

TENDINȚE ÎN TEHNOLOGIE ȘI INSTRUIRE TRENDS IN TECHNOLOGY AND TRAINING

Sustenabilitatea sistemelor de sudare

Sustainability of welding systems

Ionel-Dănuț Savu^{1*}, Ines Ascenso Pires², Damjan Klobcar³, Anca Stan (Cosma)⁴, Arianne-Maria Savu⁵,
Lisa-Maria Putz-Egger⁶, Dorin Stan⁷, Daniel-Cătălin Motounu⁸

¹Universitatea din Craiova, România

²Universidade de Lisboa, Portugal

³Univerza v Ljubljani

⁴Universitatea de Medicină și Farmacie din Craiova, Romania, PhD Student

⁵Fachhochschule Oberösterreich, Research Centre Steyr Logistikum, Austria

⁶Fachhochschule Oberösterreich, Research Centre Steyr Logistikum, Austria

⁷Universitatea din Craiova, Romania, PhD Student

⁸Inspekția de Stat pentru Controlul Cazanelor, Recipientelor sub Presiune și Instalațiilor de Ridicat, România

Rezumat

Tranziția către sustenabilitate în industria sudării și lipirii reprezintă o necesitate urgentă, nu doar o opțiune tehnologică. În contextul european actual, marcat de legislație strictă privind reducerea emisiilor (Green Deal, CSRD, ETS), sistemele de sudare trebuie regândite prin prisma impactului ecologic, social și economic. Sudarea, deși percepută tradițional ca un proces tehnic, influențează profund amprenta de carbon a produselor și eficiența utilizării resurselor.

Sustenabilitatea are cinci dimensiuni interdependente: ecologică, economică, socială, strategică și instituțională. Pentru domeniul îmbinărilor, acestea se reflectă în alegerea tehnologiilor cu emisii reduse, eficiență energetică, optimizare de materiale și protecția muncitorilor. Sudarea cu fascicul laser, sudarea prin frecare și lipirea structurală sunt exemple de tehnologii moderne cu amprentă redusă.

Un șantier naval tipic (cu 200–300 sudori, peste 500 tone de materiale de adaos/an, sudare MAG 135/136 – 70%, SF 121 – 25%, SE – 4%) are o încărcătură ecologică mare: emisii din CO₂ tehnic, fumuri metalice, stropi, zgură, tratamente termice cu flacără, deșeuri industriale periculoase. În această configurație, sustenabilitatea necesită intervenții în toate zonele funcționale: logistică, echipamente, proceduri, formare, gestiune a deșeurilor, monitorizare energetică.

Soluțiile propuse includ: reorganizarea distribuției gazelor, pre-reciclarea componentelor, digitalizarea consumurilor, optimizarea echipamentelor, formarea profesională specifică, coordonare tehnică pe criterii ESG și certificări internaționale (ISO 14001, 50001, 3834). Integrarea sustenabilității devine un avantaj competitiv major pentru șantierele care aleg să investească responsabil în viitorul lor ecologic, financiar și social.

Cuvinte cheie

Procese de sudare, sustenabilitate, tehnologii ecologice, șantier naval, management și coordonare

Abstract

The transition to sustainability in the welding and brazing industry is an urgent necessity, not just a technological option. In the current European context, marked by strict legislation on emission reduction (Green Deal, CSRD, ETS), welding systems must be rethought in terms of ecological, social and economic impact. Welding, although traditionally perceived as a technical process, profoundly influences the carbon footprint of products and the efficiency of resource use.

Sustainability has five interrelated dimensions: ecological, economic, social, strategic and institutional. For the field of joints, these are reflected in the choice of low-emission technologies, energy efficiency, material optimization and worker protection. Laser beam welding, friction welding and structural bonding are examples of modern technologies with a small footprint.

A typical shipyard (with 200–300 welders, over 500 tons of filler materials/year, MAG 135/136 welding – 70%, SF 121 – 25%, SE – 4%) has a high ecological load: emissions from technical CO₂, metal fumes, spatter, slag, flame heat treatments, hazardous industrial waste. In this configuration, sustainability requires interventions

in all functional areas: logistics, equipment, procedures, training, waste management, energy monitoring. The proposed solutions include: reorganization of gas distribution, pre-recycling of components, digitalization of consumption, optimization of equipment, specific professional training, technical coordination based on ESG criteria and international certifications (ISO 14001, 50001, 3834). The integration of sustainability becomes a major competitive advantage for shipyards that choose to invest responsibly in their ecological, financial and social future.

Keywords

Welding processes, sustainability, green technologies, shipyard, management and coordination

1. Procesele de îmbinare și sustenabilitatea – un dialog necesar

În contextul actual al tranziției ecologice și al crizelor multiple care afectează planeta – de la schimbările climatice și epuizarea resurselor, până la inegalități sociale și instabilitate economică – discuția despre sustenabilitate nu mai este o opțiune, ci o necesitate. Acest dialog trebuie extins în toate ramurile industriei, inclusiv în domeniul sudării și al procedeeilor conexe. Deși, la prima vedere, sudarea pare un segment tehnic strict legat de eficiență și rezistență mecanică, în realitate, ea joacă un rol critic în durabilitatea și amprenta ecologică a întregului lanț de producție. Procesele de îmbinare sunt implicate în aproape toate industriile: construcții metalice, automobile, energie, aeronautică, naval, feroviar, construcții civile, dar și în infrastructura energetică pentru surse regenerabile. Așadar, orice ineficiență, pierdere de material sau utilizare de tehnologii învechite în aceste procese se traduce într-un consum suplimentar de resurse, emisii de carbon și, implicit, o contribuție negativă la dezechilibrul ecologic global. Pe de altă parte, modernizarea metodelor de sudare și integrarea principiilor sustenabilității în această zonă industrială pot genera un impact pozitiv major: reducerea consumului de energie, utilizarea eficientă a materialelor, scăderea emisiilor și creșterea duratei de viață a produselor finite.

Este nevoie, prin urmare, de o schimbare de paradigmă: procesele de îmbinare trebuie regândite nu doar prin prisma performanței tehnice, ci și a responsabilității față de mediul natural și față de generațiile viitoare.

Este evident faptul că trecerea la o astfel de nouă realitate presupune o serie de costuri care nu vor fi mici, iar efortul financiar al firmelor va fi unul mare, dar într-o Europă în care legislația are un sens unic și anume reducerea amprentei de carbon, o astfel de tranziție devine obligatorie indiferent de costurile aferente.

