



VIOLET

AR/VR International Welding Engineer Qualification



Raport D2.3 privind nevoile și instruirea I/EWE



Revizie	Data	Autor/Organizație	Descriere
Revizia 1	15.07.2026-	ASR	Revizuirea documentului -
Revizia 2	20.07.2026	ASR	Revizuirea documentului -
Revizia 3	23.07.2026	EWf	Revizuirea documentului -
Revizia 4	23.07.2026	L-USIT	Revizuirea documentului
Revizia 5	29.07.2026	ASR	Aprobarea finala a documentului

Conținut

1. Rezumat executiv.....	4
2. Introducere.....	5
2.1. Context	5
2.2. Obiective	6
2.3. Metodologie.....	6
2.4. Caracterizarea grupului țintă	6
3. Rezultatele și analiza sondajului	7
3.1. Rezultatele sondajului din chestionarul Inginerilor	7
3.1.1. Secțiunea A: Profil.....	7
3.1.2. Secțiunea B: Tehnologii digitale:.....	9
3.1.3. Secțiunea C: Procese de sudură și tăiere:.....	10
3.1.4. Secțiunea D: Materiale și comportamentul lor la sudură.....	14
3.1.5. Secțiunea E: Proiectarea structurilor sudate:.....	17
3.1.6. Secțiunea F: Problemele de fabricație ale structurilor sudate.....	19
3.1.7. Secțiunea G: Sfera strategică de instruire pentru validarea beneficiilor XR	24
3.1.8 Comentarii finale din Chestionarul Inginerilor	33
3.2. Rezultatele sondajului din chestionarul pentru părțile interesate din industrie	35
3.2.1. Secțiunea A: Profil.....	37
3.2.2. Secțiunea B: Nevoi de competență	39
3.2.3. Secțiunea C: Percepția VR/AR.....	41
3.2.4. Secțiunea D: Interes și implicare.....	43
3.3. Rezumatul rezultatelor sondajului	53
3.3.1 Echilibrul antrenamentului fizic la distanță și domeniul XR în cadrul curriculumului de calificare I/EWE.....	54
3.3.2. Obiectivul acestui rezumat.....	54
3.3.3. Prezentare generală a respondentului	54
4. Concluzii.....	54
Întrebare strategică	55
Concluzia analizei	55

5. Recomandări.....	56
5.1 Domenii curriculare cu cele mai puternice argumente pentru livrarea la distanță/XR..	56
5.2. Domenii curriculare care necesită livrare fizică / practică	61
5.3. Sinteză: Răspunsul cel mai apropiat disponibil de obiectiv	62
6. Anexe: chestionare de sondaj	62

1. Rezumat executiv

Scopul acestui document este de a oferi informații bazate pe dovezi pentru a sprijini dezvoltarea unor soluții inovatoare de instruire centrate pe elev și integrarea viitoare a abordărilor de învățare digitală în cadrul de calificare I/EWE. Raportul identifică domeniile în care tehnologiile XR pot oferi cea mai înaltă valoare educațională, luând în considerare atât oportunitățile, cât și limitările implementării lor în educația în sudură și în formarea industrială.

Analiza, bazată pe feedback-ul colectat de la ingineri de sudură, formatori și reprezentanți ai industriei din cadrul consorțiului de proiect, evidențiază un interes puternic pentru utilizarea tehnologiilor XR pentru îmbunătățirea instruirii în sudură. Deși nivelul actual de adopție XR rămâne limitat, majoritatea respondenților recunosc potențialul soluțiilor bazate pe VR/AR/AI pentru a spori eficiența, siguranța și accesibilitatea învățării.

Principalele constatări indică faptul că tehnologiile XR sunt deosebit de relevante pentru susținerea activităților teoretice, analitice și procedurale de învățare, cum ar fi simularea proceselor de sudură, setarea parametrilor, feedback-ul în timp real asupra tehnicilor de sudură, identificarea defectelor, optimizarea WPS/PQR și vizualizarea fenomenelor metalurgice complexe. Reprezentanții industriei și experții tehnici consideră aceste aplicații extrem de valoroase pentru îmbunătățirea înțelegerii și pregătirii cursanților înainte de instruirea practică pe echipamente reale.

În același timp, analiza confirmă că soluțiile XR ar trebui să completeze, nu să înlocuiască, instruirea practică. Experiența practică cu echipamente reale de sudură, inclusiv feedback-ul senzorial și condițiile de la locul de muncă, rămâne esențială pentru dezvoltarea abilităților psihomotorii și certificarea profesională. O abordare de învățare mixtă, care combină activități bazate pe XR digital cu instruire practică tradițională, este considerată astfel cel mai potrivit model.

Raportul concluzionează că tehnologiile XR pot contribui semnificativ la modernizarea instruirii I/EWE prin creșterea flexibilității, îmbunătățirea eficienței învățării și susținerea transformării digitale a educației în sudură. Prioritățile și recomandările de instruire identificate vor oferi o bază pentru dezvoltarea materialelor viitoare de învățare bazate pe XR, scenarii și cadre de instruire în cadrul proiectului VIOLET.

2. Introducere

Acest raport prezintă rezultatele analizei nevoilor realizate în cadrul proiectului VIOLET pentru a identifica nivelul actual de conștientizare, nevoile de instruire și așteptările privind utilizarea tehnologiilor de Realitate Extinsă (XR) în educația și formarea inginerilor internaționali/europeni de sudură (I/EWE).

Analiza se bazează pe răspunsuri la chestionare colectate de la ingineri de sudură, formatori și reprezentanți ai industriei din cadrul consorțiului de proiect. Concluziile oferă dovezi valoroase privind provocările actuale, lacunele de competențe digitale și prioritățile pentru integrarea tehnologiilor de învățare inovatoare în educația și formarea profesională.

Obiectivul principal al acestui raport este de a sprijini proiectarea unor soluții moderne de instruire centrate pe elev, identificând domeniile în care tehnologiile XR pot aduce cea mai mare valoare educațională. Rezultatele vor ghida dezvoltarea materialelor digitale de învățare, scenarii practice de instruire XR și recomandări pentru actualizarea calificării I/EWE în conformitate cu nevoile în evoluție ale industriei și transformarea digitală a educației profesionale.

Acest raport oferă baza pentru activitățile ulterioare ale proiectului VIOLET, asigurând că cadrul de formare propus este bazat pe dovezi, relevant și aliniat cu dezvoltările tehnologice și cerințele pieței muncii.

2.1. Context

Sectoarele de producție și sudură trec prin transformări semnificative, determinate de digitalizare, automatizare și adoptarea tot mai mare a abordărilor Industria 4.0 și Industria 5.0. Aceste schimbări creează noi cerințe pentru competențele profesionale, inclusiv posibilitatea de a folosi tehnologii digitale în procesele industriale și mediile de formare.

În același timp, sistemele de educație și formare profesională se confruntă cu provocarea de a adapta abordările educaționale existente pentru a răspunde nevoilor industriei moderne. Inginerii de sudură, instructorii și profesioniștii tehnici necesită metode de instruire actualizate care să combine cunoștințele teoretice cu experiența practică și competențele digitale.

Realitatea Extinsă (XR), inclusiv Realitatea Virtuală (VR) și Realitatea Augmentată (AR), reprezintă o oportunitate urgentă de a îmbunătăți educația tehnică și formarea profesională. Aceste tehnologii permit experiențe de învățare imersive, simulare realistă a scenariilor industriale și medii sigure de practică pentru dezvoltarea unor abilități tehnice complexe.

În acest context, proiectul VIOLET abordează necesitatea de a explora și integra soluții bazate pe XR în traseul educațional și de formare al inginerilor internaționali/europeni de sudură (I/EWE). Proiectul își propune să sprijine inovația în educația profesională prin dezvoltarea unor abordări de formare aliniate cu dezvoltările tehnologice, așteptările industriei și cerințele viitoare de competențe.

2.2. Obiective

Proiectul VIOLET își propune să ofere un cadru pentru modernizarea calificării I/EWE prin dezvoltarea de materiale de instruire online și instrumente digitale, contribuind la îmbunătățirea calității, accesibilității și atractivității educației și formării profesionale în sectorul sudurii.

Acest raport se bazează pe colectarea și analiza datelor chestionarelor, care ajută la identificarea cunoștințelor, abilităților și nevoilor de instruire necesare pentru utilizarea eficientă a tehnologiilor XR.

2.3. Metodologie

În faza inițială, au fost dezvoltate 2 chestionare: unul adresat inginerilor din sectorul producției și altul către părțile interesate din industrie. Pentru a colecta informațiile necesare pentru dezvoltarea cadrului de modernizare a calificării I/IWE, toți partenerii proiectului au identificat grupuri țintă formate din furnizori de instruire și companii de sudură care ar putea participa la sondaje. Acest lucru a fost realizat pentru a crea o bază de date cu ingineri și reprezentanți din sectorul industrial care urmau să participe la cele două chestionare.

Ulterior, partenerul responsabil de sondaje (ASR) a redactat itemele chestionarului, care au fost apoi revizuite și evaluate de toți partenerii de proiect. După ce au fost convenite versiunile finale ale chestionarelor, acestea au fost distribuite companiilor industriale și inginerilor desemnați de fiecare partener.

Pe baza analizei răspunsurilor la sondaj, am identificat interesele, obiectivele, disponibilitatea și așteptările părților interesate în ceea ce privește metodologia de instruire.

În plus, pentru a obține o înțelegere cuprinzătoare a cadrului existent, a fost realizată o analiză documentală pe bază de birou, iar principalele concluzii au fost rezumate. În final, sunt prezentate cele mai relevante rezultate și concluzii obținute în cadrul acestui livrabil al proiectului.

2.4. Caracterizarea grupului țintă

Pe baza listei propuse de parteneri cu companii industriale și ingineri, chestionarele au fost distribuite prin rețelele sociale și prin lista de rețea a fiecărui partener. distribuit prin rețelele sociale și prin lista de rețea a fiecărui partener. Am primit 121 de răspunsuri de la ingineri și 44 din sectorul industrial. Caracterizarea grupului țintă implicat în chestionare poate fi văzută în graficele de mai jos, unde sunt indicate poziția/rolul participanților (Figura 1), țara (Figura 2) și anii de experiență (Figura 3)

3. Rezultatele și analiza sondajului

3.1. Rezultatele sondajului din chestionarul Inginerilor

3.1.1. Secțiunea A: Profil

Rolul participanților:

Concluzie (Figura 1): Un total de 121 de participanți au completat sondajul. Majoritatea erau ingineri internaționali de sudură (IWE) (42,9% dintre respondenți), urmați de ingineri (33,3% dintre respondenți). Participanții rămași au inclus alte roluri profesionale (12,2% dintre respondenți), instructori IWE (4,1% dintre respondenți), examinatori (4,1% dintre respondenți) și coordonatori de curs (3,4% dintre respondenți). Această distribuție demonstrează că sondajul a surprins în principal perspectivele profesioniștilor implicați direct în ingineria sudurii, integrând totodată contribuții valoroase din partea specialiștilor în formare și evaluare.

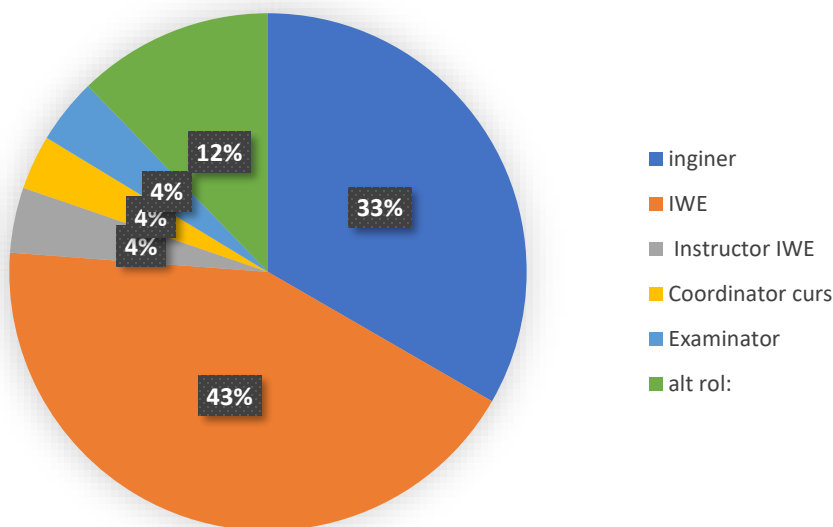


Figura 1. Rolul participanților

Țara de reședință a participanților

Concluzie (Figura 2): Un total de 11 țări a completat sondajul. Cea mai mare participare a fost din România (48,6%), urmată de Portugalia și Polonia (fiecare 14,4%), Turcia și Slovenia (fiecare 7,2%), Țările de Jos (2,7%), Germania (1,8%) și Belgia, Irlanda, Franța și Ungaria (fiecare 0,9%). Rezultatele demonstrează o participare internațională largă, oferind o bază solidă pentru dezvoltarea cadrului modernizat de calificare I/EWE.

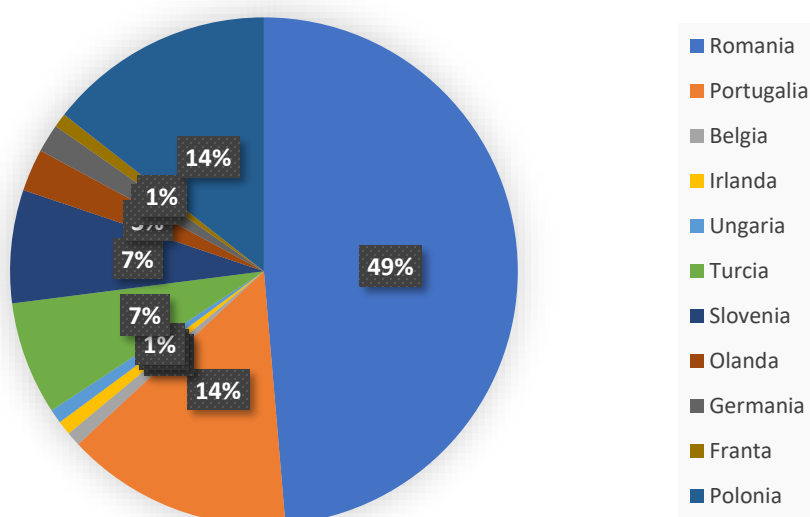


Figura 2. Țara de reședință a participanților

Experiență în sudură:

Concluzie (Figura 3): Dintre cei 121 de respondenți, 37,7% aveau mai mult de 10 ani de experiență în sudură, 36,0% mai puțin de 5 ani, iar 26,3% 5–10 ani. Această distribuție reflectă un amestec echilibrat de profesioniști cu experiență și aflați la început drum.

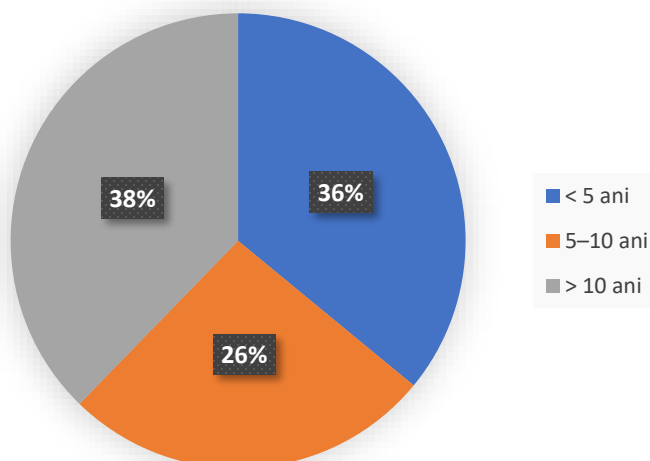


Figura 3. Experiență în sudură

3.1.2. Secțiunea B: Tehnologii digitale:

Utilizarea VR/AR/AI în antrenament

Concluzie (Figura 4): Dintre cei 121 de respondenți, 62% nu au folosit VR/AR/AI în timpul instruirii, în timp ce 38% aveau experiență anterioară cu aceste tehnologii. Rezultatele indică faptul că utilizarea VR/AR/AI în instruire este încă limitată, evidențiind potențialul unei adoptări mai largi în educația în **sudură**.

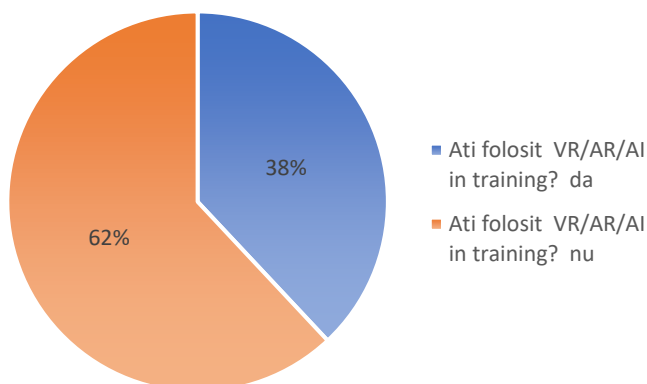


Figura 4. Utilizarea VR/AR/AI în antrenament

Riscuri percepute ale utilizării instrumentelor digitale în instruirea IWE:

Concluzie (Figura 5): Rezultatele indică faptul că cele mai semnificative riscuri percepute ale implementării XR în instruirea IWE sunt lipsa competențelor digitale ale instructorilor (27,9%) și

timpul necesar pentru a se familiariza cu instrumentele XR (25%), în timp ce acceptarea scăzută a cursanților (18%), supraîncărcarea tehnologică (16,9%) și alte preocupări (12,2%) au fost considerate mai puțin semnificative.

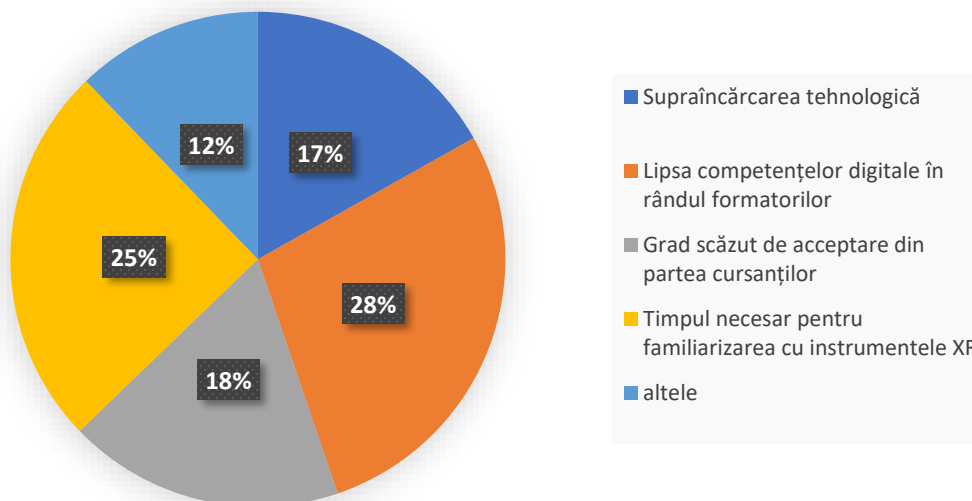


Figura 5. Riscurile percepute ale utilizării instrumentelor digitale în instruirea IWE

3.1.3. Secțiunea C: Procese de sudură și tăiere:

Utilitatea simulării AR / VR pentru exersarea proceselor MMA/MIG-MAG/TIG - poziții de sudură și controlul bazinului metalic (conform: IAB-089 – "Sisteme de simulare a sudurii")

Concluzie (Figura 6): Rezultatele indică o percepție foarte pozitivă a simulării AR/VR pentru exersarea proceselor de sudură MMA/MIG-MAG/TIG. Mai mult de jumătate dintre respondenți i-au evaluat utilitatea ca fiind Bună (54,6%), în timp ce 26,9% au considerat-o Excelentă. Doar 3,4% l-au evaluat ca fiind slab sau inutil, sugerând o acceptare largă a simulării AR/VR ca instrument eficient de instruire pentru pozițiile de sudură și controlul piscinelor metalice.

