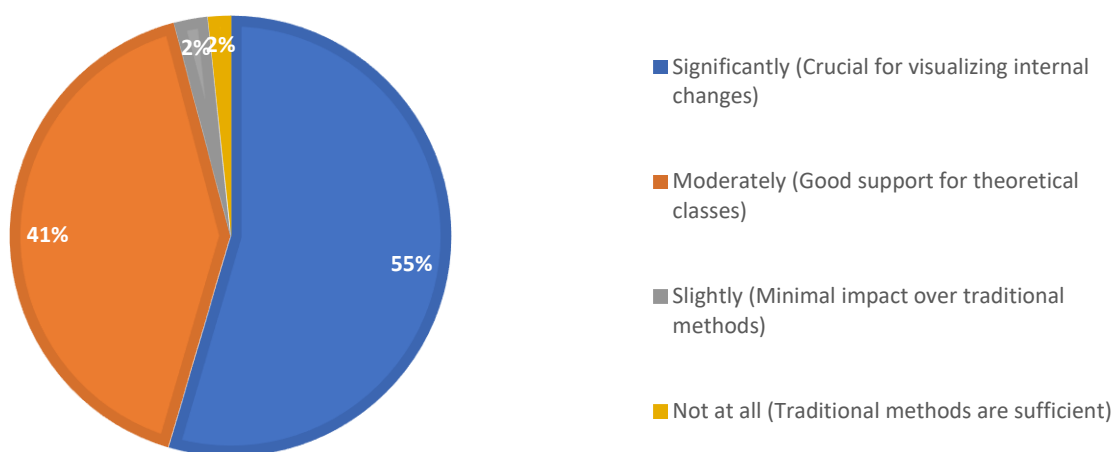


Rysunek 11. Przewidywane korzyści technologii VR/AR/AI

3.1.4. Sekcja D: materiały i ich właściwości w procesie spawania

Postrzegana wartość modelu VR/AR prezentującego przemiany w SWC (HAZ), odkształcenia oraz narastanie naprężeń własnych dla zrozumienia zjawisk metalurgicznych

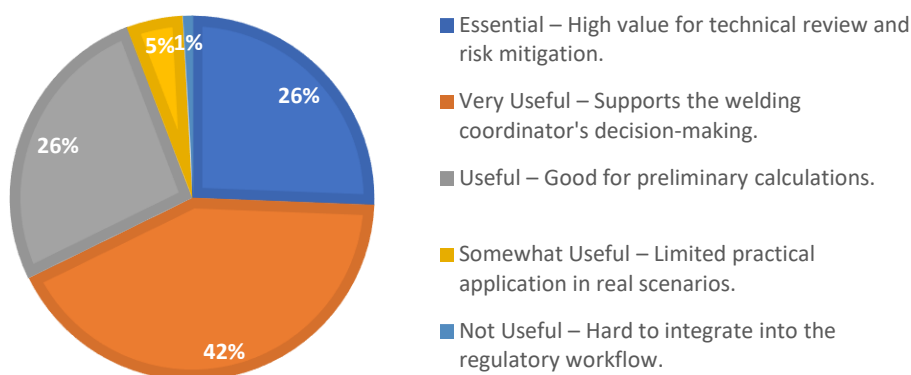
Wnioski (Rysunek 12): Wyniki wskazują, że 54,5% respondentów uważa, iż model VR/AR znacząco poprawiłby zrozumienie zjawisk metalurgicznych, natomiast 41,3% uznaje go za wartościowe wsparcie zajęć teoretycznych. Jedynie 2,5% badanych dostrzega minimalny wpływ takiego rozwiązania, a 1,7% uważa, że tradycyjne metody nauczania są wystarczające.



Rysunek 12. Postrzegana wartość modelu VR/AR prezentującego przemiany w SWC (HAZ)

Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR/AI do prognozowania twardości, ryzyka pęknięcia na zimno i na gorąco oraz określania wymagań dotyczących podgrzewania wstępnego (PH) i obróbki cieplnej po spawaniu (PWHT)

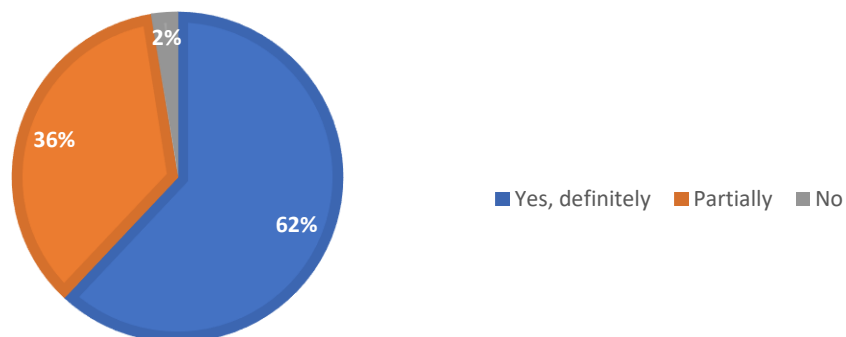
Wnioski (Rysunek 13): wyniki wskazują, że większość respondentów postrzega technologie AR/VR/AI jako wartościowe narzędzia wspierające przegląd techniczny zgodnie z normą ISO 14731. 42,1% badanych uznaje te technologie za bardzo przydatne, a 25,6% określa je jako niezbędne. Kolejne 26,4% respondentów uważa je za użyteczne w wykonywaniu wstępnych obliczeń. Jedynie 5,0% dostrzega ich ograniczoną wartość praktyczną, a 0,8% uważa je za nieprzydatne.



Rysunek 13. Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR/AI do prognozowania parametrów spawania

Postrzeganie wartości technologii VR/AR w zrozumieniu wpływu materiałów dodatkowych i gazów osłonowych na mikrostrukturę

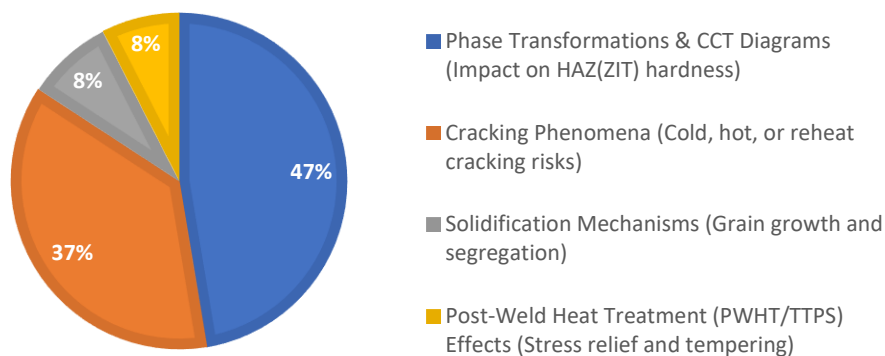
Wnioski (Rysunek 14): wyniki wskazują, że 62,0% respondentów uważa, iż technologie VR/AR mogą wspierać zrozumienie wpływu materiałów dodatkowych oraz gazów osłonowych na kształtowanie mikrostruktury materiału. Kolejne 35,5% badanych uznało, że technologie te mogą zapewnić częściowe wsparcie w tym zakresie. Jedynie 2,5% respondentów stwierdziło, że VR/AR nie przyczynia się do lepszego zrozumienia omawianych zagadnień. Wyniki te potwierdzają wysoki potencjał technologii VR/AR jako narzędzia wspomagającego nauczanie złożonych zależności materiałowych i procesowych w spawalnictwie.



Rysunek 14. Postrzeganie wartości technologii VR/AR w zrozumieniu wpływu materiałów dodatkowych i gazów osłonowych na mikrostrukturę

Preferowane symulacje do pogłębionego uczenia się zachowania materiałów podczas spawania

Wnioski (Rysunek 15): Wyniki wskazują, że za najbardziej wartościową symulację wspierającą pogłębione poznanie zachowania materiałów podczas spawania uznano przemiany fazowe i wykresy CTPc (CCT) (47,4%). Na drugim miejscu znalazły się zjawiska pęknięcia (36,8%). Natomiast mechanizm krzepnięcia (8,3%) oraz obróbka cieplna po spawaniu (PWHT) (7,5%) zostały ocenione przez respondentów jako mniej istotne.

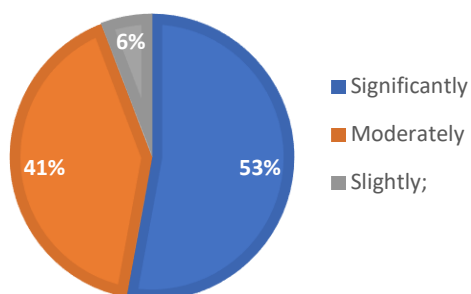


Rysunek 15. Preferowane symulacje do pogłębionego uczenia się zachowania materiałów podczas spawania

3.1.5. Sekcja E: Projektowanie konstrukcji spawanych

Postrzegane korzyści z wizualizacji 3D/VR/AR połączeń oraz dostępności wykonywania spoin, dających możliwość poprawy projektu pod kątem wytwarzalności oraz ograniczenia odkształceń

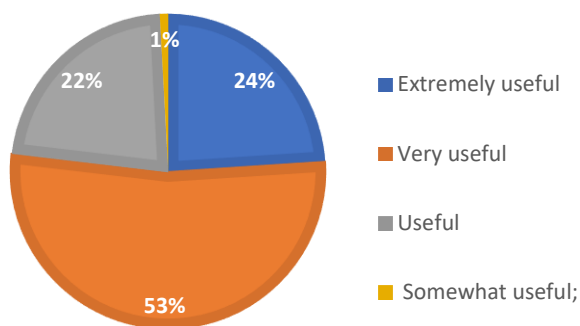
Wniosek (Rysunek 16): Wyniki wskazują, że 52,9% respondentów uważa, iż wizualizacja 3D/VR/AR połączeń i dostępności wykonywania spoin znacząco poprawiłaby projektowanie pod kątem wytwarzalności oraz przyczyniłaby się do zmniejszenia odkształceń. Kolejne 41,3% badanych ocenia jej wpływ jako umiarkowanie korzystny. Jedynie 5,8% respondentów dostrzega niewielką poprawę, co wskazuje na silne ogólne poparcie dla wykorzystania tych technologii w projektowaniu i produkcji konstrukcji spawanych.



Rysunek 16. Postrzegane korzyści z wizualizacji 3D/VR/AR połączeń oraz dostępności wykonywania spoin

Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR do wizualizacji nakładających się złączy spawanych oraz sekwencji spawania bezpośrednio na elemencie, w celu ograniczenia problemów technologicznych i odkształceń

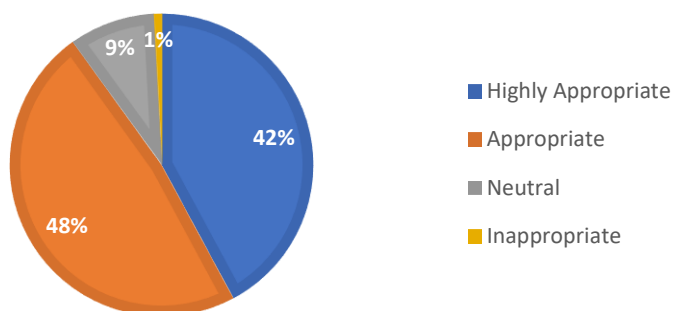
Wnioski (Rysunek 17): Wyniki wskazują, że większość respondentów uważa technologie AR/VR za bardzo przydatne w wizualizacji złączy spawanych oraz sekwencji spawania. 52,9% badanych oceniło te technologie jako bardzo użyteczne, a 24,0% jako niezwykle użyteczne. Dodatkowo 22,3% respondentów uznało je za użyteczne, podczas gdy jedynie 0,8% oceniło je jako umiarkowanie użyteczne. Wyniki te świadczą o silnym poparciu dla zastosowania technologii AR/VR w celu usprawnienia planowania procesów spawania oraz ograniczenia ograniczeń produkcyjnych i odkształceń.



Rysunek 17. Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR do wizualizacji nakładających się złączy spawanych

Postrzeganie zasadności wykorzystania technologii AR/VR/AI do optymalizacji projektowania (np. rozmieszczenia połączeń, grubości elementów, ściegów spawalniczych) na podstawie danych eksperymentalnych

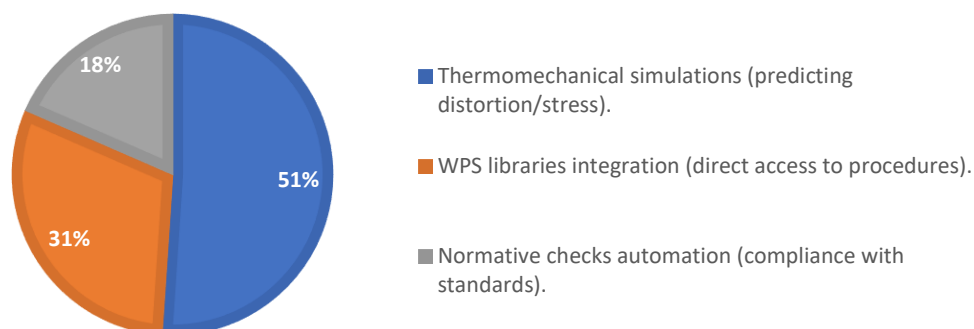
Wniosek (Rysunek 18): Wyniki wskazują na silne poparcie respondentów dla wykorzystania technologii AR/VR/AI do optymalizacji projektowania konstrukcji spawanych w oparciu o dane eksperymentalne. 47,9% badanych uznało takie zastosowanie za odpowiednie, a 42,1% za bardzo odpowiednie. Jedynie 9,1% respondentów wyraziło opinię neutralną, natomiast zaledwie 0,8% uznało wykorzystanie tych technologii za nieodpowiednie.



Rysunek 18. Postrzeganie zasadności wykorzystania technologii AR/VR/AI do optymalizacji projektowania

Najważniejsze funkcjonalności cyfrowe kluczowe w projektowaniu konstrukcji spawanych

Wnioski (Rysunek 19): Wyniki wskazują, że symulacje termomechaniczne są uznawane za najważniejszą funkcjonalność cyfrową w projektowaniu konstrukcji spawanych, stanowiąc 51,1% wszystkich odpowiedzi. Integracja bibliotek WPS (Specyfikacji Technologii Spawania) została wskazana przez 30,5% respondentów, natomiast 18,4% badanych uznało automatyzację weryfikacji zgodności z normami za najistotniejszą funkcjonalność.

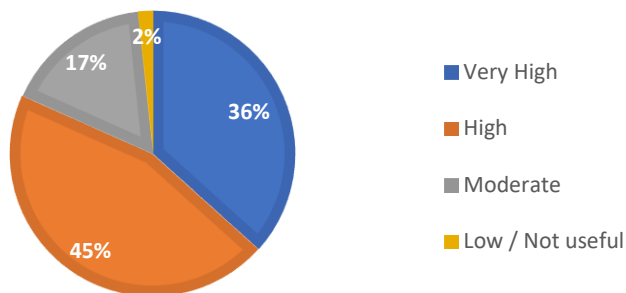


Rysunek 19. Najważniejsze funkcjonalności cyfrowe kluczowe w projektowaniu konstrukcji spawanych

3.1.6. Sekcja F: Problemy wytwarzania konstrukcji spawanych

Przewidywana użyteczność technologii AR/VR do symulacji przepływu procesu produkcyjnego (montaż → spawanie → badania NDT) w celu identyfikacji wąskich gardeł i obszarów ryzyka

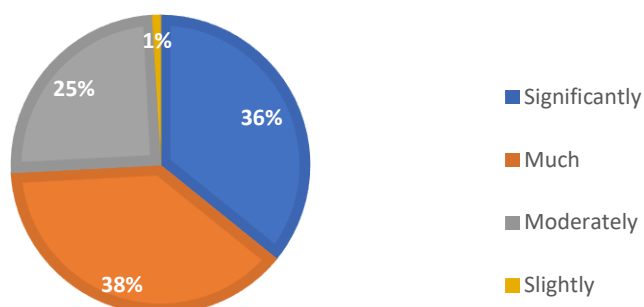
Wnioski (Rysunek 20): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii AR/VR do symulacji przepływu procesu produkcyjnego (montaż → spawanie → badania nieniszczące NDT). 45,0% respondentów oceniło ich przydatność jako wysoką, a 36,7% jako bardzo wysoką. Kolejne 16,7% badanych uznało ją za umiarkowanie przydatną, podczas gdy jedynie 1,7% dostrzega niewielką lub żadną wartość takiego rozwiązania. Wyniki te podkreślają potencjał technologii AR/VR w identyfikowaniu wąskich gardeł produkcyjnych oraz obszarów podwyższonego ryzyka.



