

TENDINȚE ÎN TEHNOLOGIE ȘI INSTRUIRE TRENDS IN TECHNOLOGY AND TRAINING

Abilități de previzionare a potențialului de implementare industrială a tehnologiilor de fabricație aditivă

Forecasting Skills for Additive Manufacturing Technologies towards Industrial Implementation

Adelaide Almeida¹, Ana Beatriz Lopez¹, Rita Bola¹, Begum Canaslan², Rafael M. Afonso¹

¹ Federația Europeană pentru Sudare, Îmbinare și Tăiere / European Federation for Welding, Joining and Cutting

² Fan3D

Rezumat

Acest studiu abordează necesitatea considerată critică de a se introduce un cadru de competențe complet nou, la nivel european, în ceea ce privește personalul din domeniul fabricației aditive (AM). Necesitatea rezidă din dorința de a depăși lipsa de personal calificat care împiedică adoptarea acestei noi familii de tehnologii de fabricație. Pentru a facilita o creștere inteligentă, durabilă și favorabilă incluziunii, sectorul AM necesită un proces de învățare cuprinzător care să acopere întregul lanț valoric și care să pună accent pe abilitățile digitale. Strategia de competențe propusă presupune înființarea unui Observator AM, care să facă legătura între educație și industrie. Acest observator identifică, monitorizează și anticipează nevoile de competențe, utilizând o metodologie de previzionare și creând o foaie de parcurs privind dezvoltarea de competențe sectoriale. Astfel, pot fi identificați factorii de decalaj dintre educație și industrie și este creat un set de acțiuni de sprijin și recomandări pentru reducerea acestui decalaj.

Metodologiile cadru propuse sunt aplicate pentru a revizui profilurile profesionale internaționale, calificările și modulele de formare existente în domeniul AM, în timp ce se proiectează altele noi. Rezultatul implică actualizarea Sistemului Internațional de Calificare în domeniul Fabricației Aditive (IAMQS), asigurând relevanța acestuia la nivel transnațional, național și regional. Abordarea competențelor dezvoltate inteligent asigură sustenabilitatea printr-o rețea de furnizori de formare, promovând conexiuni puternice între diverse sectoare industriale care aplică în mod activ AM. În cele din urmă, această inițiativă abordează cu succes lipsa presantă de competențe din comunitatea AM, facilitând implementarea și progresul pe scară largă a tehnologiei.

Cuvinte cheie

Fabricație aditivă, cadrul de competențe, metodologie de prognoză, implementare tehnologii emergente, calificare personal

Abstract

This study addresses the critical need for a completely new skills framework in the Additive Manufacturing (AM) community across Europe to overcome the shortage of qualified personnel hindering technology adoption. To facilitate smart, sustainable, and inclusive growth, the AM sector requires a comprehensive learning process spanning the entire value chain and emphasizing digital skills. The proposed skills strategy involves the establishment of an AM Observatory, bridging between education and industry. This observatory identifies, monitors, and anticipates skills needs, employing a forecast methodology and creating a sector skills roadmap. Gap drivers are identified, and a set of support actions and recommendations are outlined for mitigation.

Methodological frameworks are applied to review existing international AM professional profiles, qualifications, and training modules, while also designing new ones. The outcome involves updating the International Additive Manufacturing Qualification System (IAMQS), ensuring its relevance at transnational, national, and regional levels. The developed skills intelligence approach ensures sustainability through a network of training providers, fostering strong connections among diverse industrial sectors actively applying AM. Ultimately, this initiative successfully addresses the pressing skills gap in the AM community, facilitating the technology's widespread implementation and advancement.

Keywords

Additive manufacturing, skills framework, forecast methodology, implementation of emergent technologies, qualification of personnel

1. Introducere

În ceea ce privește aspectele economice ale AM [2], au fost identificate efecte ale curbei de învățare legate de repetarea procesului și experiența operatorului. Concluzia a fost că în cazul unui operator expert este posibilă o reducere a costului unitar, în paralel cu obținerea unei performanțe îmbunătățite a procesului, comparativ cu un operator începător. Potrivit Haldi et al. [3], randamentele crescătoare sunt generate din surse dinamice datorită efectelor curbei de învățare și efectelor stochastice legate de reducerea varianței procesului. Prin urmare, necesitatea de a instrui lucrătorii și de a se asigura că au un set de competențe corect și actualizat devine esențială pentru a face față tehnologiei AM [4].

Tehnicile AM sunt folosite pentru a fabrica forme complicate, construite strat cu strat, cu intrări de date provenind din fișiere de date digitale [5]. În comparație cu procesele de fabricație convenționale, tehnicile de fabricație AM sunt mai eficiente și au un efect neglijabil asupra mediului [5, 6], asigurând sustenabilitatea acestuia pentru aplicații industriale. În același timp, AM are un rol critic în transformarea digitală a producției, care cere producătorilor să aibă „abilitatea de a gândi în 3D”, putând astfel să regândească întregul ciclu de viață al unui produs [7], precum și să aibă lucrători care se pot adapta la evoluția continuă a tehnologiei. Din nou, acest lucru întărește competitivitatea organizațiilor pentru a-și crește profitabilitatea în timp ce se ocupă de tehnologiile emergente și exploatează beneficiile Industriei 4.0 [8].

În acest context, apar întrebări importante: cum să abordăm nevoile de competențe emergente ale lucrătorilor AM într-o manieră holistică și eficientă? Gama de inițiative și proiecte privind găsirea de soluții la deficitul de competențe AM este largă, cu toate acestea, abordarea utilizată este fragmentată și se concentrează mai degrabă pe abordarea nevoilor și lacunelor individuale existente decât pe adoptarea unei abordări coezive și strategice care să ia în considerare viitorul și nevoile prezente ale industriei.

Mai mult, timpul dintre identificarea nevoilor de competențe și capacitatea de implementare a modulelor de calificare/formare pentru a le aborda, care includ proiectarea profilului profesional sau al calificării necesare, a fost identificat ca fiind foarte lent și, prin urmare, adesea incapabil să țină pasul cu schimbarea tehnologică și cadrul economic. Această situație este deosebit de critică pentru sistemele publice de educație și formare profesională, care se confruntă cu mai multe

1. Introduction

As it usually happens for new advanced manufacturing technologies which grow at a quick pace across different industries, reaching rapidly a mature stage of development, the workforce capability to leverage this rapid technological innovation does not evolve at the same speed. This is not a different case for Additive Manufacturing (AM) technologies, where according to Kamara et al. [1], the success of its implementation demands not only the acquisition of AM system technologies and support, but also training of AM workers and the development of new workflows to define and implement the roadmap for the success of the AM integration in the value chain.

Regarding the economics of AM [2], learning curve effects were identified related to process repetition and operator experience. The conclusion was that a reduction in unit cost along with an improved performance of the process was achieved by an expert operator in comparison with a novice operator. According to Haldi et al. [3], increasing returns are generated from dynamic sources due to learning curve effects and stochastic effects related to the reduction of process variance. Therefore, the need to train workers and ensure they have a correct and update skills-set becomes essential to deal with the AM technology [4].

AM techniques are used to manufacture intricate shapes, built layer by layer, with the inputs from digital data files [5]. In comparison with conventional manufacturing processes, AM manufacturing techniques are more efficient and have a negligible effect on the environment [5, 6], ensuring its sustainability for industrial applications. At the same time, AM has a critical role in the digital transformation of manufacturing which demands manufacturers to have “the ability to think in 3D” and to rethink the entire lifecycle of a product [7], as well as to have workers that can adapt to the continuous evolution of the technology. Again, this reinforces the competitiveness of organizations to increase their profitability while dealing with emerging technologies and exploiting the benefits of Industry 4.0 [8].

Upon this, important questions arises: how to address AM workers emergent skills needs in holistic and effective manner? The range of initiatives and projects on AM skills shortage are wide, however the approach utilized is fragmented and focused on addressing existing individual needs and gaps, rather than taking a cohesive and strategic approach which considers the future as well as the present needs of the industry. Moreover, the time between the iden-

constrângeri în accesarea echipamentelor AM și la cele mai recente evoluții tehnologice. În plus, cea mai mare parte a ofertei de formare disponibilă este oferită pentru niveluri avansate la nivel de învățământ superior, acoperind nivelurile EQF 6 și 7. Acest lucru a motivat activitatea desfășurată în cadrul proiectului SAM [9] care este prezentat aici și care a fost pe deplin aliniat cu obiectivele programului Alianțe ale Abilităților Sectoriale de a crea o inteligență a competențelor sectoriale, adică posibilitatea de a anticipa și dezvolta competențe pentru a sprijini creșterea sectorului de fabricație aditivă, folosind instrumentele europene care pot conferi transparență și calitate calificărilor AM [10]. Această abordare strategică a competențelor în AM a constatat în dezvoltarea unei metodologii dinamice de prognoză axată pe identificarea, anticiparea și validarea deficiențelor de competențe, lipsurilor și nepotrivirilor, pentru a dezvolta și/sau revizui calificări și noi profiluri în AM și a le implementa apoi în industrie, conform necesităților, într-un timp minim posibil.

În acest fel, foaia de parcurs pentru Strategia europeană de competențe AM definită în [11] a evidențiat provocările complexe cu care se confruntă sectorul AM, sub forma a șapte factori de decalaj.

Pentru fiecare decalaj, au fost stabilite diferite obiective strategice din care au rezultat 26 de acțiuni de sprijin (AS) pentru a aborda aceste obiective. De asemenea, au fost formulate, cu titlul de propuneri, 30 de recomandări privind bune practici, precum și acțiuni de îndrumare pentru implementarea ulterioară facilă de către diverse grupuri țintă interesate.