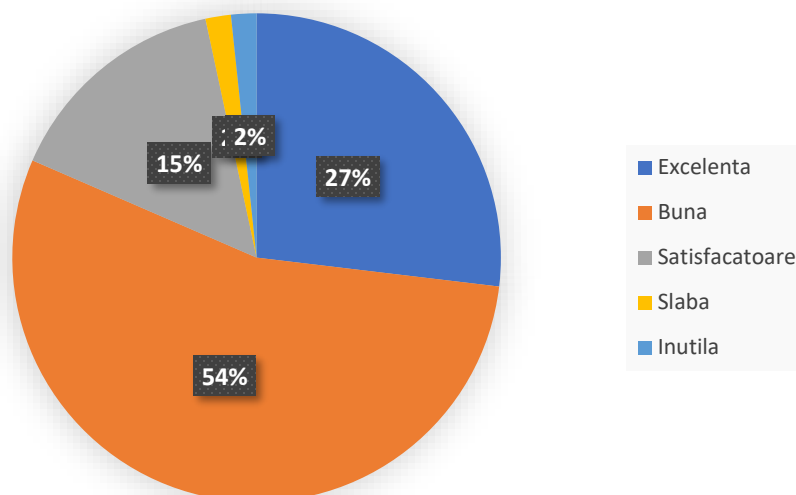


Figura 6. Utilitatea simulărilor VR pentru MMA/MIG-MAG/TIG

Beneficii percepute ale AR/VR pentru antrenamentul privind setarea parametrilor (curent/tensiune/flux de gaz) pe echipamente reale

Concluzii (Figura 7): Rezultatele arată un sprijin puternic pentru utilizarea AR/VR în instruirea privind setarea parametrilor pentru echipamente reale de sudură. Majoritatea respondenților credeau că AR/VR ar îmbunătăți antrenamentul semnificativ (53,3%) sau moderat (36,7%), în timp ce doar 9,2% se așteptau la o ușoară îmbunătățire, iar 0,8% nu au observat niciun beneficiu. Aceste constatări indică o încredere largă în AR/VR ca instrument eficient pentru îmbunătățirea instruirii practice în sudură.

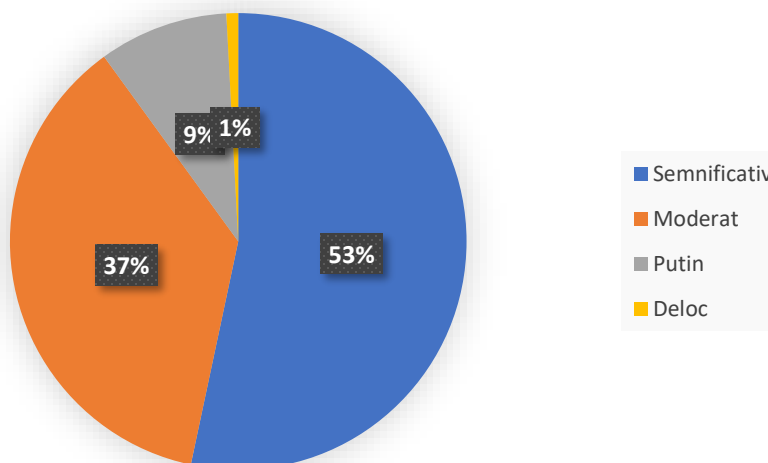


Figura 7. Beneficii percepute ale AR/VR pentru antrenament privind setarea parametrilor

Utilitatea percepută a AR/VR/AI pentru a oferi feedback în timp real asupra deviației (viteza de deplasare, unghiul torței)

Concluzii (Figura 8): Rezultatele oferă un suport solid pentru utilizarea AR/VR/AI pentru a oferi feedback în timp real asupra abaterii de sudură. Majoritatea respondenților au evaluat această funcționalitate ca fiind Foarte Utilă (59,5%) sau Esențială (23,1%), în timp ce 14,9% au considerat-o Utilă, iar doar 2,5% au evaluat-o ca oarecum utilă. Per ansamblu, rezultatele evidențiază valoarea ridicată percepută a feedback-ului inteligent în timp real pentru îmbunătățirea instruirii și performanței la sudură.

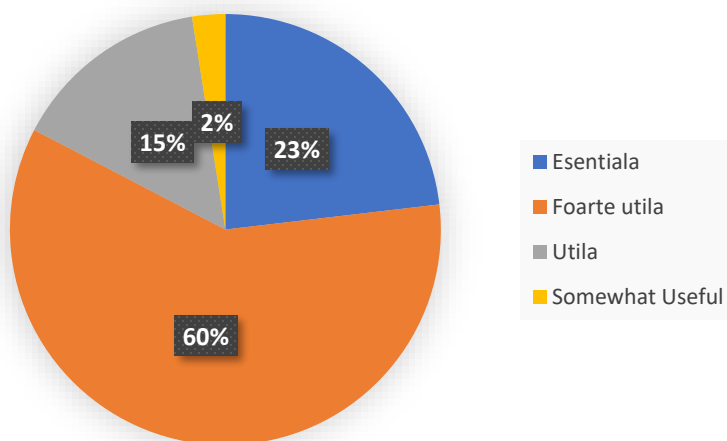


Figura 8. Percepția de securitatea AR/VR/AI pentru feedback în timp real

Relevanța percepută a VR/AR pentru instruirea în procesele de tăiere (plasmă, oxigaze, laser) pentru demonstrarea și căile de tăiere

Concluzii (Figura 9): Rezultatele indică faptul că VR/AR este considerat pe scară largă un instrument valoros pentru demonstrarea procedurilor de siguranță și a căilor de tăiere în plasmă, oxigaze și procese de tăiere cu laser. Majoritatea respondenților l-au evaluat ca Relevant (55,4%) sau Foarte Relevant (35,5%), în timp ce doar 0,8% l-au considerat Irelevant, confirmând un sprijin puternic pentru integrarea VR/AR în instruirea de proces de tăiere.

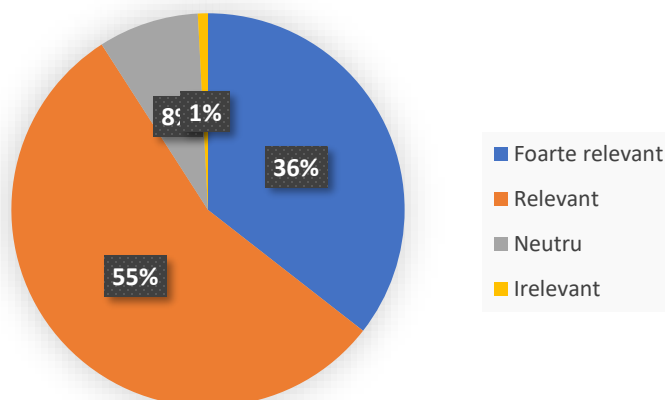


Figura 9. Relevanța VR/AR pentru instruirea procesului de tăiere

Au perceput cele mai semnificative limitări ale tehnologiilor VR/AR/AI

Concluzii (Figura 10): Principalele provocări asociate implementării XR sunt lipsa "senzației" fizice (44,8%) și costurile inițiale ridicate de investiție (30,4%). Alte preocupări, inclusiv complexitatea creării de conținut digital (12,8%), timpul necesar pentru a stăpâni instrumentele XR (7,2%) și supraîncărcarea tehnologică (4,0%), au fost raportate mai rar. Per ansamblu, constatările sugerează că realismul tehnic și costurile de implementare sunt principalele bariere în calea adoptării mai largi a XR.

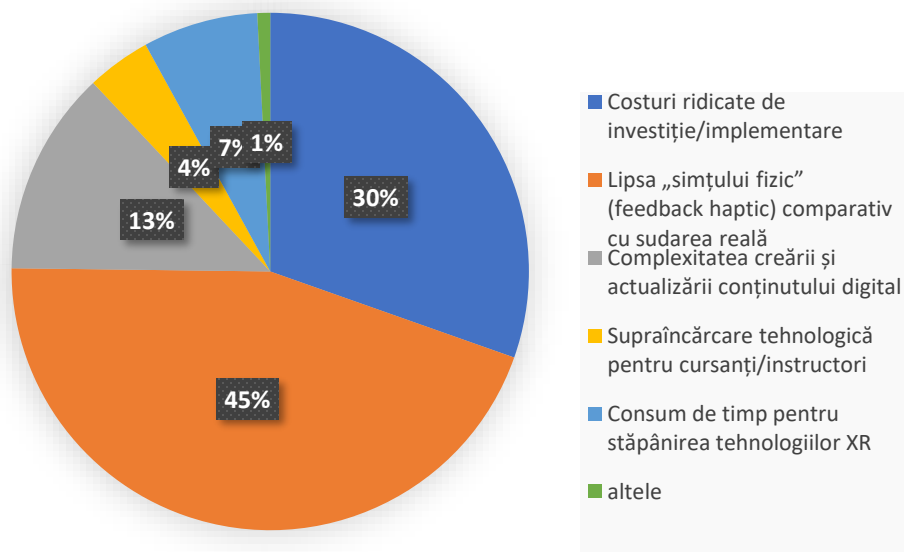


Figura 10. Limitări percepute ale tehnologiilor VR/AR/AI

Beneficii principale percepute ale tehnologiilor VR/AR/AI

Concluzii (Figura 11): Rezultatele indică faptul că principalul beneficiu anticipat al tehnologiilor XR este învățarea mai rapidă (31,7%), urmată de o siguranță îmbunătățită (28,5%) și reducerea deșeurilor (24,4%). Feedback-ul în timp real (15,4%) a fost selectat mai rar, sugerând că respondenții apreciază în principal tehnologiile XR pentru creșterea eficienței învățării și a rezultatelor de instruire

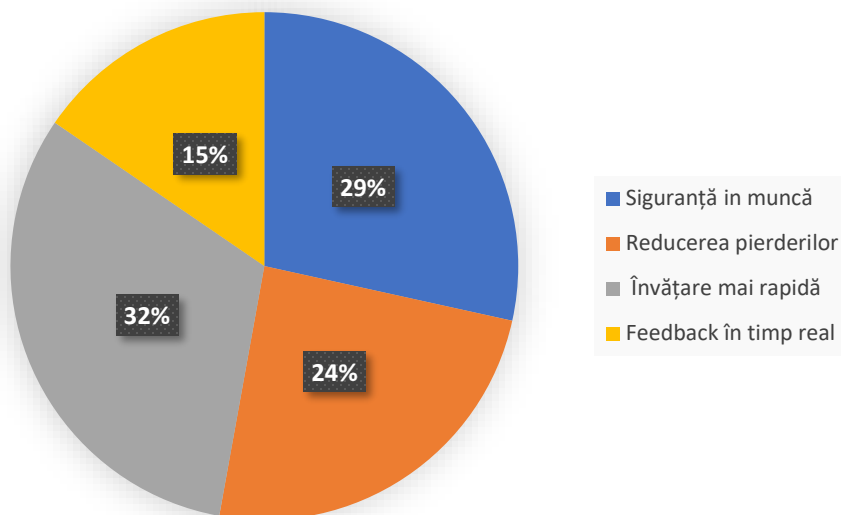


Figura 11. Beneficii principale percepute ale tehnologiilor VR/AR/AI

3.1.4. Secțiunea D: Materiale și comportamentul lor la sudură

Valoarea percepută a modelului VR/AR evidențiind transformările, distorsiunile și tensiunile reziduale HAZ(ZIT) crește pentru înțelegerea fenomenelor metalurgice

Concluzii (Figura 12): Rezultatele indică faptul că 54,5% dintre respondenți cred că un model VR/AR ar îmbunătăți semnificativ înțelegerea fenomenelor metalurgice, în timp ce 41,3% îl consideră un suport bun pentru cursurile teoretice. Doar 2,5% percep un impact minim, iar 1,7% cred că metodele tradiționale sunt suficiente.

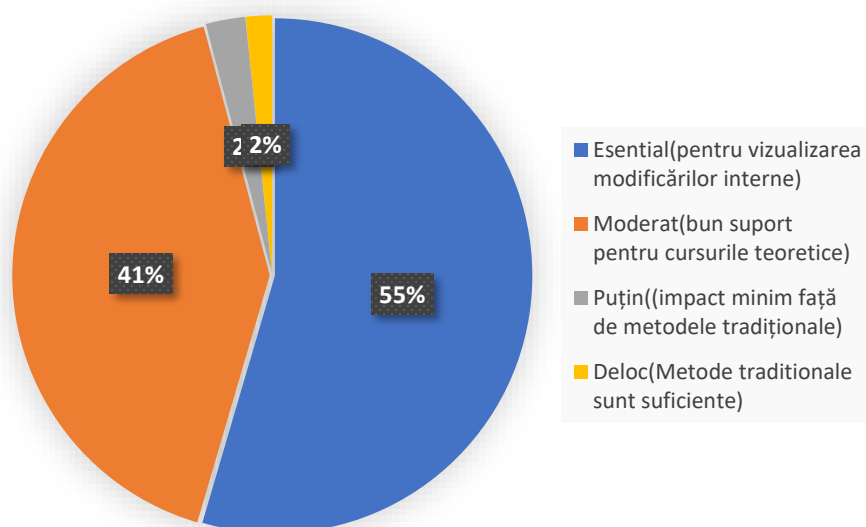


Figura 12. Valoarea percepută a VR/AR pentru înțelegerea fenomenelor metalurgice

Utilitatea percepută a AR/VR/AI pentru prezicerea durității, riscului de crăpare la rece sau fierbinte, precum și preîncălzire/PH, OWHT(TTPS)

Concluzii (Figura 13): Rezultatele indică faptul că majoritatea respondenților percep AR/VR/AI ca fiind valoroase pentru revizuirea tehnică conform ISO 14731, 42,1% considerând aceste tehnologii foarte utile și 25,6% evaluându-le ca fiind esențiale. Alți 26,4% le consideră utile pentru calcule preliminare, în timp ce doar 5,0% percep o valoare practică limitată, iar 0,8% le consideră inutile.

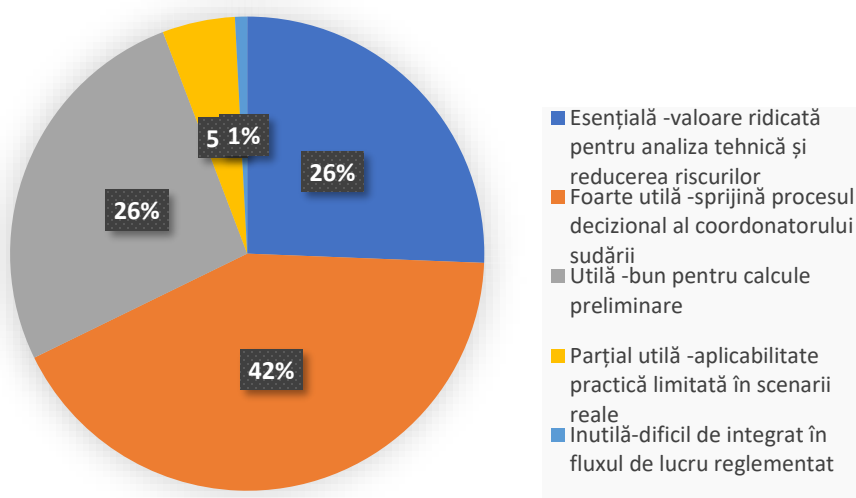


Figura 13. Utilitatea percepută a AR/VR/AI pentru prezicerea parametrilor de sudură

Valoarea percepută a VR/AR pentru înțelegerea influenței materialelor de umplură și a gazelor de protecție asupra microstructurii

Concluzie (Figura 14): Rezultatele indică faptul că 62,0% dintre respondenți cred că VR/AR poate susține înțelegerea influenței materialelor de umplură și a gazelor de protecție asupra microstructurii. În comparație, 35,5% cred că poate oferi sprijin parțial. Doar 2,5% consideră că VR/AR nu contribuie la această înțelegere

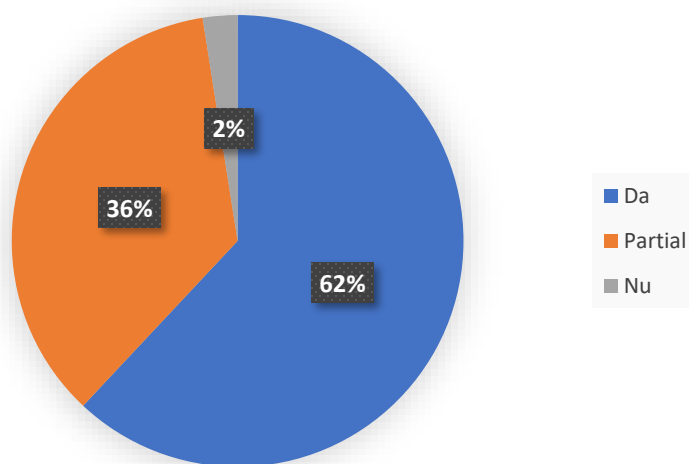


Figura 14. Valoarea VR/AR pentru înțelegerea influenței materialelor de umplură și a gazelor de protecție asupra microstructurii

Simulări preferate pentru învățare profundă pentru învățarea comportamentului materialului în sudură

Concluzie (Figura 15): Rezultatele indică faptul că cea mai valoroasă simulare pentru învățarea profundă a comportamentului materialului în sudură este Transformările de Fază și Diagramele CCT (47,4%), urmate de Fenomenele de Crăpături (36,8%). În contrast, Mecanismul de Solidificare (8,3%) și Tratamentul termic post-sudură (7,5%) sunt considerate mai puțin importante de către respondenți

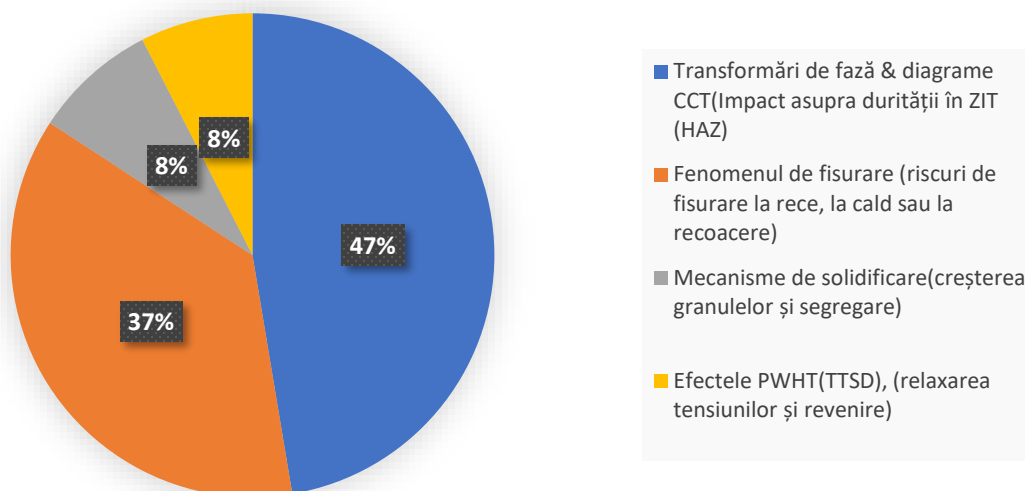


Figura 15. Simulări preferate pentru învățare profundă pentru a învăța comportamentul materialelor în materialele de sudură

3.1.5. Secțiunea E: Proiectarea structurilor sudate:

Beneficiile percepute ale 3D/VR/AR Vizualizarea articulațiilor și accesibilitatea sudurilor includ un design îmbunătățit pentru fabricabilitate și reducerea distorsiunilor

Concluzie (Figura 16): Rezultatele indică faptul că 52,9% dintre respondenți cred că vizualizarea 3D/VR/AR a îmbinărilor și accesibilitatea sudurilor ar îmbunătăți semnificativ designul pentru fabricabilitate și ar reduce distorsiunile, în timp ce 41,3% o consideră moderat benefică. Doar 5,8% percep o ușoară îmbunătățire, indicând un sprijin general puternic pentru utilizarea acestor tehnologii în proiectarea și fabricarea sudurii.

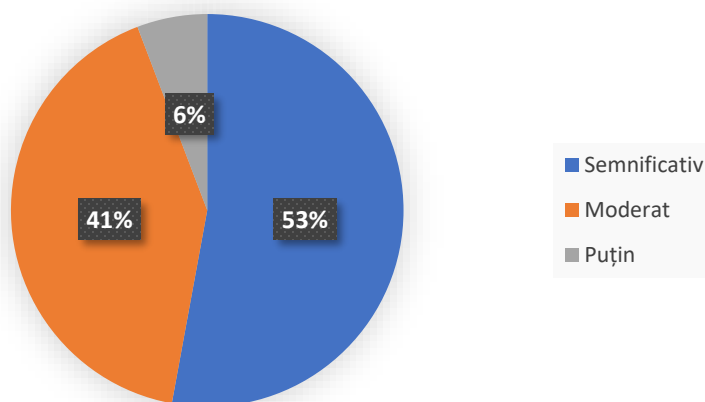


Figura 16. Beneficii percepute ale vizualizării 3D/VR/AR pentru proiectare și fabricabilitate

Utilitatea percepută a AR/VR pentru suprapunerea îmbinărilor sudate și secvența sudată direct pe piesă pentru a evita limitările și deformările

Concluzie (Figura 17): Rezultatele indică faptul că majoritatea respondenților consideră AR/VR extrem de benefic pentru vizualizarea îmbinărilor sudate și a secvențelor de sudură, 52,9% evaluând aceste tehnologii ca fiind foarte utile și 24,0% ca extrem de utile. În plus, 22,3% le consideră utile, în timp ce doar 0,8% le percep ca fiind doar cât de utile, demonstrând un sprijin puternic pentru aplicarea AR/VR pentru îmbunătățirea planificării sudurilor și reducerea limitărilor și deformărilor de fabricație.