Rysunek 20. Przewidywana użyteczność technologii AR/VR do symulacji przepływu procesu produkcyjnego

Postrzeganie skuteczności technologii AR/VR w ograniczaniu błędów montażowych (ustawienia współosiowości i przygotowanie połączeń) przed rozpoczęciem spawania łukowego

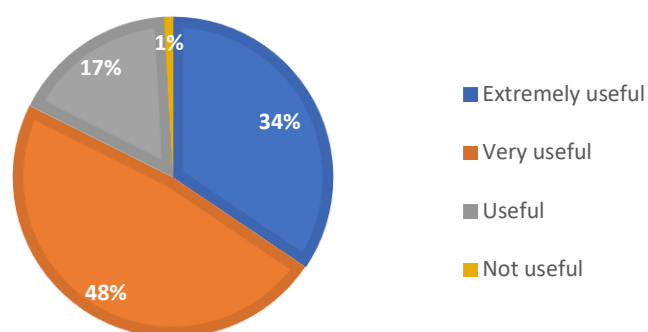
Wniosek (Rysunek 21): Wyniki wskazują, że respondenci postrzegają technologie AR/VR jako wysoce skuteczne w ograniczaniu błędów montażowych przed rozpoczęciem spawania łukowego. 38,3% badanych oceniło ich skuteczność jako dużą, a 35,8% jako bardzo dużą. Dodatkowo 25,0% respondentów uznało je za umiarkowanie skuteczne, podczas gdy jedynie 0,8% dostrzega niewielkie korzyści. Wyniki te świadczą o wysokim poziomie zaufania do wykorzystania technologii AR/VR w poprawie dokładności montażu, współosiowości elementów oraz przygotowania połączeń spawanych.



Rysunek 21. Postrzeganie skuteczności technologii AR/VR w ograniczaniu błędów montażowych

Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR/AI do identyfikacji niezgodności w czasie rzeczywistym (np. parametrów poza tolerancją) w celu zapobiegania naprawom

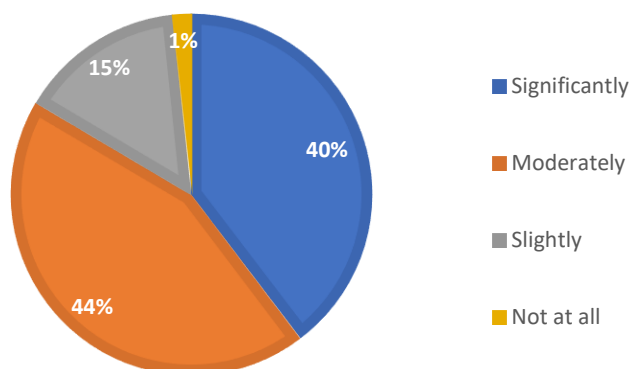
Wniosek (Rysunek 22): Wyniki wskazują na silne poparcie respondentów dla wykorzystania technologii AR/VR/AI do identyfikacji niezgodności w czasie rzeczywistym. 47,9% badanych oceniło te technologie jako bardzo przydatne, a 34,5% jako niezwykle przydatne. Kolejne 16,8% respondentów uznało je za przydatne, natomiast jedynie 0,8% oceniło je jako nieprzydatne. Wyniki te potwierdzają wysokie zaufanie do wykorzystania technologii AR/VR/AI w bieżącym wykrywaniu odchyłeń od wymagań jakościowych oraz zapobieganiu kosztownym naprawom i przeróbkom.



Rysunek 22. Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR/AI do identyfikacji niezgodności w czasie rzeczywistym

Postrzeganie wkładu technologii VR/AR/AI w spełnianie wymagań normy ISO 3834 w zakresie kontroli przed spawaniem, w trakcie spawania i po spawaniu oraz identyfikowalności materiałów i materiałów dodatkowych do spawania

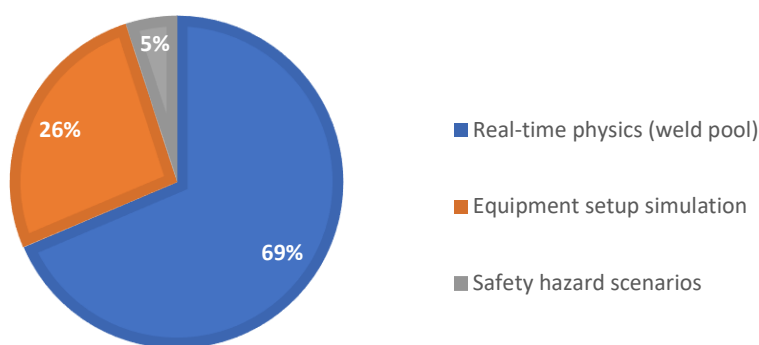
Wniosek (Rysunek 23): Wyniki wskazują, że 43,8% respondentów uważa, iż technologie VR/AR/AI w umiarkowanym stopniu ułatwiają spełnienie wymagań normy ISO 3834, natomiast 39,7% dostrzega ich znaczący wkład w tym zakresie. Jedynie 14,9% badanych oceniło ten wpływ jako niewielki, a 1,7% uznało, że technologie te w ogóle nie ułatwiają zgodności z wymaganiami normy. Wyniki te wskazują na ogólnie pozytywną ocenę potencjału technologii VR/AR/AI w zakresie wspomagania kontroli jakości procesów spawalniczych oraz zapewnienia identyfikowalności materiałów i materiałów dodatkowych zgodnie z wymaganiami ISO 3834.



Rysunek 23. Postrzeganie wkładu technologii VR/AR/AI w spełnianie wymagań normy ISO 3834

Kluczowe elementy, które powinny zostać uwzględnione w idealnym wirtualnym warsztacie do szkoleń zawodowych

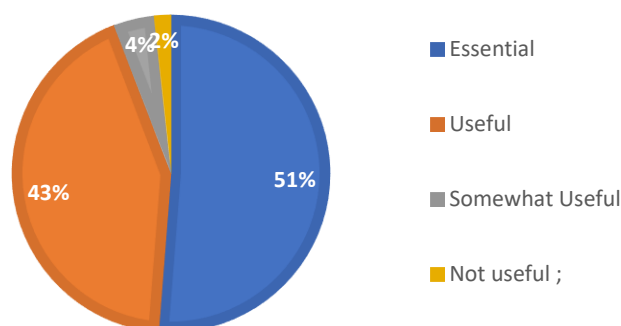
Wniosek (Rysunek 24): Wyniki wskazują, że symulacja fizyki jeziorka spawalniczego w czasie rzeczywistym jest uznawana za najważniejszy element idealnego wirtualnego warsztatu szkoleniowego (68,6%). Na drugim miejscu znalazła się symulacja konfiguracji i ustawiania urządzeń spawalniczych (26,4%), natomiast scenariusze związane z zagrożeniami bezpieczeństwa zostały wskazane jedynie przez 5,0% respondentów. Wyniki te sugerują, że uczestnicy szkoleń największą wartość przypisują realistycznemu odwzorowaniu procesu spawania, umożliwiającemu lepsze zrozumienie zachowania jeziorka spawalniczego oraz wpływu parametrów procesu na jakość wykonywanych spoin.



Rysunek 24. Kluczowe elementy w idealnym wirtualnym warsztacie do szkoleń zawodowych

Postrzeganie użyteczności technologii VR/AR w wykrywaniu wad w czasie rzeczywistym (np. porowatości, podtopień) podczas procesu spawania

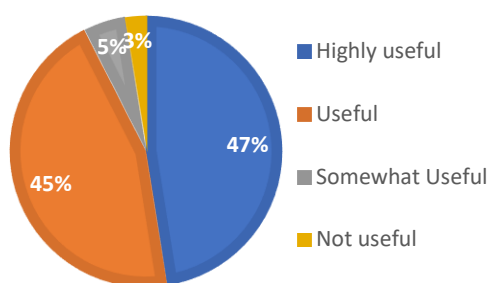
Wniosek (Rysunek 25): Wyniki wskazują na silne poparcie dla narzędzi VR/AR umożliwiających generowanie alertów o wadach w czasie rzeczywistym podczas spawania. 51,2% respondentów uznało takie rozwiązania za niezbędne, a 43,0% za użyteczne. Jedynie 4,1% badanych oceniło je jako częściowo przydatne, natomiast 1,7% uznało je za nieprzydatne. Wyniki te potwierdzają wysoką ocenę potencjału technologii VR/AR w zakresie bieżącego wykrywania niezgodności spawalniczych, takich jak porowatość czy podtopienia, co może znacząco ograniczyć liczbę wad oraz koszty związane z naprawami i kontrolą jakości.



Rysunek 25. Postrzeganie użyteczności technologii VR/AR w wykrywaniu wad w czasie rzeczywistym

Postrzeganie użyteczności wykorzystania technologii VR/AR do symulacji obliczeń spawalniczych (np. szybkości chłodzenia, energii liniowej spawania) w celu usprawnienia procesu opracowywania PQR i WPS

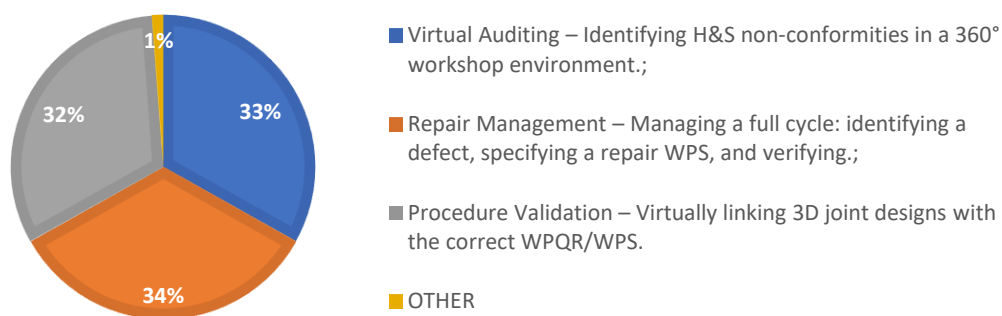
Wnioski (Rysunek 26): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii VR/AR do symulacji obliczeń spawalniczych na potrzeby opracowywania kwalifikacji technologii spawania (PQR) oraz instrukcji technologicznych spawania (WPS). 47,5% respondentów oceniło takie rozwiązanie jako bardzo użyteczne, a 45,0% jako użyteczne. Jedynie 5,0% badanych uznało je za umiarkowanie użyteczne, natomiast 2,5% oceniło je jako nieprzydatne. Wyniki te potwierdzają duży potencjał technologii VR/AR w zakresie wspomaganie analiz parametrów spawalniczych, co może przyczynić się do usprawnienia procesu opracowywania i weryfikacji dokumentacji WPQR oraz WPS.



Rysunek 26. Postrzeganie użyteczności wykorzystania technologii VR/AR do symulacji obliczeń spawalniczych

Preferowane ćwiczenia laboratoryjne z wykorzystaniem technologii VR/AR w szkoleniach zawodowych

Wnioski (Rysunek 27): Wyniki wskazują, że kontrola wizualna (Visual Inspection) była najczęściej wybieranym ćwiczeniem laboratoryjnym z wykorzystaniem technologii VR/AR, uzyskując 35,3% wskazań. Kolejne miejsca zajęły zarządzanie naprawami (Repair Management) z wynikiem 21,8%, wirtualne audytowanie (Virtual Auditing) z 21,4% oraz walidacja procedur (Procedure Validation) z 20,7%. Jedynie 0,8% respondentów wskazało inne rodzaje ćwiczeń. Wyniki te sugerują, że uczestnicy szkoleń dostrzegają największą wartość technologii VR/AR w praktycznych zadaniach związanych z kontrolą jakości, zarządzaniem procesami naprawczymi, audytami oraz weryfikacją procedur technologicznych.

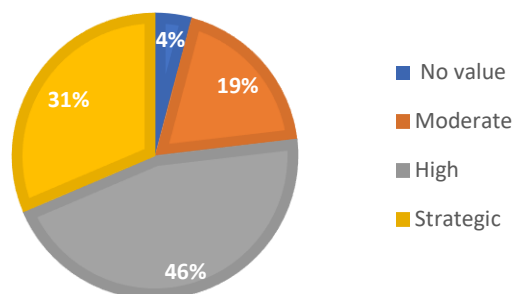


Rysunek 27. Preferowane ćwiczenia laboratoryjne z wykorzystaniem technologii VR/AR w szkoleniach zawodowych

3.1.7. Sekcja G: Ocena korzyści płynących z zastosowania XR w strategicznym planie szkoleń

Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR do oceny dostępności zastosowania palnika spawalniczego w złożonych geometriach 3D przed rozpoczęciem procesu (przegląd techniczny zgodny z ISO 14731)

Wnioski (Rysunek 28): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii AR/VR do oceny dostępności zastosowania palnika spawalniczego podczas przeglądu technicznego zgodnego z wymaganiami normy ISO 14731. 45,5% respondentów oceniło takie rozwiązanie jako bardzo wartościowe, a 31,4% uznało je za strategicznie istotne. Jedynie 19,0% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego zastosowania, natomiast 4,1% uważa je za pozbawione wartości. Wyniki te potwierdzają potencjał technologii AR/VR jako narzędzia wspierającego analizę wykonalności procesu spawania na etapie przygotowania produkcji, umożliwiającego wczesne wykrywanie problemów związanych z dostępnością narzędzi oraz ograniczanie ryzyka wystąpienia trudności technologicznych podczas realizacji procesu.

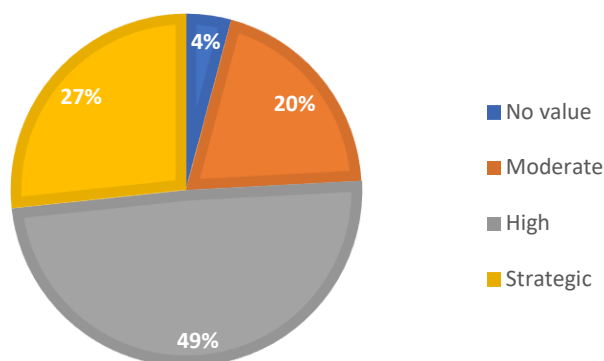


Rysunek 28. Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR do oceny dostępności zastosowania palnika spawalniczego w złożonych geometriach 3D

Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR w doborze materiałów i materiałów dodatkowych do spawania na podstawie certyfikatów cyfrowych

Wnioski (Rysunek 29): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii AR/VR do wirtualnej weryfikacji materiałów oraz materiałów dodatkowych do spawania w oparciu o certyfikaty cyfrowe. 49,2% respondentów oceniło takie rozwiązanie jako bardzo wartościowe, a 26,7% uznało je za strategicznie istotne. Jedynie 20,0% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego zastosowania, natomiast 4,2% uważa je za pozbawione wartości. Wyniki te potwierdzają potencjał technologii AR/VR w zakresie wspierania procesów identyfikacji i weryfikacji materiałów, zwiększania zgodności z wymaganiami jakościowymi oraz ograniczania

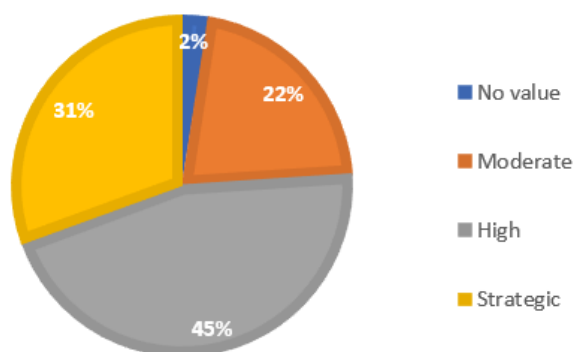
ryzyka błędów związanych z doбором materiałów i materiałów dodatkowych w procesach spawalniczych.



Rysunek 29. Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR w doborze materiałów do spawania

Postrzeganie użyteczności symulacji 3D niezgodności spawalniczych w procesach kontroli i badań złączy spawanych

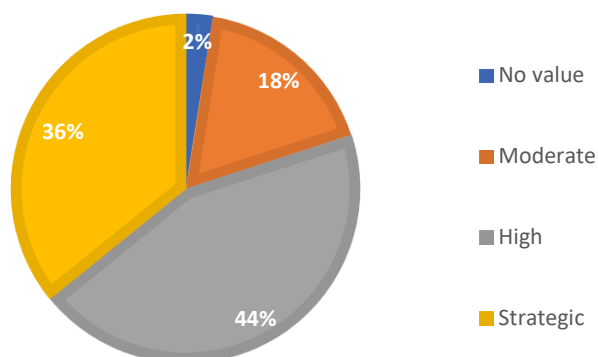
Wniosek (Rysunek 30): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania losowo generowanych trójwymiarowych niezgodności spawalniczych w szkoleniach z zakresu badań nieniszczących (NDT) i badań niszczących (DT). 45,5% respondentów oceniło takie podejście jako bardzo wartościowe, a 30,6% uznało je za strategicznie istotne. Kolejne 21,5% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego rozwiązania, natomiast jedynie 2,5% uważa, że nie przynosi ono żadnych korzyści. Wyniki te potwierdzają duży potencjał wykorzystania symulacji 3D niezgodności spawalniczych w procesie szkolenia personelu kontrolnego, umożliwiając realistyczne odwzorowanie różnorodnych wad oraz skuteczniejsze rozwijanie kompetencji w zakresie oceny jakości i interpretacji wyników badań złączy spawanych.