În următoarele secțiuni vor fi prezentați și discutați diferiții pași care trebuie făcuți pentru o aplicare cu succes a acestei abordări strategice. În această discuție sunt descrise principalele rezultate ale proiectului SAM, pe tip de activitate, și anume: Strategia privind competențele și abordări previzionare, Tendințele AM, Lipsa de competențe, Necesitatea privind competențele digitale și Cadrul sectorial de formare de personal în AM.

2. Metodologia de previzionare a competențelor din domeniul fabricației aditive

Inteligența competențelor pentru fabricarea aditivă, concept din care a derivat și metodologia de prognoză a competențelor, a fost fundamentată pe analiza a trei piloni principali: provocări globale și societale, dezvoltarea tehnologiei în diferite sectoare

tification of skills needs and the capability of deploying qualification/training modules to address them, which include designing the required professional profile/qualification, was identified as being very slow and thus often unable to keep pace with the changing technological and economic landscape. This situation is particularly critical for public Vocational Education and Training Systems, which face more constraints in accessing AM equipment and the latest technological developments. Besides, most of the available training offer is provided for advanced levels at Higher Education level, covering EQF levels 6 and 7. This motivated the work carried out in the framework of the SAM project [9] that is hereby presented and which was fully aligned with the Sector Skills Alliances objectives of creating sectoral skills intelligence, meaning the anticipation and development of skills to support the growth of the Additive Manufacturing sector, using European tools for transparency and quality of AM qualifications. [10] This strategical approach to skills in AM consisted in the development of a dynamic forecast methodology focused on skills gaps, shortages and mismatches identification, anticipation and validation, to develop and/or revise qualifications and new profiles in AM and deploy them as required by industry in a timely way. This way, the European AM Skills Strategy Roadmap defined in [11] has outlined the complex challenges faced by the AM sector, in the form of seven gap drivers. For each gap, different strategic objectives were established from which resulted 26 Supporting Actions (SA) to address those same objectives. Also, a set of 30 recommendations were formulated as proposals, best practices, and guidance actions for further implementation by the different target groups, to undertake the best course of action. The different steps taken towards the success of the application of this strategic approach will be discussed in the following sections, where the main SAM project outcomes are described by type of activity, namely: Skills Strategy and Forecast Approaches, AM Trends, Skills Shortages, Digital Skills Needs and the AM Sectoral Training Framework.

2. Methodology for Additive Manufacturing Skills Forecast

The skills intelligence for Additive Manufacturing, from where the methodology for skills forecast was derived, was grounded on the analysis of three main pillars: global and societal challenges, technology development in different industrial sectors,

industriale și evoluția profilurilor profesionale.

Pentru a sprijini dezvoltarea metodologiei, a fost efectuată o analiză a reperelor globale și societale așteptate a fi îndeplinite până în 2030. Acesta a fost un pas important în concluzionarea asupra principalelor transformări care influențează implementarea industrială a AM.

Metodologia de prognoză a competențelor, dezvoltată și aplicată în cadrul proiectului SAM [9] pentru a identifica și anticipa lacunele și lipsurile de competențe actuale și viitoare în AM, este compusă din trei etape, fiecare dintre ele implicând instrumente și părți interesate specifice: (1) Identificare; (2) Analiză; și (3) Validare.

Etapă de identificare constă în cercetarea pieței pentru a determina nepotrivirea competențelor și lacunele în cadrul lanțului valoric AM. Această etapă se bazează pe datele colectate printr-un set de sondaje online și interviuri cu reprezentanți ai industriei și centrelor de cercetare și dezvoltare pentru a evalua tendințele aplicațiilor AM, provocările din sector și soluțiile de abordare a necesarului de competențe. Metodologia a fost concepută pentru a aborda diferite scenarii: (a) scenariul cazului real (pentru a răspunde necesarului de competențe în mai puțin de 1 an); (b) scenariul pe termen scurt (în mai puțin de 3 ani) și (c) scenariul de previziune (mai mult de 10 ani). Instrumentele aplicate și grupurile țintă au variat în funcție de scenariu și sunt următoarele: sondaje, interviuri, revizuire a literaturii și metode explicative cum e cafeneaua mondială, brainstorming și ateliere de analiză și validare.

Etapele de analiză, derulate după colectarea datelor prin sondaje și revizuire a literaturii, sunt întreprinse de un grup de experți, permițând definirea priorităților de competențe și a domeniilor care au necesitat exploatare în continuare prin interviuri cu experți.

Etapă de validare, în care constatările din etapa de analiză sunt prezentate unor grupuri suplimentare de experți, este crucială pentru definirea viitoarelor ocupații și prioritizarea dezvoltării calificărilor respective care sprijină industria să umple golurile existente. Ca recomandare, pentru a crește robustețea procesului, etapa de validare utilizează o abordare combinată constând dintr-o parte plenară, pentru a prezenta experților scopul general al sesiunii de validare și cazul în care se aplică metodologia, urmată de o activitate practică cu experții industriali și alte părți interesate relevante pentru subiect.

Metodologia este schematizată în figura 1.

Abordarea previzionistă a competențelor descrisă mai sus a condus la identificarea lacunelor și cerințelor de competențe AM în ultimii cinci ani (din 2019 până în 2023).

and professional profiles evolution.

To support the development of the methodology, an analysis of the expected global and societal milestones until 2030 was conducted. This was a crucial step to conclude about the main transformations impacting the AM industrial implementation.

The methodology for skills forecast developed and applied in the framework of the SAM project [9], to identify and anticipate current and upcoming skills' gaps and shortages on AM is composed of three stages, each of them involving specific tools and stakeholders: (1) identification; (2) analysis; and (3) validation.

The identification stage consists of market research to determine skills mismatches and gaps within the AM value chain. This stage relies on the data gathered through a set of online surveys and interviews with representatives from industry and R&D centres to assess trends in AM applications, challenges in the sector and solutions to tackle the skills needs. The methodology was framed to address different scenarios: (a) real case scenario (to address skills needs in less than 1 year); (b) short-term scenario (in less than 3 years) and (c) foresight scenario (after more than 10 years).

The tools applied and target groups varied according to the scenario, and are the following: surveys, interviews, literature review and explanatory methods such as world café, brainstorming and analysis & validation workshops. The analysis stages, performed after collecting the data through surveys and literature review, is undertaken by a group of experts, enabling to define the skills priorities and areas that needed further exploitation through expert interviews.

The validation stage, in which the findings from the analysis stage are presented to additional groups of experts, is crucial to define the future occupations and prioritise the respective qualifications development that support industry to fill in the gap.

As a recommendation, to increase the robustness of the process, the validation stage uses a combined approach consisting of a plenary part, to introduce experts to the overall aim of the validation session and the case in which the methodology is being applied, followed by a hands-on activity with the Industrial Experts and other relevant stakeholders for the topic.

The methodology is schematised in figure 1.

The above-described skills forecast approach led to the identification of AM skills gaps and requirements over the past five year (from 2019 to 2023).

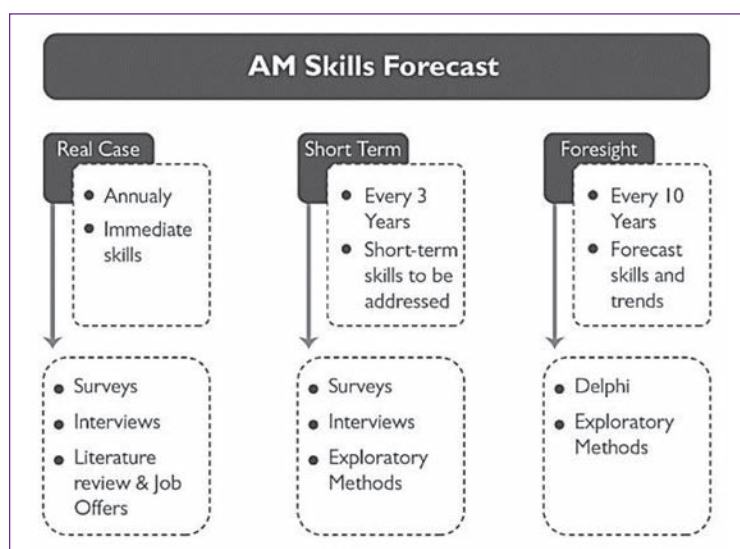


Figure 1. Schema metodologiei de previzionare a competențelor AM

Figure 1. Schematics of the methodology for forecasting AM skills

Ea a fost implementată prin patru runde de audiere a reprezentanților organizațiilor industriale, de cercetare și formare, precum și a agențiilor de recrutare, luând în considerare scenariile de previziune.

2.1 Colectarea datelor

Pentru a colecta date despre cazuri reale și scenarii pe termen scurt din rândul părților interesate relevante, au fost derulate în fiecare an câte patru runde de sondare de către partenerii proiectului SAM. Aceste sondaje au avut ca scop evaluarea diferitelor aspecte:

- **Practici și provocări în formarea AM** – cu scopul de a înțelege și inventaria practicile educaționale desfășurate de organizațiile de formare, precum și pentru a identifica nevoile și provocările pe termen scurt legate de implementarea instruirii;
- **Abilități AM și tendințe tehnologice pentru RTO** - cu scopul de a înțelege care sunt tendințele tehnologice pentru următorii ani în AM;
- **Nevoile companiilor/angajatorilor privind AM** - cu scopul de a identifica profesioniștii din domeniul fabricației aditive, companiile care dețin acele cunoștințe și abilități care sunt căutate în prezent și care se preconizează că vor fi necesare în următorii trei ani;
- **Nevoile profesioniștilor/lucrătorilor privind AM** - cu scopul de a identifica abilitățile actuale, cunoștințele și noile locuri de muncă necesare în termen de un an;
- **Agenții de recrutare** - cu scopul de a identifica datele privind oportunitățile de angajare din domeniul AM din piața muncii.