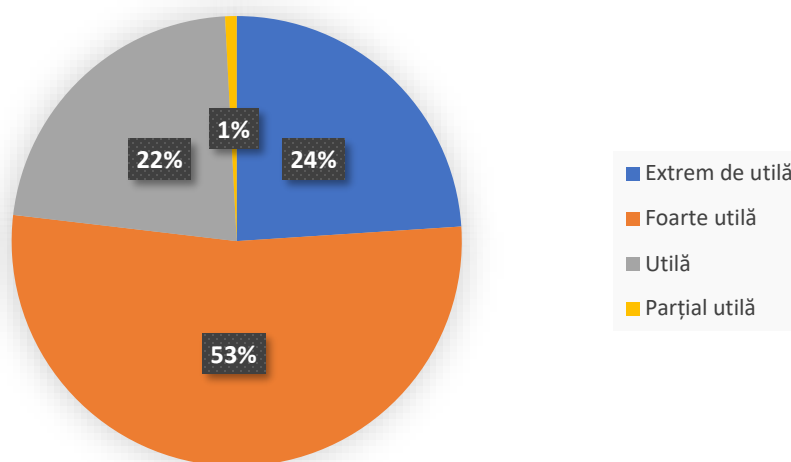


Figura 17. Utilitatea percepută a AR/VR pentru planificarea secvențelor de sudură și accesibilitatea pentru articulații

Adecvarea percepută folosind AR/VR/AI pentru optimizarea proiectării (de exemplu, poziționarea îmbinărilor, grosime, bilele) pe baza datelor experimentale

Concluzie (Figura 18): Rezultatele indică faptul că respondenții susțin puternic utilizarea AR/VR/AI pentru optimizarea proiectării sudurii, pe baza datelor experimentale, 47,9% considerând-o potrivită și 42,1% foarte potrivită. Doar 9,1% și-au exprimat o opinie neutră, în timp ce doar 0,8% au considerat aceste tehnologii nepotrivite.

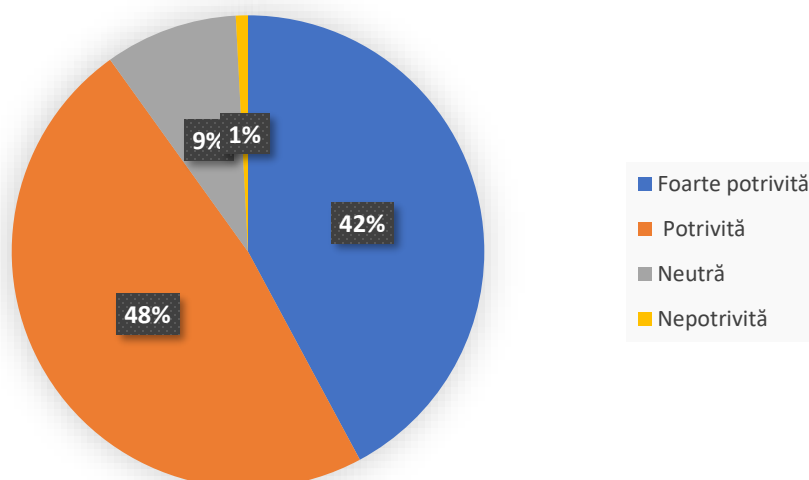


Figura 18. Adecvarea percepută a AR/VR/AI pentru optimizarea designului

Funcționalități digitale esențiale, cele mai esențiale pentru proiectarea structurilor sudate

Concluzie (Figura 19): Rezultatele indică faptul că simulările termomecanice sunt considerate cea mai esențială funcționalitate digitală pentru proiectarea structurilor sudate, reprezentând 51,1% din răspunsuri. Integrarea bibliotecilor WPS a fost selectată de 30,5% dintre respondenți, în timp ce 18,4% au identificat automatizarea verificărilor normative ca fiind cea mai importantă funcționalitate.

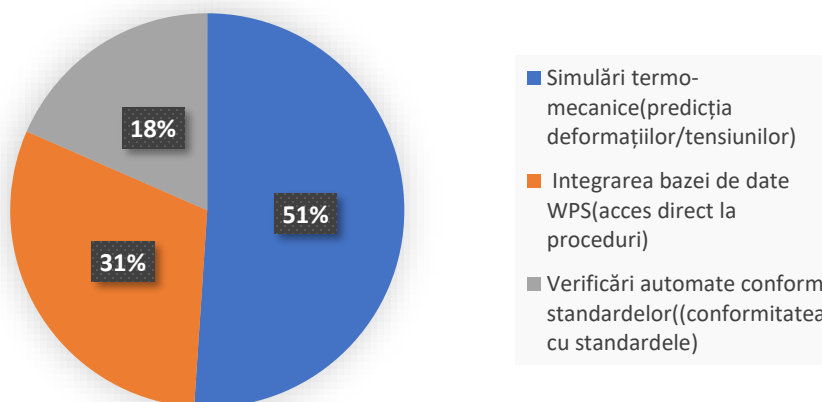


Figura 19. Funcționalități digitale esențiale pentru proiectarea structurilor sudate

3.1.6. Secțiunea F: Problemele de fabricație ale structurilor sudate

Utilitatea percepută a AR/VR pentru simularea fluxului de producție (asamblare-sudură-NDT) pentru identificarea blocajelor și zonelor de risc

Concluzie (Figura 20): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea AR/VR în simularea fluxului de producție (asamblarea → sudarea → NDT), 45,0% dintre respondenți evaluând utilitatea acesteia ca fiind ridicată și 36,7% ca fiind foarte ridicată. Alți 16,7% l-au considerat moderat util, în timp ce doar 1,7% au perceput puțină sau deloc valoare, evidențiind potențialul AR/VR de a identifica blocajele de producție și zonele de risc

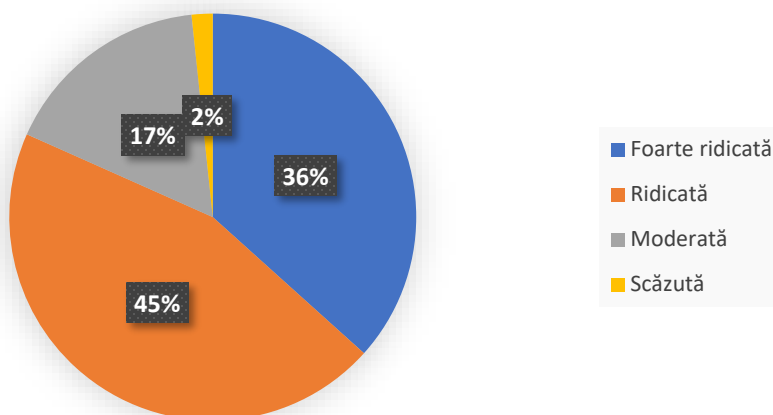


Figura 20. Utilitatea percepută a AR/VR pentru simularea fluxurilor de producție

Eficiența percepută a AR/VR în reducerea erorilor de asamblare (alinieri, configurarea articulațiilor) înainte de arcul electric

Concluzie (Figura 21): Rezultatele indică faptul că respondenții percep AR/VR ca fiind extrem de eficient în reducerea erorilor de ansamblu înainte de arc electric, 38,3% evaluând eficiența sa la fel de mult și 35,8% ca fiind semnificativă. În plus, 25,0% îl consideră moderat eficient, în timp ce doar 0,8% percep un beneficiu ușor, demonstrând o încredere puternică în utilizarea AR/VR pentru îmbunătățirea alinierii ansamblului și a configurării îmbinărilor.

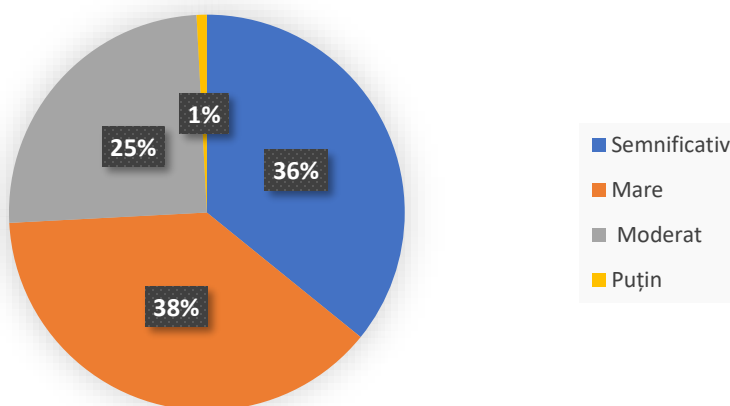


Figura 21. Eficiența percepută a AR/VR în reducerea erorilor de asamblare

Utilitatea percepută în timp real a AR/VR/AI pentru identificarea neconformității (de exemplu, parametri în afara toleranței) pentru a preveni reparațiile

Concluzie (Figura 22): Rezultatele indică faptul că respondenții susțin puternic utilizarea AR/VR/AI pentru identificarea în timp real a neconformităților, 47,9% evaluând aceste tehnologii ca fiind foarte utile și 34,5% ca fiind extrem de utile. Doar 16,8% le-au considerat utile, în timp ce doar 0,8% le-au perceput ca neutile.

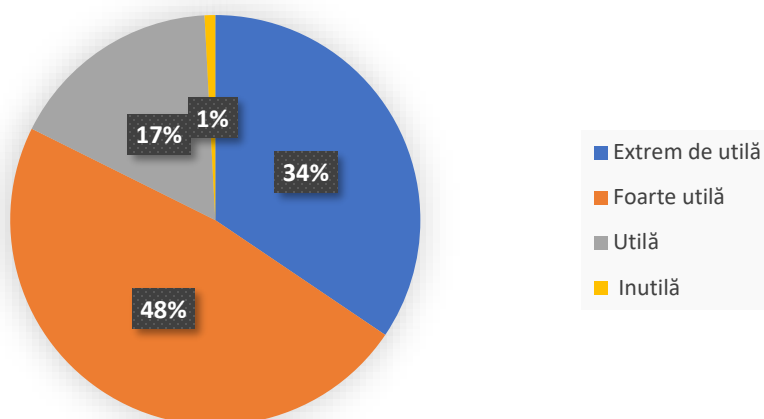


Figura 22. Utilitatea percepută a AR/VR/AI pentru detectarea neconformității în timp real

Contribuția percepută a VR/AR/AI la conformitatea ISO 3834 pentru inspecția pre/durată/post-sudură și trasabilitatea materialelor și consumabilelor

Concluzie (Figura 23): Rezultatele indică faptul că 43,8% dintre respondenți consideră că VR/AR/AI facilitează moderat conformitatea cu cerințele ISO 3834, în timp ce 39,7% percep o contribuție semnificativă. Doar 14,9% au raportat o contribuție ușoară, iar 1,7% au considerat că aceste tehnologii nu facilitează deloc conformitatea.

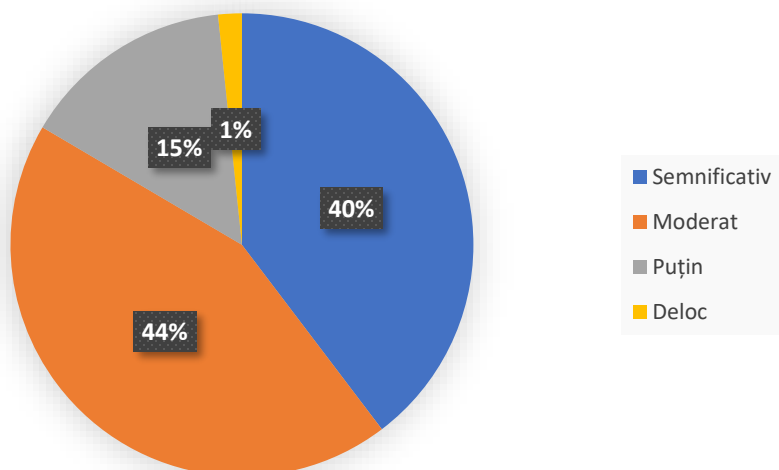


Figura 23. Contribuția percepută a VR/AR/AI la conformitatea ISO 3834

Elemente esențiale de inclus într-un atelier virtual ideal pentru formarea profesională

Concluzie (Figura 24): Rezultatele indică faptul că simularea fizică în timp real a bazinului de sudură este considerată cel mai esențial element al unui atelier virtual ideal (68,6%), urmată de simularea configurării echipamentelor (26,4%), în timp ce scenariile de pericol pentru siguranță au fost selectate doar de 5,0% dintre respondenți.

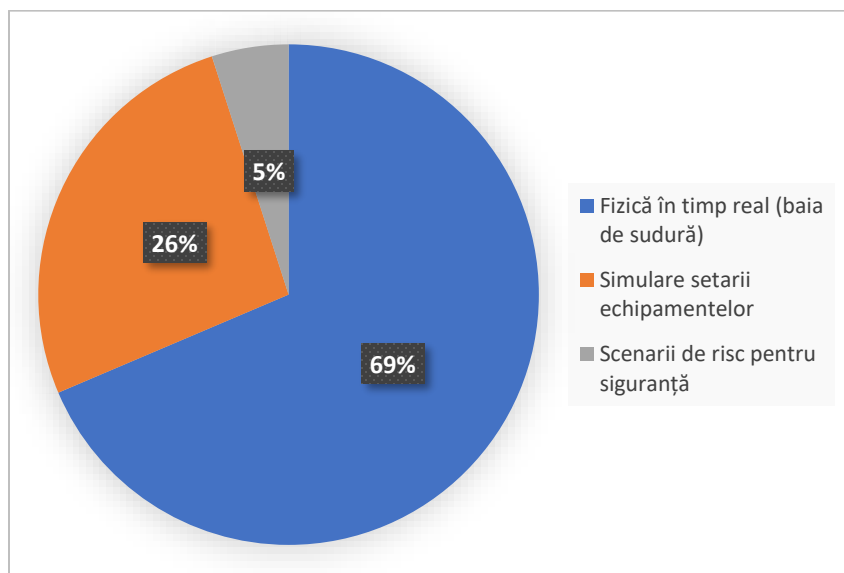


Figura 24. Elemente esențiale ale unui atelier virtual ideal pentru formarea profesională

Utilitatea percepută a VR/AR pentru detectarea în timp real a defectelor (de exemplu, porozitate, undercut) în timpul proceselor

Concluzie (Figura 25): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru instrumentele VR/AR care oferă alerte în timp real privind defectele în timpul sudurii, 51,2% dintre respondenți considerându-le esențiale și 43,0% utile. Doar 4,1% le-au evaluat ca fiind oarecum utile, în timp ce 1,7% le-au considerat neutile.

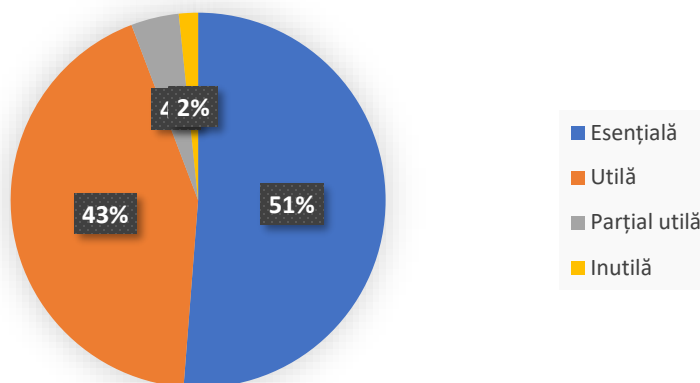


Figura 25. Utilitatea percepută a VR/AR pentru detectarea în timp real a defectelor

Utilitatea percepută a utilizării VR/AR pentru a simula calculele de sudură (de exemplu, ratele de răcire, consumul de căldură) pentru a îmbunătăți procesul de dezvoltare PQR și WPS

Concluzie (Figura 26): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea VR/AR pentru simularea calculelor de sudură pentru dezvoltarea PQR și WPS, 47,5% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de utilă și 45,0% ca fiind utilă. Doar 5,0% l-au considerat oarecum util, în timp ce 2,5% l-au considerat inutil.

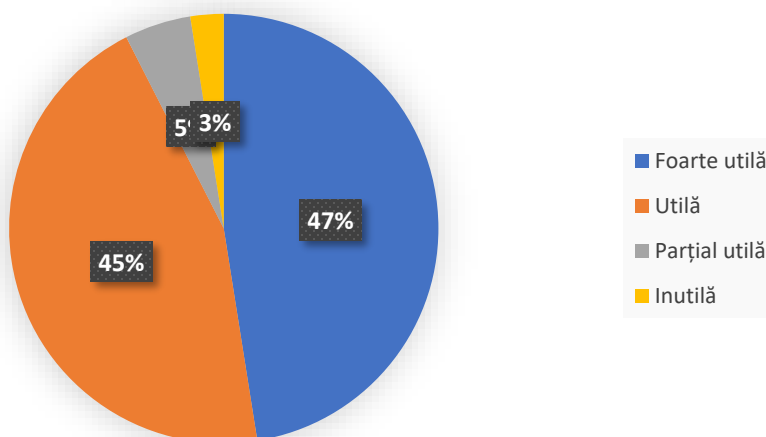


Figura 26. Utilitatea percepută a VR/AR pentru simularea calculelor de sudură

Exerciții preferate de laborator VR/AR pentru instruire profesională

Concluzie (Figura 27): Rezultatele indică faptul că Inspecția Vizuală a fost cel mai preferat exercițiu de laborator VR/AR (35,3%), urmat de Managementul Reparațiilor (21,8%), Auditul Virtual (21,4%) și Validarea Procedurilor (20,7%). Doar 0,8% dintre respondenți au ales alte tipuri de exerciții.

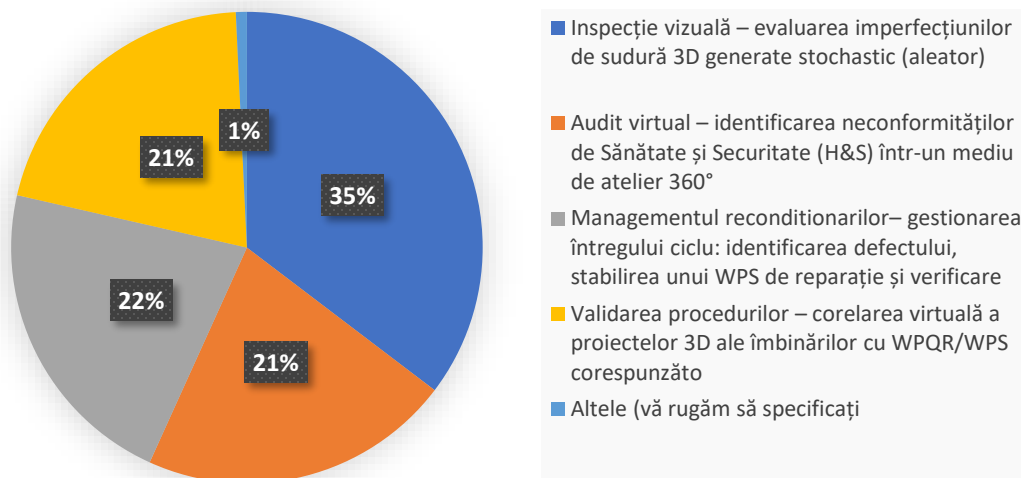


Figura 27. Exerciții preferate de laborator VR/AR pentru instruire profesională

3.1.7. Secțiunea G: Sfera strategică de instruire pentru validarea beneficiilor XR

Recenzie tehnică (ISO 14731) a perceput utilitatea AR/VR pentru a verifica accesibilitatea torțelor în geometrii 3D complexe înainte de producție

Concluzie (Figura 28): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea AR/VR în evaluarea accesibilității torțelor în timpul revizuirii tehnice ISO 14731, 45,5% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de valoroasă și 31,4% considerând-o strategică importantă. Doar 19,0% au perceput valoarea moderată, în timp ce 4,1% au considerat că nu are valoare.

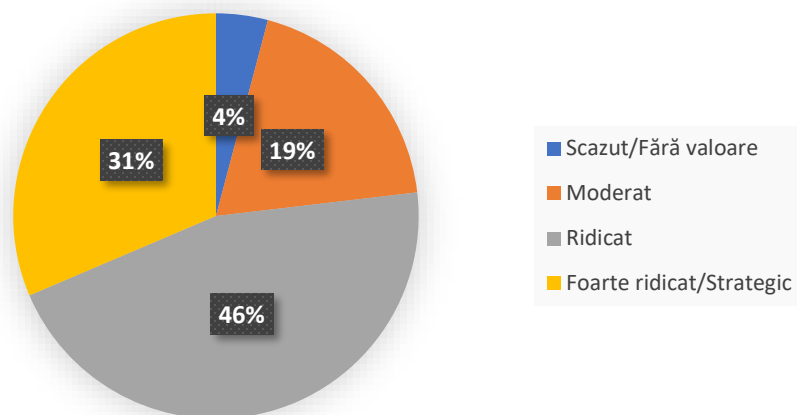


Figura 28. Utilitatea percepută a AR/VR pentru evaluarea accesibilității torțelor

Utilitatea percepută a AR/VR pentru selecția de materiale și consumabile în raport cu certificatele digitale

Concluzie (Figura 29): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea AR/VR pentru validarea virtuală a materialelor și consumabilelor în raport cu certificatele digitale, 49,2% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de valoroasă și 26,7% ca fiind strategică importantă. Doar 20,0% au perceput o valoare moderată, în timp ce 4,2% au considerat că nu are valoare.