Rysunek 30. Postrzeganie użyteczności symulacji 3D niezgodności spawalniczych

Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR w szkoleniach z zakresu zarządzania niezgodnościami, działań korygujących oraz zarządzania cyklem napraw, od wykrycia niezgodności do jej usunięcia

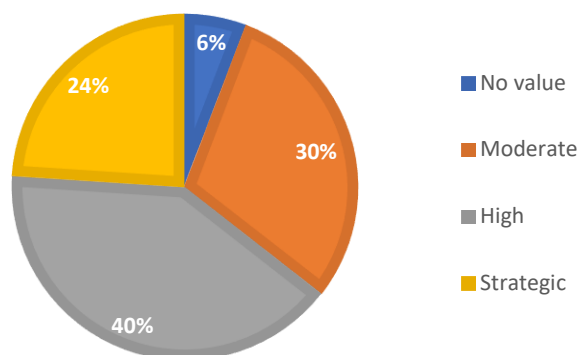
Wnioski (Rysunek 31): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii AR/VR w zarządzaniu cyklem napraw. 44,2% respondentów oceniło takie rozwiązanie jako bardzo wartościowe, a 35,8% uznało je za strategicznie istotne. Jedynie 17,5% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego zastosowania, natomiast 2,5% uważa je za pozbawione wartości. Wyniki te potwierdzają potencjał technologii AR/VR jako skutecznego narzędzia szkoleniowego wspierającego zarządzanie niezgodnościami, planowanie i wdrażanie działań korygujących oraz nadzorowanie całego procesu naprawczego, od identyfikacji wady aż do jej skutecznego usunięcia i zamknięcia sprawy.



Rysunek 31. Postrzeganie użyteczności technologii AR/VR w szkoleniach z zakresu zarządzania cyklem napraw

Postrzeganie użyteczności technologii XR w ocenie i monitorowaniu poziomu kompetencji personelu spawalniczego

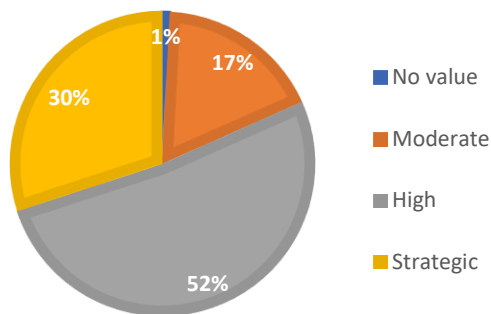
Wniosek (Rysunek 32): Wyniki wskazują na pozytywne postrzeganie technologii XR w procesie kwalifikowania i oceny personelu spawalniczego. 40,5% respondentów uznało jej zastosowanie za bardzo wartościowe, a 24,0% za strategicznie istotne. Jednocześnie 29,8% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tej technologii, natomiast jedynie 5,8% uważa, że nie przynosi ona żadnych korzyści. Wyniki te potwierdzają znaczący potencjał technologii XR w zakresie obiektywnej oceny, monitorowania postępów oraz rozwoju kompetencji personelu spawalniczego, wspierając zarówno procesy szkoleniowe, jak i kwalifikacyjne.



Rysunek 32. Postrzeganie użyteczności technologii XR w ocenie poziomu kompetencji personelu spawalniczego

Postrzeganie użyteczności technologii XR do wizualizacji obróbki cieplnej po spawaniu (PWHT): szybkości chłodzenia oraz wymagań dotyczących podgrzewania wstępnego w celu zapobiegania pęknięciom

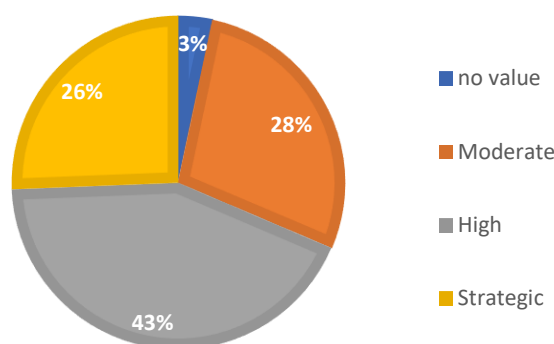
Wnioski (Rysunek 33): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii XR do wizualizacji obróbki cieplnej po spawaniu (PWHT), szybkości chłodzenia oraz wymagań dotyczących podgrzewania wstępnego. 51,7% respondentów oceniło takie rozwiązanie jako bardzo wartościowe, a 30,0% uznało je za strategicznie istotne. Jedynie 17,5% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego zastosowania, natomiast zaledwie 0,8% uważa je za pozbawione wartości. Wyniki te potwierdzają duży potencjał technologii XR jako narzędzia wspierającego zrozumienie i kontrolę procesów cieplnych związanych ze spawaniem, co może przyczynić się do ograniczenia ryzyka powstawania pęknięć, poprawy jakości złączy spawanych oraz zwiększenia skuteczności szkoleń i procesów planowania technologicznego.



Rysunek 33. Postrzeganie użyteczności technologii XR do wizualizacji obróbki cieplnej po spawaniu

Postrzeganie użyteczności technologii XR w wirtualnych audytach: identyfikacja niezgodności związanych z bezpieczeństwem i ochroną środowiska podczas audytu wirtualnego warsztatu 360°

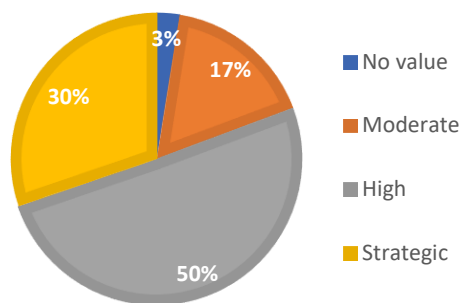
Wniosek (Rysunek 34): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii XR w wirtualnych audytach. 43,0% respondentów oceniło jej zastosowanie jako bardzo wartościowe, a 25,6% uznało je za strategicznie istotne. Jednocześnie 28,1% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tej technologii, natomiast jedynie 3,3% uważa, że nie przynosi ona żadnych korzyści. Wyniki te potwierdzają znaczący potencjał technologii XR w zakresie wspomagania wirtualnych audytów poprzez skuteczną identyfikację niezgodności związanych z bezpieczeństwem pracy i ochroną środowiska, a także zwiększenie efektywności i dostępności procesów audytowych w środowisku przemysłowym.



Rysunek 34. Postrzeganie użyteczności technologii XR w wirtualnych audytach

Postrzeganie użyteczności technologii XR w opracowywaniu instrukcji technologicznych spawania (WPS) oraz kwalifikowaniu technologii spawania (WPQR)

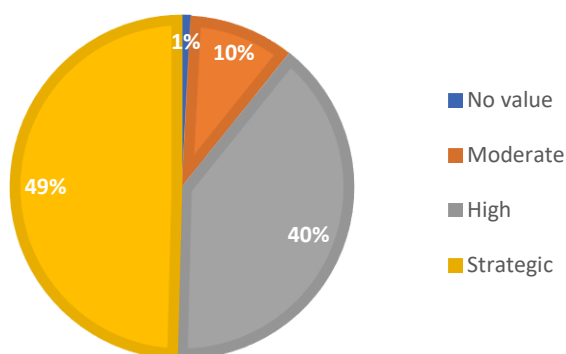
Wniosek (Rysunek 35): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii XR w procesie opracowywania instrukcji technologicznych spawania (WPS) oraz kwalifikowania technologii spawania (PQR). 50,4% respondentów oceniło jej zastosowanie jako bardzo wartościowe, a 30,3% uznało je za strategicznie istotne. Jednocześnie 16,8% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tej technologii, natomiast jedynie 2,5% uważa, że nie przynosi ona żadnych korzyści. Wyniki te potwierdzają duży potencjał technologii XR w zakresie wspomagania opracowywania, weryfikacji i optymalizacji procedur spawalniczych, co może przyczynić się do zwiększenia efektywności procesów kwalifikacyjnych oraz poprawy jakości dokumentacji technologicznej spawania.



Rysunek 35. Postrzeganie użyteczności technologii XR w opracowywaniu instrukcji technologicznych spawania

Postrzeganie użyteczności technologii XR do gromadzenia danych o niezgodnościach i wadach spawalniczych

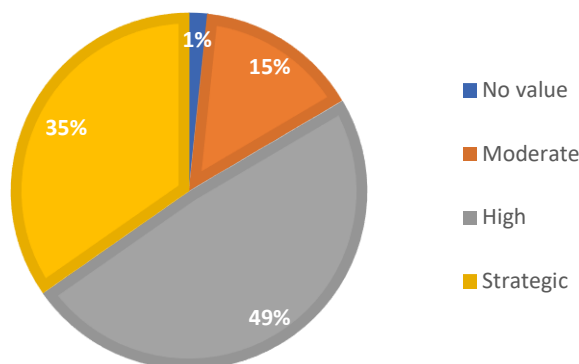
Wnioski (Rysunek 36): Wyniki wskazują na bardzo silne poparcie dla wykorzystania technologii XR do gromadzenia danych dotyczących wad i niezgodności spawalniczych. 49,6% respondentów oceniło takie rozwiązanie jako strategicznie istotne, a 39,7% jako bardzo wartościowe. Jedynie 9,9% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego zastosowania, natomiast zaledwie 0,8% uważa je za pozbawione wartości. Wyniki te potwierdzają duży potencjał technologii XR w zakresie usprawnienia procesów zbierania, dokumentowania i analizy danych o wadach spawalniczych, co może przyczynić się do poprawy identyfikowalności niezgodności, zwiększenia efektywności działań jakościowych oraz wspierania procesów ciągłego doskonalenia w produkcji spawalniczej.



Rysunek 36. Postrzeganie użyteczności technologii XR do gromadzenia danych o niezgodnościach i wadach spawalniczych

Postrzeganie użyteczności technologii XR w monitorowaniu energii liniowej spawania (Heat Input) w procesach spawalniczych

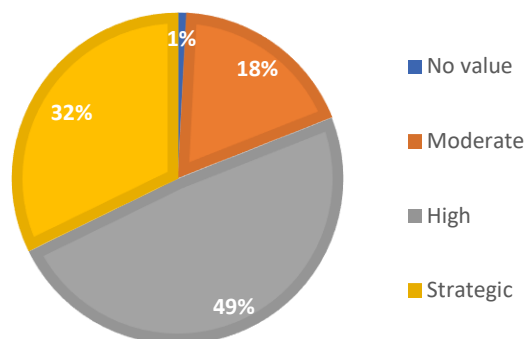
Wniosek (Rysunek 37): Wyniki wskazują na silne poparcie dla wykorzystania technologii XR do monitorowania energii liniowej spawania w procesach spawalniczych. 48,8% respondentów oceniło jej zastosowanie jako bardzo wartościowe, a 34,7% uznało je za strategicznie istotne. Jednocześnie 14,9% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tej technologii, natomiast jedynie 1,7% uważa, że nie przynosi ona żadnych korzyści. Wyniki te potwierdzają znaczący potencjał technologii XR w zakresie monitorowania i wizualizacji parametrów cieplnych procesu spawania, co może przyczynić się do lepszej kontroli jakości, ograniczenia ryzyka powstawania niezgodności oraz zapewnienia zgodności parametrów procesu z wymaganiami technologicznymi.



Rysunek 37. Postrzeganie użyteczności technologii XR w monitorowaniu energii liniowej spawania

Postrzeganie użyteczności technologii XR w projektowaniu złączy spawanych

Wnioski (Rysunek 38): Wyniki wskazują, że technologie XR są postrzegane jako bardzo wartościowe narzędzie wspierające projektowanie złączy spawanych. 48,8% respondentów oceniło ich wartość jako wysoką, a 32,2% jako strategiczną. Jedynie 18,2% badanych dostrzega umiarkowaną wartość tego zastosowania, natomiast zaledwie 0,8% nie widzi w nim żadnej wartości. Wyniki te świadczą o dużym zaufaniu do potencjału technologii XR w zakresie wspomagania projektowania złączy spawanych, poprawy jakości rozwiązań konstrukcyjnych oraz usprawnienia procesów planowania i weryfikacji technologicznej na etapie projektowania.



Rysunek 38. Postrzeganie użyteczności technologii XR w projektowaniu złączy spawanych

Dodatkowe uwagi

Dotyczące procesów spawania i cięcia:

„Bardzo dobry pomysł, który zasługuje na wdrożenie!”

„Uważam, że aby dana osoba mogła naprawdę zdecydować, czy będzie czerpać satysfakcję z praktycznego wykonywania spawania, niezbędne jest doświadczenie rzeczywistych bodźców związanych z tym procesem, takich jak hałas, zapach, światło oraz inne doznania fizyczne. Dlatego praktyczna nauka zawodu nadal cieszy się dużym poparciem i pozostaje konieczna w każdej dziedzinie działalności. Pozwala ona określić, czy dana osoba rzeczywiście chce uczyć się konkretnych procesów spawalniczych, pracować jako spawacz, montować elementy oraz funkcjonować w złożonym środowisku tego zawodu zgodnie z własną motywacją i chęcią rozwoju. Spawanie jest procesem specjalnym i jednym z najważniejszych procesów w wytwarzaniu konstrukcji metalowych. O ile przy pomocy sztucznej inteligencji oraz rzeczywistości wirtualnej możemy nauczyć się niemal wszystkiego, takiego jak matematyka, języki obce, fizyka, bezpieczeństwo i higiena pracy itp., o tyle umiejętności manualne wymagają fizycznego podejścia. W przeciwnym razie nie jesteśmy w stanie wytrenować mózgu do wykonywania określonych ruchów wyłącznie poprzez ich obserwację.”

„Technologie te są doskonałymi narzędziami wspierającymi przyspieszone uczenie się, standaryzację oraz bezpieczeństwo, jednak nie mogą zastąpić praktycznego i wielozmysłowego doświadczenia niezbędnego do certyfikacji oraz wykonywania zawodu profesjonalnego spawacza.”

„Jako wniosek techniczny i dydaktyczny dotyczący integracji technologii XR ze szkoleniem IWE (International Welding Engineer, Międzynarodowy Inżynier Spawalnik), należy postrzegać te narzędzia nie jako uniwersalne rozwiązanie ani „złoty środek”, lecz jako katalizator kompetencji. Poniższe dodatkowe argumenty i uzasadnienia techniczne wspierają wcześniejsze oceny, zwłaszcza w odniesieniu do procesów spawania i cięcia.

I. Uzasadnienie w podziale na poszczególne procesy (MMA vs. MIG/MAG vs. TIG)

- a. *Proces MMA (111)*
Znaczenie technologii XR jest kluczowe dla opanowania ruchu w przestrzeni trójwymiarowej. Szkolony musi jednocześnie wykonywać dwa ruchy: ruch liniowy wzdłuż złącza oraz stopniowe przesuwanie elektrody w kierunku jeziorka spawalniczego wraz z jej zużywaniem się. Symulator jest idealnym narzędziem do wyodrębnienia i opanowania tej precyzyjnej koordynacji ruchowej.
 - b. *Proces MIG/MAG (135)*
Zależność pomiędzy prędkością podawania drutu (v_s) a napięciem łuku (U) determinuje rodzaj przenoszenia metalu w łuku (zwarcowy, natryskowy lub kropłowy). XR umożliwia graficzną wizualizację obszaru roboczego (WPS), w którym te zmienne działają optymalnie, dając przyszłemu inżynierowi intuicyjne zrozumienie stabilności łuku spawalniczego.
 - c. *Proces TIG (141)*
Choć użyteczność tej technologii jest umiarkowana ze względu na złożoność aspektów dotykowych, XR eliminuje jeden z najkosztowniejszych błędów początkujących spawaczy, czyli dotknięcie elektrodą wolframową jeziorka spawalniczego lub materiału dodatkowego. W rzeczywistej praktyce powoduje to natychmiastowe zanieczyszczenie spoiny i wymaga przerwania pracy w celu ponownego naostrzenia elektrody.
2. *Procesy cięcia (tlenowe, plazmowe, laserowe)*
Chociaż uwaga często koncentruje się na spawaniu, szkolenie IWE obejmuje również technologie cięcia termicznego. W tym obszarze symulacje VR/AR są niezwykle przydatne.
 - a. *Cięcie tlenowe*
Umożliwia wizualne zrozumienie działania płomienia podgrzewającego (neutralnego, nawęglającego lub utleniającego) oraz kontroli odległości dyszy od materiału, co pozwala zapobiegać zjawiskom cofnięcia płomienia (backfire) i cofnięcia się płomienia do instalacji gazowej (flashback), stanowiącym poważne zagrożenie bezpieczeństwa w warunkach rzeczywistych.
 - b. *Cięcie plazmowe*
Pozwala ćwiczyć utrzymywanie prawidłowego kąta ustawienia palnika w celu uzyskania prostopadłego cięcia bez nadmiernego tworzenia się żużlu i zgorzeliny na krawędzi cięcia.
 3. *Argument ekonomiczny i środowiskowy z perspektywy kierownika programu IWE*
Poza szybkością uczenia się argumenty ekologiczne i finansowe są niepodważalne. Jedna godzina wirtualnego spawania oznacza:
 - a. zerową emisję dymów spawalniczych i gazów, co ogranicza koszty wentylacji oraz filtracji powietrza w warsztacie
 - b. zerowe zużycie drogich gazów osłonowych (argon, mieszanki helowe) oraz materiałów dodatkowych do spawania (np. stali wysokostopowych i aluminium),
 - c. brak odpadów w postaci próbek i płyt testowych, które po wykonaniu spoin są zazwyczaj złomowane.