Aceste sondaje au fost partajate online prin e-mailuri personale, buletine informative și diseminate în

The forecast approach was implemented through four rounds of auscultation among industrial, research and training organisations, as well as among recruitment agencies considering the forecast scenarios.

2.1 Data Collection

To gather Real Case and Short-Term Scenarios data among the relevant stakeholders four different rounds of surveys were developed each year by the SAM project partners. These surveys aimed to assessing different aspects:

- **AM training practices and challenges** – aiming to understand and map educational practices deployed by training Organizations; as well as to identify short terms needs and challenges related to the implementation of training;
- **AM skills and technological trends for RTOs** - aiming to understand which are the technological trends for the next years in AM;
- **AM companies/employers' needs** - aiming to identify which Additive Manufacturing professionals, knowledge and skills companies are looking for currently, and expected needing in three years' time;
- **AM professionals/workers' needs** - aiming to identify current AM skills, knowledge and new job needed within one year;
- **Recruitment agencies** - aiming to identify job opportunities and employability data concerning the AM in the labour market.

These surveys were shared via online through personal e-mails, newsletters and disseminated during specific events and networks. Additionally, inter-

cadru unor evenimente și rețele specifice. În plus, au fost realizate interviuri ca instrumente complementare sondajelor cu reprezentanți ai industriei. Criteriile de selecție pentru intervievați au inclus asigurarea prezenței a cel puțin unui reprezentant din fiecare tip de companie (de exemplu, IMM, start-up, companie mare, asociație industrială), reprezentanți din toate sectoarele, luarea în considerare a diferitelor tipuri de profiluri legate de fabricarea aditivă și asigurarea variabilității în ceea ce privește țările și echilibrul de gen. Durata estimată a fiecărui interviu a variat între 30 de minute și o oră.

Activitatea World Cafe a avut loc o dată cu scopul de a facilita discuțiile și de a culege date de la experți industriali și VET (Educație și Formare Profesională). Scopul a fost de a sprijini identificarea tendințelor legate de aplicațiile de fabricație aditivă (AM), concentrându-se pe materiale, procese, sectoare și provocări globale până în anul 2025. Au fost folosite întrebări deschise pentru a încuraja discuția, precum „Ce calificări armonizate vor fi necesare pentru AM cu compozite/plastice în următorii 5 ani?”.

Pentru a colecta date pentru scenariile de previziune (anticiparea pentru 5 și 10 ani), metodologia folosită urmează metoda Delphi, implicând o serie de chestionare în două sau mai multe runde. A început cu o activitate de tip atelier virtual și interactiv inițial, urmată de două sondaje ulterioare bazate pe răspunsurile din rundele precedente. Răspunsurile au fost compilate și analizate pentru a evalua tendințele din domeniul fabricației aditive în următorii 10 ani. Datele sunt colectate prin intermediul atelierului virtual și prin sondaje ulterioare. Inițial, a fost organizat un atelier online pentru a discuta despre tendințele AM cu experți, implicându-i prin întrebări deschise. Rezultatele acestui atelier au informat prima rundă a unui sondaj online, care a inclus întrebări cu răspunsuri multiple derivate din atelierul online. Ulterior, o a doua rundă a sondajului online a fost efectuată pe baza rezultatelor sondajului din prima rundă. Între prima și ultima rundă de colectare a datelor, la sondajele menționate au participat un total de 850 de respondenți din diferite țări, tipuri de companii, afaceri și diferite profiluri/roluri.

2.2 Analiza datelor

Rezultatele sondajului au fost analizate în cadrul a patru piloni principali: competențe tehnologice, competențe digitale sau competențe antreprenoriale și competențe ecologice. Acest studiu se

views were conducted as complementary tools to the surveys with representatives from the industry. Selection criteria for interviewees included ensuring the presence of at least one representative from each type of company (e.g., SME, start-up, large company, industrial association), representation from all sectors, consideration of different types of additive manufacturing-related profiles and ensuring variability in terms of countries and gender balance. The estimated duration of each interview ranged from 30 minutes to one hour.

World Cafe activity occurred once with the purpose of facilitation of discussions and gathering data from industrial and VET (Vocational Education and Training) experts. The goal was to support the identification of trends related to Additive Manufacturing (AM) applications, focusing on Materials, Processes, Sectors, and overarching challenges up to the year 2025. Open-ended questions were used to encourage the discussion such as “What harmonised qualifications will be need for AM with composites/plastics in the next 5 years?”.

To collect data for the foresight scenarios (anticipation for 5 and 10 years' time) the methodology employed follows the Delphi method, involving a series of questionnaires across two or more rounds. It commences with an initial virtual and interactive workshop, followed by two subsequent surveys built upon responses from preceding rounds. The responses are compiled and analysed to assess additive manufacturing (AM) trends over the next 10 years. Data is collected through the virtual workshop and follow-up surveys.

Initially, an online workshop was organized to discuss AM trends with experts, engaging them through open-ended questions.

The results of this workshop informed the first round of an online survey, which included multiple-choice questions derived from the online workshop. Subsequently, a second round of the online survey was conducted based on the outcomes of the first-round survey.

Between the first and last rounds of data collection, a total of 850 participants from different countries, types of companies, businesses, and various job profiles/roles took part in the mentioned surveys.

2.2 Data Analysis

The survey results were analysed within the framework of four main pillars: technological skills, digital skills, entrepreneurship or entrepreneurial skills and green skills. This study specifically focuses on

concentrează în mod special pe constatările legate de competențele digitale. Au fost organizate ateliere pentru analiza datelor. Experții din sector au fost adunați în atelier și a fost creat mediul pentru studiul grupului de lucru. Scopul acestor sesiuni de atelier a fost acela de a analiza și discuta rezultatele sondajelor pentru a trage concluzii despre decalajele de competențe AM, profiluri profesionale care trebuie abordate având în vedere scenariile de studiu definite (caz real, pe termen scurt și previziune). Pentru a facilita analiza rezultatelor, au fost înființate grupuri pentru a discuta diferitele rezultate ale sondajelor efectuate cu centre de formare, lucrători din industrie, companii, agenții de recrutare și centre de cercetare. Partenerii SAM au fost împărțiți în grupuri, în conformitate cu experiența lor și echilibrul de gen. De exemplu, un grup a discutat despre sondajul centrului de formare, altul a analizat sondajul AM asupra forței de muncă și grupurile rămase au discutat rezultatele sondajului companiei etc. Un reprezentant a împărtășit concluziile grupurilor de lucru cu întregul grup la sfârșitul întâlnirilor.

2.3 Validarea datelor

Au fost desfășurate ateliere de validare cu experți externi în domeniu pentru validarea temeinică a analizei datelor. Grupul de Experți ai Consiliului Industrial a participat la atelierele de validare și a discutat despre nevoile de competențe AM, calificările viitoare și tendințele considerate priorități pentru a sprijini creșterea sectorului.

3. Constatări: tendințe AM și deficit de competențe

Figura 2 ilustrează schimbările pe ani în abilitățile tehnologice, digitale și ecologice pe baza datelor colectate din scenarii de caz reale și scenarii pe termen scurt.

Pe baza evaluării previzionale, evoluțiile anticipate și tendințele tehnologice în AM în următorii 10 ani includ integrarea AM în producția de serie, disponibilitatea mai multor standarde publice în diferite domenii (design, materie primă, procese, personal, mașini etc.), introducerea de noi materiale, reducerea costurilor și disponibilitatea pe scară largă a instrumentelor de simulare fiabile pentru majoritatea tehnologiilor AM.

Implicațiile majore ale unor astfel de evoluții/tendențe pe piața forței de muncă AM includ nevoia a mai multor experți digitali (cum ar fi manageri

the findings related to digital skills. Workshops were conducted in order to analyse data. The experts from the sector were gathered in the workshop and the environment was created for the working group study. The aim of these workshop sessions was to analyse and discuss the results of the surveys in order to draw conclusions about the AM skills gaps, professional profiles that need to be addressed considering the defined study scenarios (real case, short term and foresight). To facilitate the analysis of the results, groups were set up to discuss the different results of the surveys conducted with training centres, industry workers, companies, recruitment agencies and research centres. SAM partners were divided into groups in line with their expertise and gender balance. For example, one group discussed the training centre survey, another analysed the AM workforce survey and remaining groups discussed the company survey results etc. A representative shared the conclusions of the working groups with the whole group at the end of the meetings.

2.3 Data Validation

Validation workshops were conducted with external experts in the field to thoroughly validate the data analysis. The Industrial Council Experts group has participated in the validation workshops and discussed the AM skills needs, future qualifications, and trends considered priorities to support the growth of the sector.

3. Findings: AM Trends and Skills Shortages

Figure 2 illustrates the changes by years in technological, digital, and green skills based on the data collected from real case scenarios, and short-term scenarios.

Based on the foresight evaluation, the anticipated developments and technological trends in AM over the next 10 years include the integration of AM into series production, the availability of more public standards across various areas (design, feedstock, processes, personnel, machines etc.), the introduction of new materials, cost reduction, and the widespread availability of reliable simulation tools for most AM technologies.