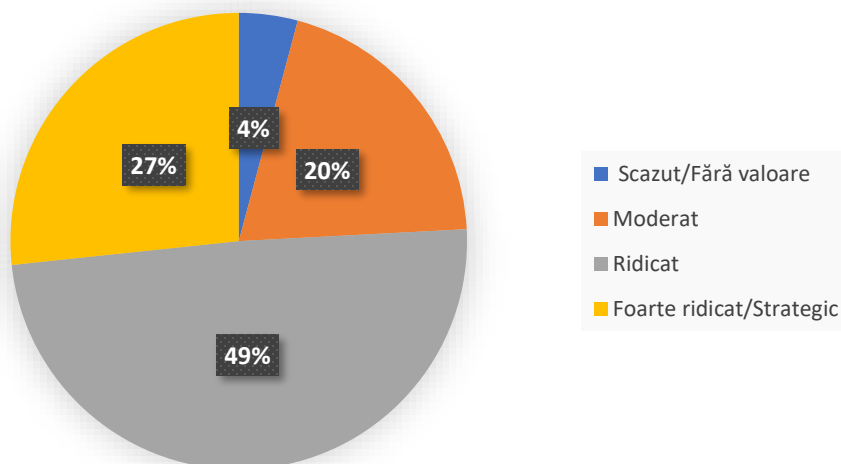


Figura 29. Utilitatea percepută a AR/VR pentru validarea materialelor și a consumabilelor

Utilitatea percepută a simulării imperfecțiunilor sudurilor 3D pentru inspecția și testarea îmbinărilor sudate

Concluzie (Figura 30): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea imperfecțiunilor de sudură 3D generate aleatoriu în instruirea NDT/DT, 45,5% dintre respondenți evaluând această abordare ca fiind extrem de valoroasă și 30,6% ca fiind strategic. Doar 21,5% au perceput valoarea moderată, în timp ce 2,5% au considerat că nu are valoare.

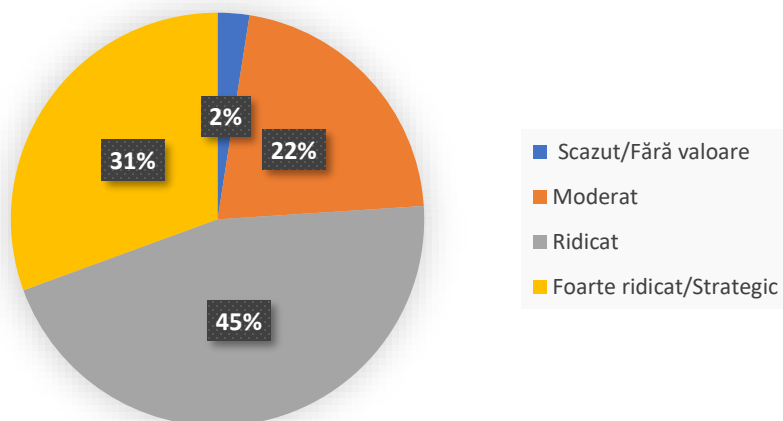


Figura 30. Utilitatea percepută a simulării imperfecțiunilor de sudură 3D pentru inspecția sudurii

Utilitatea percepută a AR/VR pentru instruirea în managementul neconformității, acțiuni corective și managementul ciclului de reparație, de la defect la rezolvare

Concluzie (Figura 31): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea AR/VR pentru gestionarea ciclului de reparații, 44,2% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de valoroasă și 35,8% ca fiind strategică importantă. Doar 17,5% au perceput o valoare moderată, în timp ce 2,5% au considerat că nu are valoare.

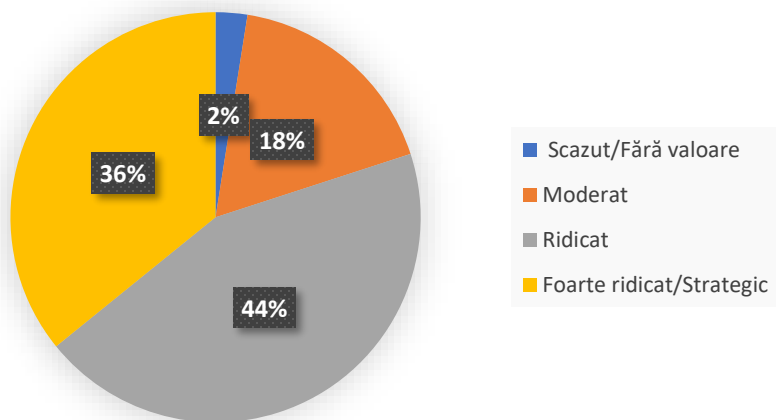


Figura 31. Utilitatea percepută a AR/VR pentru gestionarea ciclurilor de reparație

Utilitatea percepută a XR pentru evaluarea și monitorizarea nivelurilor de performanță ale personalului de sudură

Concluzie (Figura 32): Rezultatele indică percepții pozitive despre XR pentru calificarea personalului de sudură, 40,5% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de valoroasă și 24,0% ca fiind importantă din punct de vedere strategic. Între timp, 29,8% au perceput valoarea moderată, iar doar 5,8% au considerat că nu are valoare.

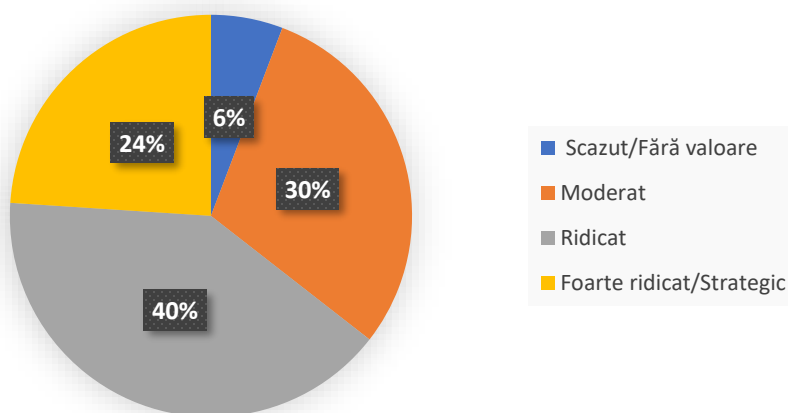


Figura 32. Utilitatea percepută a XR pentru calificarea personalului sudor

Utilitatea percepută a XR pentru tratamentul termic (PWHT) Vizualizare: ratele de răcire și cerințele de preîncălzire pentru prevenirea crăpării

Concluzie (Figura 33): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea XR pentru vizualizarea PWHT-ului, ratele de răcire și cerințele de preîncălzire, 51,7% dintre respondenți evaluându-l ca fiind foarte valoros și 30,0% ca fiind strategic important. Doar 17,5% au perceput o valoare moderată, în timp ce doar 0,8% au considerat că nu au valoare.

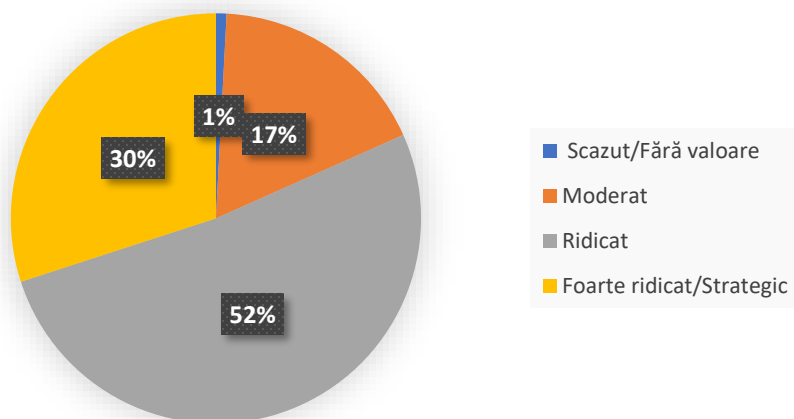


Figura 33. Utilitatea percepută a XR pentru vizualizarea PWHT

Utilitatea percepută a XR pentru auditarea virtuală: identificarea neconformităților de siguranță și de mediu într-un audit virtual 360 de grade.

Concluzie (Figura 34): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea XR în auditul virtual, 43,0% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de valoroasă și 25,6% ca fiind strategică importantă. Între timp, 28,1% au perceput valoarea moderată, iar doar 3,3% au considerat că nu are valoare.

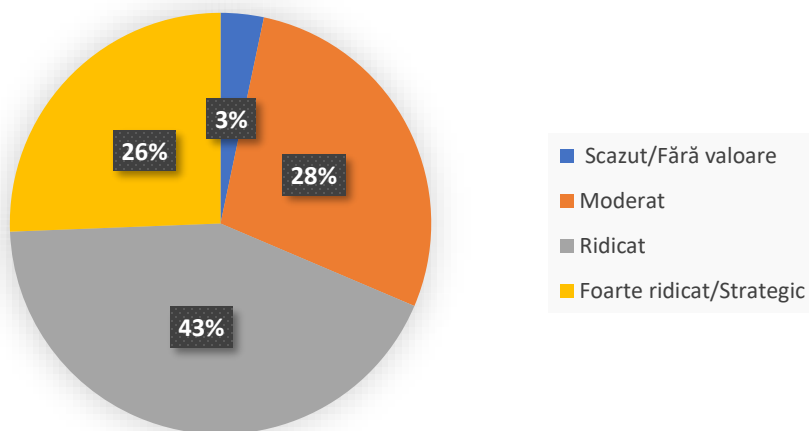


Figura 34. Utilitatea percepută a XR pentru auditarea virtuală

Utilitatea percepută a XR pentru determinarea procedurilor de sudură (WPS/PQR)

Concluzie (Figura 35): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea XR în dezvoltarea WPS/PQR, 50,4% dintre respondenți evaluând-o ca fiind foarte valoroasă și 30,3% ca fiind strategică importantă. Doar 16,8% au perceput o valoare moderată, în timp ce 2,5% au considerat că nu are valoare.

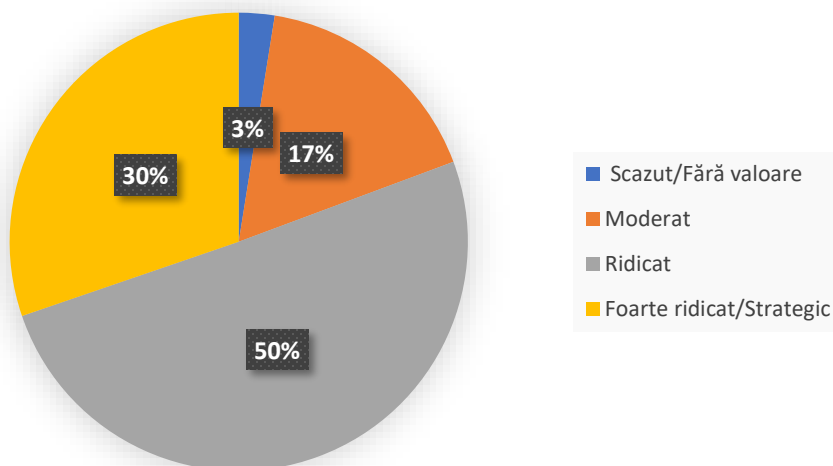


Figura 35. Utilitatea percepută a XR pentru dezvoltarea WPS/PQR

Utilitatea percepută a XR pentru colectarea datelor despre defectele de sudură

Concluzie (Figura 36): Rezultatele indică un sprijin foarte puternic pentru utilizarea XR pentru colectarea datelor despre defectele de sudură, 49,6% dintre respondenți evaluând-o ca fiind strategic importantă și 39,7% ca fiind extrem de valoroasă. Doar 9,9% au perceput o valoare moderată, în timp ce doar 0,8% au considerat că nu au nicio valoare.

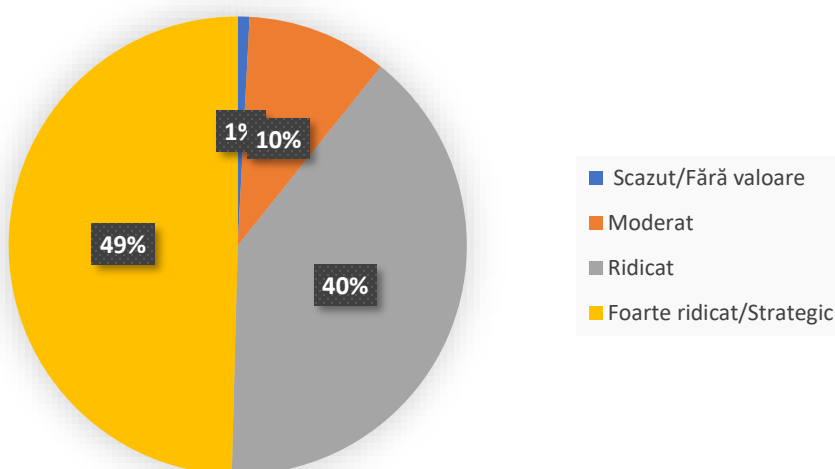


Figura 36. Utilitatea percepută a XR pentru colectarea datelor despre defectele de sudură

Utilitatea percepută a XR pentru monitorizarea intrării de căldură în procesele de sudură

Concluzie (Figura 37): Rezultatele indică un sprijin puternic pentru utilizarea XR pentru monitorizarea căldurii în procesele de sudură, 48,8% dintre respondenți evaluând-o ca fiind extrem de valoroasă și 34,7% ca fiind strategică importantă. Doar 14,9% au perceput o valoare moderată, în timp ce doar 1,7% au considerat că nu are valoare.

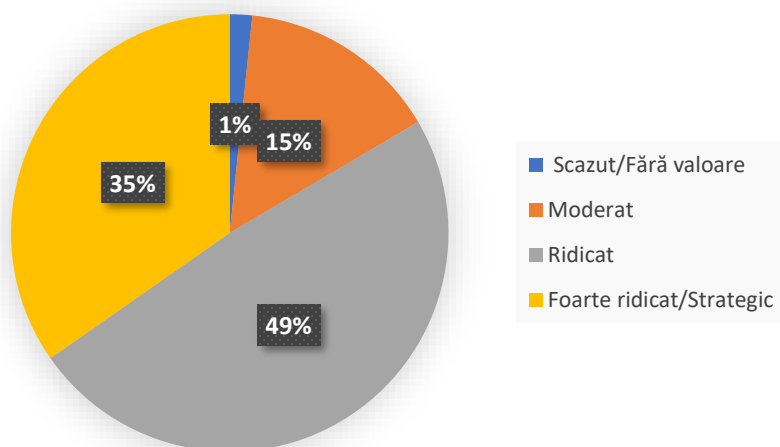


Figura 37. Utilitatea percepută a XR pentru monitorizarea inputului de căldură

Utilitatea percepută a XR pentru proiectarea îmbinărilor sudate

Concluzie (Figura 38): Rezultatele indică faptul că tehnologiile XR sunt considerate extrem de valoroase pentru proiectarea îmbinărilor sudate, 48,8% dintre respondenți evaluând valoarea lor ca fiind ridicată și 32,2% ca strategică. Doar 18,2% au perceput o valoare Moderată, în timp ce 0,8% nu au văzut nicio valoare, demonstrând o încredere puternică în potențialul XR pentru a susține designul îmbinărilor sudate.

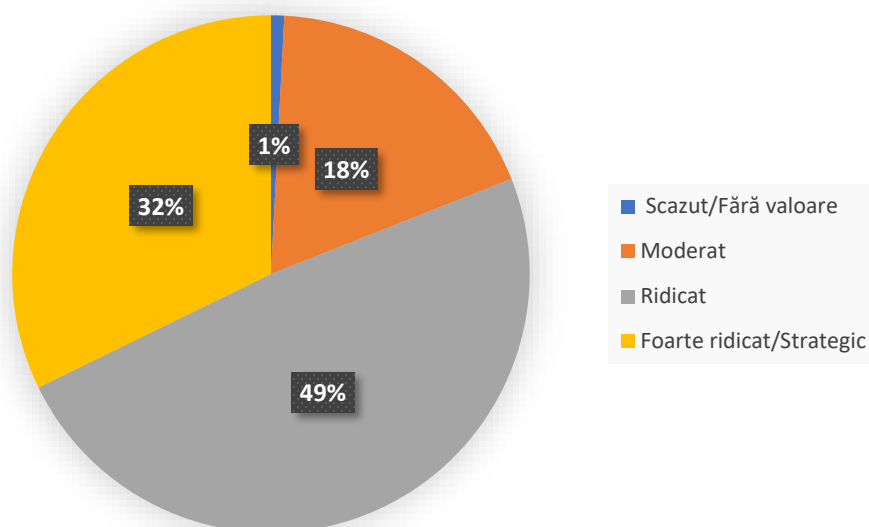


Figura 38. Utilitatea percepută a XR pentru proiectarea îmbinărilor sudate

Comentarii suplimentare

În ceea ce privește procesele de sudură și tăiere:

- *O idee foarte bună care merită implementată!*

- *Cred că, pentru ca o persoană să decidă dacă i-ar plăcea cu adevărat sudura în practică, este esențial să experimenteze feedback-ul real implicat — cum ar fi zgomotul, mirosul, lumina și alte senzații fizice. De aceea, practica practică rămâne puternic susținută și necesară în orice domeniu de activitate, deoarece ajută o persoană să determine dacă dorește cu adevărat să învețe procese specifice de sudură, să lucreze ca sudor, să asambleze componente și să se implice în complexitatea profesiei în funcție de propria motivație și dorință de a învăța. Sudura este un proces special și unul dintre cele mai importante în fabricarea metalelor. Deși putem învăța aproape orice—matematică, limbi străine, fizică, siguranța la locul de muncă și așa mai departe—cu ajutorul AI și Realității Virtuale, abilitățile fizice necesită o abordare fizică; altfel, nu putem antrena creierul să execute anumite mișcări doar observându-le.*

- *Aceste tehnologii sunt instrumente excelente pentru învățare accelerată, standardizare și siguranță, dar nu pot înlocui experiența practică, senzorială, necesară pentru certificarea și performanța unui sudor profesionist.*

- *"Ca concluzie tehnică și pedagogică privind integrarea tehnologiilor XR în formarea IWE (International Welding Engineer), este esențial să privim aceste unelte nu ca pe o soluție universală sau un "glonț de argint", ci ca pe un catalizator de competență. Următoarele argumente și justificări tehnice suplimentare susțin evaluările anterioare, în special în ceea ce privește procesele de sudură și tăiere:*

1. Justificare proces cu proces (MMA vs. MIG/MAG vs. TIG). Pentru procesul MMA (111): Importanța XR este esențială pentru stăpânirea mișcării tridimensionale. Cursantul trebuie să

execute două mișcări simultan: deplasare liniară de-a lungul îmbinării și avansare progresivă a electrodului spre baia de sudură pe măsură ce electrodul este consumat. Simulatorul este ideal pentru a izola și stăpâni această coordonare fină. Pentru procesul MIG/MAG (135): Corelația dintre viteza de alimentare a firului și tensiunea de arc (U) determină modul de transfer (scurtcircuit, spray, globular). XR face posibilă vizualizarea grafică a ferestrei de operare (WPS) în care aceste variabile funcționează optim, oferind inginerului viitor o înțelegere intuitivă a stabilității arcului. Pentru procesul TIG (141): Deși utilitatea sa este moderată datorită complexității tactile, XR elimină una dintre cele mai costisitoare greșeli pentru începători: atingerea electrodului de tungsten de piscina de sudură sau de tija de umplere, o acțiune care în practică contaminează imediat sudura și necesită oprire pentru a putea fi rectificat din nou.

2. Procese de tăiere (oxigaz, plasmă, laser) Deși accentul este adesea pus pe sudură, instruirea IWE include și tehnologii de tăiere termică. În acest caz, simularea VR/AR este extrem de utilă pentru tăierea oxigazului: oferind o înțelegere vizuală a flăcării de preîncălzire (neutră, carburantă sau oxidantă) și a controlului distanței dintre duză și placă pentru a preveni backfire-ul/flashback-ul, care reprezintă un risc major de siguranță în practica reală. Tăierea prin plasmă menținând unghiul corect al torței pentru a obține o tăiere perpendiculară fără formarea excesivă de resturi.