Końcowa refleksja: Technologie wspomagane przez sztuczną inteligencję przenoszą ciężar procesu szkolenia z obszaru „fizycznej metody prób i błędów”, w której uczestnicy szkoleń zużywają materiały,

aby zrozumieć dane zagadnienie, do obszaru „wstępnej analizy poznawczej”. Gdy uczestnik szkolenia trafia ostatecznie do rzeczywistego warsztatu, nie jest już zagubionym początkującym, lecz świadomym operatorem, który wykorzystuje stanowisko spawalnicze przede wszystkim do skalibrowania doznań fizycznych, których technologia nadal nie jest w stanie w pełni odtworzyć.”

Inne uwagi:

- Należy zapewnić szczegółowe informacje techniczne dotyczące zachowania materiałów, ze szczególnym uwzględnieniem wymagań norm ISO.
- Technologie XR/AI mogą znacząco wspierać szkolenia w zakresie inżynierii spawalniczej, pomagając uczestnikom lepiej zrozumieć zjawiska metalurgiczne, parametry procesu spawania oraz wymagania norm ISO poprzez symulacje i zaawansowaną wizualizację. Powinny być jednak stosowane jako narzędzia uzupełniające proces edukacyjny, a nie jako zamiennik rzeczywistych badań, prób oraz praktycznego doświadczenia.
- Technologie VR/AR i AI stanowią wartościowe narzędzia wspierające szkolenia oraz wstępne analizy techniczne, jednak nie są w stanie zastąpić rzeczywistych badań ani specjalistycznej wiedzy technicznej wymaganej przez normy ISO. Powinny być wykorzystywane jako narzędzia wspomagające podejmowanie decyzji, a nie jako substytut procesów kwalifikacji, walidacji i weryfikacji.

Dodatkowe uwagi dotyczące możliwości optymalizacji projektowania konstrukcji spawanych za pomocą technologii VR/AR/AI:

- Symulacja zachowania złączy spawanych w wymagających warunkach technologicznych, takich jak spawanie wąskiej szczeliny (narrow gap), niewspółosiowość elementów (misalignment), nadmiernie szeroka szczelina (wide gap) oraz inne trudne przypadki produkcyjne.
- Technologie VR/AR oraz AI mogą optymalizować projektowanie konstrukcji spawanych poprzez wczesną identyfikację ograniczeń technologicznych, wizualizację warunków dostępu do miejsc spawania i sekwencji wykonywania spoin, a także ograniczanie odkształceń dzięki wykorzystaniu symulacji, rekomendacji opartych na analizie danych, szkoleń oraz dostępu do specjalistycznych baz wiedzy.
- Połączone zastosowanie wirtualnej rzeczywistości (VR) do oceny ergonomii pracy, analizy dostępności oraz wizualizacji geometrii w skali rzeczywistej, rzeczywistości rozszerzonej (AR) do wspomagania wykonawstwa w czasie rzeczywistym i zapobiegania błędom oraz Sztucznej Inteligencji (AI) do predykcyjnej analizy zjawisk metalurgicznych, optymalizacji konstrukcyjnej i inteligentnego wspomagania decyzji, w sposób zasadniczy zmienia rolę Międzynarodowego Inżyniera Spawalnika (IWE). Zamiast pełnić wyłącznie funkcję projektanta złączy spawanych, IWE staje się menedżerem całego cyklu życia konstrukcji spawanych, zdolnym do zapewnienia zgodności z normami międzynarodowymi, poprawy

właściwości użytkowych i bezpieczeństwa konstrukcji, ograniczenia liczby wad spawalniczych oraz odkształceń, a także osiągania znaczących korzyści ekonomicznych na wszystkich etapach projektowania, wytwarzania i eksploatacji konstrukcji.

3.1.8 Komentarze końcowe z ankiety przeprowadzonej wśród inżynierów

- *Jestem gotowy do współpracy przy optymalizacji metod nauczania oraz pracy z technologiami VR i AI.*
- *Uważam, że każdy IWE powinien mieć całościowy ogłęd projektów, w które jest zaangażowany, oraz zachowywać elastyczność we współpracy z mistrzem spawalniczym i spawaczami.*
- *Należy położyć większy nacisk na przygotowywanie WPS, dokumentacji kwalifikacyjnej, dokumentacji zatwierdzającej oraz naukę zmiennych istotnych. Oprócz umiejętności obliczania temperatury podgrzewania wstępnego i wykonywania innych obliczeń technicznych, inżynier spawalnik powinien również potrafić przygotować dokumentację kwalifikacyjną, dokumentację odnowienia uprawnień oraz dokumentację kwalifikowania technologii spawania. Obecnie kurs/egzamin opiera się głównie na mechanicznym zapamiętywaniu informacji. Szkolenie praktyczne jest niezbędne, a technologia VR mogłaby znacząco wspierać proces nauki.*
- *Integracja technologii XR z kwalifikacją I/EWE podnosi jakość szkolenia poprzez symulowanie warunków dostępu, sekwencji spawania i związanych z nimi zagrożeń, zapewniając jednocześnie bezpieczne i kontrolowane środowisko do analizy technicznej, oceny kompetencji oraz zrozumienia zjawisk cieplnych bez zużywania zasobów logistycznych, materiałów i energii.*
- *Odbyłem szkolenie w TWI i oferuje ono bardzo dobrze zorganizowany program nauczania online, który pomaga studentom uczyć się szybciej i skuteczniej.*
- *Łączne wykorzystanie VR, AR, AI, cyfrowych bliźniaków (Digital Twins), symulacji predykcyjnych i inteligentnej analityki danych fundamentalnie zmienia edukację oraz rolę zawodową Międzynarodowego/Europejskiego Inżyniera Spawalnika. Zamiast pełnić wyłącznie funkcję specjalisty odpowiedzialnego za technologie spawania i dokumentację, nowoczesny IWE/EWE staje się cyfrowym menedżerem cyklu życia konstrukcji spawanych, zdolnym do integrowania optymalizacji projektowania, symulacji procesów, zapewnienia jakości, identyfikowalności, predykcyjnego utrzymania ruchu oraz zarządzania ryzykiem w ramach jednego cyfrowego przepływu pracy.*
- *Zamiast pełnić wyłącznie funkcję specjalisty odpowiedzialnego za technologie spawania i dokumentację, nowoczesny IWE/EWE staje się cyfrowym menedżerem cyklu życia konstrukcji spawanych, zdolnym do integrowania optymalizacji projektowania, symulacji procesów, zapewnienia jakości, identyfikowalności, predykcyjnego utrzymania ruchu oraz zarządzania ryzykiem w ramach jednego cyfrowego przepływu pracy.*
- *Dzięki dostosowaniu zaawansowanych technologii cyfrowych do międzynarodowych norm, takich jak ISO 14731, ISO 3834, ISO 15614-1, ISO 13920, ISO 9606, EN 1090, Eurokod 3 oraz wytyczne szkoleniowe IIW/IAB, przyszli inżynierowie spawalnicy będą lepiej*

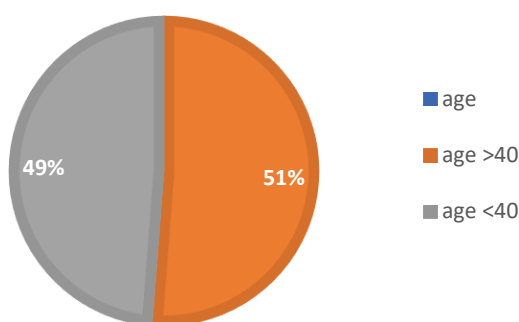
przygotowani do poprawy właściwości konstrukcji, zwiększania bezpieczeństwa, obniżania kosztów produkcji, przyspieszania procesów kwalifikacyjnych oraz wspierania cyfrowej transformacji przemysłu spawalniczego w ramach koncepcji Przemysłu 4.0 i kolejnych etapów jego rozwoju.

- Uważam, że zastosowanie technologii AR/VR/MR może być nadal na etapie wdrażania, jednak ważne jest poszukiwanie odpowiednich obszarów ich wykorzystania.*
- Skontaktuję się z Państwem, aby dowiedzieć się, czy istnieją możliwości współpracy w ramach projektu realizowanego przez konsorcjum.*
- Jeśli spawacz nigdy się nie poparzył ani nie nawdychał dymu spawalniczego, to nie jest prawdziwym spawaczem.*
- Symulatory mogą zostać włączone do programu kształcenia IWE/IWT/IWS, ale wyłącznie jako uzupełniająca metoda nauczania, a nie jako zamiennik obowiązkowych wymagań określonych w dokumencie IAB-252r5.*
- Zaleca się połączenie tradycyjnych zajęć praktycznych z nowym systemem kwalifikacji IWE/IWT.*
- Integracja technologii XR stanie się niezbędna w szkoleniu inżynierów spawalników, ponieważ umożliwia weryfikację dostępności, optymalizację WPS/WPQR oraz cyfrowe monitorowanie jakości w czasie rzeczywistym. W krótkiej perspektywie XR przyspiesza proces nauki, w średniej perspektywie standaryzuje ocenę kompetencji, a w długiej perspektywie łączy szkolenie z wymaganiami norm ISO oraz cyfrowymi przepływami pracy w zakładzie produkcyjnym.*

3.2. Wyniki ankiety przeprowadzonej wśród przedstawicieli ośrodków przemysłowych

Wiek respondentów

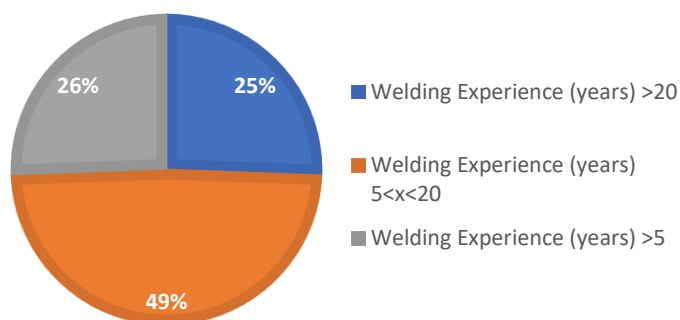
Wniosek (Rysunek 39): Odpowiedzi respondentów były równomiernie rozłożone pod względem wieku: 51,2% stanowiły osoby powyżej 40. roku życia, a 48,8% osoby poniżej 40. roku życia. Zapewnia to zrównoważoną reprezentację zarówno doświadczonych specjalistów, jak i młodszych profesjonalistów.



Rysunek 39. Wiek respondentów

Doświadczenie w spawalnictwie

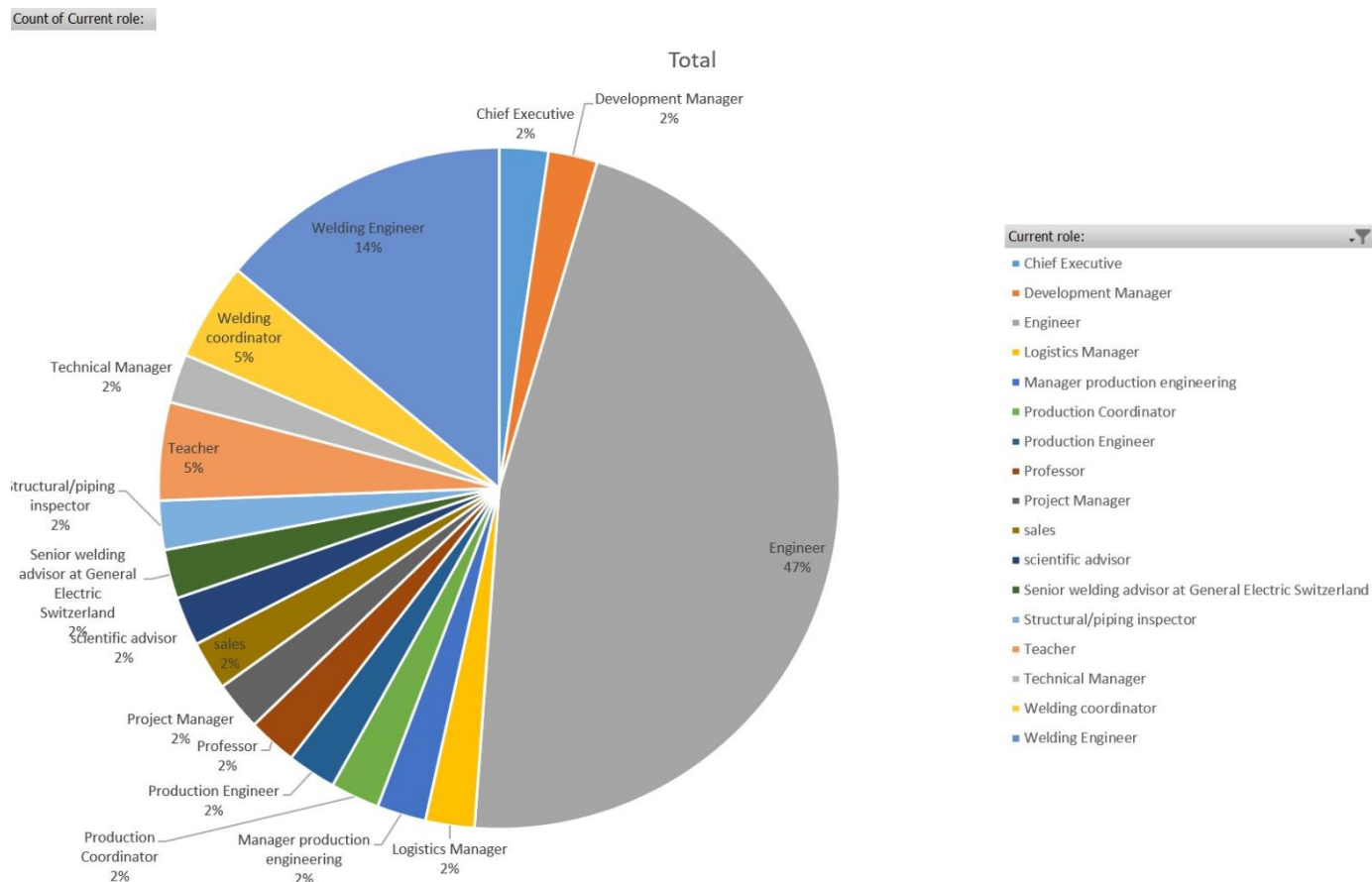
Wniosek (Rysunek 40): Respondenci charakteryzowali się dobrze zrównoważonym poziomem doświadczenia w spawalnictwie. 49% z nich posiadało od 5 do 20 lat doświadczenia zawodowego, natomiast po 25,5% respondentów miało ponad 20 lat doświadczenia lub mniej niż 5 lat doświadczenia. Zapewnia to reprezentację osób o różnych poziomach doświadczenia zawodowego.



Rysunek 40. Doświadczenie w spawalnictwie

Obecna rola

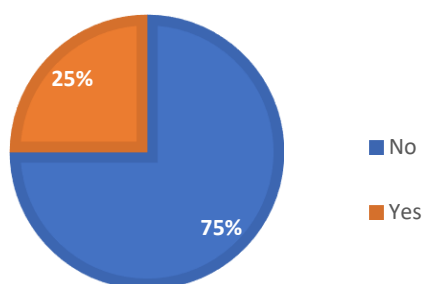
Wniosek (Rysunek 41): Respondenci reprezentują zróżnicowane role zawodowe, przy czym największą część próby stanowili inżynierowie (46,5%) oraz inżynierowie spawalnicy (14,0%). Taki rozkład wskazuje, że wyniki badania odzwierciedlają przede wszystkim perspektywę specjalistów technicznych, jednocześnie uwzględniając opinie i doświadczenia osób zajmujących stanowiska kierownicze oraz pracowników środowiska akademickiego.



Rysunek 41. Obecna rola

Dotychczasowe doświadczenie z VR/AR/AI

Wniosek (Rysunek 42): Wyniki pokazują, że większość respondentów (75,0%) nie miała wcześniej doświadczenia z technologiami VR, AR i AI, co wskazuje, że rozwiązania te są nadal stosunkowo nowe dla większości uczestników badania.