1. Joining processes and sustainability – a necessary dialogue

In the current context of ecological transition and the multiple crises affecting the planet – from climate change and resource depletion, to social inequalities and economic instability – the discussion about sustainability is no longer an option, but a necessity. This dialogue must be extended to all branches of industry, including welding and related processes. Although, at first glance, welding seems to be a technical segment strictly related to efficiency and mechanical resistance, in reality it plays a critical role in the sustainability and ecological footprint of the entire production chain. Joining processes are involved in almost all industries: metal construction, automotive, energy, aeronautics, naval, railway, civil construction, but also in energy infrastructure for renewable sources. Therefore, any inefficiency, loss of material or use of outdated technologies in these processes translates into additional consumption of resources, carbon emissions and, implicitly, a negative contribution to the global ecological imbalance. On the other hand, the modernization of welding methods and the integration of sustainability principles in this industrial area can generate a major positive impact: reducing energy consumption, efficient use of materials, decreasing emissions and increasing the lifespan of finished products.

A paradigm shift is therefore needed: joining processes must be rethought not only from the perspective of technical performance, but also of responsibility towards the natural environment and future generations.

It is obvious that the transition to such a new reality involves a series of costs that will not be small, and the financial effort of companies will be great, but in a Europe where legislation has a single meaning, namely reducing the carbon footprint, such a transition becomes mandatory regardless of the associated costs.

1.1 Sustenabilitatea – un concept complex

Sustenabilitatea este, în esență, capacitatea unui sistem – fie el economic, social, instituțional sau tehnologic – de a funcționa și de a se dezvolta pe termen lung, fără a compromite resursele și echilibrele necesare generațiilor următoare. Nu este vorba doar despre protecția mediului, așa cum este deseori percepută în mod simplist, ci despre un echilibru multidimensional între progresul economic, echitatea socială, buna guvernare și responsabilitatea față de natură [1]. Vorbim, așadar, despre cinci componente principale ale sustenabilității:

- a. o componentă ecologică (de mediu), care are ca obiectiv conservarea resurselor naturale și protecția mediului. Aceasta implică utilizarea responsabilă a resurselor, reducerea poluării, gestionarea eficientă a deșeurilor și regenerarea ecosistemelor. În cazul producătorilor de structuri sudate acest lucru s-ar putea traduce prin tehnologii care reduc emisiile de gaze, optimizează consumul de gaz protector sau permit refolosirea deșeurilor metalice [1-3]
- b. o componentă economică vizând dezvoltarea economică durabilă și viabilitatea financiară pe termen lung, fără a compromite capitalul natural sau cel social. În domeniul îmbinărilor, este vorba despre investiții în inovații tehnologice, automatizare, digitalizare și metode de lucru [2] care reduc costurile și riscurile pe termen lung
- c. o componentă socială care vizează echitatea, incluziunea, coeziunea socială și bunăstarea generală a populației. Într-un mediu industrial, aceasta se reflectă în condițiile de muncă, protecția angajaților, formarea continuă, implicarea comunităților locale și asigurarea unei culturi organizaționale etice
- d. o componentă strategică care are rolul de a integra sustenabilitatea în gândirea și planificarea pe termen lung. Fiecare organizație, inclusiv cele din sectorul fabricației prin sudare, trebuie să dezvolte viziuni și obiective durabile care să ghideze investițiile, cercetarea și dezvoltarea, precum și adaptarea la schimbările legislative sau de piață [2-3]
- e. o componentă instituțională care face referire la capacitatea organizațiilor și instituțiilor publice de a funcționa eficient, legitim și stabil, în sprijinul interesului public și al obiectivelor de dezvoltare durabilă.

În industriile care utilizează procese de sudare, aceasta implică adoptarea de standarde internaționale (ex. ISO 14001, ISO 26000), audituri interne și co-

1.1 Sustainability – a complex concept

Sustainability is, in essence, the capacity of a system – be it economic, social, institutional or technological – to function and develop in the long term, without compromising the resources and balances needed for future generations. It is not just about environmental protection, as is often simplistically perceived, but about a multidimensional balance between economic progress, social equity, good governance and responsibility towards nature.[1] We are therefore talking about five main components of sustainability:

- a. an ecological (environmental) component, which aims to conserve natural resources and protect the environment. This involves the responsible use of resources, reducing pollution, efficient waste management and regeneration of ecosystems. In the case of welded structure manufacturers this could translate into technologies that reduce gas emissions, optimize the consumption of protective gas or allow the reuse of metal waste [1-3]
- b. an economic component aiming at sustainable economic development and long-term financial viability, without compromising natural or social capital. In the field of mergers, this is about investments in technological innovations, automation, digitalization and working methods [2] that reduce costs and risks in the long term
- c. a social component aimed at equity, inclusion, social cohesion and the general well-being of the population. In an industrial environment, this is reflected in working conditions, employee protection, continuous training, the involvement of local communities and ensuring an ethical organizational culture
- d. a strategic component that aims to integrate sustainability into long-term thinking and planning. Every organization, including those in the welding manufacturing sector, must develop sustainable visions and objectives that guide investment, research and development, and adaptation to legislative or market changes [2-3]
- e. an institutional component that refers to the capacity of public organizations and institutions to function efficiently, legitimately and stably, in support of the public interest and sustainable development objectives.

In industries using welding processes, this involves the adoption of international standards (e.g. ISO 14001, ISO 26000), internal audit assessment and

laborare cu structuri publice pentru implementarea de politici durabile [2-4].

1.2 Parcurusul legislativ european în ultimii 25 de ani

În Europa, dimensiunea sustenabilității a căpătat o formă instituțională și juridică solidă începând cu anul 2000, când Comisia Europeană a inițiat un proces amplu de tranziție de la măsuri sectoriale la politici integrate și proactive privind mediul. Acest moment poate fi considerat „sfârșitul unei lumi” și începutul unei ere noi, în care protecția mediului devine un obiectiv central în toate politicile publice și economice.

Un prim pas semnificativ a fost adoptarea celui de-al 6-lea Program de Acțiune pentru Mediu al Uniunii Europene (2001–2010). Acesta a oferit un cadru de referință pentru politicile europene în domenii precum protecția climei, biodiversitatea, sănătatea umană și mediul urban. Totodată, a pus bazele extinderii și integrării unor instrumente esențiale precum:

- promovarea celor mai bune tehnologii disponibile pentru reducerea impactului industrial - BAT (Best Available Techniques).
- eco-inovarea prin sprijinirea cercetării și a inovației în direcția sustenabilității.
- etichetarea ecologică, cu scopul de a ghida consumatorii și operatorii industriali spre produse și procese mai prietenoase cu mediul.
- un sistem voluntar de management de mediu și auditare, cunoscut sub numele de EMAS (Eco-Management and Audit Scheme).

Tot în această perioadă a fost pregătită implementarea sistemului de certificate de emisii (ETS), lansat oficial în 2005, care a devenit principalul mecanism de piață al UE pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră. În paralel, au început și primele inventare naționale detaliate ale emisiilor GES, în conformitate cu Protocolul de la Kyoto (1997), contribuind la fundamentarea științifică a politicilor climatice.

Această evoluție legislativă a continuat și s-a accelerat în ultimele două decenii, culminând cu Pactul Ecologic European (Green Deal), Noua Strategie Industrială pentru UE, reglementările ESG, taxonomia UE pentru investiții sustenabile și directivele referitoare la economia circulară și neutralitatea climatică până în 2050.