3. Argumentul economic și de sustenabilitate din perspectiva unui manager de program IWE: dincolo de viteza de învățare, argumentele ecologice și financiare sunt de necontestat. O oră de sudură virtuală înseamnă: zero emisii de fum de sudură și gaze (reducând costurile de ventilație și filtrare ale atelierului); consum zero de gaze de protecție scumpe (amestecuri de argon, heliu) și metale de umplutură (oțeluri cu aliaje ridicate, aluminiu); zero deșeuri (plăci de testare tăiate și sudate doar pentru a fi aruncate ca fișeu vechi). Gândire finală: tehnologiile îmbunătățite de AI mută povara instruirii de la "încercare și eroare fizică" — unde cursanții irosesc materiale pentru a înțelege un concept — către domeniul "analizei cognitive preliminare". Când cursantul intră în cele din urmă în atelierul real, nu mai este un începător confuz, ci un operator informat care folosește cabina de sudură doar pentru a calibra senzația fizică pe care tehnologia încă nu o poate reproduce."

Comentarii suplimentare

Oferă perspective tehnice specifice privind comportamentul materialelor, în special în ceea ce privește standardele ISO

Tehnologiile XR/AI pot îmbunătăți pregătirea în ingineria sudurii, ajutând cursanții să înțeleagă fenomenele metalurgice, parametrii de sudură și cerințele ISO prin simulare și vizualizare. Totuși, ele ar trebui folosite ca instrumente educaționale complementare, nu ca înlocuitori pentru testarea reală și experiența practică.

Tehnologiile VR/AR și AI sunt instrumente valoroase pentru instruire și analiză preliminară, dar nu pot înlocui testele reale și expertiza tehnică cerută de standardele ISO. Acestea ar trebui

folosite ca instrumente de sprijin decizional, nu ca înlocuitori sau înlocuitori pentru procesele de calificare și verificare.

Comentarii suplimentare:

Cum pot VR/AR/AI să optimizeze proiectarea structurilor sudate:

- *Simularea îmbinărilor sudate în condiții extreme, cum ar fi spațiu îngust, aliniere greșită, spațiu larg etc.*
- *VR/AR și AI pot optimiza proiectarea structurilor sudate prin identificarea timpurie a limitărilor, vizualizarea condițiilor de acces și a secvențelor de sudură și reducerea distorsiunilor prin simulări, recomandări bazate pe date, instruire și acces la baze de date.*
- *Aplicarea combinată a Realității Virtuale (VR) pentru evaluarea ergonomică, analiza accesibilității și vizualizarea geometrică la scară reală, Realității Augmentate (AR) pentru ghidare în timp real și prevenirea erorilor și Inteligenței Artificiale (AI) pentru analiza metalurgică predictivă, optimizarea structurală și suport decizional inteligent transformă fundamental rolul Inginerului Internațional de Sudură (IWE). În loc să servească doar ca proiectant de îmbinări sudate, IWE devine un manager al ciclului de viață al structurilor sudate, capabil să asigure conformitatea cu standardele internaționale, să îmbunătățească performanța structurală și siguranța, să reducă defectele și distorsiunile de fabricație și să obțină o optimizare economică substanțială pe tot parcursul procesului de proiectare, fabricație și întreținere.*

3.1.8 Comentarii finale din Chestionarul Inginerilor

- *Este o idee foarte bună care merită implementată!*
- *Sunt disponibil să colaborez la optimizarea metodelor de predare și la colaborarea cu VR și AI.*
- *Cred că fiecare IWE ar trebui să aibă o viziune de ansamblu asupra proiectelor în care este implicat și să mențină flexibilitatea în relațiile cu supraveghetorul de sudură și cu sudorii.*
- *Ar trebui pus un accent mai mare pe pregătirea WPS, fișierelor de calificare, fișierelor de aprobare și învățării variabilelor esențiale. Pe lângă faptul că știe cum să calculezi temperatura de preîncălzire și să efectuezi alte calcule tehnice, un inginer de sudură ar trebui să știe și cum să pregătească un dosar de calificare, un dosar de reînnoire a autorizării și un dosar de calificare pentru procedurile de sudură. În prezent, cursul/examenul se bazează în principal pe memorarea mecanică a informațiilor. Instruirea practică este esențială, iar tehnologia VR ar putea susține semnificativ procesul de învățare.*
- *Integrarea XR în calificarea I/EWE îmbunătățește calitatea instruirii prin simularea condițiilor de acces, a secvențelor de sudură și a riscurilor asociate, oferind totodată un mediu sigur și controlat pentru analiza tehnică, evaluarea competențelor și înțelegerea fenomenelor termice fără consumul de resurse logistice, materiale sau energie.*

- *M-am antrenat la TWI, care are un training ONLINE foarte bine structurat care ajută studentul să învețe mai bine și mai repede.*
- *Implementarea combinată a VR, AR, AI, Digital Twins, simulări predictive și analiză inteligentă a datelor transformă fundamental educația și rolul profesional al inginerului internațional/european de sudură. În loc să funcționeze exclusiv ca un specialist responsabil de procedurile și documentația de sudură, IWE/EWE modern devine un manager digital al ciclului de viață al structurilor sudate, capabil să integreze optimizarea proiectării, simularea proceselor, asigurarea calității, trasabilitatea, mentenanța predictivă și managementul riscurilor într-un flux de lucru digital unificat.*
- *În loc să funcționeze exclusiv ca un specialist responsabil de procedurile și documentația de sudură, IWE/EWE modern devine un manager digital al ciclului de viață al structurilor sudate, capabil să integreze optimizarea proiectării, simularea proceselor, asigurarea calității, trasabilitatea, mentenanța predictivă și managementul riscurilor într-un flux de lucru digital unificat.*
- *Prin alinierea tehnologiilor digitale avansate cu standardele internaționale — inclusiv ISO 14731, ISO 3834, ISO 15614-1, ISO 13920, ISO 9606, EN 1090, Eurocode 3 și ghidurile de instruire IIW/IAB — viitorii ingineri de sudură vor fi mai bine pregătiți să îmbunătățească performanța structurală, să sporească siguranța, să reducă costurile de producție, să accelereze procesele de calificare și să susțină transformarea digitală a industriei sudurilor în cadrul Industriei 4.0 și nu numai. Prin alinierea tehnologiilor digitale avansate cu standardele internaționale — inclusiv ISO 14731, ISO 3834, ISO 15614-1, ISO 13920, ISO 9606, EN 1090, Eurocode 3 și ghidurile de instruire IIW/IAB — viitorii ingineri de sudură vor fi mai bine pregătiți să îmbunătățească performanța structurală, să sporească siguranța, să reducă costurile de producție, să accelereze procesele de calificare și să susțină transformarea digitală a industriei sudurilor în cadrul Industriei 4.0 și nu numai. Prin alinierea tehnologiilor digitale avansate cu standardele internaționale — inclusiv ISO 14731, ISO 3834, ISO 15614-1, ISO 13920, ISO 9606, EN 1090, Eurocode 3 și ghidurile de instruire IIW/IAB — viitorii ingineri de sudură vor fi mai bine pregătiți să îmbunătățească performanța structurală, să sporească siguranța, să reducă costurile de producție, să accelereze procesele de calificare și să susțină transformarea digitală a industriei sudurilor în cadrul Industriei 4.0 și nu numai.*
- *Cred că aplicarea AR/VR/MR este încă în faza de introducere, dar este important să căutăm zone adecvate.*
- *Vă voi contacta pentru a înțelege dacă există posibilități de colaborare cu proiectul consorțiului.*
- *Dacă un sudor nu a fost ars și nu a inghitit fum, nu este un sudor adevărat.*
- *Simulatoarele pot fi integrate în curriculumul IWE/IWT/IWS, dar doar ca metodă suplimentară de predare, nu ca substitut pentru cerințele obligatorii prevăzute în IAB-252r5*
- *Se recomandă o combinație de activități tradiționale/practice și noul sistem de calificare IWE/IWT.*

- Integrarea XR va deveni esențială pentru formarea inginerilor de sudură, deoarece permite validarea accesibilității, optimizarea WPS/WPQR și monitorizarea digitală a calității în timp real. Pe termen scurt, XR accelerează învățarea; pe termen mediu, va standardiza evaluarea competențelor; iar pe termen lung, va conecta instruirea cu cerințele ISO și fluxurile de lucru digitale din fabrică.

3.2. Rezultatele sondajului din chestionarul pentru părțile interesate din industrie

Vârsta respondenților

Concluzie (Figura 39): Respondenții au fost distribuiți uniform pe grupe de vârstă, 51,2% având peste 40 de ani și 48,8% sub 40 de ani, asigurând o reprezentare echilibrată atât a profesioniștilor cu experiență, cât și a celor tineri.

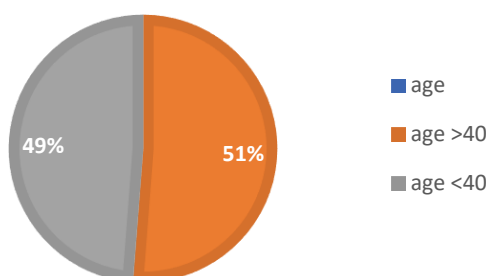


Figura 39. Vârsta respondenților

Experiență în sudură

Concluzie (Figura 40): Respondenții au avut un nivel echilibrat de experiență în sudură, 49% având 5–20 de ani de experiență, în timp ce 25,5% aveau peste 20 de ani și 25,5% mai puțin de 5 ani, asigurând astfel reprezentare la diferite niveluri de experiență.

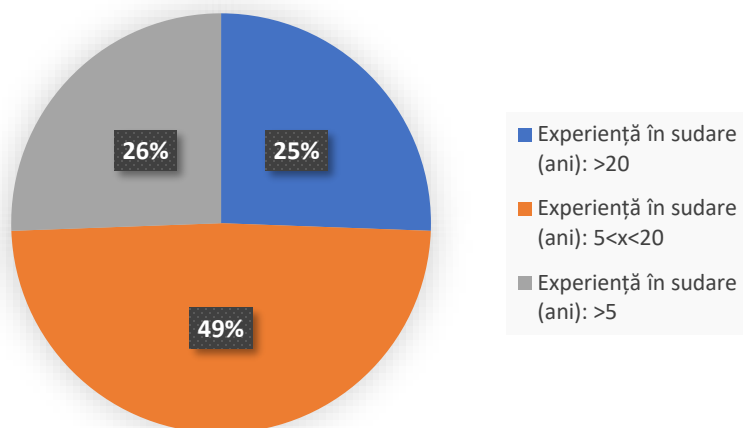


Figura 40. Experiență în sudură

Rol actual

Concluzie (Figura 41): Respondenții reprezintă o gamă diversă de roluri profesionale, inginerii (46,5%) și inginerii sudori (14,0%) reprezentând majoritatea eșantionului. Această distribuție indică faptul că sondajul reflectă în principal perspectivele profesioniștilor tehnici, integrând totodată perspective din poziții manageriale și academice.

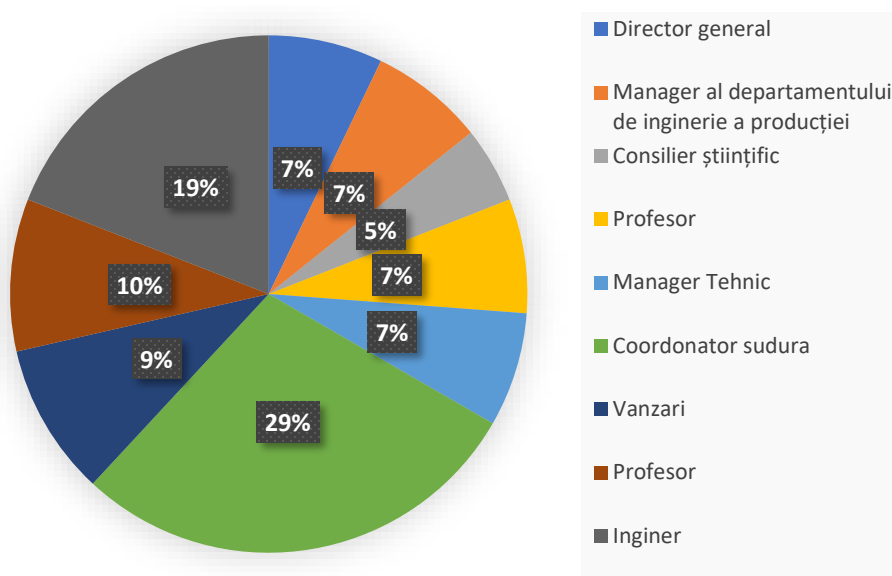


Figura 41. Rol actual

Experiențe anterioare cu VR/AR/AI

Concluzie (Figura 42): Rezultatele arată că majoritatea respondenților (75,0%) nu aveau experiență anterioară cu tehnologiile VR/AR/AI, indicând că aceste tehnologii sunt încă relativ noi pentru majoritatea participanților.

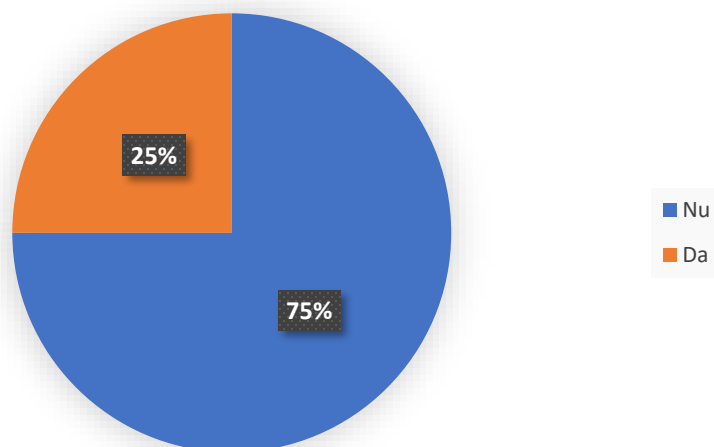


Figura 42. Experiență anterioară cu VR/AR/IA

3.2.1. Secțiunea A: Profil

Principalul domeniu de activitate al companiei

Concluzie (Figura 43): Respondenții au reprezentat o gamă diversă de sectoare industriale, construcțiile metalice reprezentând cea mai mare pondere (40,8%), urmate de alte industrii (20,4%), energie/petrol și gaze (18,4%), echipamente de presiune (10,2%) și transport/naval (10,2%), asigurând o reprezentare sectorială largă.

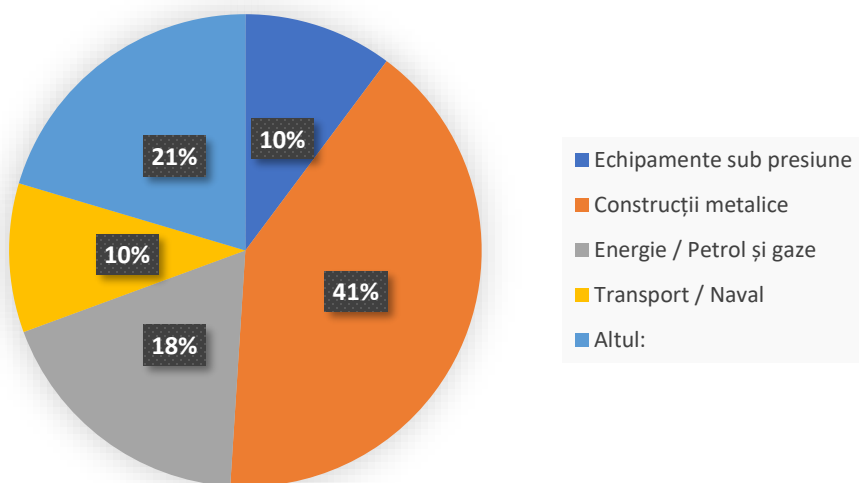


Figura 43. Principalul domeniu de activitate al companiei

Țara de reședință:

Concluzie (Figura 44): Sondajul a inclus respondenți din opt țări, România (50,0%) și Polonia (36,4%) reprezentând marea majoritate a participanților, în timp ce Austria, Ungaria, Irlanda,

Italia, Serbia și Elveția au contribuit fiecare cu 2,3%, oferind o perspectivă internațională cu o reprezentare puternică din Europa de Est.

Respondenții au fost în principal din România (50%) și Polonia (38%), restul participanților oferind un eșantion geografic divers.

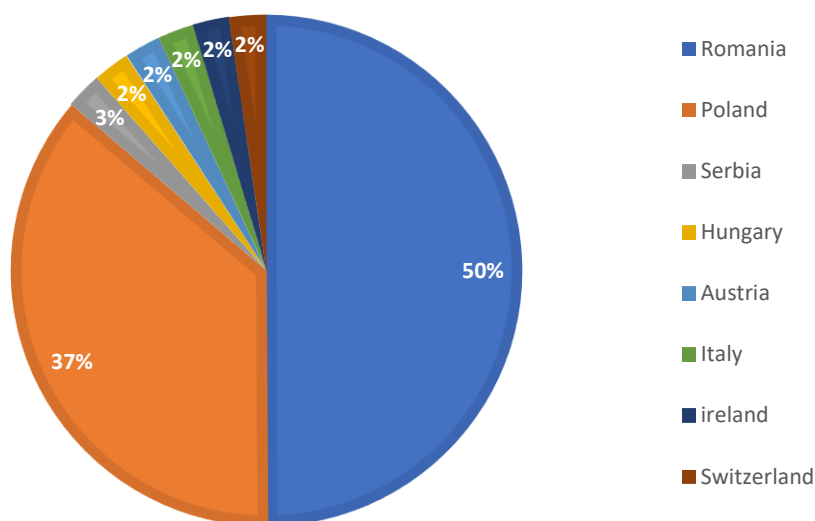


Figura 44. Țara de reședință a respondenților la sondaj

Dimensiunea companiei (numărul de angajați)

Concluzie (Figura 45): Respondenții au fost angajați în companii de diferite dimensiuni, companiile mari (34,1%) fiind cele mai reprezentate, urmate de întreprinderile medii (29,5%) și mici (25,0%), indicând o distribuție organizațională echilibrată.

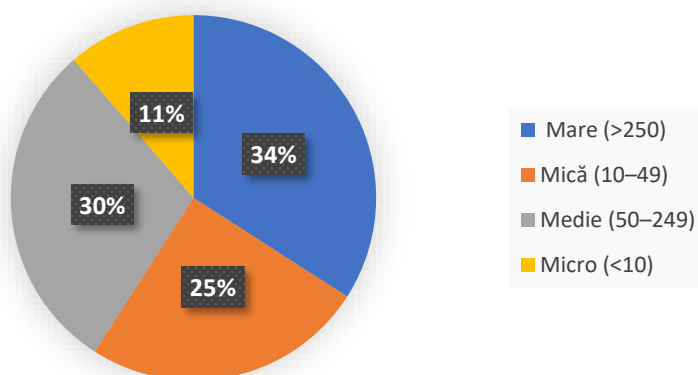


Figura 45. Dimensiunea companiei

Cererea companiei pentru ingineri internaționali de sudură (IWE)

Concluzie (Figura 46): Rezultatele arată că 52,3% dintre respondenți angajează deja ingineri internaționali de sudură (IWE), în timp ce 22,7% formează în prezent candidați IWE, ceea ce înseamnă că 75,0% dintre companii recunosc necesitatea calificărilor IWE, în timp ce 25,0% nu plănuiesc în prezent să angajeze sau să încorporeze profesioniști **IWE**.

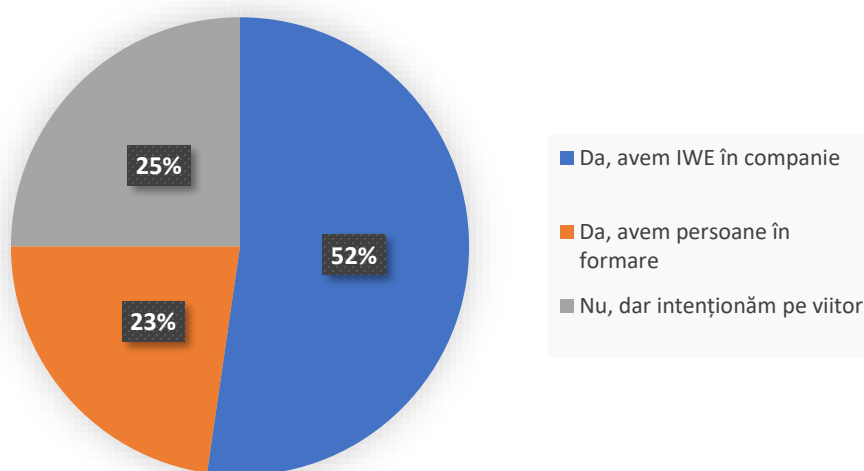


Figura 46. Cererea companiei pentru ingineri internaționali de sudură (IWE)

3.2.2. Secțiunea B: Nevoi de competență

Importanța instruirii continue pentru personalul de sudură

Concluzie (Figura 47): Rezultatele arată că instruirea continuă a personalului de sudură este considerată extrem de importantă, 93,2% dintre respondenți evaluând-o fie ca fiind foarte importantă (61,4%), fie importantă (31,8%), evidențiind rolul său cheie în practica industriei.