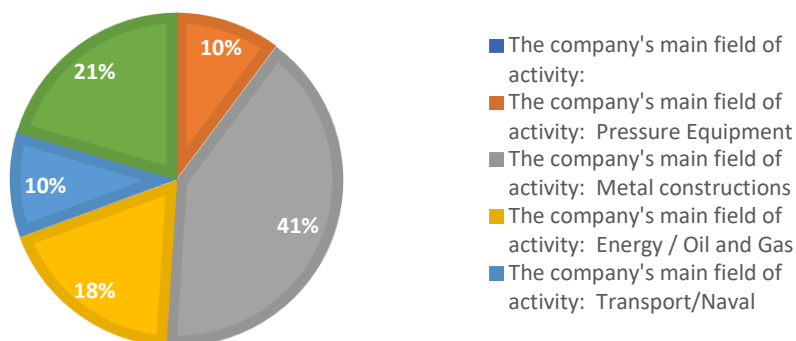


Rysunek 42. Dotychczasowe doświadczenie z VR/AR/AI

3.2.1. Sekcja A: Profil

Główny obszar działalności firmy

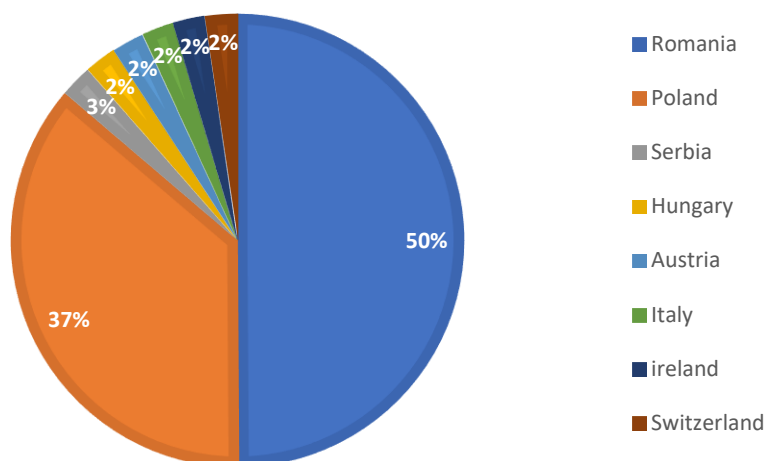
Wniosek (Rysunek 43): Respondenci reprezentowali zróżnicowane sektory przemysłu. Największy udział stanowiły konstrukcje metalowe (40,8%), następnie pozostałe branże (20,4%), energetyka/ropa i gaz (18,4%), urządzenia ciśnieniowe (10,2%) oraz transport/przemysł stoczniowy (10,2%), co zapewnia szeroką reprezentację sektorową.



Rysunek 43. Główny obszar działalności firmy

Kraj zamieszkania

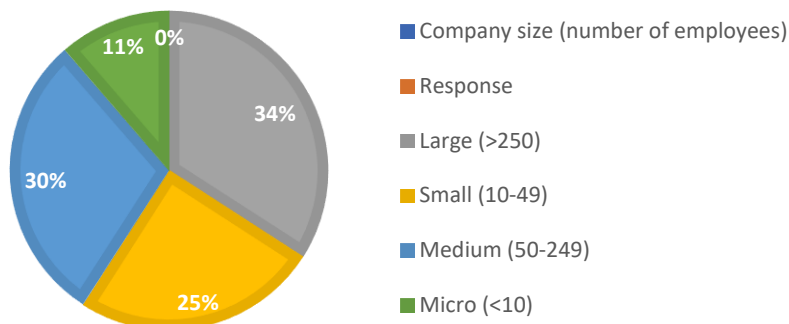
Wniosek (Rysunek 44): W badaniu uczestniczyli respondenci z ośmiu krajów. Zdecydowaną większość stanowili mieszkańcy Rumunii (50,0%) i Polski (36,4%). Austria, Węgry, Irlandia, Włochy, Serbia oraz Szwajcaria były reprezentowane przez po 2,3% respondentów. Taki rozkład zapewnia międzynarodową perspektywę badania przy jednoczesnej silnej reprezentacji krajów Europy Wschodniej. Respondenci pochodzili głównie z Rumunii (50%) i Polski (38%), natomiast pozostali uczestnicy badania zapewnili zróżnicowaną reprezentację geograficzną.



Rysunek 44. Kraj zamieszkania

Wielkość przedsiębiorstwa (liczba pracowników)

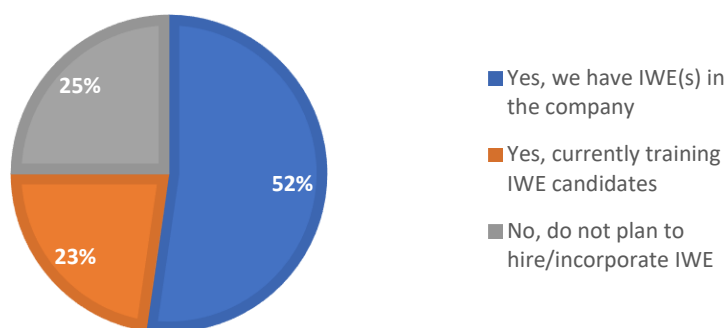
Wniosek (Rysunek 45): Respondenci byli zatrudnieni w przedsiębiorstwach o różnej wielkości, przy czym największą grupę stanowiły duże firmy (34,1%), następnie przedsiębiorstwa średnie (29,5%) i małe (25,0%), co wskazuje na dobrze zrównoważoną reprezentację organizacji o różnej skali działalności.



Rysunek 45. Wielkość przedsiębiorstwa

Zapotrzebowanie przedsiębiorstw na Międzynarodowych Inżynierów Spawalników (IWE)

Wniosek (Rysunek 46): Wyniki wskazują, że 52,3% respondentów zatrudnia już Międzynarodowych Inżynierów Spawalników (IWE), natomiast 22,7% przedsiębiorstw obecnie szkoli kandydatów do uzyskania kwalifikacji IWE. Oznacza to, że łącznie 75,0% firm dostrzega potrzebę posiadania kwalifikacji IWE, podczas gdy 25,0% nie planuje obecnie zatrudniania ani wdrażania specjalistów posiadających kwalifikacje IWE.

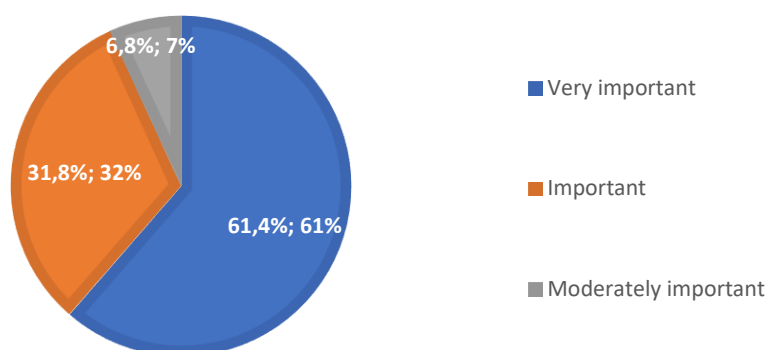


Rysunek 46. Zapotrzebowanie przedsiębiorstw na Międzynarodowych Inżynierów Spawalników (IWE)

3.2.2. Sekcja B: Potrzeby kompetencyjne

Znaczenie ciągłego szkolenia personelu spawalniczego

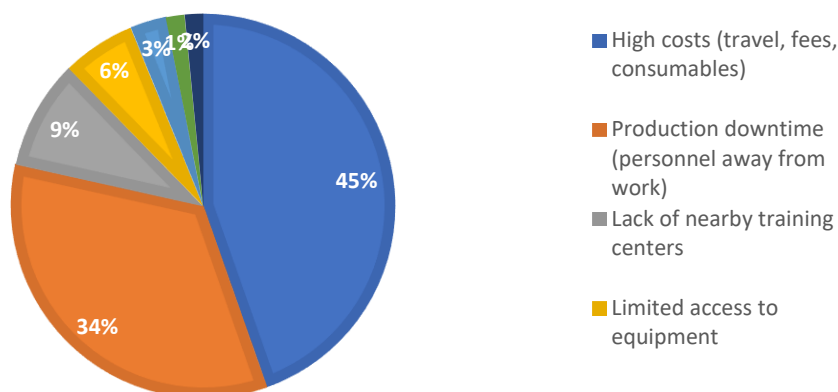
Wniosek (Rysunek 47): Wyniki badania pokazują, że ciągłe szkolenie personelu spawalniczego jest uznawane za bardzo ważne. Aż 93,2% respondentów oceniło je jako bardzo ważne (61,4%) lub ważne (31,8%), co podkreśla jego kluczowe znaczenie w praktyce przemysłowej.



Rysunek 47. Znaczenie ciągłego szkolenia personelu spawalniczego

Podstawowe przeszkody w szkoleniu personelu

Wniosek (Rysunek 48): Wyniki wskazują, że głównymi barierami w szkoleniu personelu są wysokie koszty (44,6%) oraz przestoje produkcyjne (33,8%). Znacznie rzadziej wskazywanymi wyzwaniami są ograniczony dostęp do ośrodków szkoleniowych (9,2%), dostępność wyposażenia i sprzętu (6,2%), ryzyko związane ze szkoleniami praktycznymi (3,1%), niedobór pracowników (1,5%) oraz brak zainteresowanych kandydatów (1,5%).



Rysunek 48. Podstawowe przeszkody w szkoleniu personelu

Kluczowe obszary szkoleń dla przedsiębiorstw

Wniosek (Rysunek 49): Wyniki wskazują, że za najważniejszy obszar szkoleniowy uznawane są praktyczne umiejętności w zakresie procesów spawania (30,6%). Kolejne istotne obszary to interpretacja norm i kodeksów (24,5%), kontrola jakości i badania nieniszczące (NDT) (19,4%) oraz bezpieczeństwo, higiena pracy i ochrona środowiska (HSE) (17,3%). Obróbka cieplna po spawaniu (PWHT) (7,1%) oraz analiza uszkodzeń i awarii (1,0%) zostały wskazane jako obszary o niższym priorytecie szkoleniowym.

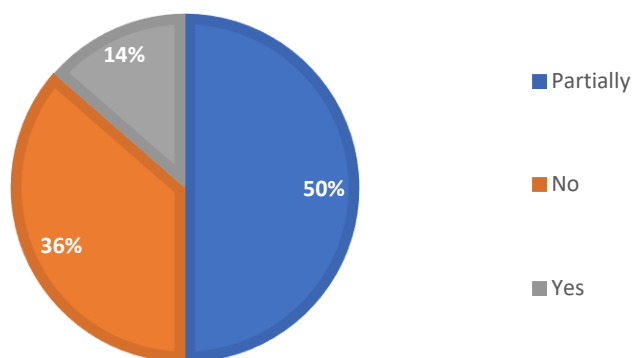


Rysunek 49. Kluczowe obszary szkoleń dla przedsiębiorstw

3.2.3. Sekcja C: Postrzeganie VR/AR

Znajomość technologii VR/AR wykorzystywanej w szkoleniach

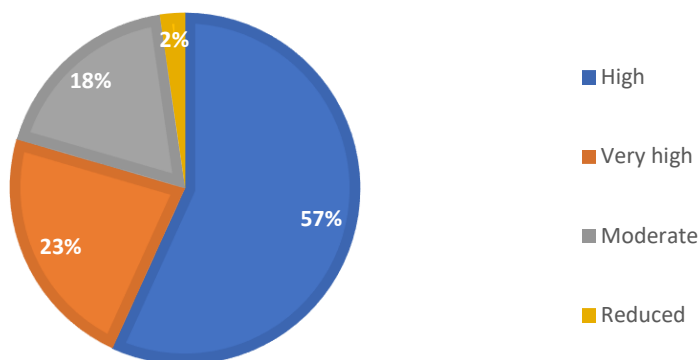
Wniosek (Rysunek 50): Wyniki wskazują, że znajomość technologii VR/AR wykorzystywanych w szkoleniach jest ograniczona. Jedynie 13,6% respondentów zadeklarowało dobrą znajomość tych rozwiązań, podczas gdy 50,0% było z nimi zaznajomionych jedynie częściowo, a 36,4% nie miało żadnej wiedzy ani doświadczenia w zakresie tych technologii.



Rysunek 50. Znajomość technologii VR/AR wykorzystywanej w szkoleniach

Postrzegane korzyści wynikające z wykorzystania technologii VR/AR w szkoleniu inżynierów spawalnictwa

Wniosek (Rysunek 51): Wyniki wskazują na bardzo pozytywne postrzeganie technologii VR/AR. Aż 79,5% respondentów oceniło potencjalne korzyści wynikające z ich zastosowania w szkoleniu inżynierów spawalnictwa jako wysokie lub bardzo wysokie, co świadczy o powszechnym przekonaniu o ich wartości dla edukacji oraz rozwoju kompetencji zawodowych.

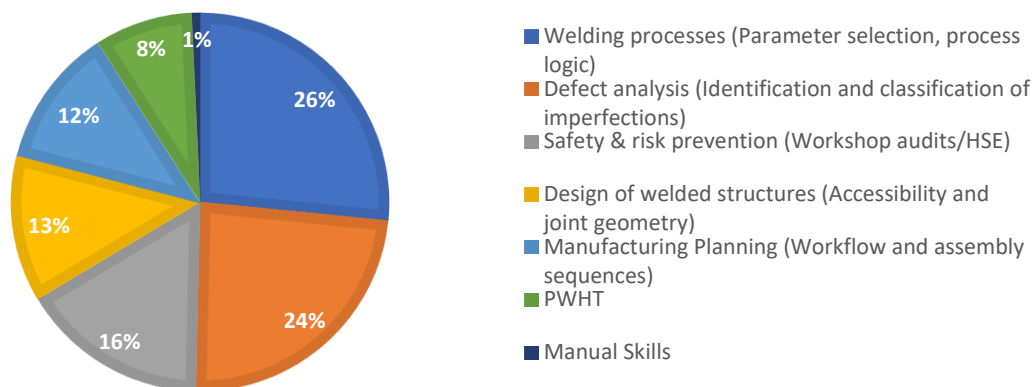


Rysunek 51. Postrzegane korzyści wynikające z wykorzystania technologii VR/AR w szkoleniu inżynierów spawalnictwa

Obszary, w których technologie VR/AR są najbardziej przydatne w szkoleniu inżynierów spawalnictwa

Wniosek (Rysunek 52): Wyniki wskazują, że respondenci dostrzegają największy potencjał technologii VR/AR/AI w zakresie procesów spawalniczych (26,6%) oraz analizy niezgodności i wad spawalniczych (23,8%). Kolejne obszary o wysokim znaczeniu to bezpieczeństwo pracy i zapobieganie zagrożeniom (16,1%), projektowanie konstrukcji spawanych (12,6%) oraz

planowanie procesów wytwarzania (11,9%). Niższy priorytet przypisano obróbce cieplnej po spawaniu (PWHT) (8,4%) oraz szkoleniu umiejętności manualnych (0,7%).

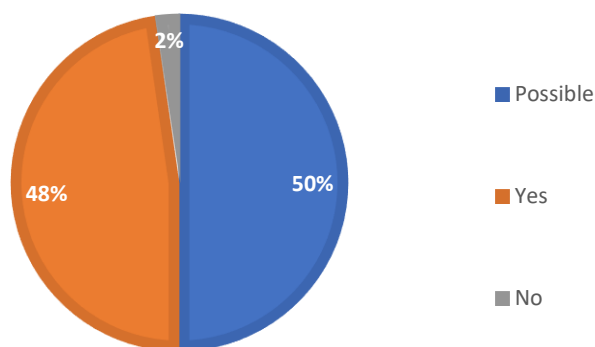


Rysunek 52. Postrzegane korzyści wynikające z wykorzystania technologii VR/AR w szkoleniu inżynierów spawalnictwa

3.2.4. Sekcja D: Zainteresowanie i zaangażowanie

Zainteresowanie zmodernizowanym kursem IWE wykorzystującym technologie VR/AR/AI

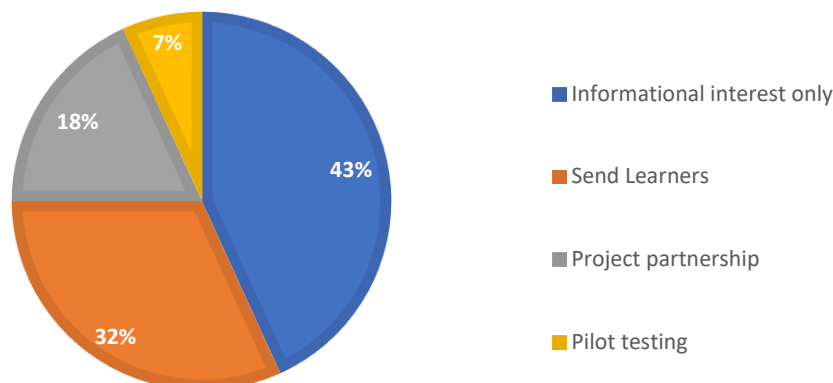
Wniosek (Rysunek 53): Wyniki wskazują na bardzo wysoki poziom akceptacji dla wdrożenia technologii VR/AR w kursie IWE. Łącznie 97,7% respondentów uznało takie rozwiązanie za możliwe do wdrożenia (50,0%) lub w pełni wykonalne (47,7%), podczas gdy jedynie 2,3% wyraziło opinię negatywną. Świadczy to o bardzo dużej otwartości środowiska na modernizację procesu kształcenia z wykorzystaniem nowoczesnych technologii cyfrowych.