1.3 Amprenta de carbon în sudare și lipire – o responsabilitate tehnologică și ecologică

Indicatorul comun tuturor factorilor industriali (și nu numai) care impactează mediul este amprenta de carbon. Amprenta de carbon reprezintă cantitatea

collaboration with public structures to implement new sustainable policies [2-4].

1.2 European legislative history over the last 25 years

In Europe, the sustainability dimension has taken on a solid institutional and legal form since 2000, when the European Commission initiated a broad process of transition from sectoral measures to integrated and proactive environmental policies. This moment can be considered the “end of a world” and the beginning of a new era, in which environmental protection becomes a central objective in all public and economic policies.

A significant first step was the adoption of the 6th Environment Action Programme of the European Union (2001–2010). It provided a reference framework for European policies in areas such as climate protection, biodiversity, human health and the urban environment. It also laid the foundations for the expansion and integration of essential instruments such as:

- promoting the best available technologies for reducing industrial impact - BAT (Best Available Techniques).
- eco-innovation by supporting research and innovation towards sustainability.
- eco-labelling, with the aim of guiding consumers and industrial operators towards more environmentally friendly products and processes.
- a voluntary environmental management and auditing system, known as EMAS (Eco-Management and Audit Scheme).

Also, during this period, preparations were made for the implementation of the EU Emissions Trading System (ETS), officially launched in 2005, which became the EU's main market mechanism for reducing greenhouse gas emissions. In parallel, the first detailed national inventories of GHG emissions began, in accordance with the Kyoto Protocol (1997), thus contributing to the scientific basis of climate policies. This legislative evolution has continued and accelerated over the last two decades, culminating in the European Green Deal, the New Industrial Strategy for EU, ESG regulations, the EU taxonomy for sustainable investments, and directives on the circular economy and climate neutrality by 2050.

1.3 Carbon footprint in welding and brazing – a technological and ecological responsibility

The common indicator of all industrial factors (and not only) that impact the environment is the carbon footprint. The carbon footprint represents the

tatea totală de emisii de gaze cu efect de seră (GES) – exprimată în echivalent CO₂ (CO₂e) – generate direct sau indirect de o persoană, organizație, produs, proces sau serviciu. În industriile care utilizează procese de sudare și lipire, această amprentă este rezultatul cumulativ al consumului de energie, al utilizării materialelor, materiilor prime și consumabilelor (sârme, electrozi, gaze tehnice, duze de contact etc.), al proceselor auxiliare și al ciclului de viață al materialelor implicate [3-4]. Există trei categorii de emisii relevante pentru sistemele de îmbinare prin sudare și/sau lipire:

- a. emisiile directe (Scope 1), care apar atunci când sistemul de sudare utilizează diverse echipamente (în special auxiliare, care țin de logistica fabricației) alimentate cu combustibili fosili (ex. propan, acetilenă), care ard local și generează GES.
- b. emisiile indirecte (Scope 2), care sunt generate de energia electrică consumată de echipamentele de sudare (ex. MIG/MAG, TIG, sudare prin rezistență), precum și de echipamentele și dispozitivele de poziționare și fixare utilizate de sistemul de sudare, dacă aceasta provine din surse neregenerabile.
- c. alte tipuri de emisii indirecte (Scope 3), acestea incluzând emisiile rezultate din extracția materiilor prime (oțel, aluminiu), transportul echipamentelor și al materialelor de adaos, fabricarea gazelor industriale, tratarea deșeurilor sau chiar faza de întreținere a structurilor sudate.

Importanța reducerii amprente de carbon în acest domeniu este dublă: pe de o parte, contribuie la atingerea obiectivelor climatice naționale și europene, iar pe de altă parte crește eficiența energetică și competitivitatea economică a organizației. Astfel, alegerea unor tehnologii cu consum redus de energie (ex. sudarea cu fascicul laser, sudarea prin frecare cu element activ rotitor sau sudarea cu ultrasunete), integrarea surselor regenerabile, reutilizarea materialelor de adaos și optimizarea proceselor devin nu doar bune practici tehnice, ci și imperative strategice de sustenabilitate.

2. Sistemele de sudare și lipire în tranziția către fabricație sustenabilă: de la practici convenționale la responsabilitate industrială

În peisajul industrial contemporan, sistemele de sudare și lipire nu mai pot fi evaluate exclusiv prin prisma performanței tehnice sau a criteriilor economice clasice. Din ce în ce mai mult, sustenabilitatea devine un

total amount of greenhouse gas emissions (GHG) – expressed in CO₂ equivalent (CO₂e) – generated directly or indirectly by a person, organization, product, process or service. In industries that use welding and soldering processes, this footprint is the cumulative result of energy consumption, the use of materials, raw materials and consumables (wires, electrodes, technical gases, contact nozzles etc.), auxiliary processes and the life cycle of the materials involved [3-4].

There are three categories of emissions relevant for welding and/or soldering joining systems:

- a. direct emissions (Scope 1), which occur when the welding system uses various equipment (especially auxiliary, related to manufacturing logistics) powered by fossil fuels (e.g. propane, acetylene), which burn locally and generate GHG.
- b. indirect emissions (Scope 2), which are generated by the electrical energy consumed by welding equipment (e.g. MIG/MAG, TIG, resistance welding), as well as by the positioning and fixing equipment and devices used by the welding system, if this comes from non-renewable sources.
- c. other types of indirect emissions (Scope 3), these include emissions resulting from the extraction of raw materials (steel, aluminum), the transport of equipment and filler materials, the manufacture of industrial gases, waste treatment or even the maintenance phase of welded structures.

The importance of reducing the carbon footprint in this area is twofold: on the one hand, it contributes to achieving national and European climate objectives, and on the other hand, it increases the energy efficiency and economic competitiveness of the organization. Thus, the choice of low-energy technologies (e.g. laser beam welding, friction stir welding or ultrasonic welding), the integration of renewable sources, the reuse of filler materials and the optimization of processes become not only good technical practices, but also strategic sustainability imperatives.

2. Welding and bonding systems in the transition to sustainable manufacturing: from conventional practices to industrial responsibility

In the contemporary industrial landscape, welding and bonding systems can no longer be evaluated solely in terms of technical performance or classical economic criteria. Increasingly, sustainability is

criteriu central în analiza și proiectarea proceselor de fabricație, determinând modul în care organizațiile aleg tehnologii, investesc în infrastructură sau formează personalul.

Într-o companie industrială modernă, sistemul de sudare este o entitate complexă, formată dintr-o rețea interdependentă de resurse: echipamente, proceduri, materiale, software, personal și strategii de evaluare a calității sudurilor și produselor sudate. Această rețea funcționează ca un organism care generează nu doar produse finite, ci și consum de resurse, emisii, deșeuri și efecte pe termen lung asupra mediului și comunității.

De ce ar trebui ca sudarea să fie regândită în cheia sustenabilității?