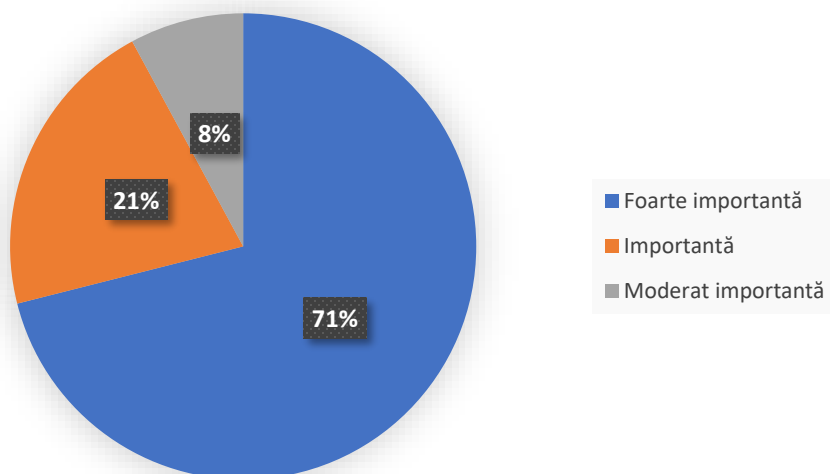


Figura 47. Importanța instruirii continue pentru personalul de sudură

Principalele obstacole în instruirea personalului

Concluzie (Figura 48): Rezultatele indică faptul că principalele bariere în calea instruirii personalului sunt costurile ridicate (44,6%) și timpul de nefuncționare al producției (33,8%), în timp ce accesul limitat la centrele de instruire (9,2%), disponibilitatea echipamentelor (6,2%), riscurile de instruire practică (3,1%), lipsa de forță de muncă (1,5%) și lipsa candidaților interesați (1,5%) sunt provocări raportate mai rar.

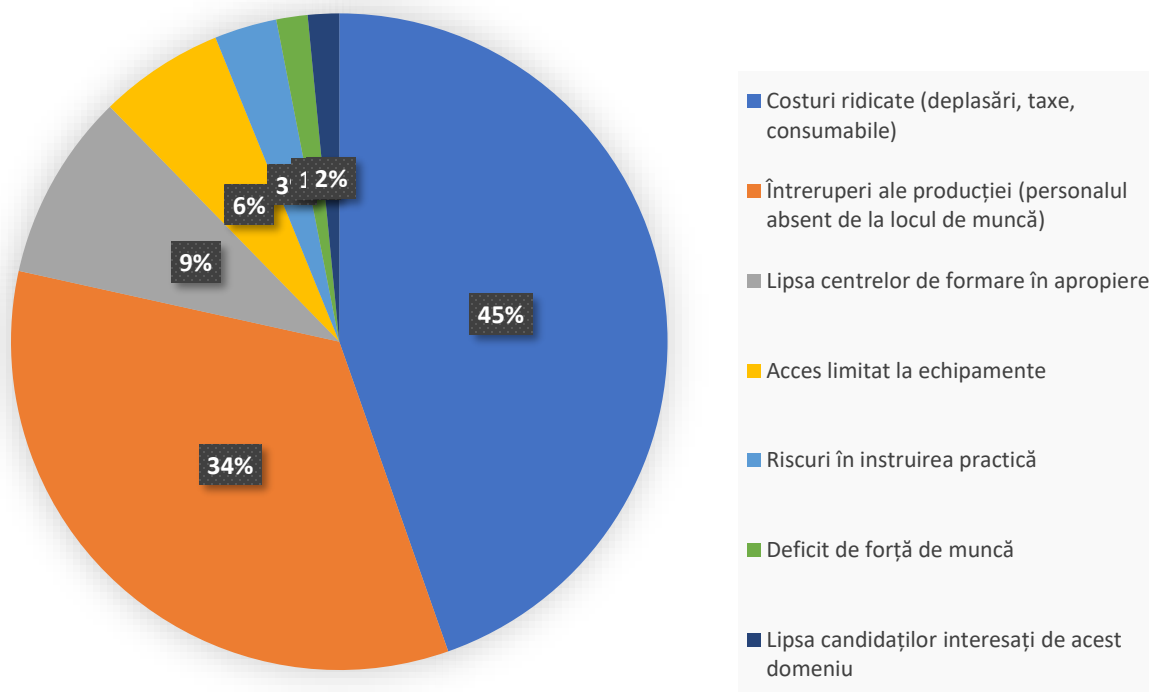


Figura 48. Principalele obstacole în instruirea personalului

Cele mai critice domenii de instruire pentru companii

Concluzie (Figura 49): Rezultatele indică faptul că abilitățile practice ale procesului de sudură (30,6%) sunt considerate cea mai critică arie de instruire, urmate de interpretarea standardelor și codurilor (24,5%), controlului calității și inspecției (NDT) (19,4%) și Sănătate, Siguranță și Mediu (HSE) (17,3%). PWHT (7,1%) și analiza eșecului (1,0%) au fost identificate ca priorități inferioare de instruire.

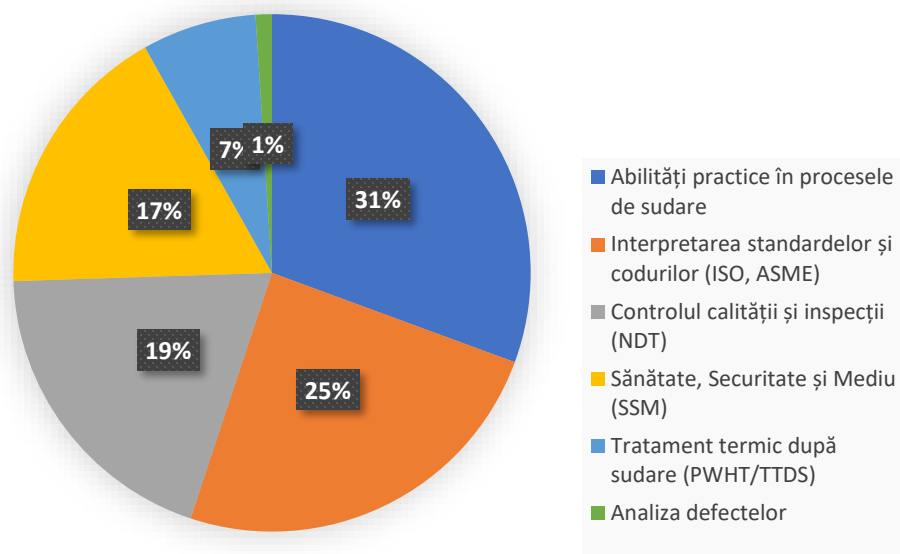


Figura 49. Cele mai critice domenii de instruire pentru companii

3.2.3. Secțiunea C: Percepția VR/AR

Familiarizarea cu utilizarea VR/AR în antrenament

Concluzie (Figura 50): Rezultatele indică faptul că conștientizarea VR/AR în instruire este limitată, doar 13,6% dintre respondenți raportând familiaritate, în timp ce 50,0% erau doar parțial familiarizați și 36,4% nu aveau familiaritate cu aceste tehnologii.

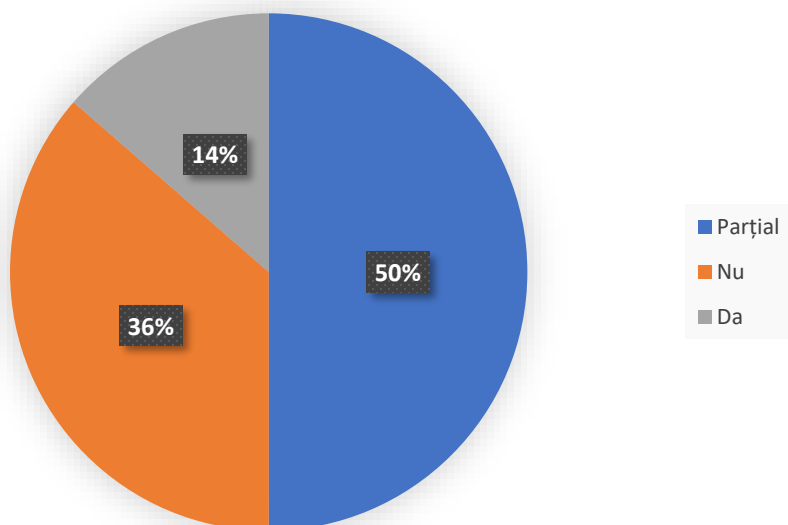


Figura 50. Familiarizarea cu utilizarea VR/AR în antrenament

Beneficii percepute ale tehnologiilor VR/AR pentru formarea inginerilor de sudură

Concluzie (Figura 51): Rezultatele indică o percepție puternic pozitivă asupra tehnologiilor VR/AR, 79,5% dintre respondenți evaluând beneficiile potențiale pentru pregătirea inginerilor de sudură ca fiind ridicate sau foarte ridicate, demonstrând o încredere largă în valoarea lor pentru educație și dezvoltarea abilităților.

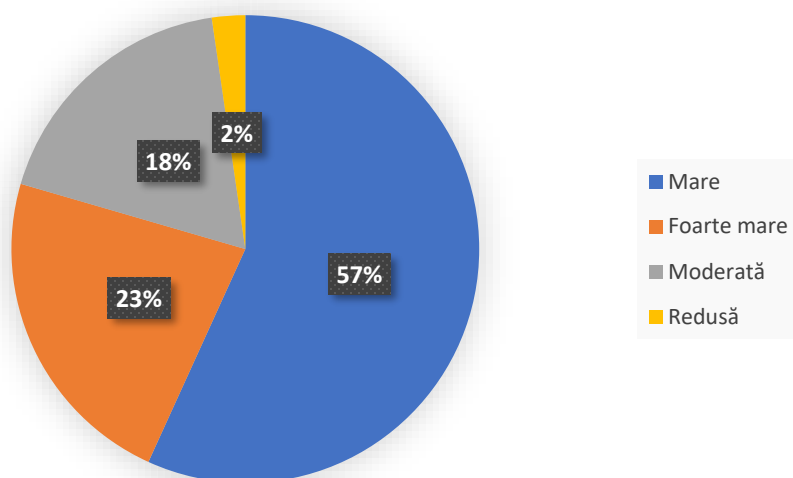


Figura 51. Beneficii percepute ale tehnologiilor VR/AR pentru formarea inginerilor de sudură

Domenii în care tehnologiile VR/AR sunt cele mai utile în pregătirea inginerilor de sudură

Concluzie (Figura 52): Rezultatele indică faptul că respondenții văd cel mai mare potențial pentru tehnologiile VR/AR/AI în procesele de sudură (26,6%) și analiza defectelor (23,8%), urmate de siguranța și prevenirea riscurilor (16,1%), proiectarea structurilor sudate (12,6%) și planificarea producției (11,9%). Priorități mai mici au fost atribuite PWHT (8,4%) și instruirii în abilități manuale (0,7%).

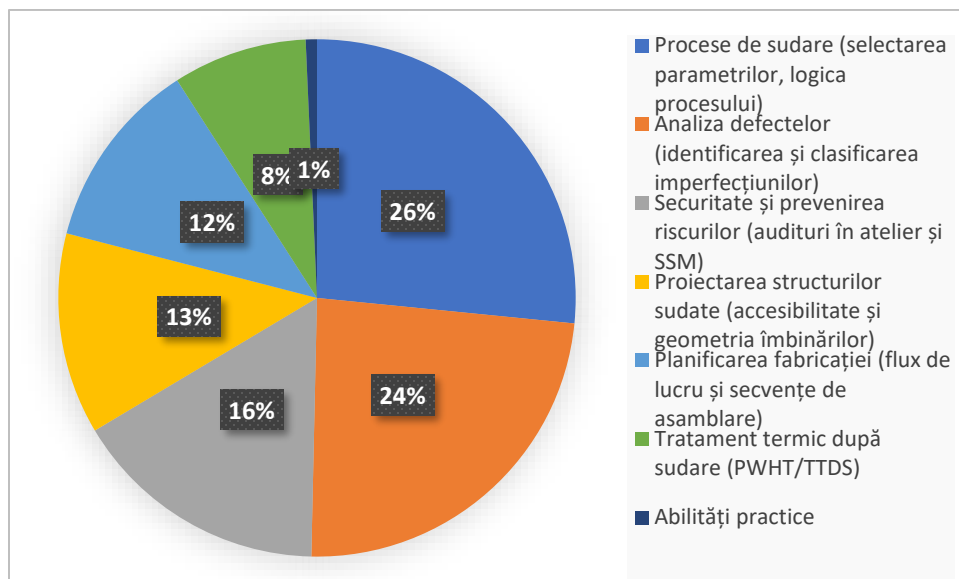


Figura 52. Domenii în care tehnologiile VR/AR sunt cele mai utile în pregătirea inginerilor de sudură

3.2.4. Secțiunea D: Interes și implicare

Interes pentru un curs IWE modernizat folosind tehnologii VR/AR/AI

Concluzie (Figura 53): Rezultatele indică un nivel ridicat de acceptare, 97,7% dintre respondenți considerând implementarea tehnologiilor VR/AR posibilă (50,0%) sau fezabilă (47,7%), în timp ce doar 2,3% și-au exprimat o opinie negativă.

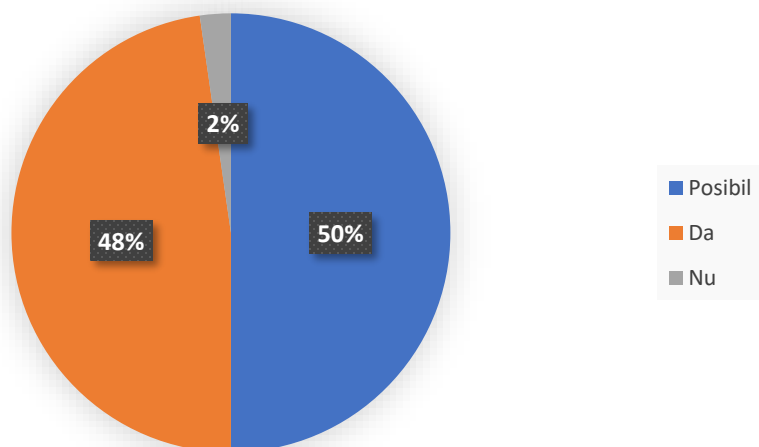


Figura 53. Interes pentru un curs IWE modernizat folosind tehnologii VR/AR/AI

Tipul preferat de implicare

Concluzie (Figura 54): Rezultatele indică faptul că majoritatea companiilor și-au exprimat cel puțin un anumit interes pentru inițiativă, 43,2% solicitând doar informații și 31,8% dispuși să trimită cursanți, în timp ce o proporție mai mică a fost interesată de parteneriat de proiect (18,2%) sau testare pilot (6,8%).

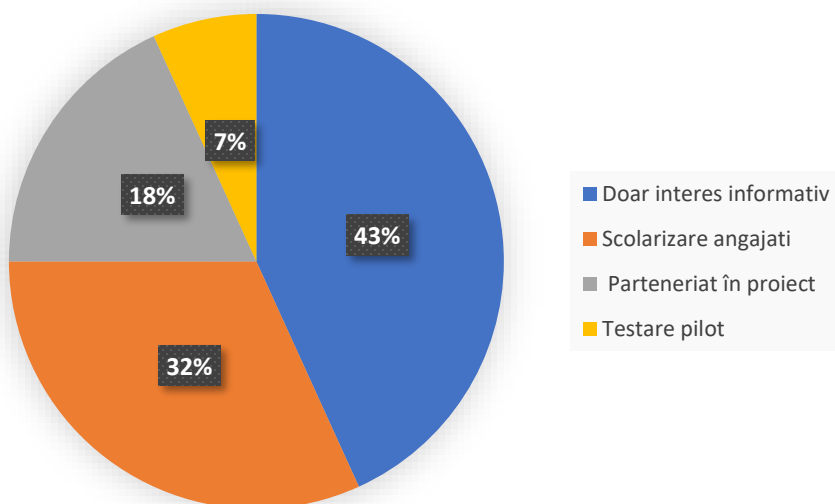


Figura 54. Tipul preferat de implicare

Utilitatea percepută a simulării AR/VR pentru instruirea practică în sudură (MMA/MIG-MAG/TIG (controlul poziției și bazinului de sudură))

Concluzie (Figura 55): Rezultatele demonstrează o percepție pozitivă puternică a simulării AR/VR, 86,4% dintre respondenți evaluând utilitatea acesteia ca fiind ridicată sau foarte ridicată, evidențiind potențialul său semnificativ pentru instruire practică în sudură.

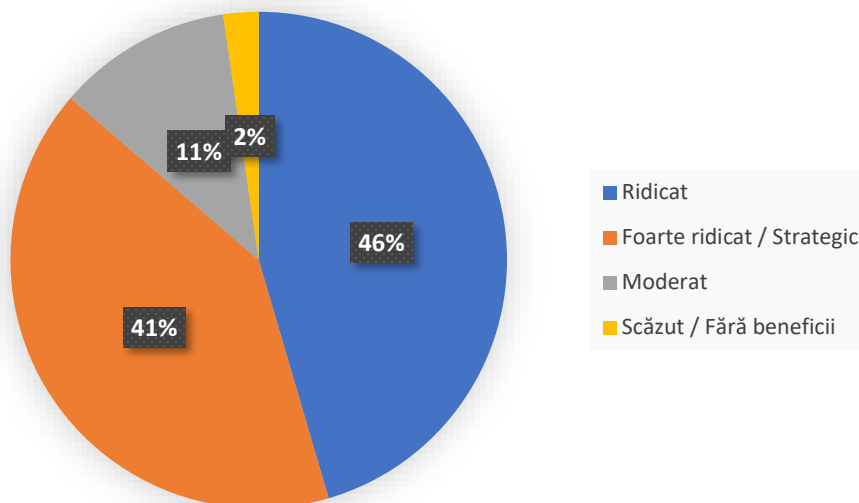


Figura 55. Utilitatea percepută a simulării AR/VR pentru instruirea practică în sudură

Impactul perceput al AR/VR asupra instruirii pentru setarea parametrilor de sudură (curent/tensiune/gaz) pe echipamente reale

Concluzie (Figura 56): Rezultatele arată o încredere puternică în valoarea AR/VR pentru instruirea în stabilirea parametrilor de sudură, 93,2% dintre respondenți evaluând impactul său ca fiind ridicat sau foarte ridicat, indicând un sprijin larg pentru integrarea acestor tehnologii în educația practică privind sudarea.

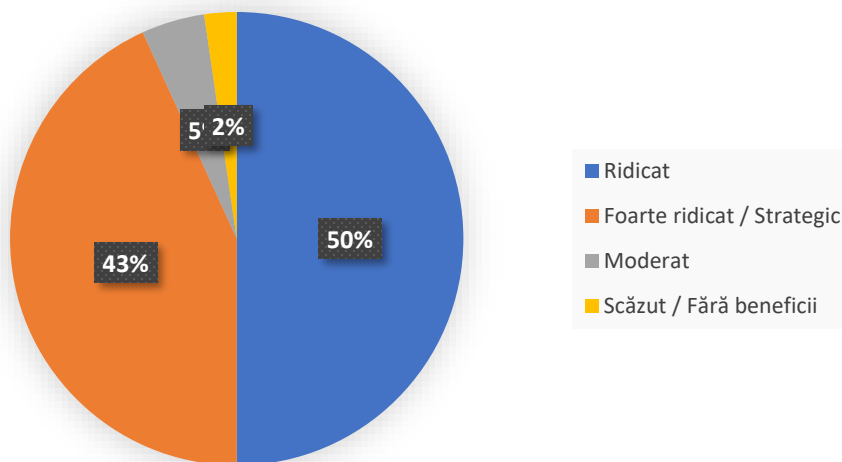


Figura 56. Impactul perceput al AR/VR asupra instruirii pentru setarea parametrilor de sudură

Utilitatea percepută a AI/AR/VR pentru a oferi feedback imediat asupra abaterilor (viteză, unghi, distanță)

Concluzie (Figura 57): Rezultatele indică un sprijin major pentru feedback-ul în timp real bazat pe AI/AR/VR, 95,5% dintre respondenți evaluând utilitatea sa ca fiind ridicată sau foarte ridicată, demonstrând o încredere puternică în capacitatea sa de a îmbunătăți performanța sudării prin corecția imediată a abaterilor de viteză, unghi și distanță

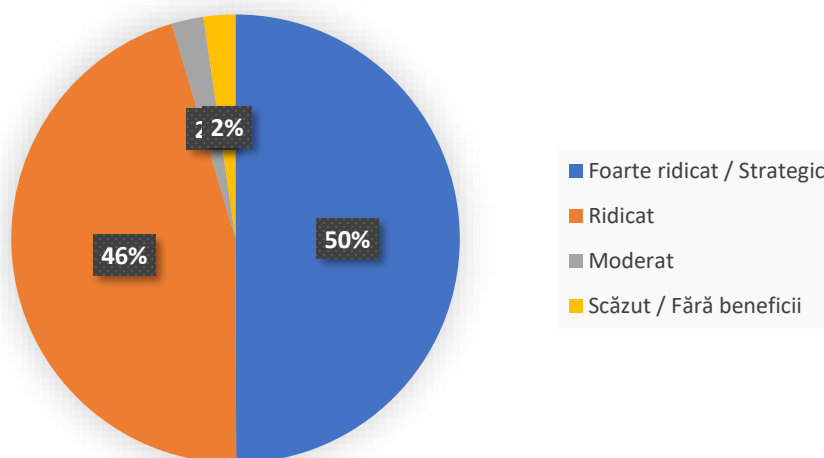


Figura 57. Utilitatea percepută a AI/AR/VR pentru furnizarea de feedback în timp real în timpul instruirii de sudură

Utilitatea percepută a AR/VR pentru simularea fluxului de producție și identificarea zonelor de risc

Concluzie (Figura 58): Rezultatele indică faptul că simularea AR/VR a fluxului de producție este percepută pe scară largă ca fiind benefică, 52,3% dintre respondenți evaluând utilitatea sa ca fiind ridicată și 13,6% ca fiind foarte ridicată, în timp ce 29,5% au considerat-o moderat utilă și doar 4,5% au perceput beneficii mici sau inexistente.