Rysunek 53. Zainteresowanie zmodernizowanym kursem IWE wykorzystującym technologie VR/AR/AI

Zakładany stopień zaangażowania w wykorzystanie narzędzi cyfrowych

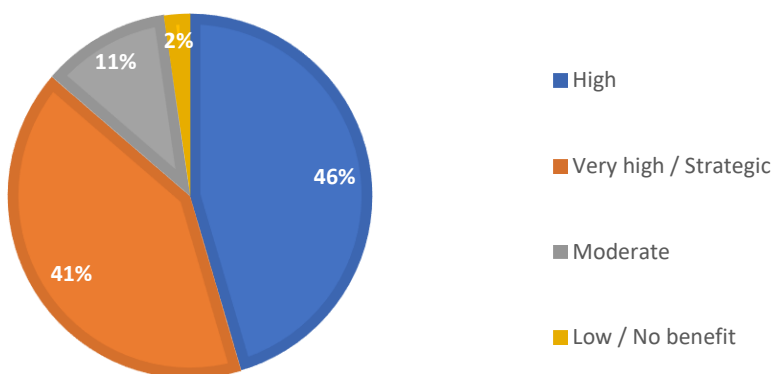
Wniosek (Rysunek 54): Wyniki wskazują, że większość przedsiębiorstw wyraziła co najmniej pewne zainteresowanie inicjatywą. 43,2% respondentów było zainteresowanych jedynie uzyskaniem dodatkowych informacji, a 31,8% zadeklarowało gotowość do skierowania uczestników na szkolenia. Mniejszy odsetek firm wyraził zainteresowanie udziałem w projekcie jako partner (18,2%) lub uczestnictwem w testach pilotażowych (6,8%).



Rysunek 54. Zakładany stopień zaangażowania w wykorzystanie narzędzi cyfrowych

Postrzeganie przydatności symulacji AR/VR w praktycznym szkoleniu spawalniczym (MMA/MIG-MAG/TIG, pozycja spawania i kontrola jeziorka spawalniczego)

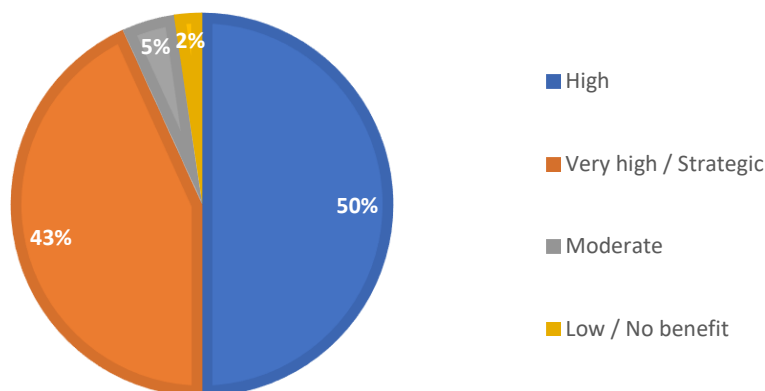
Wniosek (Rysunek 55): Wyniki wskazują na bardzo pozytywne postrzeganie symulacji AR/VR. Aż 86,4% respondentów oceniło jej przydatność jako wysoką lub bardzo wysoką, co podkreśla znaczący potencjał tych technologii w praktycznym szkoleniu spawalniczym, szczególnie w zakresie nauki pozycji spawania oraz kontroli jeziorka spawalniczego.



Rysunek 55. Postrzeganie przydatności symulacji AR/VR w praktycznym szkoleniu spawalniczym

Postrzegany wpływ technologii AR/VR na szkolenia z zakresu ustawiania parametrów spawania (natężenie prądu, napięcie, gaz osłonowy) na rzeczywistym sprzęcie

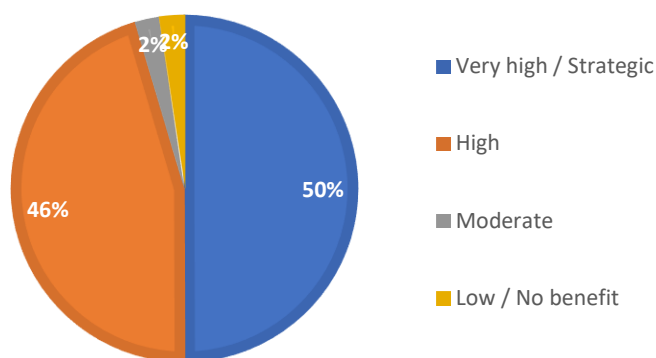
Wniosek (Rysunek 56): Wyniki wskazują na bardzo wysokie zaufanie do wartości technologii AR/VR w szkoleniach dotyczących ustawiania parametrów spawania. Aż 93,2% respondentów oceniło ich wpływ jako wysoki lub bardzo wysoki, co świadczy o szerokim poparciu dla integracji tych technologii z praktycznym kształceniem w zakresie spawalnictwa.



Rysunek 56. Postrzegany wpływ technologii AR/VR na szkolenia z zakresu ustawiania parametrów spawania

Postrzeganie przydatności technologii AI/AR/VR w zapewnianiu natychmiastowej informacji zwrotnej dotyczącej odchylen (prędkość, kąt, odległość)

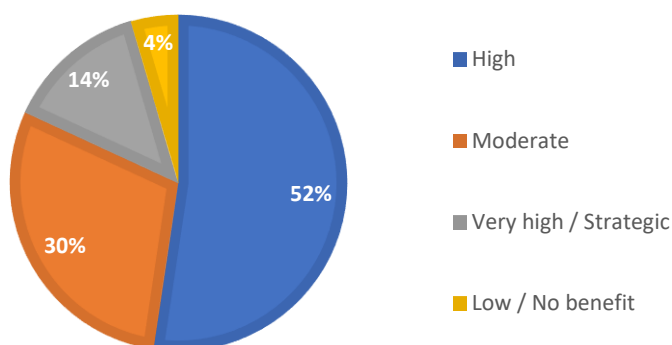
Wniosek (Rysunek 57): Wyniki wskazują na bardzo wysokie poparcie dla systemów AI/AR/VR zapewniających informację zwrotną w czasie rzeczywistym. Aż 95,5% respondentów oceniło ich przydatność jako wysoką lub bardzo wysoką, co świadczy o dużym zaufaniu do zdolności tych technologii do poprawy jakości wykonywania spoin poprzez natychmiastowe korygowanie odchylen związanych z prędkością spawania, kątem prowadzenia uchwytu oraz odległością od spawanego elementu.



Rysunek 57. Postrzeganie przydatności technologii AI/AR/VR w zapewnianiu natychmiastowej informacji zwrotnej

Postrzeganie przydatności technologii AR/VR do symulacji przepływu produkcji i identyfikacji obszarów ryzyka

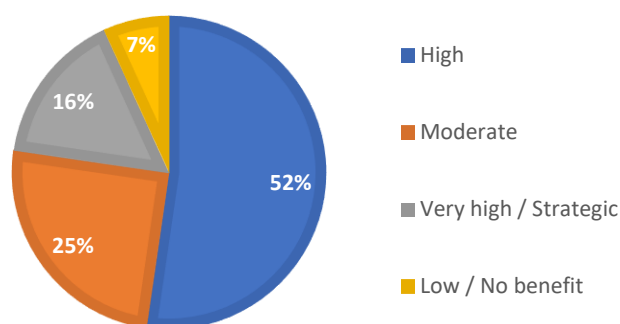
Wniosek (Rysunek 58): Wyniki wskazują, że symulacja przepływu produkcji z wykorzystaniem technologii AR/VR jest postrzegana jako rozwiązanie przynoszące znaczące korzyści. Jej przydatność została oceniona jako wysoka przez 52,3% respondentów oraz bardzo wysoka przez 13,6%. Kolejne 29,5% badanych uznało ją za umiarkowanie przydatną, natomiast jedynie 4,5% stwierdziło, że przynosi niewielkie korzyści lub nie przynosi ich wcale. Wyniki te potwierdzają duży potencjał technologii AR/VR w zakresie wizualizacji procesów produkcyjnych oraz identyfikacji obszarów ryzyka i możliwości doskonalenia procesów.



Rysunek 58. Postrzeganie przydatności technologii AR/VR do symulacji przepływu produkcji i identyfikacji obszarów ryzyka

Postrzegana wartość modelu AR/VR do zrozumienia strefy wpływu ciepła (HAZ) oraz naprężeń własnych

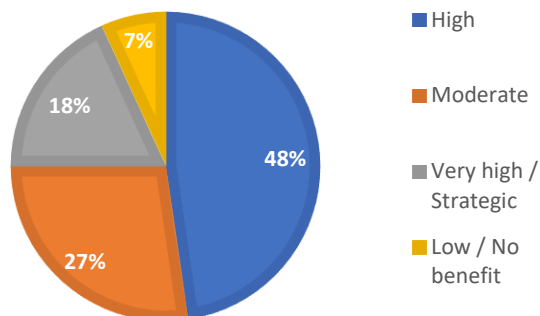
Wniosek (Rysunek 59): Wyniki wskazują, że modele AR/VR prezentujące strefę wpływu ciepła (HAZ) oraz naprężenia własne są postrzegane jako wartościowe narzędzia wspomagające zrozumienie zjawisk występujących podczas spawania. Ich przydatność została oceniona jako wysoka przez 52,3% respondentów, a jako bardzo wysoka przez 15,9%. Kolejne 25,0% badanych uznało je za umiarkowanie przydatne, natomiast jedynie 6,8% respondentów dostrzega niewielkie korzyści lub nie widzi ich wcale.



Rysunek 59. Postrzegana wartość modelu AR/VR do zrozumienia strefy wpływu ciepła oraz naprężeń własnych

Postrzeganie przydatności technologii VR/AR do zrozumienia wpływu materiałów dodatkowych i gazów osłonowych na mikrostrukturę

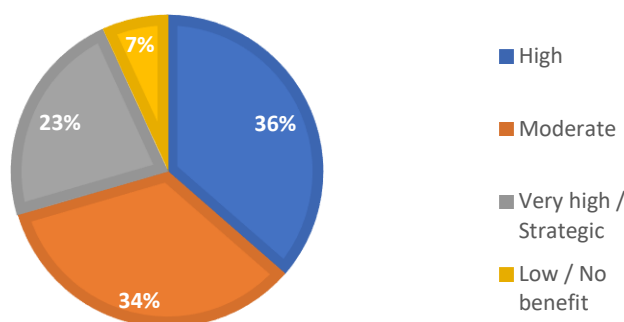
Wniosek (Rysunek 60): Wyniki wskazują, że 47,7% respondentów oceniło przydatność tego rozwiązania jako wysoką, a 18,2% jako bardzo wysoką, co świadczy o dużym poparciu dla jego zastosowania. Ponadto 27,3% badanych uznało je za umiarkowanie przydatne, podczas gdy jedynie 6,8% stwierdziło, że przynosi niewielkie korzyści lub nie przynosi ich wcale. Otrzymane wyniki potwierdzają znaczący potencjał technologii VR/AR w zakresie wspomagania zrozumienia wpływu materiałów dodatkowych oraz gazów osłonowych na kształtowanie mikrostruktury i właściwości złączy spawanych.



Rysunek 60. Postrzeganie przydatności technologii VR/AR do zrozumienia wpływu materiałów dodatkowych i gazów osłonowych na mikrostrukturę

Postrzeganie przydatności wizualizacji 3D/VR w doskonaleniu projektowania pod kątem wytwarzalności oraz ograniczaniu odkształceń spawalniczych

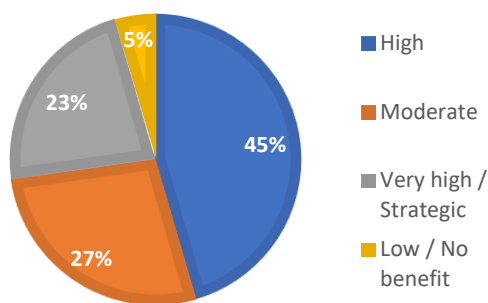
Wniosek (Rysunek 61): Wyniki wskazują, że 36,4% respondentów oceniło przydatność tego rozwiązania jako wysoką, a 22,7% jako bardzo wysoką, co oznacza, że łącznie 59,1% badanych wyraziło pozytywną opinię na temat jego zastosowania. Jednocześnie 34,1% respondentów uznało je za umiarkowanie przydatne, natomiast jedynie 6,8% stwierdziło, że przynosi niewielkie korzyści lub nie przynosi ich wcale. Otrzymane wyniki potwierdzają potencjał technologii 3D/VR do wspierania projektowania konstrukcji pod kątem łatwości wytwarzania, optymalizacji procesów spawalniczych oraz ograniczania odkształceń powstających podczas spawania.



Rysunek 61. Postrzeganie przydatności wizualizacji 3D/VR w doskonaleniu projektowania pod kątem wytwarzalności oraz ograniczaniu odkształceń spawalniczych

Postrzeganie znaczenia technologii AI/AR/VR dla optymalizacji projektowania na podstawie danych eksperymentalnych

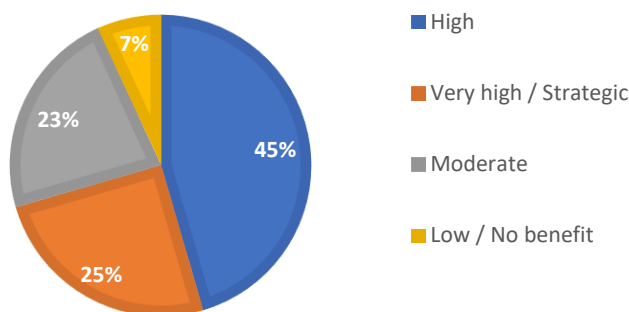
Wniosek (Rysunek 62): Wyniki wskazują, że technologie AI, AR i VR są postrzegane jako bardzo wartościowe narzędzia wspierające optymalizację projektowania opartą na danych eksperymentalnych. Łącznie 68,2% respondentów oceniło ich znaczenie jako wysokie lub bardzo wysokie, co podkreśla ich potencjał w zakresie usprawniania procesu podejmowania decyzji projektowych w spawalnictwie.



Rysunek 62. Postrzeganie znaczenia technologii AI/AR/VR dla optymalizacji projektowania na podstawie danych eksperymentalnych

Postrzeganie znaczenia symulacji VR/AR w doskonaleniu opracowywania WPQR i WPS

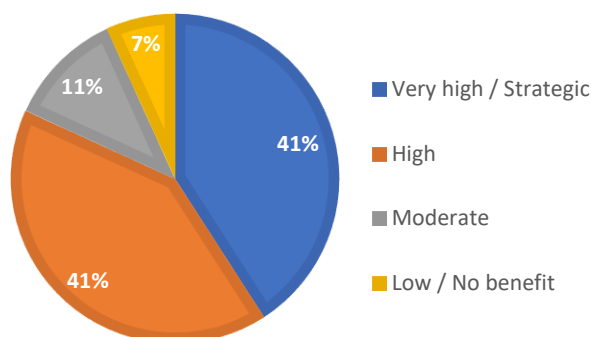
Wniosek (Rysunek 63): Wyniki wskazują, że symulacje VR/AR są postrzegane jako istotne narzędzie wspierające doskonalenie opracowywania kwalifikacji technologii spawania (PQR) oraz instrukcji technologicznych spawania (WPS). Aż 70,5% respondentów oceniło znaczenie tych technologii jako wysokie lub bardzo wysokie, co odzwierciedla silne poparcie dla ich integracji z procesem opracowywania i optymalizacji technologii spawalniczych.



Rysunek 63. Postrzeganie znaczenia symulacji VR/AR w doskonaleniu opracowywania WPQR i WPS

Postrzeganie użyteczności narzędzi VR/AR dostarczających informacji o niezgodnościach spawalniczych w czasie rzeczywistym podczas spawania

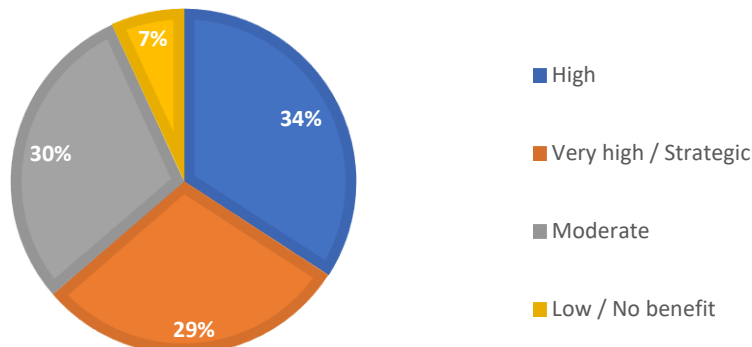
Wniosek (Rysunek 64): Wyniki wskazują na duże zainteresowanie narzędziami VR/AR, które dostarczają informacji o niezgodnościach spawalniczych w czasie rzeczywistym podczas procesu spawania. Aż 81,8% respondentów oceniło ich przydatność jako wysoką lub bardzo wysoką, co podkreśla postrzeganą wartość tych technologii w zakresie poprawy jakości połączeń spawanych oraz ograniczania liczby błędów i wad produkcyjnych.