Sudarea și lipirea sunt implicate în aproape toate etapele lanțurilor valorice industriale. De la structuri metalice grele și agabaritice până la micro-componente electronice, procesele de îmbinare influențează durata de viață, fiabilitatea, costul de mentenanță și posibilitățile de reciclare ale produselor. Mai mult decât atât, aceste procese afectează:

- eficiența consumului de energie și materiale;
- sănătatea operatorilor și siguranța muncii;
- volumul și tipul de deșeuri rezultate;
- adaptabilitatea la reglementările de mediu în continuă schimbare.

Din aceste motive, este esențial ca fiecare companie care operează cu procese de sudare sau lipire să își evalueze sistemul de fabricație nu doar în termeni de productivitate, ci și prin prisma amprente de sustenabilitate.

Tranziția către o fabricație durabilă nu se poate face printr-o singură măsură, ci prin transformări simultane în mai multe planuri. Poate cele mai relevante direcții de acțiune identificate în practica industrială sunt cele prezentate în continuare.

2.1 Evoluția tehnologiilor de sudare

În cazul producătorilor de structuri sudate / lipite care adoptă o viziune sustenabilă, alegerea tehnologiilor de îmbinare nu mai este dictată doar de rezistența îmbinării sau de viteza de execuție. Sunt preferate procesele care au și un randament energetic ridicat, care produc și zone influențate termic reduse și care au și o capacitate crescută de automatizare, cum ar fi:

- sudarea cu fascicul laser, caracterizată printr-un consum redus de energie, viteză de sudare mare, precizie ridicată și pierderi minime de material
- sudarea prin frecare cu element activ rotitor, în care nu se consumă de gaze tehnice sau metale de adaos, este aplicabilă cu preponderență

becoming a central criterion in the analysis and design of manufacturing processes, determining how organizations choose technologies, invest in infrastructure or train personnel.

In a modern industrial company, the welding system is a complex entity, formed by an interdependent network of resources: equipment, procedures, materials, software, personnel and strategies for evaluating the quality of welds and welded products. This network functions as an organism that generates not only finished products, but also resource consumption, emissions, waste and long-term effects on the environment and the community.

Why should welding be rethought in the key to sustainability?

Welding and soldering are involved in almost all stages of industrial value chains. From heavy and oversized metal structures to microelectronic components, joining processes influence the lifespan, reliability, maintenance cost and recyclability of products. Furthermore, these processes affect:

- energy and material consumption efficiency;
- operators' health and occupational safety;
- the volume and type of waste generated;
- adaptability to ever-changing environmental regulations.

For these reasons, it is essential that every company operating with welding or soldering processes evaluate its manufacturing system not only in terms of productivity, but also in terms of its sustainability footprint.

The transition to sustainable manufacturing cannot be achieved through a single measure, but through simultaneous transformations on several levels. Perhaps the most relevant directions of action identified in industrial practice are presented below.

2.1 Evolution of welding technologies

For manufacturers of welded/bonded structures adopting a sustainable vision, the choice of joining technologies is no longer dictated solely by joint strength or execution speed. Processes that are also energy efficient, can produce reduced heat-affected zones, and have increased automation capacity are preferred; it can be reminded here the next types of processes:

- laser beam welding, characterized by low energy consumption, high welding speed, high precision of execution and minimal material loss
- friction welding with a rotating active element, in which no technical gases or filler metals are consumed, is applicable predominantly to light

la aliaje ușoare și moi și produc îmbinări cu rezistență și stabilitate mecanică ridicate și nu este însoțită de emisii de fumuri metalice

- lipirea cu adezivi, un proces structural aplicabil și în cazul unor materiale de bază diferite, fără emisii de fumuri metalice și ușor de automatizat.

Alegerea unui proces modern influențează pozitiv nu doar eficiența energetică, ci și posibilitatea de integrare în fluxuri digitale de control și optimizare.

2.2 Redefinirea rolului echipamentelor

Echipamentele de sudare moderne integrează sisteme de control digital, senzori inteligenți, feedback în timp real și interfețe pentru analiza datelor. Prin aceste caracteristici, ele permit:

- un reglaj precis al parametrilor tehnologici, pentru a evita risipa de material și energie;
- creșterea duratei de viață a componentelor și reducerea intervențiilor de mentenanță;
- corelarea datelor de producție cu indicatorii de sustenabilitate (ex. consum specific per ciclu de sudare);
- conectarea la platforme digitale de tip Industrie 4.0, care permit optimizarea integrată a întregului atelier.

Echipamentele care consumă energie doar pe durata activă a procesului de sudare, care permit răcire pasivă sau au componente modulare pentru înlocuire eficientă, sunt esențiale într-un sistem durabil.

2.3 Consumabilele ca sursă de performanță și responsabilitate

Sudarea presupune, în multe cazuri, utilizarea de consumabile: electrozi, sârmă de adaos, gaze de protecție, fluxuri. Într-o abordare sustenabilă, se pune accent pe:

- reducerea cantității de material pierdut sub formă de zgură sau fum;
- managementul ambalajelor;
- compoziția chimică, în sensul evitării metalelor grele și utilizării de compuși non-toxici;
- proveniență, existând preferințe pentru anumiți furnizori, fie că sunt locali, fie că sunt certificați ecologic.

Totodată, există și o tendință de dezvoltare a consumabilelor reciclabile și fabricate prin procese cu amprentă redusă de carbon.

2.4 Importanța personalului și a formării continue

Indiferent de nivelul de automatizare, oamenii rămân esențiali. În sistemele sustenabile, formarea profesională capătă o dimensiune dublă: pe de o

and soft alloys and produces joints with high mechanical strength and stability and is not accompanied by emissions of metal fumes

- bonding with adhesives, a structural process applicable to different base materials, without metal fume emissions and easy to automate.

Choosing a modern process positively influences not only energy efficiency, but also the possibility of integration into digital control and optimization flows.

2.2 Redefining the role of equipment

Modern welding equipment integrates digital control systems, intelligent sensors, real-time feedback and interfaces for data analysis. Through these features, they allow:

- precise adjustment of parameters to avoid waste of material and energy; increasing the lifespan of components and reducing maintenance interventions;
- correlation of production data with sustainability indicators (e.g. specific consumption per welding cycle);
- connecting to Industry 4.0 digital platforms, which allow integrated optimization of the entire workshop.

Equipment that consumes energy only during the active duration of the welding process, that allows for passive cooling, or has modular components for efficient replacement, are essential in a sustainable system.

2.3 Consumables as a source of performance and responsibility

Welding often involves the use of consumables: electrodes, filler wire, shielding gases, fluxes. In a sustainable approach, emphasis is placed on:

- reducing the amount of material lost in the form of slag or smoke;
- packaging management;
- chemical composition, in the sense of avoiding heavy metals and using non-toxic compounds;
- provenance, with preferences for certain suppliers, whether they are local or certified organic.

At the same time, there is also a trend towards the development of recyclable and low-carbon footprint consumables.