The major implications of such developments/trends on the AM labour market include the need for more digital experts (such as data managers,

TOP 3 SKILLS			
	2020	2022	2023
Technological	AM processes (63,7%)	AM processes (55,4%)	Certification & Qualification (62,5%)
	Material analysis & characterization (43,4%)	Simulation (55,4%)	Simulation (55,7%)
	AM applications (42,5%)	Topology optimization (51,8%)	Research & Innovation (54,5%)
Digital	Ability to think in 3D (45,5%)	Digital data analysis (AI/ ML ...) (64,3%)	Digital data analysis (AI/ ML ...) (70,5%)
	Digital data management (big data, statistics...) (14,3%)	Digital data management (big data, statistics) (53,6%)	Digital data management (big data, statistics) (56,8%)
	Digital data analysis (AI, ML ...) (13,4%)	Ability to think 3D (35,7%)	Ability to think 3D (27,3%)
Entrepreneurial	Learning through experience (60,2%)	Identify needs and challenging opportunities to create value (60,7%)	Identify needs and challenging opportunities to create value (68%)
	Working with others (46%)	Develop creative and purposeful ideas/solutions (55,4%)	Develop creative and purposeful ideas/solutions (58%)
	Motivation & Perseverance (44,2%)	Visualize future scenarios to help guide effort and action (51,8%)	Learn through experience (50%)
Green	Circular economy (18,8%)	Reuse/recycling AM materials and products (69,5%)	Reuse/recycling AM materials and products (70,5%)
	Life Cycle Analysis (LCA) (15,2%)	Life cycle analysis (LCA) (60,7%)	Life cycle analysis (LCA) (63,4%)
	Green awareness (13,4%)	Resource efficiency management (30,4%)	Resource efficiency management (44,3%)

Figura 2. Evoluția necesarului de competențe în AM

Figure 2. Evolution of Skills Needs in AM

de date, experți de nișă pentru procese și algoritmi etc.) și cerința de a recalifica personalul din procesele „convenționale” pentru a se adapta la Tehnologia AM.

4. Discuție

Pe baza constatărilor, experții AM aparținând Consiliului Industrial au confirmat că competențele digitale ar trebui abordate în Calificările AM. Unii experți au sugerat crearea unei noi calificări, cum ar fi inginer digital AM, special adaptată cerințelor de competențe digitale ale companiei; și, de asemenea, a propus ca aceste abilități digitale să fie încorporate în diferite calificări existente, inclusiv calificări de inginer AM, proiectant AM sau/și calificări de operator AM. În consecință, s-a încercat evaluarea și integrarea competențelor digitale folosind Metal AM Engineer for Powder Bed Fusion (PBF) ca studiu de caz. Mai multe detalii despre alinierea acestei calificări în Cadrul european de competență digitală pentru cetățeni (DigCOMP) [14] sunt prezentate în secțiunea următoare.

4.1 Abordarea necesarului de competențe digitale

Pentru a alinia Cadrul Sistemului de Calificare AM [15] cu DigComp [14], metodologia a corespuns cu descriptorii generici ai rezultatelor învățării și cu nivelurile EQF. Punctul de plecare a fost Cadrul Sis-

niche experts for processes and algorithms etc.) and the requirement to reskill individuals from "conventional" processes to adapt to AM technology.

4. Discussion

Based on the findings, AM experts belonging to the Industrial Council confirmed that digital skills should be addressed in the AM Qualifications. Some experts suggested the creation of a new qualification, such as an AM Digital Engineer, specifically tailored for company's digital skills requirements; and also proposed that these digital skills could be incorporated into various existing qualifications, including AM Engineer, AM Designer or / and AM Operator Qualifications. Consequently, an attempt was made to assess and integrate digital skills using the Metal AM Engineer for Powder Bed Fusion (PBF) as case study. More details about the alignment of this qualification with the European Digital Competence for Citizens Framework (DigCOMP) [14] is presented in the following section.

4.1 Tackling Digital Skills Needs

To align the AM Qualification System Framework [15] with DigComp [14], the methodology matched the Learning Outcomes generic descriptors and the EQF levels. The starting point was the AM Qualifi-

temului de Calificări AM [15], care este o descriere generică a calificărilor pentru domeniile AM. Acest cadru sectorial conține șase niveluri de competență asociate fiecărui nivel de calificare (de bază, elementar, independent, specializat, avansat și expert) și un descriptor general definit în termeni de cunoștințe, abilități, autonomie și responsabilitate.

O abordare metodologică a fost utilizată pentru a produce alinierea cadrului pentru Metal AM Process Engineer pentru PBF-LB. S-a solicitat sprijinul părților interesate din Consiliul Industrial pentru clasificarea relevanței ariilor de competență din DigComp [14]. Diferiții pași sunt prezentați în tabelul 1.

cations System Framework [15], which is a generic description of qualifications for the AM fields. This sectoral framework contains six levels of proficiency associated to each qualification level (Basic, Elementary, Independent, Specialized, Advanced and Expert) and a general descriptor defined in terms of knowledge, skills, autonomy, and responsibility. A methodological approach was utilized to produce the alignment of the framework for the Metal AM Process Engineer for PBF-LB. The support of stakeholders from the Industrial council was requested to classify the relevance of competence areas from DigComp [14]. The different steps are presented in table 1.

Tabelul 1. Pașii de urmat în această abordare metodologică [12]
Table 1. Different steps of the methodological approach followed [12]

Pasul /Step 1	Prezentați Consiliului Industrial contextul alinierii, cadrul DigComp [12] și profilul profesional și calificarea selectate. <i>Present the context of the alignment, the DigComp [12] framework and the selected Professional Profile and Qualification to the Industrial Council.</i>
Pasul /Step 2	Pentru Profilul și Calificarea Profesională selectate, se solicită Consiliului Industrial să clasifice domeniile de competență din DigComp [12] ca relevante sau nerelevante după ce le-a arătat abilitățile care sunt incluse în fiecare domeniu de competență. <i>For the selected Professional Profile and Qualification, ask the Industrial Council to classify the competence areas from DigComp [12] as relevant or not relevant after showing them the skills that are included in each competence area.</i>
Pasul/Step 3	Pentru competențele care au fost clasificate ca relevante, se solicită Consiliului Industrial să clasifice nivelul de competență al fiecărei competențe necesare, care sunt de bază, intermediar, avansat și înalt specializat. În acest moment, aptitudinile care se dovedesc a nu fi atât de relevante pentru profil pot fi excluse. <i>For the competences that were classified as relevant, ask the Industrial Council to classify the proficiency level of each required skill which are Foundation, Intermediate, Advanced and Highly Specialized. At this point, skills that are found to be not so relevant for the profile can be excluded.</i>
Pasul/Step 4	Consiliul de Calificare prin grupurile de lucru analizează rezultatele clasificării obținute și propune un nivel de competență pentru fiecare abilitate, susținându-l cu o justificare și subliniind cuvintele cheie dacă este util. În acest moment, abilitățile care nu sunt atât de relevante pentru profil pot fi excluse. Analiza Profilului Profesional se va face pe baza nivelului așteptat de cunoștințe și aptitudini pentru acel profil, și nu pe baza conținutului actual al calificării. <i>The Qualification Council through the working groups, analyse the classification results obtained and propose a proficiency level for each skill, supporting it with a justification and underlining keywords if useful. At this point, skills that are found not so relevant to the profile can be excluded. The analysis of the Professional Profile shall be made based on the expected level of knowledge and skills for that profile, and not based on the current content of the qualification.</i>
Pasul/Step 5	Se validează nivelul de competență propus pentru fiecare abilitate cu Consiliul Industrial (în timpul procesului de validare, nivelurile de competență sunt discutate și convenite, pe baza experienței părților interesate și a explicațiilor justificative furnizate în propunerea depusă spre validare). <i>Validate the proficiency level proposed for each skill with the industrial council (during the validation process, the proficiency levels are discussed and agreed, based on the stakeholder's experience and the supporting explanations provided in the proposal submitted for validation).</i>
Pasul/Step 6	Cu nivelurile de competență a competențelor definite și luând în considerare descrierea PP, se compară descriptorii nivelului de competență cu rezultatele învățării specifice calificării. <i>With the skills proficiency levels defined and considering the PP description, compare the competence level descriptors with the learning outcomes of the qualification.</i>
Pasul/Step 7	Pentru acele abilități care nu sunt acoperite de calificare, sau care nu sunt acoperite la nivelul de competență dorit, grupurile de lucru alocate ale Consiliului Calificării vor actualiza calificarea, fie prin adăugarea de noi rezultate ale învățării; fie prin ajustarea rezultatelor învățării existente; fie prin crearea de unități de competență suplimentare, forțând o abordare a învățării care va integra dezvoltarea acelor competențe digitale. <i>For those skills that are not covered by the qualification, or not covered to the desired proficiency level, the assigned working groups of the Qualification Council will update the qualification, either by adding new learning outcomes; adjusting existing learning outcomes; creating additional competence units; forcing a learning approach that will integrate the development of those digital skills.</i>
Pasul/Step 8	Se trimite spre aprobare Consiliului de Calificare. <i>Submit for approval by the Qualification Council.</i>

În timpul implementării acestei metodologii [12], a fost efectuată o analiză amănunțită între alinierea cadrului AM [15] definit în termeni de descriptori la nivel EQF pentru cunoștințe, abilități, autonomie și responsabilitate și alte cadre relevante, pentru a confirma aplicabilitatea acestuia, nivelul de integrare, valoare adăugată în ceea ce privește compatibilitatea și/sau atribuirea nivelului corespondent. În această etapă, acest proces de aliniere necesită implicarea unor experți educaționali de înaltă specializare, care sunt familiarizați cu cadrele și au deja experiența utilizării acestuia. Mai mult, este important de subliniat faptul că planul menționat mai sus are un domeniu general de aplicare și se adresează cetățenilor, în timp ce este nevoie de crearea de cadre alinate DigComp [14] pentru contextul specific AM, cu exemple practice specifice AM pentru a facilita interpretarea și identificarea celui mai adecvat nivel de competență asociat unui Profil Profesional.

5. Foaia de parcurs a strategiei de competențe

Lucrând la identificarea transformărilor cheie [17] care pot influența direct (și indirect) sectorul și competențele de fabricație aditivă, SAM a fost capabil să propună soluții concrete, strategii și activități fezabile care pot permite sectorului să se adapteze și să reducă potențialul impact negativ, contribuind astfel la creșterea domeniului AM european.