Rysunek 64. Postrzeganie użyteczności narzędzi VR/AR dostarczających informacji o niezgodnościach spawalniczych w czasie rzeczywistym podczas spawania

Postrzeganie znaczenia narzędzi cyfrowych dla poprawy identyfikowalności materiałów i materiałów dodatkowych zgodnie z wymaganiami norm ISO 14731 oraz ISO 3834

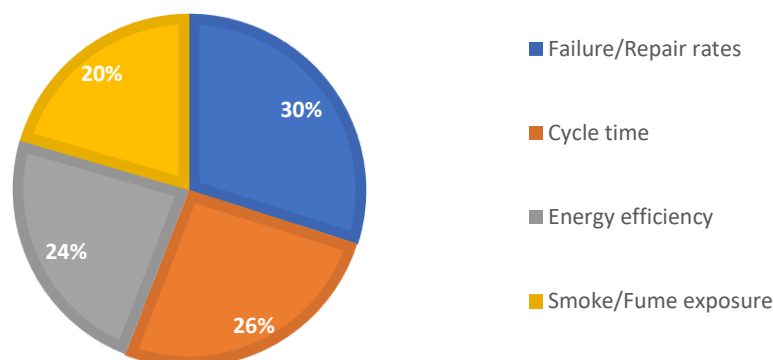
Wniosek (Rysunek 65): Wyniki wskazują, że narzędzia cyfrowe są powszechnie uznawane za wartościowe rozwiązania wspierające poprawę identyfikowalności materiałów podstawowych oraz materiałów dodatkowych do spawania zgodnie z wymaganiami norm ISO 14731 i ISO 3834. Łącznie 63,6% respondentów oceniło ich znaczenie jako wysokie lub bardzo wysokie, co potwierdza rosnące znaczenie cyfryzacji w zapewnianiu jakości i nadzorze nad procesami spawalniczymi.



Rysunek 65. Postrzeganie znaczenia narzędzi cyfrowych dla poprawy identyfikowalności materiałów i materiałów dodatkowych

Zalecane wskaźniki jakości i bezpieczeństwa do monitorowania cyfrowego

Wniosek (Rysunek 66): Wyniki wskazują, że respondenci za najważniejsze obszary monitorowania cyfrowego uznają wskaźniki związane z liczbą awarii i napraw (29,9%), czasem cyklu produkcyjnego (26,0%), efektywnością energetyczną (23,6%) oraz narażeniem na dymy i pyły spawalnicze (20,5%). Otrzymane wyniki świadczą o zrównoważonym podejściu, uwzględniającym zarówno jakość i niezawodność procesów produkcyjnych, jak również efektywność operacyjną oraz bezpieczeństwo i higienę pracy.

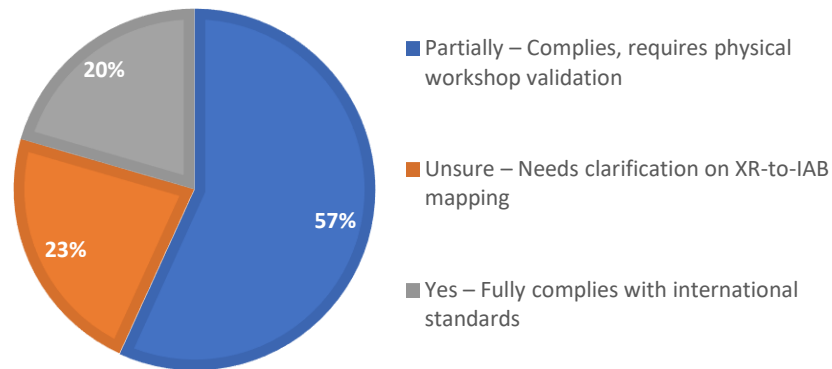


Rysunek 66. Zalecane wskaźniki jakości i bezpieczeństwa do monitorowania cyfrowego

Postrzegana zgodność integracji symulatorów z efektami uczenia się i wymaganiami dotyczącymi oceny kwalifikacji IWE/IWT/IWS (IAB-252r5)

Wniosek (Rysunek 67): Wyniki wskazują, że większość respondentów (56,8%) uważa, iż integracja symulatorów jedynie częściowo spełnia wymagania programów IWE/IWT/IWS i nadal wymaga uzupełnienia oraz weryfikacji poprzez szkolenia praktyczne realizowane w warunkach

warsztatowych. Jednocześnie 20,5% badanych uznaje, że symulatory są w pełni zgodne z międzynarodowymi standardami, natomiast 22,7% respondentów nie ma jednoznacznej opinii co do stopnia ich zgodności z wymaganiami określonymi w dokumencie IAB-252r5.



Rysunek 67. Postrzegana zgodność integracji symulatorów z efektami uczenia się

Final comments

- *“I think that the application of AR/VR/MR may still be in the introduction phase, but it is important to look for adequate areas.”*
- *“I’ll contact you to understand if there is any possibility to collaborate with the consortium project.”*
- *“If a welder hasn’t been burned and choked on smoke, he’s not a real welder.”*
- *“Simulators may be integrated into the IWE/IWT/IWS curriculum, but only as a supplementary teaching method, not as a substitute for the mandatory requirements set out in IAB-252r5.”*
- *“A combination of traditional/practical activities and the new IWE/IWT qualification system is recommended.”*
- *“XR integration will become essential for the training of welding engineers, as it enables accessibility validation, WPS/WPQR optimisation, and real-time digital quality monitoring. In the short term, XR accelerates learning; in the medium term, it will standardise competence assessment; and in the long term, it will connect training with ISO requirements and digital workflows in the factory.”*

3.3. Podsumowanie wyników ankiet

Równowaga między zdalnym a stacjonarnym szkoleniem praktycznym oraz zakres wykorzystania technologii XR w programie kwalifikacji I/EWE

Niniejszy dokument podsumowuje wyniki dwóch kwestionariuszy przeprowadzonych w ramach projektu VIOLET (Ankieta 1 – Inżynierowie Spawalnictwa, n = 121; Ankieta 2 – Przedsiębiorstwa Przemysłowe, n = 44) w odniesieniu do celu wstępnej oceny, jakim było określenie, jaka część szkolenia I/EWE może być realizowana zdalnie, a jaka wymaga formy stacjonarnej, oraz zidentyfikowanie zakresu zastosowania narzędzi XR (VR/AR/AI) w programie kwalifikacyjnym.

Cel niniejszego podsumowania

Celem wstępnej oceny było określenie na podstawie danych ankietowych: (a) jaki procent szkolenia I/EWE może być realizowany w formie zdalnej, a jaki w formie stacjonarnej, oraz (b) które obszary programu I/EWE mogą być wspierane przez technologie XR.

Odpowiedzi zostały przeanalizowane w podziale na obszary programu nauczania. W analizie zaproponowano wykorzystanie liczby godzin przypisanych do poszczególnych modułów programu IWE/EWE, zgodnie z wartościami przedstawionymi w Tabeli 1.

Przeprowadzone ankiety zawierają szczegółowe dane dotyczące postrzeganej przydatności technologii XR w każdym z głównych obszarów programu I/EWE, a także jednoznaczne opinie jakościowe wskazujące te zagadnienia, w których szkolenie praktyczne i stacjonarne powinno pozostać obowiązkowe. Niniejszy dokument wykorzystuje te dane jako najbardziej wiarygodny, oparty na dowodach wskaźnik realizacji założonego celu badawczego, jednocześnie wyraźnie rozróżniając wyniki bezpośrednio pochodzące z ankiet od wartości stanowiących oszacowania wynikające z przeprowadzonej analizy.

Charakterystyka respondentów

Ankieta 1 (Inżynierowie):

W ankiecie uczestniczyło 121 respondentów, którzy ukończyli część dotyczącą funkcji zawodowych i danych demograficznych. Taka sama liczba osób (121) odpowiedziała również na pytania dotyczące technologii cyfrowych. Najliczniejszą grupę stanowili Międzynarodowi Inżynierowie Spawalnictwa (International Welding Engineers – IWE) (42,9%) oraz inżynierowie (33,3%). Aż 62,0% respondentów nie posiadało wcześniejszych doświadczeń związanych z wykorzystaniem technologii VR/AR/AI w szkoleniach, natomiast w podgrupie analizowanej pod kątem wieku i doświadczenia zawodowego 75,0% badanych zadeklarowało brak wcześniejszego kontaktu z technologiami XR.

Ankieta 2 (Przedsiębiorstwa przemysłowe):

W ankiecie uczestniczyło 44 respondentów reprezentujących głównie sektor konstrukcji metalowych (40,8%). Największą grupę stanowiły przedsiębiorstwa z Rumunii (50,0%) oraz Polski (36,4%). Jedynie 13,6% respondentów zadeklarowało znajomość technologii VR/AR wykorzystywanych w szkoleniach. Połowa badanych (50,0%) określiła swoją znajomość tych technologii jako częściową, natomiast 36,4% przyznało, że nie posiada żadnej wiedzy ani doświadczenia w tym zakresie.

Obie grupy respondentów reprezentują sektor charakteryzujący się stosunkowo niskim poziomem dotychczasowej ekspozycji na technologie XR. Jednocześnie, jak pokazują przedstawione wcześniej wyniki badań, deklarowany poziom gotowości do wdrażania i wykorzystywania tych technologii w procesie kształcenia oraz rozwoju kompetencji zawodowych jest bardzo wysoki.

4. Wnioski

Za ekspertów, których opinie mogą stanowić podstawę do przeprowadzenia analizy, można uznać:

- **121 respondentów** z grupy inżynierów spawalników oraz specjalistów posiadających kwalifikacje IWE;
- **44 przedstawicieli** sektora przemysłowego;
- respondentów reprezentujących **11 krajów** w grupie inżynierskiej oraz **8 krajów** w grupie przedsiębiorstw przemysłowych;
- osoby o zróżnicowanym profilu zawodowym, w tym specjalistów IWE, instruktorów, egzaminatorów, koordynatorów szkoleń oraz kierowników technicznych.

Poziom ekspercki panelu badawczego

Panel respondentów można uznać za wysoce reprezentatywny i merytorycznie istotny, ponieważ:

- ponad **37%** respondentów posiada ponad **10 lat doświadczenia zawodowego**;
- **75%** uczestniczących przedsiębiorstw zatrudnia personel z kwalifikacjami IWE lub prowadzi szkolenia w tym zakresie;
- uczestnicy są bezpośrednio zaangażowani w szkolenie, koordynację oraz realizację procesów spawalniczych.

Strategiczne pytanie

W jakim stopniu technologie XR (VR/AR/AI) powinny zostać zintegrowane z kwalifikacją I/EWE oraz które obszary programu nauczania powinny być priorytetowo objęte cyfryzacją?

Priorytet I (>80%)

1. Informacja zwrotna w czasie rzeczywistym dotycząca parametrów spawania

- **95,5%** przedsiębiorstw przemysłowych uznaje tę funkcjonalność za bardzo wartościową.
- **82,6%** inżynierów spawalników oceniło ją jako bardzo wartościową lub wręcz niezbędną.

2. Praktyczna symulacja procesów spawania MMA/MIG/MAG/TIG

- **86,4%** przedsiębiorstw oceniło jej przydatność jako wysoką lub bardzo wysoką.
- **81,5%** inżynierów spawalników oceniło symulacje jako dobre lub doskonałe.

Priorytet II (70–80%)

3. Wykrywanie niezgodności spawalniczych w czasie rzeczywistym

- **81,8%** przedsiębiorstw popiera wykorzystanie technologii XR do wykrywania niezgodności spawalniczych.
- **94,2%** inżynierów spawalników uważa tę funkcjonalność za przydatną lub niezbędną.

4. Opracowywanie dokumentacji WPS/PQR

- **70,5%** respondentów z sektora przemysłowego uznaje technologie XR za wartościowe narzędzie wspierające tę działalność.
- **92,5%** inżynierów spawalników jest zdania, że symulacje są przydatne przy opracowywaniu Specyfikacji Technologii Spawania (WPS) oraz Protokołów Kwalifikowania Technologii Spawania (WPQR).

4.1. Wnioski z analizy

Analiza wyników wskazuje na wyraźny konsensus zarówno wśród ekspertów, jak i przedstawicieli przemysłu dotyczący integracji technologii XR z programem kwalifikacji I/EWE, **szczególnie w odniesieniu do działań o charakterze poznawczym, proceduralnym i analitycznym. Dotyczy to w szczególności monitorowania parametrów spawania, zapewniania informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym, prowadzenia symulacji technologicznych, opracowywania dokumentacji WPS i PQR, kontroli jakości oraz zapewnienia identyfikowalności procesów i wyrobów.**

Jednocześnie odnotowano niemal jednogłośnie zgodność opinii, że szkolenie praktyczne oraz rozwój umiejętności psychomotorycznych powinny nadal opierać się na nauczaniu prowadzonym w formie stacjonarnej. **Technologie XR są zatem postrzegane jako narzędzie wspomagające i przyspieszające proces uczenia się, a nie jako substytut praktycznego szkolenia warsztatowego realizowanego w rzeczywistych warunkach.**

Model edukacyjny rekomendowany przez panel ekspertów opiera się na **koncepcji kształcenia mieszanego (blended learning)**, w którym technologie XR uzupełniają tradycyjne metody nauczania i przyczyniają się do modernizacji programu kwalifikacyjnego I/EWE.

5. Rekomendacje

5.1 Obszary programu nauczania o największym potencjale do realizacji zdalnej z wykorzystaniem technologii XR

Poniższa tabela klasyfikuje obszary programu nauczania według odsetka respondentów (ankieta wśród przedsiębiorstw przemysłowych, Sekcja D), którzy ocenili przydatność technologii XR jako „wysoką” lub „bardzo wysoką”. Jest to najbardziej bezpośredni ilościowy wskaźnik dostępny w zgromadzonych danych, pozwalający ocenić, w jakim stopniu dany obszar tematyczny może zostać przeniesiony do środowiska nauczania zdalnego lub wspieranego przez technologie XR.

Tabela 1

Obszar programu nauczania	Odsetek odpowiedzi „wysokie” i „bardzo wysokie”	Implikacje dla sposobu realizacji szkolenia
Ogólne zainteresowanie zmodernizowanym kursem IWE opartym na technologiach VR/AR/AI	97.7%	Silne uzasadnienie dla integracji technologii XR i nauczania zdalnego
Informacja zwrotna w czasie rzeczywistym dotycząca odchyłeń (prędkość, kąt, odległość)	95.5%	Bardzo dobrze dostosowane do wykorzystania technologii XR i nauki zdalnej
Ustawianie parametrów na rzeczywistym sprzęcie (natężenie prądu, napięcie, gaz osłonowy)	93.2% (rozdział 1.12 – 2 godziny)	Bardzo dobrze dostosowane do wykorzystania technologii XR i nauki zdalnej
Informacje o niezgodnościach i wadach w czasie rzeczywistym podczas spawania	81.8% (rozdział 4.7 – 3 godziny)	Bardzo dobrze dostosowane do wykorzystania technologii XR i nauki zdalnej

Obszar programu nauczania	Odsetek odpowiedzi „wysokie” i „bardzo wysokie”	Implikacje dla sposobu realizacji szkolenia
Praktyczne symulacje spawania (MMA / MIG-MAG / TIG)	86.4% (rozdział 1.7 – 3 godziny, rozdział 1.8 – 6 godzin, rozdział 1.9 – 6 godzin)	Silne wsparcie dla XR, zalecany model mieszany
Ogólnie postrzegane korzyści zastosowania VR/AR w szkoleniu IWE	79.5%	Szerokie poparcie dla komponentów zdalnych i opartych na XR
Opracowywanie PQR i WPS	70.5% (rozdział 4.2 – 3 godziny)	Odpowiednie do realizacji w modelu mieszanym
Zrozumienie strefy wpływu ciepła (HAZ) i naprężeń własnych	68.2% (rozdział 4.3 – 1 godzina, rozdział 2.5 – 1 godzina, rozdział 2.8 – 1 godzina)	Odpowiednie do realizacji w modelu mieszanym
Optymalizacja konstrukcji z wykorzystaniem AI/AR/VR	68.2% (rozdział 3.3 – 2 godziny)	Odpowiednie do realizacji w modelu mieszanym
Symulacja przepływu produkcji	65.9% (rozdział 4.2 – d 2 godziny)	Odpowiednie do realizacji w modelu mieszanym

Obszar programu nauczania	Odsetek odpowiedzi „wysokie” i „bardzo wysokie”	Implikacje dla sposobu realizacji szkolenia
Wpływ materiałów dodatkowych i gazów osłonowych na mikrostrukturę	65.9% (rozdział 1.6 – 1 hour), rozdział 1.19 – 7 godziny)	Odpowiednie do realizacji w modelu mieszanym
Identyfikowalność materiałów (ISO 14731 / ISO 3834)	63.6% (rozdział 4.2 – 2 godziny)	Odpowiednie do realizacji w modelu mieszanym
Wizualizacja projektowania pod kątem wytwarzalności (Design for Manufacturability)	59.1% (rozdział 3.2 – 2 godziny))	Umiarkowane uzasadnienie, zalecany model mieszany

Uzasadnienie wytypowania 42 godzin programu IWE/EWE, zgodnie z wymaganiami dokumentu IAB-252r2-I9 do realizacji z wykorzystaniem technologii XR

Analiza wyników ankiet przeprowadzonych w ramach projektu VIOLET pozwoliła zidentyfikować te obszary programu kwalifikacyjnego IWE/EWE, które charakteryzują się najwyższym potencjałem wykorzystania technologii XR (VR/AR/AI). Łącznie wytypowano **42 godziny szkoleniowe**, które mogą zostać objęte wsparciem technologii immersyjnych i realizowane w formule zdalnej lub mieszanej (*blended learning*). Liczba ta została określona na podstawie przyporządkowania wyników ankiet do odpowiednich rozdziałów programu nauczania i obejmuje następujące moduły:

- 2 godziny (rozdział 1.12)
- 3 godziny (rozdział 4.7)
- 3 godziny (rozdział 1.7)
- 6 godzin (rozdział 1.8)
- 6 godzin (rozdział 1.9)
- 3 godziny (rozdział 4.2)
- 3 godziny (rozdziały 4.3, 2.5 i 2.8)
- 2 godziny (rozdział 3.3)
- 2 godziny (rozdział 4.2)
- 1 godzina (rozdział 1.6)
- 7 godzin (rozdział 1.19)

- 2 godziny (rozdział 4.2)
- 2 godziny (rozdział 3.2)

co daje łącznie **42 godziny**.