2.4 The importance of staff and continuous training

Regardless of the level of automation, people remain essential. In sustainable systems, professional training takes on a double dimension: on the one

parte, sudorii trebuie să cunoască noile tehnologii, noile echipamente inteligente, metodele de control digital, iar pe de altă parte, trebuie să fie conștienți de impactul propriilor decizii asupra mediului.

Sunt necesare module dedicate de instruire care să vizeze:

- reglarea echipamentelor pentru obținerea unei eficiențe energetice maxime;
- reducerea pierderilor de material;
- reciclarea și gestionarea deșeurilor;
- colaborarea cu celelalte echipe pentru trasabilitate și pentru raportarea ESG.

În plus, promovarea culturii organizaționale bazate pe responsabilitate și conștientizare ecologică aduce beneficii pe termen lung.

2.5 Practica coordonării sustenabile a sistemelor de sudare

Așa cum se specifica anterior, un sistem de sudare durabil nu funcționează haotic, ci este guvernat de un cadru clar: proceduri tehnice, politici interne, sisteme de monitorizare și coordonare. O coordonare eficientă presupune:

- stabilirea de obiective și indicatori de sustenabilitate pentru atelierul de sudare;
- actualizarea documentației tehnice (WPS, WPQR) pentru a integra criteriile ecologice;
- alinierea proceselor la standardele de mediu internaționale (ISO 14001, ISO 50001);
- crearea unui sistem de trasabilitate pentru fiecare îmbinare: ce materiale au fost folosite, ce emisii s-au generat, ce consum s-a înregistrat;
- introducerea de audituri interne privind performanța ecologică a sudării.

Astfel, coordonarea devine un act de guvernanță industrială și nu doar o verificare tehnică.

2.6 Verificarea și controlul în logica sustenabilității

Controlul calității nu mai este legat doar de detectarea imperfecțiunilor și/sau a defectelor. În sistemele moderne, trebuie dezvoltat și un mecanism de control al sustenabilității. Prin acesta:

- se monitorizează consumurile energetice și de gaz la nivel de echipament și operator;
- se evaluează raportul dintre volumul materialului consumat și cel al produsului;
- se colectează date despre durata de viață a echipamentelor și necesarul de mentenanță;
- se verifică respectarea instrucțiunilor de utilizare eficientă a consumabilelor.

Acest tip de control duce la decizii informate, la

hand, welders must know new technologies, new smart equipment, digital control methods, and on the other hand, they must be aware of the impact of their own decisions on the environment.

Dedicated training modules are needed to address:

- adjusting equipment to achieve maximum energy efficiency;
- reducing material losses;
- recycling and waste management;
- collaborating with other teams for traceability and ESG reporting.

In addition, promoting an organizational culture based on responsibility and environmental awareness brings long-term benefits.

2.5 Practice of sustainable coordination of welding systems

As previously specified, a sustainable welding system does not operate chaotically, but is governed by a clear framework: procedures, internal policies, monitoring and coordination systems. Effective coordination requires:

- establishing sustainability objectives and indicators for the welding shop;
- updating technical documentation (WPS, WPQR) to integrate ecological criteria;
- aligning processes with environmental standards (ISO 14001, ISO 50001);
- creating a traceability system for each joint: what materials were used, what emissions were generated, what consumption was recorded;
- introducing internal audits on the environmental performance of welding.

Coordination thus becomes an act of industrial governance and not just a technical check.

2.6 Verification and control in the logic of sustainability

Quality control is no longer just about detecting imperfections and/or defects. In modern systems, a sustainability control mechanism must also be developed. Through this:

- energy and gas consumption is monitored at equipment and operator level;
- the ratio between the volume of material consumed and that of the product is evaluated;
- data is collected about the lifespan of equipment and maintenance needs;
- compliance with instructions for the efficient use of consumables is verified.

This type of control leads to informed decisions, con-

îmbunătățirea continuă și la raportări precise în cadrul politicilor de mediu și guvernanță corporativă.

2.7 Rolul infrastructurii și al logisticii operaționale

La baza oricărui sistem de sudare sustenabil stă o infrastructură bine organizată, capabilă să sprijine fără risipă activitățile specifice fabricației. Elementele esențiale ale unei astfel de infrastructuri, pregătite pentru a susține eficient fabricația, sunt sisteme expert care populează sistemul de fabricație în diversele lui puncte mai mult sau mai puțin nevralgice din punct de vedere al impactului asupra mediului:

- sisteme de distribuție optimizată a gazelor tehnice;
- stații de recuperare și reciclare a deșeurilor metalice și nemetalice provenind din sistemul de fabricație, precum și de recuperare și reciclare a ambalajelor care au însoțit diversele consumabile achiziționate;
- trasee de alimentare a echipamentelor fără pierderi de presiune sau energie;
- zone de depozitare ventilate, care previn riscurile de siguranță și pierderile de materiale;
- platforme software pentru gestionarea digitală a stocurilor, consumurilor și trasabilității.

Logistica sustenabilă susține, astfel, atât performanța operațională, cât și conformarea ecologică.

3. Analiza sustenabilității ecologice a unui șantier naval – direcții și măsuri de tranziție către fabricația ecologică

Industria navală, prin natura sa, este una dintre ramurile cele mai complexe și mai intens consumatoare de resurse ale sectorului producător de structuri sudare. Într-un șantier naval mediu sau mare, activitățile implică procese de tăiere, îmbinare, deformare / îndreptare, finisare, curățare și protejare a unor structuri metalice de mari dimensiuni, în regim industrial continuu. Dintre toate aceste procese, sudarea (cu preponderență sudarea MAG 135/136 și sudarea sub strat de flux 121) reprezintă una dintre activitățile cu cea mai mare încărcătură energetică, emisivă și generatoare de deșeuri. În acest context, necesitatea tranziției către o fabricație ecologică nu mai este doar o opțiune tehnică sau de imagine, ci o condiție fundamentală pentru:

- respectarea cerințelor legislative europene (Green Deal, Fit for 55, Directiva privind raportarea sustenabilității);

tinuous improvement, and accurate reporting within environmental policies and corporate governance.

2.7 The role of infrastructure and operational logistics

The basis of any sustainable welding system is a well-organized infrastructure, capable of supporting manufacturing-specific activities without waste. The essential elements of such an infrastructure, prepared to efficiently support manufacturing, are expert systems that populate the manufacturing system at its various more or less critical points in terms of environmental impact:

- optimized distribution systems for technical gases;
- stations for the recovery and recycling of metallic and non-metallic waste coming from the manufacturing system, as well as for the recovery and recycling of packaging that accompanied the various consumables purchased;
- equipment supplies routes without pressure or energy losses;
- ventilated storage areas, which prevent safety risks and material losses;
- software platforms for digital management of stocks, consumption and traceability.

Sustainable logistics thus supports both operational performance and environmental compliance.