Foaia de parcurs pentru strategia de competențe [11] oferă îndrumarea generală pentru implementarea strategiei dezvoltate, care subliniază modul de abordare a nevoilor și provocărilor sectorului în evoluție pentru dezvoltarea competențelor de AM. Această foaie de parcurs a fost actualizată în diferite perioade (și anume, 2020 și 2023) pentru a reflecta caracteristicile dinamice ale sectorului și creșterea vitezei în care tehnologiile AM evoluează. Pentru a transmite în mod eficient interacțiunea dintre Gap Drivers identificați, obiectivele lor strategice echivalente și activitățile relevante, foaia de parcurs a fost structurată în felul următor:

- Provocări în fabricația aditivă (Gap Drivers) care au rezultat din consultarea continuă cu profesioniștii din sector și reprezentanții industriei ilustrând obstacolele principale în calea dezvoltării sectorului european de AM.
- Obiective strategice care reprezintă o abordare la nivel macro al unei provocări specifice. Obiectivele au fost definite ca declarații de scop, care

During the implementation of this methodology [12], a thorough analysis was made between the alignment of the AM framework [15] defined in terms of EQF level descriptors for knowledge, skills, autonomy and responsibility and other relevant frameworks, to confirm its applicability, integration level, added value in terms of compatibility and/or correspondent level assignment. At this stage, this alignment process requires the involvement of highly specialized educational experts that are familiar with the frameworks and have already the experience of its utilization. Moreover, it is important to underline that the above-mentioned framework has a general scope and address citizens, while there is a need for creating DigComp [14] aligned frameworks for the specific AM context, with specific AM practical examples to facilitate the interpretation and identification of the most adequate proficiency level associated to a Professional Profile.

5. Skills Strategy Roadmap

By working towards identifying key transformations [17] that can direct (and indirectly) impact the Additive Manufacturing sector and skills, SAM has been able to put forward concrete solutions, strategies and feasible activities that can allow the sector to adapt and reduce the potential negative impact, thereby contributing to the growth of the European AM field.

The Skills Strategy Roadmap [11] provides the overall guidance for implementing the strategy developed, which is outlining how to address the evolving sector needs and challenges towards AM skills development.

This roadmap has been updated in different periods (namely, 2020 and 2023) to reflect the dynamic features of the sector and increasing speed in which AM technologies are evolving.

To effectively convey the interaction between the identified Gap Drivers, their equivalent strategic objectives and relevant activities, the have roadmap was structured in the following way:

- Challenges in Additive Manufacturing (Gap Drivers), which have resulted from the continuous consultation with sector professionals and industry representatives, as illustrating the foremost obstacles to the development of the European AM sector.
- Strategic objectives, which represent a macro-level approach to a specific challenge. Objec-

întemeiază viziunea generală a foii de parcurs pentru competențe sectoriale și pași măsurabili pentru a depăși provocările cu care se confruntă sectorul AM.

- Acțiuni, soluții concrete și fezabile care abordează fiecare decalaj. Pentru ca strategia să reușească, au fost luate în considerare acțiuni specifice de sprijin împreună cu activități care contribuie la maximizarea succesului strategiei.
- Impactul reprezintă gradul de succes la contracararea cu succes a fiecărui factor de decalaj.
- Recomandări formulate ca propuneri, bune practici și acțiuni de orientare pentru implementarea ulterioară de către diferitele grupuri țintă, pentru a lua cel mai bun curs de acțiuni.
- Grupurile țintă corespund celor patru grupuri principale de părți interesate (de exemplu, educație, industrie, cetățeni/lucrători ai UE, legiuitori și factori de decizie politică) responsabile pentru contribuția directă sau indirectă și/sau pentru a beneficia de recomandări.

Foia de parcurs se bazează pe șapte obiective strategice definite pentru a face față principalilor factori de decalaj legați de dezvoltarea competențelor AM, care sunt prezentate în acest studiu și anume:

- Nepotrivire între nevoile industriei și ofertele educaționale/de formare
- Concurență pentru lucrători calificați în AM și lipsa de cunoștințe despre AM din partea lucrătorilor/studentilor existenți
- Tehnologie și industrie cu evoluție rapidă.

La consolidarea colaborării dintre industrie și organizațiile de formare, SAM a recomandat ca diferitele grupuri țintă să urmeze trei recomandări (tabelul 2):

tives were defined as purpose statements, grounding the overall sector skills roadmap vision and measurable steps to overcome the challenges faced by the AM sector.

- Actions, concrete and feasible solutions addressing each gap. For the strategy to succeed, specific Supporting Actions were considered together with support activities helping to maximize the success of the strategy.
- Impact represents the degree of success at countering each gap driver successfully.
- Recommendations formulated as proposals, best practices, and guidance actions for further implementation by the different target groups, to take the best course of actions.
- Target groups, correspond to four main groups of stakeholders (e.g., Education, Industry, EU citizens/workers, legislators and policy makers) responsible for directly or indirectly contributing and/or benefiting to the recommendations.

The roadmap is grounded in seven strategic objectives defined to face up the main gap drivers related to the development of AM skills, which are presented in this study namely:

- Mismatch between industry needs and educational/training offers
- Competition for skilled AM workers and lack of knowledge of AM from existing workers/students
- Fast evolving technology and industry

To strengthen the collaboration between industry and training organizations, SAM recommended that the different target groups follow three recommendations (table 2):

Tabelul 2. Recomandări și acțiuni legate de factorul decalajului 1
Table 2. Recommendation and actions related to gap driver 1

RECOMANDARE RECOMMENDATION	GRUP ȚINTĂ TARGET GROUP	EXEMPLE DE ACȚIUNI VIITOARE EXAMPLES OF FUTURE ACTIONS
Se va îmbunătăți alinierea nevoilor industriei cu ofertele de formare <i>Enhance the alignment between the industry needs and training offers</i>		• Prin continuarea implementării metodologiei de prognoză pentru sectorul AM <i>By continuing the implementation of the forecast methodology for the AM sector</i> • Prin mobilizarea angajamentului organizațiilor industriale în identificarea competențelor și validarea programelor de formare, prin Consiliile industriale ale Observatorului AM <i>By mobilizing the engagement of industrial organisations in the identification of skills and validation of training programmes, through the AM Observatory Industrial Councils</i>
Se va utiliza Observatorul European AM pentru a actualiza foaia de parcurs comună a strategiei de competențe AM pentru		• Prin implicarea unor scenarii de previziune cu organizațiile industriale <i>By implementing foresight scenarios auscultation with industrial experts</i>

Tabelul 2. Recomandări și acțiuni legate de factorul decalajului 1**Table 2.** Recommendation and actions related to gap driver 1

RECOMANDARE RECOMMENDATION	GRUP ȚINTĂ TARGET GROUP	EXEMPLE DE ACȚIUNI VIITOARE EXAMPLES OF FUTURE ACTIONS
2030 -2040 <i>Use the European AM Observatory to update the joint AM Skills Strategy Roadmap for 2030 -2040</i>		• Prin utilizarea literaturii de specialitate ca instrument și metodă de previziune <i>By addressing the literature review as a method for forecast</i> • Prin promovarea atelierelor de previzionare organizate împreună cu industria <i>By promoting forecast workshops with industrial organisations</i> • Prin actualizarea datelor Observatorului privind nevoile de competențe <i>By updating the Observatory data on Skills needs</i>
Asigurarea legăturii dintre activitățile de formare și standardizare (CEN, ISO) <i>Ensure the link between training and standardization activities (CEN, ISO)</i>		• Prin identificarea standardelor relevante care au impact asupra instruirii AM <i>By identifying the relevant standards impacting the AM training</i> • Prin lucrul și aprobarea la elaborarea standardelor de calificare a personalului AM <i>By working and approving on the development of standards for the Qualification of AM personnel</i>

La abordarea lipsei de personal AM la nivel european, se recomandă creșterea numărului de personal instruit AM prin acțiuni de recalificare și perfecționare.

To tackle the lack of AM Personnel at European level, it is recommended to increase the number of AM trained personnel through re-skilling and upskilling actions.

Tabelul 3. Recomandări și acțiuni legate de decalajul 2**Table 3.** Recommendation and actions related to gap driver 2

RECOMANDARE RECOMMENDATION	GRUP ȚINTĂ TARGET GROUP	EXEMPLE DE ACȚIUNI VIITOARE EXAMPLES OF FUTURE ACTIONS
Continuarea implementării Sistemului internațional de calificare AM (IAMQS) <i>Continue the implementation of the International AM Qualification System (IAMQS)</i>		• Prin continuarea creșterii rețelei de AM ANB-uri/ATB-uri <i>By continuing to increase the network of AM ANBs/ATBs</i> • Prin extinderea ofertelor de formare AM ATB <i>By expanding AM ATBs training offers</i> • Continuând dezvoltarea/actualizarea calificărilor AM bazate pe o abordare modulară <i>By continuing to develop/update AM qualifications based on a modular approach</i> • Prin afișarea catalogului de formare AM în Observatorul European AM <i>By displaying the AM training catalogue in the European AM Observatory</i>
Asigurați calificarea personalului AM prin diferite căi de formare <i>Ensure the qualification of AM personnel through different training pathways</i>		• Prin asigurarea accesului la educația și formarea profesională relevantă, la învățământul superior și la recunoașterea învățării anterioare. <i>By ensuring access to relevant vocational education and training, higher education and recognition of prior learning.</i> • Prin promovarea căilor de perfecționare și recalificare <i>By promoting up-skilling and reskilling pathways</i> • Prin promovarea abordării învățării pe tot parcursul vieții a dezvoltării competențelor AM <i>By promoting lifelong learning approach to AM skills development</i>

Tabelul 3. Recomandări și acțiuni legate de decalajul 2
Table 3. Recommendation and actions related to gap driver 2