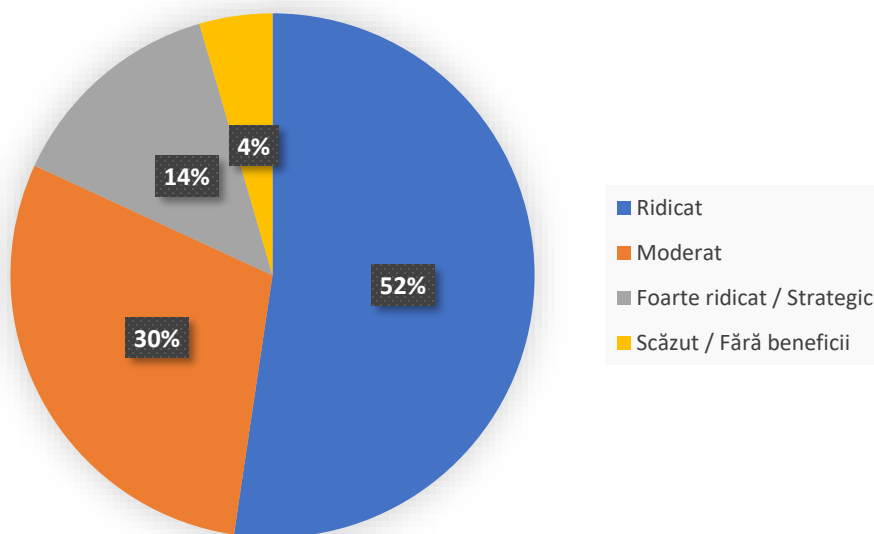


Figura 58. Utilitatea percepută a AR/VR pentru simularea fluxului de producție și identificarea zonelor de risc

Valoarea percepută a unui model AR/VR pentru înțelegerea zonei afectate de căldură (HAZ) și a stresurilor reziduale

Concluzie (Figura 59): Rezultatele indică faptul că modelele AR/VR care ilustrează zona afectată de căldură (HAZ) și tensiunile reziduale sunt considerate valoroase pentru îmbunătățirea înțelegerii fenomenelor de sudură, 52,3% dintre respondenți evaluând utilitatea lor ca fiind ridicată și 15,9% ca fiind foarte ridicată, în timp ce 25,0% le-au considerat moderat utile, iar doar 6,8% au perceput beneficii mici sau inexistente.

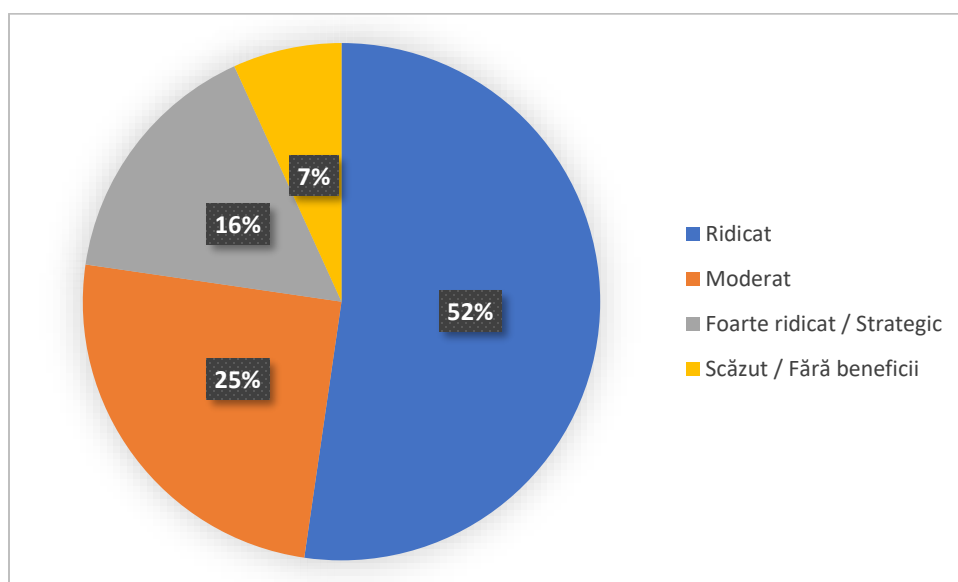


Figura 59. Valoarea percepută a unui model AR/VR pentru înțelegerea zonei afectate de căldură (HAZ) și a stresurilor reziduale

Utilitatea percepută a VR/AR pentru înțelegerea influenței materialelor de umplură și a gazelor de protecție asupra microstructurii

Concluzie (Figura 60): Rezultatele indică faptul că 47,7% dintre respondenți au evaluat utilitatea ca fiind ridicată și 18,2% ca fiind foarte ridicată, demonstrând un sprijin puternic pentru aplicație. În plus, 27,3% l-au considerat moderat util, în timp ce doar 6,8% au perceput beneficii mici sau inexistente.

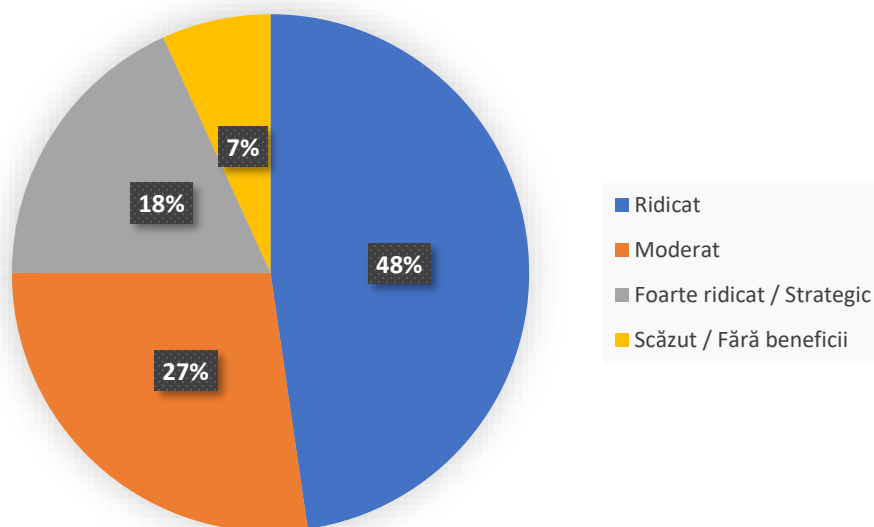


Figura 60. Utilitatea percepută a VR/AR pentru înțelegerea influenței materialelor de umplură și a gazelor de protecție asupra microstructurii

Utilitatea percepută a vizualizării 3D/VR pentru îmbunătățirea designului pentru fabricabilitate și reducerea distorsiunii prin sudură

Concluzie (Figura 61): Rezultatele indică faptul că 36,4% dintre respondenți au evaluat utilitatea ca fiind ridicată și 22,7% ca fiind foarte ridicată, ceea ce înseamnă că 59,1% au exprimat o percepție pozitivă. Între timp, 34,1% l-au considerat moderat util, iar doar 6,8% au perceput beneficii minime sau inexistente.

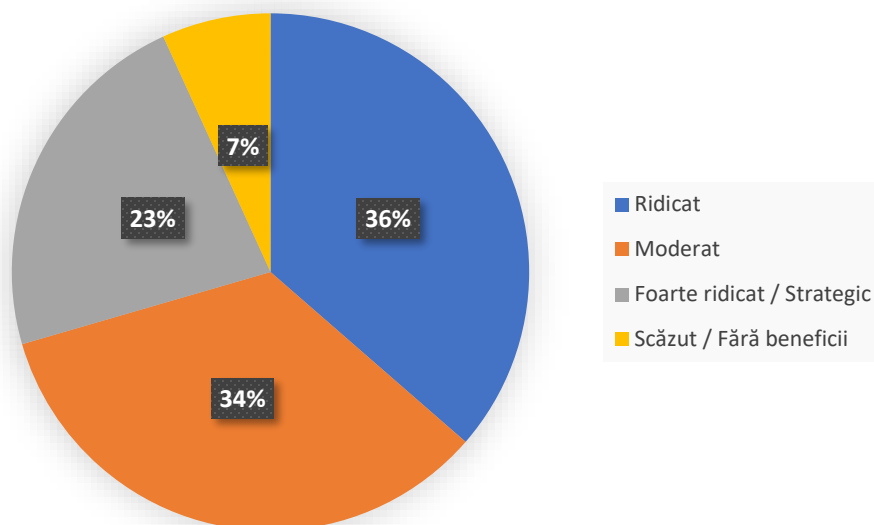


Figura 61. Utilitatea percepută a vizualizării 3D/VR pentru îmbunătățirea designului pentru fabricabilitate și reducerea distorsiunii prin sudură

Importanța percepută a AI/AR/VR pentru optimizarea proiectării pe baza datelor experimentale

Concluzie (Figura 62): Rezultatele indică faptul că tehnologiile AI/AR/VR sunt considerate extrem de valoroase pentru optimizarea proiectării pe baza datelor experimentale, 68,2% dintre respondenți evaluând importanța lor ca fiind ridicată sau foarte mare, evidențiind potențialul lor de a îmbunătăți deciziile de proiectare a sudurii.

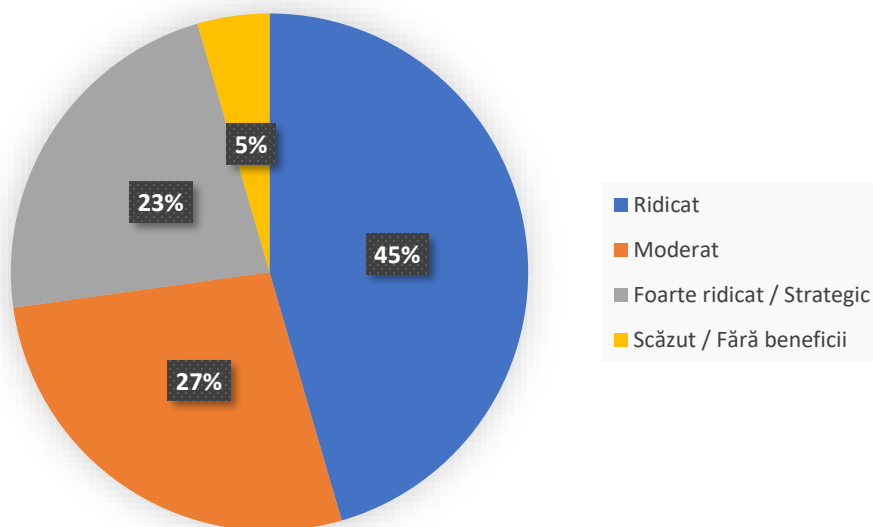


Figura 62. Importanța percepută a AI/AR/VR pentru optimizarea proiectării pe baza datelor experimentale

Importanța percepută a simulării VR/AR pentru îmbunătățirea dezvoltării PQR și WPS

Concluzie (Figura 63): Rezultatele indică faptul că simularea VR/AR este percepută ca un instrument important pentru îmbunătățirea dezvoltării PQR și WPS, 70,5% dintre respondenți evaluând importanța sa ca fiind ridicată sau foarte mare, reflectând un sprijin puternic pentru integrarea acesteia în dezvoltarea procedurilor de sudură.

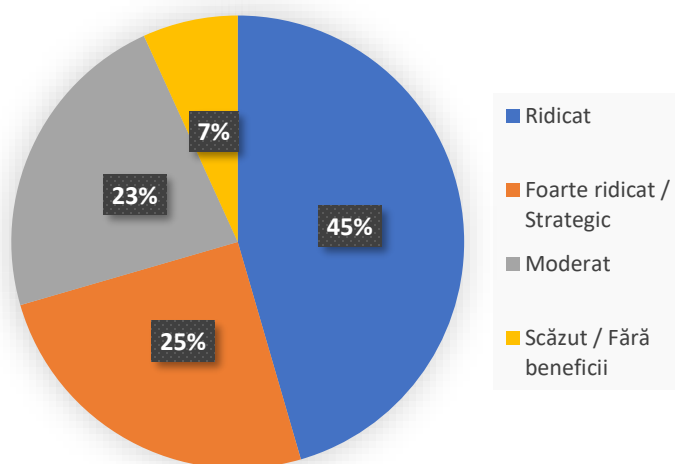


Figura 63. Importanța percepută a simulării VR/AR pentru îmbunătățirea dezvoltării PQR și WPS

Utilitatea percepută a uneltelor VR/AR care oferă informații în timp real despre defecte în timpul sudării

Concluzie (Figura 64): Rezultatele arată un sprijin puternic pentru uneltele VR/AR care oferă informații în timp real despre defecte în timpul sudurii, 81,8% dintre respondenți evaluând utilitatea lor ca fiind ridicată sau foarte ridicată, evidențiind valoarea percepută pentru îmbunătățirea calității sudurii și reducerea erorilor de producție.

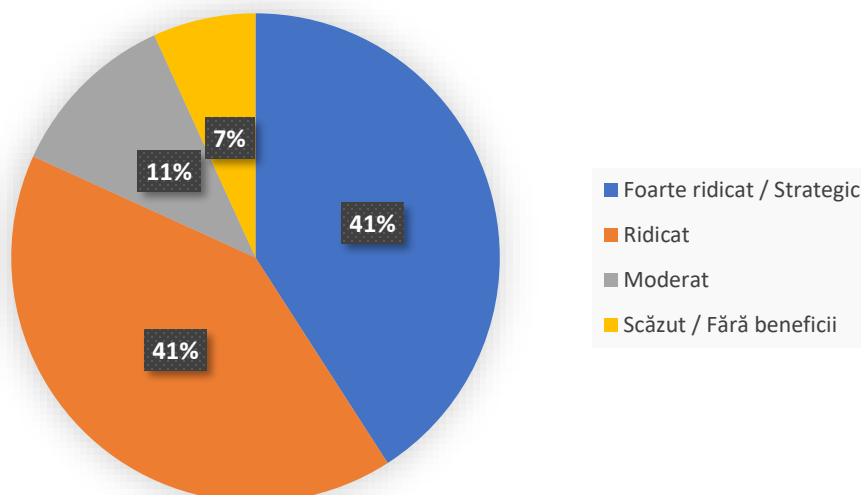


Figura 64. Utilitatea percepută a uneltelor VR/AR care oferă informații în timp real despre defecte în timpul sudării

Importanța percepută a instrumentelor digitale pentru îmbunătățirea trasabilității materialelor și a consumabilelor în conformitate cu ISO 14731 și ISO 3834

Concluzie (Figura 65): Rezultatele indică faptul că instrumentele digitale sunt recunoscute pe scară largă ca fiind valoroase pentru îmbunătățirea trasabilității materialelor și consumabilelor conform ISO 14731 și ISO 3834, 63,6% dintre respondenți evaluând importanța lor ca fiind ridicată sau foarte mare.

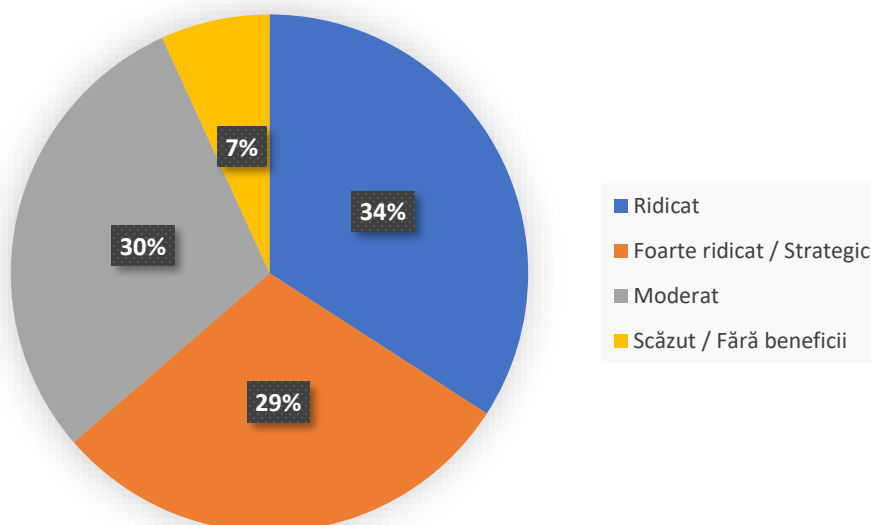


Figura 65. Importanța percepută a instrumentelor digitale pentru îmbunătățirea trasabilității materialelor și a consumabilelor în conformitate cu ISO 14731 și ISO 3834

Indicatori de calitate și siguranță recomandați pentru monitorizarea digitală

Concluzie (Figura 66): Rezultatele indică faptul că respondenții prioritizează monitorizarea digitală a ratelor de defectare/reparații (29,9%), timpul de ciclu (26,0%), eficiența energetică (23,6%) și expunerea la fum (20,5%), demonstrând un accent echilibrat pe performanța calității, eficiența producției și siguranța la locul de muncă.

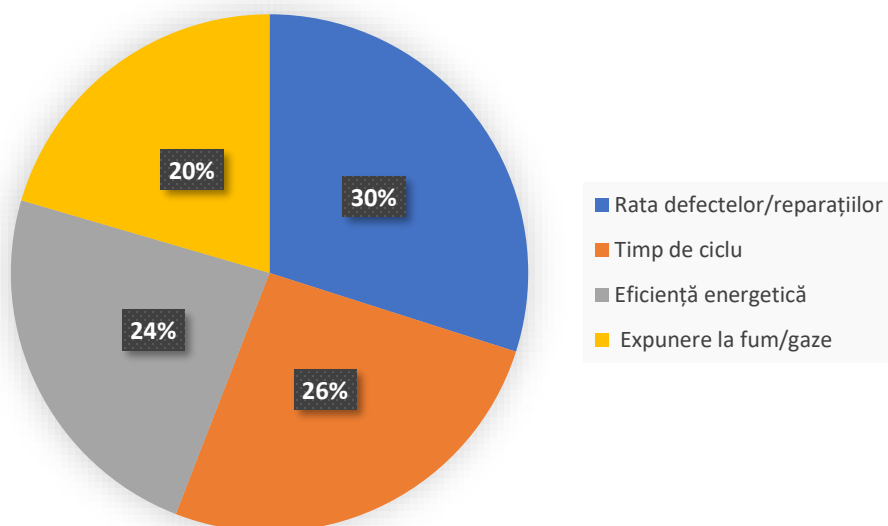


Figura 66. Indicatori de calitate și siguranță recomandați pentru monitorizarea digitală

Conformitatea percepută a integrării simulatoarelor cu rezultatele și cerințele de evaluare ale învățării IWE/IWT/IWS (IAB-252R5)

Concluzie (Figura 67): Rezultatele indică faptul că majoritatea respondenților (56,8%) consideră că integrarea simulatorului respectă doar parțial cerințele IWE/IWT/IWS și încă necesită validare prin instruire fizică în atelier, în timp ce 20,5% consideră că este pe deplin conform standardelor internaționale, iar 22,7% rămân nesiguri cu privire la alinierea sa cu cadrul IAB-252r5.