3. Analysis of the ecological sustainability of a shipyard – directions and measures for transition to ecological manufacturing

The shipbuilding industry, by its nature, is one of the most complex and resource-intensive branches of the welded structures manufacturing sector. In a medium or large shipyard, the activities involve cutting, joining, deforming/straightening, finishing, cleaning and protecting processes of large-sized metal structures, in a continuous industrial regime. Of all these processes, welding (mainly MAG 135/136 welding and submerged arc welding 121) represents one of the activities with the highest energy, emission and waste generation load.

In this context, the need to transition to ecological manufacturing is no longer just a technical or image option, but a fundamental condition for:

- compliance with European legislative requirements (Green Deal, Fit for 55, Sustainability Reporting Directive);

- reducerea amprenteii de carbon și a costurilor operaționale;
- atragerea de parteneri și finanțări bazate pe criteriile ESG;
- creșterea durabilității și rezilienței producției în fața presiunilor externe (prețuri energie, lipsă materii prime, reglementări stricte).

3.1 Evaluarea sustenabilității ecologice – aspecte critice identificate

Pentru a înțelege impactul activităților unui șantier naval, este necesară o radiografie a principalelor caracteristici tehnice și de operare, radiografie care să ajute la construirea a ceea ce s-ar putea numi „profilul ecologic actual” al șantierului naval analizat:

1. Tehnologii de sudare utilizate: MAG 135 / MAG 136, SF 121, SE 111

a) sudarea în mediu de gaz protector cu electrod fuzibil MAG 135 și 136 (volum de aplicare de aproximativ 70%).

Aceste procedee generează cantități ridicate de fumuri metalice și emisii de particule.

Utilizarea CO₂ ca gaz de protecție are un impact ridicat de încălzire globală (GWP = 1) și implică emisii indirecte substanțiale.

Sârma tubulară (136), deși mai eficientă în anumite aplicații, poate produce mai mult fum (și implicit cerințe suplimentare de ventilație), dar și mai multe reziduuri, prin zgura formată.

b) Sudarea sub strat de flux SF 121 (volum de aplicare de aproximativ 25%)

Acest procedeu este, în mod inerent, mai protejat din punct de vedere al emisiilor directe de fumuri. Totuși, el implică consumuri mari de fluxuri de protecție și manipularea acestora în condiții industriale și generare de zgură care necesită separare, colectare, reciclare [4-5].

c) Sudarea manuală cu electrozi înveliți (aproximativ 4%)

Deși proporția e mică, este cel mai poluant procedeu per unitate sudată. Produce cantități mari de zgură și fum, iar dacă nu sunt folosiți electrozi speciali, se pot regăsi în atmosferă compuși periculoși (Pb, Cd, Cr⁶⁺).

d) Alte procedee (1%)

Deși neesențiale cantitativ, dacă includ tăiere termică sau reparații prin încălzire cu flacăra, pot genera emisii necontrolate.

2. Gaze de protecție – cele mai des utilizate fiind: Ar+CO₂, 100%CO₂

Alegerea CO₂ pur este justificată economic, dar CO₂ pur este mai puțin eficient în protecția arcului

- reducing carbon footprint and operational costs;
- attracting partners and financing based on ESG criteria;
- increasing the sustainability and resilience of production in the face of external pressures (energy prices, lack of raw materials, strict regulations).

3.1 Assessment of ecological sustainability – critical issues identified

To understand the impact of a shipyard's activities, a radiography of the main technical and operating characteristics is necessary, a radiography that helps to build what could be called the "current ecological profile" of the shipyard under analysis:

1. Welding technologies used: MAG 135 / MAG 136, SF 121, SE 111

a) welding in a protective gas environment with a MAG 135 and 136 fusible electrode (application volume of approximately 70%).

These processes generate high amounts of metal fumes and particulate emissions.

The use of CO₂ as a shielding gas has a high global warming impact (GWP = 1) and involves substantial indirect emissions.

Flux cored wire (136), although more efficient in certain applications, can produce more smoke (and thus additional ventilation requirements), but also more residue, through the slag formed.

b) Submerged arc welding SF 121 (application volume approximately 25%)

This process is inherently more protected in terms of direct fume emissions. However, it involves high consumption of protective fluxes and their handling under industrial conditions and the generation of slag that requires separation, collection, and recycling [4-5].

c) Manual welding with coated electrodes (approximately 4%)

Although the proportion is small, it is the most polluting process per unit welded. It produces large amounts of slag and smoke, and if special electrodes are not used, hazardous compounds (Pb, Cd, Cr⁶⁺) can be found in the atmosphere.

d) Other procedures (1%)

Although quantitatively insignificant, if they include thermal cutting or flame heating repairs, they can generate uncontrolled emissions.

2. Shielding gases – the most commonly used are: Ar+CO₂, 100%CO₂

The choice of pure CO₂ is economically justified, but

și a băii de metal topit, măbind totodată și riscul de producere a stropirilor. Mai mult, CO₂ pur implică un consum energetic mai mare pentru o îmbinare echivalentă și produce cantități mai mari de particule solide în fumul de sudare. Amestecurile de Ar+CO₂ sau Ar+O₂ reduc semnificativ aceste efecte negative, dar implică un cost imediat ușor mai mare.

3. Volum mare de materiale de adaos

Un șantier naval european de dimensiune medie consumă peste 500 tone/an de sârmă, electrozi, fluxuri sau alte tipuri de consumabile. La final, aceste consumabile înseamnă ambalaje (plastic, celuloză), resturi metalice nefolosite, stropi pierduți în proces, zgură (de obicei necolectată).

Mai mult, trasabilitatea acestor materiale este adesea de mică precizie, ceea ce face imposibilă calcularea corectă a amprente ecologice pe produs final.

4. Personal numeros implicat direct în operațiile de sudare

Un număr de aproximativ 200–300 de sudori înseamnă consumuri ridicate de echipamente de protecție, emisii locale concentrate de fum, expunere semnificativă la riscuri de inhalare, zgură fierbinte, arsuri. Așadar, ventilarea activă, echipamentele de protecție moderne și formarea continuă, elemente esențiale pentru siguranța sudorilor, sunt surse de carbon indirecte ale șantierului naval.

5. Tratamente termice cu flacără

Utilizate pentru îndreptare și detensionare, aceste operații implică arderea gazelor (de obicei acetilenă sau propan în combinație cu oxigen), sunt neautomatizate și rareori monitorizate, putând genera poluare locală semnificativă dacă nu sunt controlate riguros.

6. Flux mixt și complex de deșeuri rezultate:

- deșeuri metalice: resturi de tablă, sârmă, zgură.
- deșeuri plastice: ambalaje, protecții, folii.
- deșeuri celulozice: lavete, pungi, diverse documentații contaminate.
- uleiuri industriale, emulsii, lubrifianți, ca rezultat al activităților conexe (prelucrare, întreținere).
- deșeuri periculoase: filtre uzate, măști, substanțe chimice.

Fără o gestionare structurată, acest mix poate deveni o sursă de poluare continuă și o vulnerabilitate în fața reglementărilor de mediu.