RECOMANDARE RECOMMENDATION	GRUP ȚINTĂ TARGET GROUP	EXEMPLE DE ACȚIUNI VIITOARE EXAMPLES OF FUTURE ACTIONS
Promovarea dezvoltării conturilor individuale de învățare <i>Promote the development of individual learning accounts</i>		- Prin stabilirea de protocoale de cooperare reciprocă între AM ATB și furnizorii de formare pentru a oferi o cale de calificare completă (MoU- Anexa 1) <i>By establishing mutual cooperation protocols between AM ATBs & training providers to deliver a full qualification path (MoU- Annex 1)</i> - Prin acordarea de micro-acreditări (de exemplu, Record of Achievement) pentru fiecare unitate de rezultate ale învățării finalizată <i>By awarding micro-credentials (e.g. Record of Achievement) for each completed unit of learning outcomes</i>
Consolidarea implementării mecanismelor de angajare în sectorul AM <i>Strengthen the implementation of employability mechanisms in the AM sector</i>		- Prin continuarea activității Studenților, Stagiarilor și Căutătorilor de locuri de muncă LINKEDIN în grupul AM <i>By continuing the activity of the LINKEDIN Students, Trainees and Job seekers in AM group</i> - Prin partajarea ofertelor de recrutare AM în Observatorul European AM <i>By sharing AM recruitment offers in the European AM Observatory</i>
Se utilizează IAMQS ca un cadru pentru recrutarea profesioniștilor AM <i>Use IAMQS as a framework for recruiting AM professionals</i>		- Prin informarea departamentelor de HR și agențiilor de recrutare despre diferitele niveluri de specializare și ocupații în AM <i>By informing HR departments and recruitment agencies about the different levels of specialization and occupations in AM</i> - Prin integrarea descrierii IAMQS în anunțurile de angajare <i>By integrating IAMQS description in job adverts</i>
Se partajează oportunități de finanțare pentru cursanți <i>Share funding opportunities for learners</i>		Prin furnizarea de informații despre finanțare/programe privind Observatorul European AM <i>By providing funding /programs information on the European AM Observatory</i>

Recomandările prezentate pentru diferite grupuri țintă sunt (tabelul 3):

Pentru a fi pe calea evoluțiilor, forța de muncă trebuie să fie în permanență informată cu privire la

The recommendations presented for different target groups are (table 3):

To stay on track with developments, the workforce must be constantly alert as to what new develop-

Tabelul 4. Recomandări și acțiuni legate de factorul decalajului 5
Table 4. Recommendation and actions related to gap driver 5

RECOMANDARE RECOMMENDATION	GRUP ȚINTĂ TARGET GROUP	EXEMPLE DE ACȚIUNI VIITOARE EXAMPLES OF FUTURE ACTIONS
Continuați să monitorizați tendințele tehnologice AM <i>Continue monitoring the AM technological trends</i>		- Prin identificarea noilor tendințe tehnologice AM <i>By identifying new AM technological trends</i> - Prin continuarea implementării previziunii și anticipării competențelor în AM <i>By continuing the implementation of the forecast and skills anticipation in AM</i>
Aplicați metodologia SAM pentru revizuirea și crearea Profilurilor profesionale,		- Prin identificarea originii decalajelor de competențe <i>By identifying the skills gaps origin</i> - Făcând o analiză comparativă bazată pe asemănări și diferențe cu

Tabelul 4. Recomandări și acțiuni legate de factorul decalajului 5
Table 4. Recommendation and actions related to gap driver 5

RECOMANDARE RECOMMENDATION	GRUP ȚINTĂ TARGET GROUP	EXEMPLE DE ACȚIUNI VIITOARE EXAMPLES OF FUTURE ACTIONS
calificărilor și unităților de competență AM <i>Apply the SAM methodology for revising and creating AM Professional Profiles, Qualifications and Competence Units</i>		profilurile/calificările/UC-urile profesionale existente <i>By making a comparative analysis based on similarities and differences with existing Professional profiles /qualifications /CUs</i> - Desfășurarea de sesiuni de lucru cu experți care revizuiesc profilurile și calificările profesionale AM <i>Conducting working sessions with experts reviewing AM Professional Profiles and Qualifications</i> - Prin dezvoltarea de noi calificări și/sau unități de rezultate ale învățării bazate pe evoluțiile tehnologice AM <i>By developing new qualifications and/or units of learning outcomes based on AM technological developments</i>
Promovați dezvoltarea profesională continuă a forței de muncă din AM din Europa <i>Promote the continuous professional development of the AM European workforce</i>		Prin implementarea de cursuri, ateliere și alte inițiative educaționale care vizează forța de muncă AM actuală și viitoare <i>By implementing courses, workshops and other educational initiatives targeting current and future AM workforce</i>
Utilizați cele 3 scenarii de prognoză pentru identificarea și anticiparea nevoilor de competențe în fabricarea avansată <i>Use the 3 forecast scenarios for identifying & anticipating skills needs in Advanced Manufacturing</i>		Evaluarea nevoilor de competențe pentru cazuri reale (mai puțin de 1 an), pe termen scurt (mai puțin de 3 ani) și scenarii de previziune (obligatoriu în 10 ani) <i>Assessing skills needs for real case (less than 1 year), short term (less than 3 years) and foresight scenarios (required in 10 years)</i>

noile dezvoltări disponibile pe piață.

Pentru a actualiza constant forța de muncă AM europeană, se recomandă ca diferitele grupuri țintă să urmeze trei recomandări (tabelul 4):

Activitatea emblematică a foii de parcurs a strategiei de competențe este implementarea Sistemului Internațional de Calificare AM (IAMQS) [13] printr-o rețea de furnizori de formare, susținută de o conexiune puternică între o gamă largă de sectoare industriale, care aplică deja AM în cadrul activității sau caută să o facă.

Observatorul European AM joacă un rol-cheie în cadrul strategiei privind competențele, ca platformă comună pentru a face legătura între educație și industrie. Este organismul responsabil cu implementarea metodologiei de prognoză, precum și cu gestionarea implementării IAMQS [13] la nivel transnațional, național și regional, cu sprijinul experților în AM și al părților interesate aparținând educației, indus-

ments are available on the market.

To constantly update the AM European workforce, it is recommended that the different target groups follow three recommendations (table 4):

The flagship activity of the Skills Strategy Roadmap is the deployment of the International AM Qualification System (IAMQS) [13] through a network of training providers, sustained by a strong connection between a wide range of industrial sectors, which are already applying AM in their activity or seek to do it.

The European AM Observatory plays a key role within the skills strategy, as a common platform for bridging education and industry. It is the body responsible for implementing the forecast methodology, as well as managing the IAMQS [13] implementation at transnational, national and regional levels with the support of experts in AM and stakeholders belonging to education, industry, civil society and government in Europe. To perform this manage-

triei, societății civile și guvernului din Europa. Pentru realizarea acestui management a fost stabilită o structură și un modus operandi specific, precum și mecanisme care să asigure implementarea acțiunilor de îmbunătățire continuă a acestuia.

În general, structura observatorului este compusă din două consilii: unul pentru Calificare (International AM Qualification Council – IAMQC) și unul pentru Industrie (International AM Industry Council – IAMIC). Consiliul Calificării are responsabilitatea de a decide cu privire la revizuirea Calificării AM și numirea grupurilor de lucru pentru educație, definind regulile și procedurile pentru promovarea implementării corecte a calificărilor și formării respective la nivel european. Pe de altă parte, consiliul industrial are responsabilitatea de a identifica noi cerințe industriale în materie de formare, educație, calificare și certificare pe baza datelor de piață și de a stabili priorități pentru dezvoltarea de noi produse conform scenariilor din calendarele metodologice. Activitatea Observatorului este un model de încurajare a colaborării strânse între companii, organismele de standardizare și furnizorii de formare în diferite etape pentru a colecta intrări din diferite surse și a asigura calitatea și transparența.

6. Concluzie

Abordarea prezentată în acest studiu are valoarea adăugată de a conecta educația cu industria, cartografierea inovațiilor tehnologice și a cererii de competențe necesare, prin furnizarea unui sistem de calificare eficient, susținut de standarde de asigurare a calității și aliniat la cerințele industriale. Trei exemple concrete de inovare sunt legate de observatorul AM, implementarea unui cadru de competențe complet nou pentru comunitatea AM la nivel internațional recunoscut de industrie și printr-o cooperare comună a organizațiilor de formare aparținând Educației și Formării Profesionale (VET), Învățământului Superior (HE) și Centrele de Cercetare și Dezvoltare (RTO).

O furnizare reușită a instruirii AM a fost asigurată prin implementarea IAMQS [13] printr-o rețea consolidată de centre de formare care respectă Sistemul de Asigurare a Calității EWF [13]. Procesul de implementare a urmat o abordare de sus în jos, adică a fost definit un curriculum transnațional pentru AM, abordat prin ghiduri de formare armonizate, iar apoi preluat la nivel național de fiecare centru de formare, sub supravegherea organizației reprezenta-

ment, a specific structure and modus operandi was established, as well as mechanisms to ensure the implementation of continuous improvement actions to it.

Overall, the structure of the observatory is composed of two councils: one for Qualification (International AM Qualification Council – IAMQC) and one for Industry (International AM Industry Council – IAMIC). The Qualification Council has the responsibility of deciding on the revision of the AM Qualification and nomination of the working groups for education, defining the rules and procedures to promote the correct implementation of the respective qualifications and training at European level. By other hand, the industrial council has the responsibility of identifying new industrial requirements in terms of training, education, qualification and certification based on market data, and establishing priorities for the development of new products according to the scenarios from the methodology timeframes.