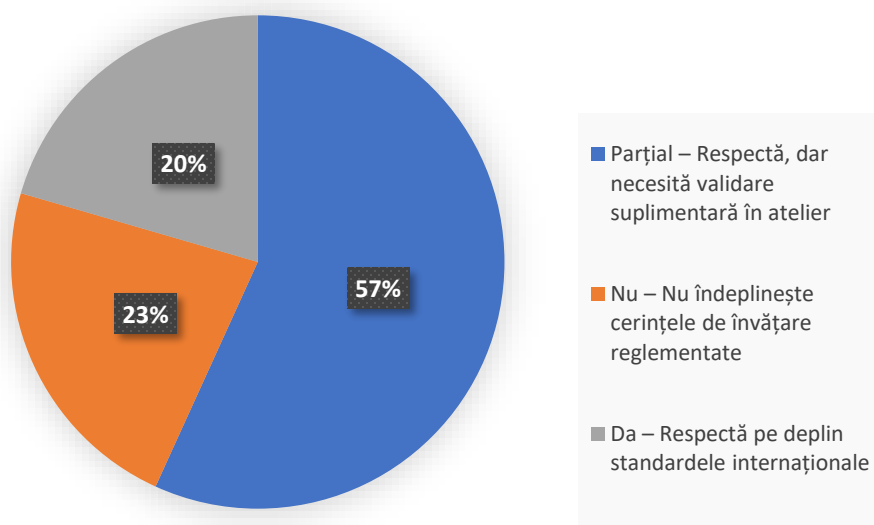


Figura 67. Conformitatea percepută a integrării simulatoarelor cu rezultatele și cerințele de evaluare ale învățării IWE/IWT/IWS (IAB-252R5)

Comentarii finale

- "Cred că aplicarea AR/VR/MR este încă în faza de introducere, dar este important să căutăm zone adecvate."
- "Vă voi contacta pentru a înțelege dacă există vreo posibilitate de colaborare cu proiectul consorțiului."
- "Dacă un sudor nu a fost ars și nu a inghitit fum, nu este un sudor adevărat."
- "Simulatoarele pot fi integrate în curriculumul IWE/IWT/IWS, dar doar ca metodă suplimentară de predare, nu ca substitut pentru cerințele obligatorii stabilite în IAB-252r5."
- "Se recomandă o combinație de activități tradiționale/practice și noul sistem de calificare IWE/IWT."
- "Integrarea XR va deveni esențială pentru instruirea inginerilor de sudură, deoarece permite validarea accesibilității, optimizarea WPS/WPQR și monitorizarea digitală a calității în timp real. Pe termen scurt, XR accelerează învățarea; pe termen mediu, va standardiza evaluarea competențelor; iar pe termen lung, va conecta instruirea cu cerințele ISO și fluxurile de lucru digitale din fabrică."

3.3. Rezumatul rezultatelor sondajului

3.3.1 Echilibrul antrenamentului fizic la distanță și domeniul XR în cadrul curriculumului de calificare I/EWE

Acest document rezumă concluziile celor două chestionare ale proiectului VIOLET (Sondajul 1 – Ingineri de sudură, n = 121; Sondajul 2 – Companii Industriale, n = 44) în ceea ce privește obiectivul inițial al evaluării: identificarea proporției de instruire I/EWE care pot fi livrate de la distanță versus în modul prezentat și aria de aplicare pentru instrumentele XR (VR/AR/AI) în cadrul curriculumului de calificare.

3.3.2. Obiectivul acestui rezumat

Obiectivul inițial al evaluării a fost să determine, pe baza datelor sondajului, (a) procentul de instruire I/EWE care poate fi livrat de la distanță versus fizic și (b) aria de aplicare din curriculumul I/EWE care poate fi susținută de instrumente XR.

Răspunsurile au fost analizate pe arii curriculare, iar s-a propus utilizarea numărului de ore din curriculumul IWE/EWE, așa cum este prezentat în Tabelul 1.

Sondajele conțin date detaliate, întrebare cu întrebare, despre utilitatea percepută a instrumentelor XR în toate domeniile majore ale curriculumului I/EWE, plus declarații calitative explicite privind unde instruirea practică trebuie să rămână obligatorie. Acest document folosește aceste date ca cel mai apropiat indicator disponibil bazat pe dovezi pentru obiectiv și precizează clar unde este un rezultat al unui sondaj față de o estimare derivată.

3.3.3. Prezentare generală a respondentului

Sondajul 1 (Ingineri): 121 de respondenți au completat secțiunea de rol/demografie; 121 a finalizat secțiunea de tehnologii digitale. Majoritatea erau ingineri internaționali de sudură (42,9%) și ingineri (33,3%). 62,0% nu aveau experiență anterioară cu VR/AR/AI în instruire; 75,0% din subeșantionul de vârstă/experiență au raportat că nu au avut experiență anterioară de XR.

Sondajul 2 (Companii industriale): 44 de respondenți, în principal din construcții metalice (40,8%), din România (50,0%) și Polonia (36,4%). Doar 13,6% au raportat că sunt familiarizați cu VR/AR în timpul instruirii; 50,0% erau parțial familiarizați, iar 36,4% deloc.

Ambele eșantioane reprezintă astfel un sector cu expunere XR de curent scăzută, dar, după cum se arată mai jos, o disponibilitate declarată ridicată de a o adopta.

4. Concluzii

Participanții care pot fi considerați experți pentru analiză sunt:

- **121 respondenți** din categoria inginerilor sudori și specialiștilor IWE;
- **44 de reprezentanți** din sectorul industrial;
- Reprezentare din **11 țări** pentru respondenții din inginerie și **din 8 țări** pentru companiile industriale;

- Experiențe profesionale diverse, inclusiv profesioniști IWE, instructori, examinatori, coordonatori de cursuri și manageri tehnici.

Nivelul de expertiză al Comitetului

Panelul poate fi considerat extrem de relevant deoarece:

- Peste **37%** dintre respondenți au peste **10 ani de experiență profesională**;
- **75%** dintre companiile participante angajează sau oferă instruire personalului IWE;
- Participanții sunt implicați direct în instruirea, coordonarea și implementarea proceselor de sudură.

Întrebare strategică

În ce măsură ar trebui integrate tehnologiile XR (VR/AR/AI) în calificarea I/EWE și ce domenii curriculare ar trebui prioritizate pentru digitalizare?

Prioritatea I (>80%)

1. Feedback în timp real asupra parametrilor de sudură

- **95,5%** dintre companiile industriale consideră această funcționalitate extrem de valoroasă.
- **82,6%** dintre inginerii de sudură l-au considerat extrem de valoros sau esențial.

2. Simulare practică a proceselor de sudură MMA/MIG/MAG/TIG

- **86,4%** dintre companii au evaluat utilitatea sa ca fiind ridicată sau foarte ridicată.
- **81,5%** dintre inginerii de sudură au evaluat simulările ca *Bune* sau *Excelente*.

Prioritatea II (70–80%)

3. Detecția defectelor în timp real

- **81,8%** dintre companii susțin utilizarea tehnologiilor XR pentru detectarea defectelor.
- **94,2%** dintre inginerii sudori consideră această funcționalitate utilă sau esențială.

4. Dezvoltarea WPS/PQR

- **70,5%** dintre respondenții din industria industrială consideră XR valoros pentru această activitate.
- **92,5%** dintre inginerii de sudură consideră că simulările sunt utile pentru dezvoltarea Specificațiilor de Procedură de Sudură (WPS) și a Înregistrărilor de Calificare a Procedurilor (PQR).

Concluzia analizei

Analiza dezvăluie un consens puternic atât între experți, cât și printre reprezentanții industriei privind integrarea tehnologiilor XR în calificarea I/EWE, în special **pentru activități cognitive, procedurale și analitice, cum ar fi monitorizarea parametrilor de sudură, furnizarea de feedback în timp real, simulările tehnologice, dezvoltarea WPS/PQR, controlul calității și trasabilitatea.**

În același timp, există un consens aproape unanim că antrenamentul practic și dezvoltarea abilităților psihomotorii trebuie să continue să se bazeze pe instruirea față în față. **Prin urmare, tehnologiile XR sunt percepute ca un catalizator de învățare, mai degrabă decât ca un substitut al instruirii practice în ateliere.**

Modelul educațional recomandat de panelul de experți este o abordare **de învățare mixtă**, în care tehnologiile XR completează instruirea tradițională și contribuie la modernizarea curriculumului I/EWE.

5. Recomandări

5.1 Domenii curriculare cu cele mai puternice argumente pentru livrarea la distanță/XR

Tabelul de mai jos clasifică ariile curriculare după procentul respondenților (sondaj Industrial Companies, Secțiunea D) care evaluează utilitatea XR "ridicăată" sau "foarte ridicată". Acesta este cel mai direct indicator cantitativ disponibil în date pentru cât de mult dintr-un anumit subiect s-ar putea orienta spre livrarea la distanță/XR.

Tabelul 1

Domeniul curriculumului	Evaluare procentuală mare / foarte mare	Implicațiile livrării
Interes general pentru un curs modernizat de IWE bazat pe VR/AR/AI	97.7%	Mandat puternic pentru integrarea la distanță/XR
Feedback în timp real asupra deviațiilor (viteză, unghi, distanță)	95.5%	Foarte potrivit pentru XR / antrenament la distanță
Setarea parametrilor pe echipamentele reale (curent/tensiune/gaz)	93,2% (capitolul 1,12 – 2 ore))	Foarte potrivit pentru XR / antrenament la distanță
Informații în timp real despre defecte în timpul sudării	81,8% (cap.4.7 – 3 ore))	Foarte potrivit pentru XR / antrenament la distanță

Domeniul curriculumului	Evaluare procentuală mare / foarte mare	Implicațiile livrării
Simulare practică de sudură (MMA / MIG-MAG / TIG)	86,4% (cap.1.7 – 3 ore, plafon 1.8-6 ore), capul 1.9-6 ore))	Suport puternic pentru XR, recomandă blending
Beneficiul general perceput al VR/AR pentru instruirea IWE	79.5%	Suport larg pentru componente remote/XR
Dezvoltarea PQR / WPS	70,5% (cap.4.2 – 3 ore))	Potrivit pentru livrare mixtă
Înțelegerea HAZ și a tensiunii reziduale	68,2% (cap. 4,3 – 1 oră, 2,5 – 1 oră, 2,8 – 1 oră))	Potrivit pentru livrare mixtă
Design optimisation (AI/AR/VR)	68,2% (cap. 3,3 - 2 ore))	Potrivit pentru livrare mixtă
Simularea fluxului de producție	65,9% (cap. 4,2 - 2 ore)	Potrivit pentru livrare mixtă
Materiale de umplutură / microstructură a gazelor de protecție	65,9% (cap. 1.6 – 1 oră), 1.19 – 7 ore))	Potrivit pentru livrare mixtă
Trasarea materialelor (ISO 14731 / ISO 3834)	63,6% (cap. 4,2 – 2 ore)	Potrivit pentru livrare mixtă
Vizualizare prin proiectare pentru fabricabilitate	59,1% (capul 3,2 – 2 ore))	Caz moderat, livrare mixtă

- **42 de ore din toate modulele, conform IAB 252r2-19.**

Cele 42 de ore se obțin folosind următorul proces: 2 ore (capitolul 1.12) + 3 ore (capitolul 4.7) + 3 ore (capitolul 1.7) + 6 ore (capitolul 1.8) + 6 ore (capitolul 1.9) + 3 ore (capitolul 4.2) + 3 ore (capitolul 4.3(1), capitolul 2.5(1), capitolul 2.8(1)) + 2 ore (capitolul 3.3) + 2 ore (capitolul 4.2) + 1 oră (capitolul 1.6) + 7 ore (capitolul 1.19) + 2 ore (capitolul 4.2) + 2 ore (capitolul 3.2) = 42 ore.

Capitolul 1.12 (2 ore): - *Reglarea parametrilor pe echipamentele reale (curent/tensiune/gaz)*

- Procese de sudură: sudarea electrozgură, frecare; frecare-amestecare(friction stir welding), sudarea cap la cap cu arc cu inductie magnetica(MIAB); sudură prin impuls magnetic, ultrasunete; prin explozie; difuzie; aluminothermica; de inalta frecvența ; prin Stifturi, sudură sub presiune la rece.
- Parametrii de sudură pentru fiecare proces
- Pregătirea îmbinării: design tipic al îmbinărilor pentru sudură, montaj, curățare
- Relația dintre parametrii de sudură și configurația îmbinării

Capitolul 1.6 (1 oră): - *Materiale de umplură / microstructură a gazelor de protecție*

- Gaze de protecție (inerte, active) și efectul lor asupra caracteristicilor arcului
- Manipularea și depozitarea gazelor (prezentare generală)
- Influența parametrilor de sudură asupra morfologiei bilelor de sudură

Capitolul 1.7 (3 ore): *Simulare practică de sudură (MMA / MIG-MAG / TIG)*

- Efectul tipului curentului și polarității: DC (+), DC (-) și AC
- Consumabile: gaze de ecranare, materiale de umplere, electrozi
- Parametri de sudură: curent, tensiune, viteză de deplasare, debit de gaz
- Pregătirea îmbinării: design tipic al îmbinărilor pentru sudură, montaj, curățare
- Tehnici speciale: arc pulsant, sudură punctuală, gaură de cheie, fir fierbinte, orbital
- sudură, tub pe tub și tub pe foaie, spațiu îngust și altele
- Standarde pentru materiale de umplură și electrozi (cel puțin pentru oțelurile fără aliaj).
- Aplicații de sudură, probleme tipice și cum să le rezolvi

Capitolul 1.8 (6 ore): *Simulare practică de sudură (MMA / MIG-MAG / TIG)*

- Efectul tipului curentului și polarității
- Moduri de transfer metalic (scufundare, globular, pulverizare, pulsate și rotative), controlate
- Moduri de transfer și aplicarea lor
- Parametri și setări de sudură: curent, tensiune, viteză de deplasare, debit de gaz etc.
- Tehnici speciale: sudare electrogaz(electro-gaz welding), procese de sudare cu eficiența înaltă, sudarea în puncte, tehnici de sudare cu un singur electrod și mai

- multi electrozi, utilizarea sârmei plate, brazarea, control electronic al stabilității (arc și alimentare cu fir) etc
- Relația dintre consumabile și tipul modului de transfer metalic, precum și aplicațiile lor
 - Consumabile: gaze de ecranare, materiale de umplutură (fire cu miez de flux) și combinațiile lor
 - Aplicații de sudură, probleme tipice și cum să le rezolvi

Capitolul 1.9 (6 ore): *Simulare practică de sudură (MMA / MIG-MAG / TIG)*

- Parametri de sudură: curent, tensiune, lungimea de ieșire etc
- Pregătirea îmbinării: montare, curățare, poziție de sudură
- Relația dintre diametrul electrodului și intervalul de curent, materialul tijei,
- Lungimea electrodului și poziția sudării
- Tehnici speciale (sudură prin gravitație etc.)
- Sănătate și siguranță specifice procesului MMA

Capitolul 1.19 (7 ore): *Materiale de umplutură / microstructura gazelor de protecție*

- Exerciții practice care arată efectul fiecărui parametru principal de sudură asupra formei bilgelei de sudură
- Exercițiile ar trebui să acopere: MMA, TIG, MIG/MAG, FIRE CU FLUX CORED, SAW (SAW),
- Oxygas
- Exerciții practice care arată efectul fiecărui parametru principal de tăiere asupra suprafeței tăiate

Capitolul 2.5 (1 oră): *ZIT și înțelegerea stresului rezidual*

- Baia de sudură, forma de sudură
- Diluare
- Structura metalului sudat
- Efectul sudurii multi-trecere

Capitolul 2.8 (1 oră): *ZIT și înțelegerea stresului rezidual*

- Tratamentul termic al îmbinărilor și pieselor sudate
- Tratament termic post-sudură (reducere a tensiunii, normalizare, întărire)
- Ghiduri tehnice pentru tratamentul termic
- Proceduri de tratare termică

Capitolul 3.2 (2 ore): *Vizualizarea proiectării pentru fabricabilitate*

- Tipuri de tensiuni (tensiune normală, tensiune de forfecare)
- Tipuri de deformare (deformație axială, deformație de forfecare)

Capitolul 3.3 (2 ore): *Optimizarea designului (AI/AR/VR)*

- Clasificarea formelor canelurilor (după tipul materialului, grosime, procesul de sudură,
- accesibilitate)
- Cerințe de toleranță (ISO 13920)
- Simboluri de sudură pe desene, simboluri pentru forme de caneluri
- Reprezentare simbolică a îmbinărilor sudate, lipite și lipite conform
- către ISO 2553

Capitolul 4.2 (7 ore): *Trasabilitatea materialelor (ISO 14731 / ISO 3834), dezvoltarea PQR / WPS, simularea fluxului de producție*

- Personal de coordonare și inspecție pentru sudură; Sarcini și responsabilități de calificare
 - (ISO 14731, ISO 9712, CEN și standarde naționale)
 - Aprobare/Calificare pentru brazer și sudor și proceduri de lipire și sudare
 - Calificare - Introducere/Prezentare generală
 - Aprobare/Calificare pentru Brazer și Sudor (ISO 9606, CEN și Național
 - Standarde)
 - Specificația procedurilor de lipire și sudură – Scopul, cum să creezi și să dezvolti (ISO 15607 și 15609, CEN și Standarde Naționale)
 - Calificarea procedurilor de lipire și sudură (ISO 15610, 156111, 15612, 15613 și 15614), CEN și standarde naționale)
 - Calificarea operatorului de lipire și sudură (ISO 14732, CEN și Standardele Naționale)
 - Trasabilitate (identificarea materialelor, sudor/operator, proceduri, certificate)
- **Se pot parcurge 22 de ore prin componenta practică, adică demonstrațiile de sudură.**
 - **Este posibil să folosești avantajele sistemelor virtuale de instruire la sudură, dar la maximum 50% din orele de instruire practică!**

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:
Oxygas 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	

⇒ Aproximativ 15% din cursul IWE putea fi livrat folosind instrumente VR/AR pe un simulator de sudură

Rezultatele corespunzătoare ale Sondajului 1 (Ingineri) confirmă același tipar: simularea AR/VR pentru practica MMA/MIG-MAG/TIG a fost evaluată Bun sau Excelent de către 81,5% dintre respondenți; Instruirea cu setare parametrică a fost evaluată ca îmbunătățind semnificativ sau moderat instruirea cu 90,0%; feedback-ul deviației în timp real a fost evaluat Foarte Util sau Esențial cu 82,6%; iar instruirea în procesul de tăiere (plasmă/oxigaz/laser) a fost evaluată Relevant sau Foarte Relevant cu 90,9%.

5.2. Domenii curriculare care necesită livrare fizică / practică

Datele sondajului identifică, de asemenea, unde livrarea la distanță/XR este considerată explicit insuficientă:

- Abilitățile de sudură manuală/fizică au fost evaluate ca cea mai scăzută prioritate pentru suportul VR/AR de către respondenții industriali (0,7% din voturi) — cel mai clar semnal cantitativ din setul de date că acest domeniu trebuie să rămână prezent.
- Limitarea cea mai frecvent citată a XR în ansamblu a fost "lipsa senzației fizice" (44,8%), urmată de costuri inițiale ridicate de investiție (30,4%).
- 56,8% dintre respondenții din industria industrială au declarat că integrarea simulatorului respectă doar parțial cerințele de rezultat al învățării IWE/IWT/IWS și încă necesită validare prin instruire fizică în atelier (doar 20,5% au considerat că este pe deplin conformă).

- Răspunsurile multiple în text liber prezintă explicit XR ca un "catalizator de competență" și o "metodă suplimentară de predare, nu un substitut pentru cerințele obligatorii stabilite în IAB-252r5", invocând feedback-ul senzorial (căldură, miros, zgomot de arc, control tactil) ca fiind de neînlocuit pentru dobândirea abilităților la nivel de certificare.

5.3. Sinteză: Răspunsul cel mai apropiat disponibil de obiectiv



Domeniu cognitiv/analitic/procedural (parametri de proces, interpretare în timp real cu feedback, proiectare și raționament QA, analiză a defectelor, dezvoltare PQR/WPS, conformitate cu standardele): evaluat constant între 60–98% potrivit pentru livrare la distanță sau mixtă suportată de XR în ambele sondaje.



Domeniu manual/psihomotor / critic pentru certificare (executare fizică a sudurii, manipularea torței, calibrare senzorială): evaluat ca necesitând livrare prezentă, atât prin răspuns direct la sondaj (prioritate 0,7% pentru VR/AR), cât și prin consens calitativ că cerințele obligatorii IAB-252r5 nu pot fi îndeplinite de la distanță.

Dacă este necesară o singură estimare de planificare pentru curriculumul modernizat I/EWE, datele susțin tratarea conținutului XR/capabil de la distanță ca acoperind majoritatea curriculumului teoretic, analitic și procedural, cu nucleul practic/certificare rămânând prezent, iar XR folosit acolo ca strat pregătitor și suplimentar — în concordanță cu descrierea respondenților a XR ca "catalizator, "Nu un înlocuitor.

6. Anexe: chestionare de sondaj

Rezultatele detaliate ale ambelor chestionare sunt furnizate în documentele însoțitoare "Anexa 1 AR_VR Calificarea Inginerului Internațional de Sudură (Inginer)EN.xls" și "Anexa 2 AR_VR Calificarea Internațională a Inginerilor de Sudură (Industrie)EN", care conțin răspunsurile complete la sondaj.