3.2 Măsuri necesare pentru sustenabilizarea ecologică a șantierului naval

Transformarea unui astfel de șantier presupune acțiuni distribuite pe toate nivelurile funcționale și

pure CO₂ is less effective in protecting the arc and the molten metal pool, while also increasing the risk of spatter. Furthermore, pure CO₂ involves higher energy consumption for an equivalent joint and produces higher amounts of solid particles in the welding fumes.

Mixtures of Ar+CO₂ or Ar+O₂ significantly reduce these negative effects, but involve a slightly higher immediate cost.

3. Large volume of filler materials

A medium-sized European shipyard consumes over 500 tons/year of wire, electrodes, fluxes or other types of consumables. Ultimately, these consumables mean packaging (plastic, cellulose), unused metal scrap, spatter lost in the process, slag (usually uncollected).

Furthermore, the traceability of these materials is often imprecise, making it impossible to correctly calculate the ecological footprint of the final product.

4. Numerous personnel directly involved in welding processes

A number of approximately 200–300 welders mean high consumption of protective equipment, concentrated local smoke emissions, significant exposure to inhalation risks, hot slag, burns. Therefore, active ventilation, modern protective equipment and continuous training, essential elements for welder safety, are indirect carbon sources of the shipyard.

5. Flame heat treatments

Used for straightening and stress relief, these operations involve the combustion of gases (usually acetylene or propane in combination with oxygen), are non-automated and rarely monitored, and can generate significant local pollution if not rigorously controlled.

6. Mixed and complex waste stream resulting from:

- metal waste: scrap sheet metal, wire, slag.
- plastic waste: packaging, protections, foils.
- Cellulosic waste: cloths, bags, various contaminated documentation.
- industrial oils, emulsions, lubricants, as a result of related activities (processing, maintenance).
- hazardous waste: used filters, masks, chemicals.

Without structured management, this mix can become a source of ongoing pollution and a vulnerability to environmental regulations.

3.2 Measures necessary for the ecological sustainability of the shipyard

The transformation of such a construction site involves actions distributed across all functional and

tehnologice, pe modelul piramidei sudării sustenabile. Măsurile recomandate a fi luate în acest sens, în ordine logică și strategică, ar fi cele prezentate în continuare [4-6].

technological levels, based on the sustainable welding pyramid model. The recommended measures to be taken in this regard, in logical and strategic order, would be those presented below [4-6].

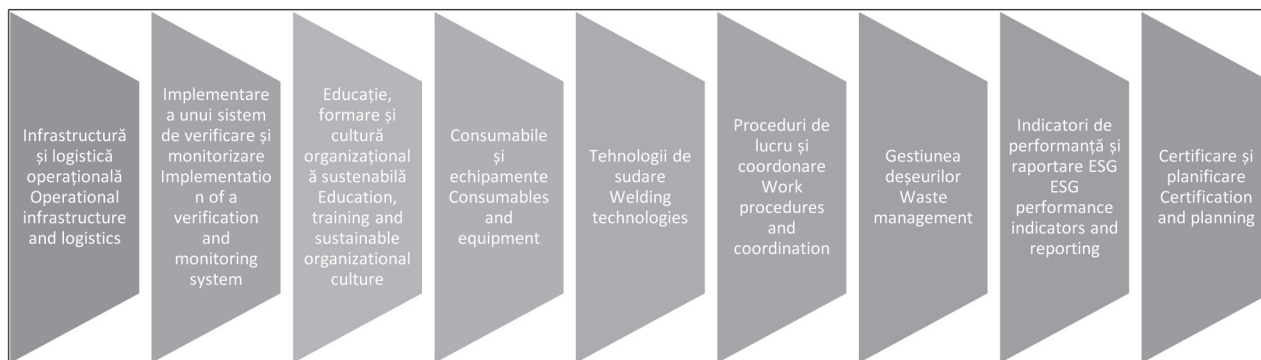


Figura 1. Măsuri pentru sustenabilizarea sistemului de sudare al unui șantier naval
Figure 1. Measures to improve the sustainability of a shipyards' welding system

A. Infrastructură și logistică operațională

1. Reorganizarea distribuției gazelor

- înlocuirea distribuției necontrolate de CO₂ cu sisteme de amestecuri Ar-CO₂, cu reglaj centralizat și debitmetre inteligente.
- introducerea de supape de blocare automată și debitmetre digitale pe fiecare linie.

2. Amenajarea de zone ecologice integrate

- zone de pre-reciclare pentru toate resturile metalice, plastice, celulozice;
- stații de colectare a ambalajelor provenind de la consumabile;
- spații organizate și dedicate temporar în cadrul fluxului de producție, unde se colectează și stochează componente metalice, piese, subansambluri sau accesorii care au suferit defecte minore (ex: fisuri, deformări, uzură localizată), dar care pot fi reparate prin sudură, redresare sau alte intervenții tehnice, în loc să fie aruncate direct.

3. Ecologizarea managementului logistic, aceasta presupunând:

- optimizarea rutelor de transport intern (ex. între atelierul de debitare și zona de sudare);
- digitalizarea comenzilor interne pentru piese și consumabile;
- introducerea vehiculelor electrice sau hibride pentru transport intern de materiale.

B. Implementarea unui sistem de verificare și monitorizare

1. Digitalizarea energetică (SCADA industrial)

- instalarea de contoare de energie pe fiecare post de sudare;
- citirea automată a consumurilor și alertarea în

A. Infrastructure and operational logistics

1. Reorganization of gas distribution

- replacing uncontrolled CO₂ distribution with Ar-CO₂ mixing systems, with centralized control and smart flow meters.
- introduction of automatic shut-off valves and digital flow meters on each line.

2. Development of integrated ecological areas

- pre-recycling areas for all metal, plastic, cellulose scrap;
- packaging collection stations from consumables;
- temporarily organized and dedicated spaces within the production flow, where metal components, parts, subassemblies or accessories that have suffered minor defects (e.g. cracks, deformations, localized wear) are collected and stored, but which can be repaired by welding, straightening or other technical interventions, instead of being discarded directly.

3. Greening logistics management, this implies:

- optimization of internal transport routes (e.g. between the cutting workshop and the welding area);
- digitalization of internal orders for parts and consumables;
- introduction of electric or hybrid vehicles for internal transport of materials.

B. Implementation of a verification and monitoring system

1. Energy digitalization (industrial SCADA)

- installation of energy meters on each welding station;
- automatic reading of consumption and alerting

cazul unui consum excesiv;

- integrarea în tabloul de bord al unor indicatori cheie (KPI) de sustenabilitate: consum specific, consum gaz, ore active vs. ore standby.

2. Monitorizarea particulelor și fumului emise

- implementarea de puncte de măsurare a concentrației de PM2.5 și PM10 în hale;
- dotarea zonelor de sudare cu sisteme LEV (Local Extraction Ventilation) și filtre HEPA;
- măsurători lunare ale riscurilor pentru sudori și actualizarea registrelor de risc.