The activity of the Observatory is a model to encourage the close collaboration between standardization bodies, companies and training providers at different stages in order to collect inputs from different sources and ensuring quality and transparency.

6. Conclusion

The approach presented in this study has the added value of connecting education with the industry, mapping technological innovations and necessary skills demand, by delivering an effective qualification system, underpinned by quality assurance standards and aligned with industrial requirements. Three concrete innovation examples are related to the AM observatory, the implementation of a completely new skills framework for the AM community at international level recognised by industry, and through a joint cooperation of training organisations belonging to Vocational Education and Training (VET), Higher Education (HE) and Research and Development Centres (RTOs).

A successful delivery of AM training was ensured by the implementation of the IAMQS [13] through a consolidated network of training centres complying with the EWF Quality Assurance System [13]. The implementation process followed a top-down approach, meaning a transnational curriculum for AM was defined, addressed by harmonised training guidelines, and then up taken at the national level by each training centre, under supervision of the

tive în domeniul AM. Un bun exemplu de cooperare a fost atins între instituțiile de învățământ superior și cele de educare și formare profesională care, prin intermediul unui acord de cooperare reciprocă, au organizat primul curs european pentru coordonatorii AM pentru metale, mobilizându-și expertiza și resursele pentru a califica primul grup de coordonatori AM pentru industrie, în urma căruia au fost acordate 38 de diplome. În total, 930 de persoane au fost implicate și au beneficiat de cursuri de formare SAM /IAMQS. Strategia de competențe AM prezentată a realizat progrese substanțiale în stabilirea unei baze solide pentru colaborarea durabilă în dezvoltarea competențelor în sectorul AM, punând astfel bazele pentru menținerea sa continuă. Aceste conexiuni bine stabilite între părțile interesate inițiate în SAM [9] vor servi ca un cadru durabil pentru cooperarea continuă, asigurând fluxul fără întreruperi de expertiză, bune practici și resurse cu mult dincolo de încheierea oficială a proiectului. Angajamentul proactiv cu asociațiile industriale relevante, instituțiile de învățământ și organisme guvernamentale pe parcursul ciclului de viață al proiectului a creat căi promițătoare pentru dezvoltarea parteneriatelor care se extind cu mult dincolo de cronologia inițială. În special, observatorul european AM și/sau implementarea pe scară largă a IAMQS reprezintă realizări deosebite de puternice, poziționate pentru a conduce o transformare susținută și pozitivă în industrie. Aceste activități vor fi urmărite îndeaproape de Platforma AM[16], pentru a informa și implica membrii săi, precum și pentru a-și actualiza foaia de parcurs pentru implementarea industrială completă a AM în ceea ce privește eventualele lacune ce vor fi identificate. Studiul prezentat poate fi transferat cu ușurință către tehnologiile următoare într-un stadiu de dezvoltare care necesită un set de abilități noi sau actualizat ale viitorilor lor lucrători.

Bibliografie / References

- [1] Kamara, S. and Faggiani, K.S., 2021. Fundamentals of Additive Manufacturing for the Practitioner. John Wiley & Sons, 153-165. <https://doi.org/10.1002/9781119750529.ch9>
- [2] Baumer, M. and Holweg, M., 2019. On the economics of additive manufacturing: Experimental findings. *Journal of Operations Management*, 65(8), pp.794-809.
- [3] Haldi, J. and Whitcomb, D., 1967. Economies of scale in industrial plants. *Journal of Political Economy*, 75(4, Part 1), pp.373-385.
- [4] Damgaard, S. (2020) Metal additive manufacturing is on the rise; how and where do you find the right people? 3D Printing Media Network. Available at: www.3dprintingmedia.network/metal-additive-manufacturing-alexander-daniels-global/ [Accessed: October 12th, 2020].
- [5] Toyserkani E., Sarker D., Ibadode O.O., Liravi F., Russo P., Taherkhani K. (2021) Additive manufacturing process classification, applications, trends, opportunities, and challenges. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119210801.ch1>
- [6] Velu R., Tulasi R., Ramachandran M.K. (2021) Environmental impact, challenges for industrial applications and future perspectives of additive manufacturing. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527835478.ch24>

representative organisation in the AM field. A good example of cooperation was reached between VET and HE institutions, which through mutual cooperation agreement, delivered the 1st European Course for Metal AM Coordinators, mobilizing their expertise and resources to qualify the first group of AM Coordinators for Industry, from which resulted the award of 38 Diplomas.

In the overall 930 were involved and benefit in SAM /IAMQS training courses.

The AM skills strategy presented has achieved substantial progress in establishing a robust foundation for sustainable collaboration in skills development within the AM sector, thus laying the groundwork for its continued maintenance. These well-forged connections between stakeholders initiated in SAM [9] will serve as an enduring framework for ongoing cooperation, ensuring the seamless flow of expertise, best practices, and resources well beyond the project's formal conclusion.

The proactive engagement with pertinent industry associations, educational institutions, and governmental bodies throughout the project's lifecycle has created promising pathways for nurturing partnerships that extend far beyond the initial timeline. Notably, the European AM observatory and/or the widespread implementation of IAMQS stands as particularly potent accomplishments, positioned to steer a sustained and positive transformation within the industry.

These activities will be closely followed by the AM-Platform[16], in order to inform and involve its members, as well as update its roadmap for the full industrial implementation of AM with regards to possible identified future gaps. The study presented can easily be transferred to future technologies at a development stage that demands new or updated skills-set of their future workers.

- [7] Araújo, N., Pacheco, V. & Costa, L., (2021). Smart additive manufacturing: The path to the digital value chain. *Technologies*, 9(4), p.88., 9, 88. <https://doi.org/10.3390/technologies9040088>
- [8] Butt, J., (2020). Exploring the interrelationship between additive manufacturing and Industry 4.0. *Designs*, 4(2), p.13. <https://doi.org/10.3390/designs4020013>
- [9] Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing (SAM). <https://www.skills4am.eu/> (Accessed: November 7th, 2023).
- [10] Almeida, A., Assunção, E., Lopez, A.B. (2023). 'EU funded projects for qualification and standards requirements in additive manufacturing.' In: Pei, E., et al. *Handbook of Additive Manufacturing*. Cham: Springer International Publishing. 857-866 https://doi.org/10.1007/978-3-031-20752-5_50
- [11] European Welding Federation, Brunel University London, Instituto de Soldadura e Qualidade, IDONIAL Technology Center, IK4-Lortek, Irish Manufacturing Research (IMR), European Powder Metallurgy Association, European Association of the Machine Tool Industries, Laboratory for Manufacturing Systems & Automation (LMS), Laser Zentrum Hannover, École Centrale de Nantes, Favorite Answer, Materialise (Belgium), & Almeida, A. (2023). *Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing (SAM) - Skills Strategy Roadmap 2023*. Available at: https://www.skills4am.eu/documents/Work-Packages/D4.10%20Skills%20Strategy%20Roadmap%202023_Booklet.pdf. [Accessed 13th November 2023]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10223557>
- [12] École Centrale de Nantes, Instituto de Soldadura e Qualidade, European Welding Federation, & Almeida, A. (2022). *Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing (SAM) - Methodology for designing and reviewing professional profiles and skills development in Additive Manufacturing*. Available at: *Sector Skills Strategy in Additive Manufacturing (SAM) - Methodology for designing and reviewing professional profiles and skills development in Additive Manufacturing (zenodo.org)*. [Accessed 29th November 2023]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10223622>
- [13] EWF Education, Training and Qualification System for Additive Manufacturing Personnel. Available at: <https://www.ewf.be/qualification/iamqs.aspx> [Accessed: November 7th, 2023].
- [14] DIGCOMP (2018). https://joint-research-centre.ec.europa.eu/digcomp_en (accessed: November 7th, 2023).
- [15] EWF (2023). EWF Qualifications System Framework. Available at: <https://www.ewf.be/news/skills-agenda1.aspx> [Accessed: November 7th November 2023].
- [16] AM Platform. <https://www.rm-platform.com/> accessed: November 7th, 2023).
- [17] Combemale, C., Whitefoot, K.S., Ales, L. and Fuchs, E.R., 2019, July. Not All Technological Change Is Equal: Disentangling Labor Demand Effects of Simultaneous Changes. In *Academy of Management Proceedings* (Vol. 2019, No. 1, p. 10715). Briarcliff Manor, NY 10510: Academy of Management.

Pentru citare:

Almeida, A, Lopez, A.B, Bola, R., Canaslan, B., Afonso, R.M, *Forecasting Skills for Additive Manufacturing Technologies towards Industrial Implementation, Sudura, nr. 2 (2024), year XXXIV, 25-41*



Calendarul manifestărilor științifice în domeniul sudării 2024

12-14.06.2024	Simpozionul Internațional AROEND	Mamaia România	www.aroend.ro
07-12.07.2024	A 77-a Adunare Anuală și Conferința Internațională a IIW	Rodos Grecia	www.iiw2024.com
02-05.10.2024	Conference WELDING 2024	Vrnjacka Banja Serbia	duzs.bbn.co.rs
17-18.10.2024	Conferința anuală a coordonatorilor sudării	Râmnicu Vâlcea România	www.asr.ro



Securitatea operatorilor și a mediului în prim-plan: noile soluții sustenabile de sudare și acoperire de la Castolin Eutectic

Managementul eficient al uzării și protecția echipamentelor sunt vitale pentru buna funcționare a proceselor industriale, dar sănătatea și siguranța operatorilor au prioritate. În acest context dinamic, echipa de cercetare-dezvoltare (R&D) de la Castolin Eutectic se dedică constant inovării în soluțiile de acoperire și sudare axate pe protecția operatorilor și a mediului înconjurător.