Rozdział 1.12 (2 godziny) – Ustawianie parametrów na rzeczywistym sprzęcie

- Obejmuje zagadnienia związane z procesami spawania: elektrodużlowym, tarciovym, zgrzewaniem tarciovym z przemieszczaniem materiału (FSW), spawaniem doczołowym łukiem magnetycznie sterowanym (MIAB), spawaniem impulsowo-magnetycznym, ultradźwiękowym, wybuchowym, dyfuzyjnym, aluminotermicznym, wysokoczęstotliwościowym, kołkowym oraz spawaniem na zimno.

Zakres obejmuje również:

- parametry spawania dla poszczególnych procesów,
- przygotowanie złączy (kształt rowka, montaż, czyszczenie),
- zależności pomiędzy parametrami spawania a konfiguracją złącza.

Rozdział 1.6 (1 godzina) – Wpływ materiałów dodatkowych i gazów osłonowych na mikrostrukturę

Zakres obejmuje:

- gazy osłonowe (obojętne i aktywne) oraz ich wpływ na charakterystykę łuku,
- zasady obchodzenia się z gazami i ich magazynowania,
- wpływ parametrów spawania na morfologię lica spoiny.

Technologie VR/AR umożliwiają wizualizację zmian struktury materiału oraz zjawisk zachodzących w obszarze łuku spawalniczego, które są niewidoczne podczas rzeczywistego procesu.

Rozdział 1.7 (3 godziny): Praktyczna symulacja spawania (SMAW/MMA, GMAW/MIG-MAG, GTAW/TIG)

- Wpływ rodzaju prądu i biegunowości spawania: DCEN (DC–), DCEP (DC+) oraz AC.
- Materiały dodatkowe do spawania: gazy osłonowe, spoiwa (druty i pręty spawalnicze), elektrody topliwe i nietopliwe.
- Parametry procesu spawania: natężenie prądu spawania, napięcie łuku, prędkość spawania oraz natężenie przepływu gazu osłonowego.

- Przygotowanie złączy i montaż elementów przed spawaniem: standardowe konfiguracje złączy, przygotowanie krawędzi, tolerancje montażowe oraz wymagania dotyczące czyszczenia powierzchni.
- Zaawansowane techniki spawania: spawanie łukiem pulsującym, spawanie punktowe, spawanie metodą „keyhole”, spawanie z gorącym drutem (hot-wire), spawanie orbitalne, spawanie rura-rura oraz rura-błacha sitowa (tube-to-tubesheet), spawanie w wąskiej szczelinie (narrow-gap) oraz inne procesy specjalistyczne.
- Normy i specyfikacje dotyczące materiałów dodatkowych i elektrod, ze szczególnym uwzględnieniem stali niestopowych.
- Zastosowania przemysłowe procesów spawalniczych, typowe niezgodności i wady spawalnicze, analiza przyczyn ich powstawania oraz działania korygujące i zapobiegawcze.

Rozdział I.8 (6 godzin): Praktyczna symulacja spawania (MMA / MIG-MAG / TIG)

- Wpływ rodzaju prądu i biegunowości na proces spawania.
- Tryby przenoszenia metalu (zwarciový, globularny, natryskowy, pulsacyjny oraz rotacyjny), kontrolowane tryby przenoszenia metalu oraz ich zastosowania.
- Parametry i ustawienia procesu spawania: natężenie prądu, napięcie łuku, prędkość spawania, natężenie przepływu gazu osłonowego itp.
- Specjalne techniki spawania: spawanie elektrożużlowe/elektrogazowe, procesy wysokowydajne, spawanie punktowe, techniki z pojedynczym i wieloma drutami elektrodowymi, drut taśmowy (flat wire), lutospawanie, elektroniczna stabilizacja procesu (łuku i podawania drutu) itp.
- Zależność pomiędzy materiałami dodatkowymi a rodzajem przenoszenia metalu oraz ich zastosowaniami.
- Materiały dodatkowe do spawania: gazy osłonowe, materiały dodatkowe (w szczególności druty proszkowe) oraz ich kombinacje.
- Zastosowania procesów spawalniczych, typowe problemy występujące podczas spawania oraz metody ich rozwiązywania.

Rozdział I.9 (6 godzin): Praktyczna symulacja spawania (MMA / MIG-MAG / TIG)

- Parametry spawania: natężenie prądu, napięcie łuku, długość wolnego wylotu elektrody/drutu (run-out length) oraz inne parametry technologiczne.
- Przygotowanie złącza do spawania: dopasowanie elementów (fit-up), czyszczenie powierzchni oraz pozycja spawania.
- Zależność pomiędzy średnicą elektrody a zakresem natężenia prądu spawania, materiałem rdzenia elektrody, długością elektrody oraz pozycją spawania.

- Specjalne techniki spawania (np. spawanie grawitacyjne i inne techniki zwiększające wydajność procesu).
- Wymagania dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP) specyficzne dla procesu spawania metodą MMA (spawanie elektrodą otuloną).

Rozdział 1.19 (7 godzin): Materiały dodatkowe do spawania / Mikrostruktura a gazy osłonowe

- Ćwiczenia praktyczne pokazujące wpływ każdego z podstawowych parametrów spawania na kształt i geometrię ściegu spawalniczego.
- Ćwiczenia powinny obejmować następujące procesy: MMA (spawanie elektrodą otuloną), TIG, MIG/MAG, spawanie drutami proszkowymi (FCAW), spawanie łukiem krytym (SAW) oraz spawanie gazowe (tlenowo-gazowe).
- Ćwiczenia praktyczne pokazujące wpływ każdego z podstawowych parametrów cięcia na jakość i charakterystykę powierzchni cięcia.

Rozdział 2.5 (1 godzina): Zrozumienie strefy wpływu ciepła (HAZ) oraz naprężeń własnych

- Jezioro spawalnicze oraz kształt spoiny.
- Stopień wymieszania materiału rodzimego z materiałem dodatkowym (dilution).
- Mikrostruktura metalu spoiny.
- Wpływ spawania wielościęgowego (wielowarstwowego) na strukturę i właściwości złącza spawanego.

Rozdział 2.8 (1 godzina): Zrozumienie strefy wpływu ciepła (HAZ) oraz naprężeń własnych

- Obróbka cieplna złączy spawanych oraz elementów konstrukcyjnych.
- Obróbka cieplna po spawaniu (PWHT, Post-Weld Heat Treatment): wyżarzanie odpężające, normalizowanie oraz hartowanie.
- Wytyczne techniczne dotyczące prowadzenia obróbki cieplnej.
- Procedury obróbki cieplnej stosowane dla złączy spawanych i elementów po procesie spawania.

Rozdział 3.2 (2 godziny): Wizualizacja projektowania pod kątem wytwarzalności)

- Rodzaje naprężeń: naprężenia normalne (rozciągające i ściskające) oraz naprężenia ścinające.

- Rodzaje odkształceń: odkształcenia osiowe (wydłużenie lub skrócenie) oraz odkształcenia postaciowe (ściągające).

Rozdział 3.3 (2 godziny): Optymalizacja projektowania (AI/AR/VR)

- Klasyfikacja rodzajów rowków spawalniczych ze względu na rodzaj materiału, grubość materiału, proces spawania oraz dostępność złącza.
- Wymagania dotyczące tolerancji zgodnie z normą ISO 13920.
- Oznaczenia spawalnicze na rysunkach technicznych oraz symbole rowków spawalniczych.
- Symboliczne przedstawianie połączeń spawanych, lutowanych twardo i lutowanych miękko zgodnie z normą ISO 2553.

Rozdział 4.2 (7 godzin): Identyfikowalność materiałów (ISO 14731 / ISO 3834), opracowywanie PQR/WPS, symulacja przebiegu procesu produkcyjnego

- Koordynacja prac spawalniczych oraz personel kontrolny i inspekcyjny. Zadania, odpowiedzialność i wymagania kwalifikacyjne personelu zgodnie z normami ISO 14731, ISO 9712, normami CEN oraz normami krajowymi.
- Kwalifikowanie i certyfikacja spawaczy oraz lutowaczy. Wprowadzenie i przegląd zagadnień związanych z kwalifikowaniem technologii spawania i lutowania.
- Egzaminowanie i kwalifikowanie spawaczy oraz lutowaczy zgodnie z normą ISO 9606, normami CEN oraz odpowiednimi normami krajowymi.
- Instrukcja technologiczna spawania i lutowania – cel dokumentu, zasady opracowywania i doskonalenia zgodnie z normami ISO 15607 i ISO 15609, normami CEN oraz normami krajowymi.
- Kwalifikowanie technologii spawania i lutowania zgodnie z normami ISO 15610, ISO 15611, ISO 15612, ISO 15613 oraz ISO 15614, a także normami CEN i normami krajowymi.
- Kwalifikowanie operatorów urządzeń do spawania i lutowania zgodnie z normą ISO 14732, normami CEN oraz normami krajowymi.
- Identyfikowalność w procesach spawania i lutowania: identyfikacja materiałów, spawaczy i operatorów, stosowanych technologii, dokumentacji oraz certyfikatów i świadectw jakości.

22 godziny mogą zostać zrealizowane w ramach części praktycznej, tj. podczas pokazów/spawania demonstracyjnego.

Możliwe jest wykorzystanie zalet systemów Virtual Weld Training, jednak maksymalnie do 50% godzin szkolenia praktycznego.

I.4.1 For the IWE; IWT, and IWS

This part does not aim at providing practical skills to the welding engineer/technologist/specialist but on gaining knowledge on the control of the different welding processes. The students shall become as familiar as possible with the problems and typical defects associated with incorrect use of the different welding methods. During their exercises the students are guided by skilled welding teachers.

Practical Training	hours:
Oxygen welding and cutting	6
MMA	8
TIG	8
MIG/MAG + Flux Cored Arc Welding	16

It is possible to use the advantages of Virtual Weld Training systems but maximum to 50% of the practical training hours!

	hours:
Demonstration or video presentations of processes	22
Gouging	
Brazing	
Plasma welding	
Plasma cutting	
Submerged-arc welding	
Resistance welding	
Friction welding	
Electron beam welding	
Laser welding	
Other processes	

⇒ Około 15% programu kursu IWE mogłoby być realizowane z wykorzystaniem narzędzi VR/AR na symulatorze spawalniczym.

Wyniki odpowiadającej temu Ankiety 1 (Inżynierowie) potwierdzają ten sam trend:

- symulacje AR/VR do ćwiczeń procesów MMA, MIG/MAG i TIG zostały ocenione jako dobre lub bardzo dobre przez 81,5% respondentów;
- szkolenia z zakresu ustawiania parametrów zostały ocenione jako znacząco lub umiarkowanie poprawiające efektywność szkolenia przez 90,0% respondentów;
- informacje zwrotne w czasie rzeczywistym dotyczące odchyień od prawidłowego przebiegu procesu zostały ocenione jako bardzo użyteczne lub niezbędne przez 82,6% respondentów;
- szkolenia dotyczące procesów cięcia (plazmowego, tlenowo-gazowego i laserowego) zostały ocenione jako istotne lub bardzo istotne przez 90,9% respondentów.

5.2. Obszary programu nauczania wymagające realizacji stacjonarnej/praktycznej

Dane z badań ankietowych wskazują również obszary, w których nauczanie zdalne lub wykorzystujące technologie XR jest wyraźnie postrzegane jako niewystarczające:

- Manualne i praktyczne umiejętności spawalnicze zostały ocenione przez przedstawicieli przemysłu jako obszar o najniższym priorytecie dla wsparcia z wykorzystaniem technologii VR/AR (0,7% wskazań). Jest to najbardziej jednoznaczny ilościowy sygnał w zebranych danych, że ten zakres szkolenia powinien pozostać realizowany w formie stacjonarnej.
- Najczęściej wskazywanym ograniczeniem technologii XR był brak rzeczywistych doznań fizycznych („lack of physical feel”) (44,8% wskazań), a następnie wysoki koszt początkowej inwestycji (30,4% wskazań).
- 56,8% respondentów z sektora przemysłowego stwierdziło, że integracja symulatorów jedynie częściowo spełnia wymagania dotyczące efektów uczenia się określonych dla kursów IWE/IWT/IWS i nadal wymaga potwierdzenia oraz uzupełnienia poprzez praktyczne szkolenie warsztatowe. Jedynie 20,5% respondentów uznało ją za w pełni zgodną z tymi wymaganiami.
- W licznych odpowiedziach otwartych technologie XR zostały określone jako „katalizator kompetencji” oraz „uzupełniająca metoda nauczania, a nie substytut obowiązkowych wymagań określonych w dokumencie IAB-252r5”. Respondenci podkreślali, że bodźce sensoryczne, takie jak oddziaływanie ciepła, zapach, hałas łuku spawalniczego oraz kontrola dotykowa, są niezastąpione w procesie zdobywania umiejętności wymaganych do uzyskania kwalifikacji i certyfikacji.

5.3. Synteza: Najbliższa dostępna odpowiedź na postawiony cel



Zakres wiedzy poznawczej, analitycznej i proceduralnej (parametry procesów spawalniczych, interpretacja informacji zwrotnej w czasie rzeczywistym, projektowanie i rozumowanie w obszarze zapewnienia jakości, analiza niezgodności, opracowywanie dokumentacji PQR/WPS oraz zgodność z normami) był konsekwentnie oceniany w obu badaniach ankietowych jako od 60% do 98% odpowiedni do realizacji w formule zdalnej lub hybrydowej, wspieranej technologiami XR.



Zakres umiejętności manualnych, psychomotorycznych oraz krytycznych z punktu widzenia certyfikacji (praktyczne wykonywanie spoin, obsługa i prowadzenie uchwyty spawalniczego oraz rozwijanie i kalibracja percepcji sensorycznej) został oceniony jako wymagający realizacji w formie stacjonarnej. Potwierdzają to zarówno bezpośrednie wyniki ankiety (jedynie 0,7% wskazań uznało ten obszar za priorytetowy do wsparcia technologiami VR/AR), jak i zgodna opinia respondentów wyrażona w odpowiedziach jakościowych, zgodnie z którą obowiązkowe wymagania określone w dokumencie IAB-252r5 nie mogą zostać w pełni spełnione w trybie zdalnym.

Jeżeli wymagane jest przyjęcie jednego zbiorczego oszacowania dla zmodernizowanego programu nauczania I/EWE, zgromadzone dane wskazują, że treści możliwe do realizacji z wykorzystaniem technologii XR oraz w trybie zdalnym obejmują większość zagadnień teoretycznych, analitycznych i proceduralnych. Jednocześnie kluczowe elementy praktyczne i certyfikacyjne powinny nadal odbywać się stacjonarnie, przy czym XR pełniłby w tym obszarze rolę warstwy przygotowawczej i uzupełniającej. Jest to zgodne z opiniami respondentów, którzy określają XR jako „katalizator”, a nie substytut tradycyjnych form kształcenia.

6. Załączniki: formularze ankietowe

Szczegółowe wyniki obu kwestionariuszy przedstawiono w załączonych dokumentach: „Annex 1 AR_VR International Welding Engineer Qualification (Engineer) EN.xls” oraz „Annex 2 AR_VR International Welding Engineer Qualification (Industry) EN”, które zawierają kompletne odpowiedzi respondentów uzyskane w ramach przeprowadzonych badań ankietowych.