EnDOtec SafeHard 700: Sârma pentru sudare fără Cr și Ni

În 2024, Castolin Eutectic a extins portofoliul de produse fără crom și nichel, lansând sârma pentru sudare EnDOtec SafeHard 700. Acest aliaj inovator, care plasează siguranța operatorului și protecția mediului ca prioritate absolută, se remarcă prin emisiile minime de fum și amprenta redusă de CO₂. Expunerea prelungită la fumul emis în procesele de sudare poate cauza multe boli profesionale, precum „plămânul sudorului” (o afecțiune cauzată de depunerile de metal în plămâni) sau astmul profesional. Gama de sârme de sudare SafeHard 700 respectă cele mai stricte norme europene în ceea ce privește expunerea profesională la fumul emis în procesele de sudare și nu prezintă deloc vapori de crom hexavalent (Cr VI), asemenea aliajelor tradiționale. Cromul hexavalent din fumul emis la sudare (un amestec de nano- și microparticule solide și gaze care conțin crom în starea de oxidare +6) este un compus toxic și periculos pentru sănătatea umană, fiind asociat cu cancerul pulmonar atunci când este inhalat. Chiar dacă riscul de vapori de Cr VI este zero pentru noul SafeHard 700, Castolin Eutectic recomandă folosirea echipamentului de protecție individuală și a aparatelor de extracție de fum în ateliere.

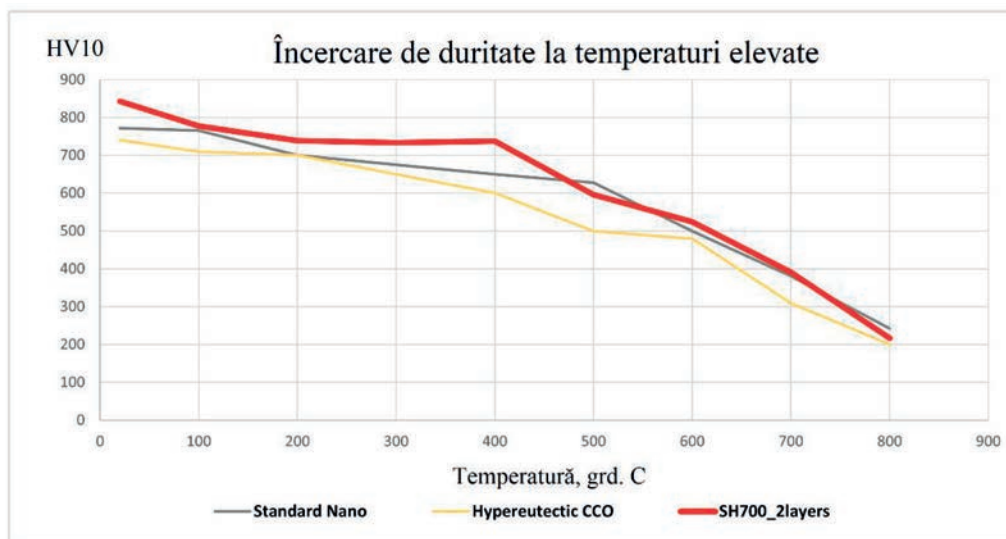


Figura 1. Caracteristica de duritate a metalului depus cu materialul de adaos EnDOtec SafeHard 700

Cu o rezistență excepțională la impact și abraziune, metalul depus cu sârma EnDOtec SafeHard 700 își păstrează caracteristicile mecanice chiar și la temperaturi extreme, asigurând protecție și fiabilitate în exploatare (57 HRC la 600°C și 41 HRC la 700°C). Performanțele superioare ale acestor sârme, la sudarea în orice poziție, inclusiv cea vertical-ascendentă, le recomandă pentru o gamă variată de aplicații industriale. De la mine și cariere până la construcții civile și eliminarea deșeurilor, EnDOtec SafeHard 700 asigură protecție și durabilitate în cele mai exigente medii industriale.



Figura 2. Echipamente de foraj recondiționat prin sudare cu EnDOTec SafeHard 700

EnDOTec 611X: Eficiență și fiabilitate Premium în procesele de sudare

EnDOTec 611X este un alt produs de referință fabricat de Castolin Eutectic care elimină Cromul din compoziție, adaptat pentru procesele automatizate și robotizate de sudare. Această sârmă oferă o rezistență excepțională la uzura prin abraziune și coroziune, ideală pentru aplicații de întreținere și reparații în diverse domenii industriale precum petrochimia, industria auto sau industria siderurgică. Acest aliaj Premium permite utilizarea unor puteri de topire mai mari, rate de depunere mai ridicate și, în consecință, o sudură de calitate care menține caracteristicile ridicate ale materialului sârmei și la nivelul metalului depus. Potrivit pentru o gamă largă de aplicații de acoperire, EnDOTec 611X poate fi folosit pentru încărcarea de protecție a capetelor active ale utilajelor de excavat, mixerelor de asfalt, ventilatoarelor, stabilizatoarelor din industria petrolieră sau șuruburilor.

Gama de pulberi SafeCoat: Soluții ecologice pentru acoperiri industriale

Produsele din gama SafeCoat reprezintă o altă etapă importantă în evoluția materialelor de acoperire. Elaborate special pentru a oferi soluții ecologice și sigure, aceste pulberi elimină din compoziție substanțe riscante precum nichelul, care pot produce iritații sau probleme respiratorii. Nichelul este clasificat de către Agenția Internațională pentru Cercetare în Domeniul Cancerului (IARC) drept un carcinogen încadrabil în grupa 1 de risc oncologic, ceea ce înseamnă că există dovezi suficiente că expunerea la nichel este cancerigenă pentru oameni, prezentând un risc crescut de cancer pulmonar și nazal. Gama de pulberi SafeCoat, pe bază de Fe, a fost dezvoltată special pentru a proteja operatorul și mediul înconjurător. Ajuns în sursele de apă prin deversări industriale, scurgeri de la mine și eroziuni ale solurilor contaminate, nichelul poate fi toxic pentru organismele acvatice, afectând peștii, moluștele și alte vietăți acvatice. Nivelul de toxicitate depinde de forma chimică a nichelului și de concentrația acestuia într-o compoziție chimică. Preocupați de dezvoltarea durabilă, Castolin Eutectic promovează utilizarea materialelor alternative și a practicilor industriale mai puțin poluante prin programe R&D de eliminare sau reducere a utilizării nichelului pe scară largă.

Tehnicile avansate de sudare, precum sudarea cu arc de plasmă (PTA) și placarea cu laser, au facilitat introducerea pulberilor metalice pe bază de fier în industrie. Aceste



Figura 3. Caracteristica de duritate a metalului depus cu materialul de adaos EnDOTec SafeHard 700

tehnici se remarcă prin utilizarea unor temperaturi de proces ridicate, care elimină necesitatea proprietăților

de auto-fluxare ale pulberilor cu conținut semnificativ de nichel. Eliminarea nichelului din compoziție aduce, ca beneficiu auxiliar, costuri de fabricație mai mici și stabilizarea prețurilor la valori reduse, nichelul fiind un metal scump care fluctuează. Utilizate cu preponderență pentru acoperiri care necesită rezistență la temperaturi ridicate și medii corozive, pulberile din gama SafeCoat pe bază de fier sunt ideale pentru utilizarea în industria auto și construcții. Oferind o rezistență îmbunătățită împotriva uzării prin abraziune și presiunii, aceste pulberi sunt ideale pentru repararea uneltelor din fontă, recondiționarea organelor de mașini și placarea marginilor uneltelor pentru matrițare prin injecție. Depunerile din această gamă de aliaje au duritate medie spre înaltă, care variază de la 40 HRC la 55 HRC. Acestea oferă o rezistență medie spre înaltă împotriva uzării prin abraziune și o bună tenacitate la temperaturi de până la 450°C. Acoperirile realizate cu EuTroloy 16039, 16045, 16050 sunt ușor de prelucrat mecanic, pentru acoperirile din EuTroLoy 16056 trebuind însă să fie utilizate unelte

confeționate din materiale cu durități mai mari (>60 HRC). Datorită tenacității lor ridicate, aliajele din această gamă posedă o susceptibilitate redusă la fisurare și nu există o limită pentru numărul de treceri. Din acest ultim punct de vedere, recomandarea este să se utilizeze un număr de minim 3 straturi depuse, asigurându-se astfel controlarea nivelului diluției cu metalul de bază.

Aplicații industriale și beneficii sustenabile

Produsele dezvoltate de Castolin Eutectic au un impact semnificativ în diverse sectoare industriale, contribuind la extinderea duratei de viață a echipamentelor și îmbunătățirea eficienței operaționale. De la minerit și construcții până la gestionarea deșeurilor, tehnologiile avansate de sudare și acoperire oferă rezistență și durabilitate, marcând un pas semnificativ în direcția sustenabilității industriei moderne. www.castolin.com



ASOCIAȚIA INFORMEAZĂ

Personale

Asociația de Sudură din România transmite felicitări membrilor cu ocazia împlinirii vârstei de:

- 65 ani: - Domnului **Dumitru Gogu** (București)
 - Domnului **Florea Sandu** (Pitești)
 - Domnului **Ovidiu Vîlceanu** (București)

- 60 ani: - Domnului **Ionel Ciupe** (Arad)
 - Domnului **Iosif Drohobeczky** (Cluj Napoca)
 - Domnului **Lucian Tudor Tonca** (București)



Asociația de Sudură din România îl felicită pe domnul ing. Dumitru Gogu, director general al societății Weld-cons SRL, cu ocazia împlinirii vârstei de 65 ani.

Domnul ing. Dumitru Gogu este de mulți ani un membru activ al ASR fiind membru în Consiliul Director al ASR și Președinte al Sucursalei ASR București.




ASR

**CONFERINȚA ANUALĂ
A COORDONATORILOR
SUDĂRII**

17-18 octombrie 2024 • Râmnicu Vâlcea