C. Educație, formare și cultură organizațională sustenabilă

Fără schimbare de mentalitate și comportament, noul sistem de sudare sustenabil rămâne o construcție inutilă. Este esențial ca toți actorii, de la operatori și sudori, până la ingineri, coordonatorii sudării și conducere, să fie formați și implicați în cultura sustenabilității.

a) Formare continuă, constând în cursuri semestriale obligatorii pentru personalul de execuție, tehnic și coordonare, simulări de bune practici pentru minimizarea consumului de gaz și sârmă și evaluări practice continue.

b) Implicarea în procesul decizional; raportarea performanței de mediu să se facă în mod transparent, astfel încât toți angajații să știe ce impact are activitatea lor și mai mult decât atât, să poată veni cu sugestii de îmbunătățire.

c) Comunicare internă cu afișaje digitale specifice ale diverșilor indicatori (consumul de energie pe săptămână, cantitatea de materiale economisite, topul secțiilor cu cele mai bune practici) și chiar și campanii tematice de promovare a sustenabilității.

D. Consumabile și echipamente

1. Selectarea materialelor de adaos

- interzicerea electrozilor cu conținut de Pb, Cd, Cr⁶⁺;
- selectarea de sârme cu emisii reduse de fum și stropi;
- introducerea în procedura de achiziție a unui criteriu de selecție ecologică.

2. Gaze de protecție cu impact redus

- înlocuirea treptată a CO₂ pur cu amestecuri Ar+CO₂+O₂, cu emisii și spatter reduse;
- calcularea GWP și analizarea periodică a consumului total de gaze.

3. Optimizarea echipamentelor

- utilizarea doar a surselor de sudare de tip inverter cu randament >85%;

in case of excessive consumption;

- integration of key sustainability indicators (KPIs) into the dashboard: specific consumption, gas consumption, active hours vs. standby hours.

2. Monitoring of emitted particles and smoke

- implementation of PM2.5 and PM10 concentration measurement points in halls;
- equipping welding areas with LEV (Local Extraction Ventilation) systems and HEPA filters;
- monthly risk measurements for welders and updating risk registers.

C. Education, training and sustainable organizational culture

Without a change in mindset and behaviour, the new sustainable welding system remains a useless construct. It is essential that all actors, from operators and welders, to engineers, welding coordinators and management, are trained and involved in the culture of sustainability.

a) Continuous training, consisting of mandatory semi-annual courses for execution, technical and coordination personnel, simulations of best practices for minimizing gas and wire consumption and continuous practical assessments.

b) Involvement in the decision-making process; reporting on environmental performance should be done transparently, so that all employees know what impact their activity has and, more than that, can come up with suggestions for improvement.

c) Internal communication with specific digital displays of various indicators (weekly energy consumption, amount of materials saved, top of departments with best practices) and even thematic campaigns to promote sustainability.

D. Consumables and equipment

1. Selection of filler materials

- banning electrodes containing Pb, Cd, Cr⁶⁺;
- selection of wires with low smoke and spatter emissions;
- introducing an ecological selection criterion into the procurement procedure.

2. Low-impact shielding gases

- gradual replacement of pure CO₂ with Ar+CO₂+O₂ mixtures, with reduced emissions and spatter;
- GWP calculation and periodic analysis of total gas consumption.

3. Equipment optimization

- using only inverter welding sources with efficiency >85%;

- migrarea controlată către surse pulsate sau sinergice acolo unde este posibil
- introducerea de comutatoare automate pentru modul standby;
- implementarea de programe de mentenanță predictivă.

E. Tehnologii de sudare

1. Optimizarea parametrilor tehnologici și reglarea curentului, tensiunii și vitezei de avans pentru reducerea stropirilor și a consumului energetic;
2. Automatizarea parțială prin integrarea de sisteme semi-automate în sudarea repetitivă; limitarea erorilor de execuție și creșterea stabilității procesului.

F. Proceduri de lucru și coordonare

1. Actualizarea procedurilor WPS/WPQR prin introducerea criteriilor de eficiență energetică și emisii reduse specifice noilor tehnologii;
2. Coordonare tehnică activă prin desemnarea unui responsabil de sustenabilitate în cadrul departamentului tehnic, prin revizuri trimestriale ale indicatorilor de performanță ecologică și prin raportări integrate în bilanțul ESG al companiei.

G. Gestiunea deșeurilor

1. Colectare separată inteligentă pe 5 fracții: zgură, metal, plastic, celuloză, deșeuri periculoase. Se vor folosi identificatori colorați pentru deșeuri și containere specializate urmărite digital.
2. Pre-reciclare și reparație- programe pentru recuperarea componentelor defecte prin reparație și un triaj activ înainte de eliminare.
3. Audit anual- calculul masei totale de deșeuri generate per tip și un obiectiv de reducere anuală cu 10% și monitorizare publică.

H. Indicatori de performanță și raportare ESG

Pentru ca progresul să fie măsurat, trebuie stabiliți indicatori de performanță (KPI) ecologici, alături de un sistem de raportare integrată ESG (Environmental, Social, Governance).

- a) dintre indicatorii KPI recomandați se amintesc:
- consumul de energie electrică (kWh) / metru de sudură;
 - consumul de gaz tehnic / kg de material adăugat;
 - deșeuri totale / tonă structură realizată;
 - ore cu expunere ridicată la fum / sudor;
 - număr de piese reutilizate / lună;
 - % suduri refăcute (corelat cu eficiența procesului).

- controlled migration to pulsed or synergistic sources where possible
- introduction of automatic switches for standby mode;
- implementing predictive maintenance programs.

E. Welding technologies

1. Optimization of technological parameters and regulation of current, voltage and feed speed to reduce spatter and energy consumption;
2. Partial automation by integrating semi-automatic systems in repetitive welding; limiting execution errors and increasing process stability.

F. Working procedures and coordination

1. Updating the WPS/WPQR procedures by introducing energy efficiency and reduced emissions criteria specific to new technologies;
2. Active technical coordination through the designation of a sustainability officer within the technical department, through quarterly reviews of environmental performance indicators and through reporting integrated into the company's ESG balance sheet.

G. Waste management

1. Smart separate collection into 5 fractions: slag, metal, plastic, cellulose, hazardous waste. Coloured identifiers for waste and digitally tracked specialized containers will be used.
2. Pre-recycling and repair- programs for the recovery of defective components through repair and active triage before disposal.
3. Annual audit - calculation of the total mass of waste generated per type and a 10% annual reduction target and public monitoring.

H. ESG performance indicators and reporting

In order for progress to be measured, environmental performance indicators (KPIs) must be established, along with an integrated ESG (Environmental, Social, Governance) reporting system.

- a) among the recommended KPI indicators are:
- electricity consumption (kWh) / welding meter;
 - technical gas consumption / kg of added material;
 - total waste / ton of structure made;
 - hours with high smoke exposure / welder;
 - number of reused parts / month;
 - % of welds remade (correlated with process efficiency).

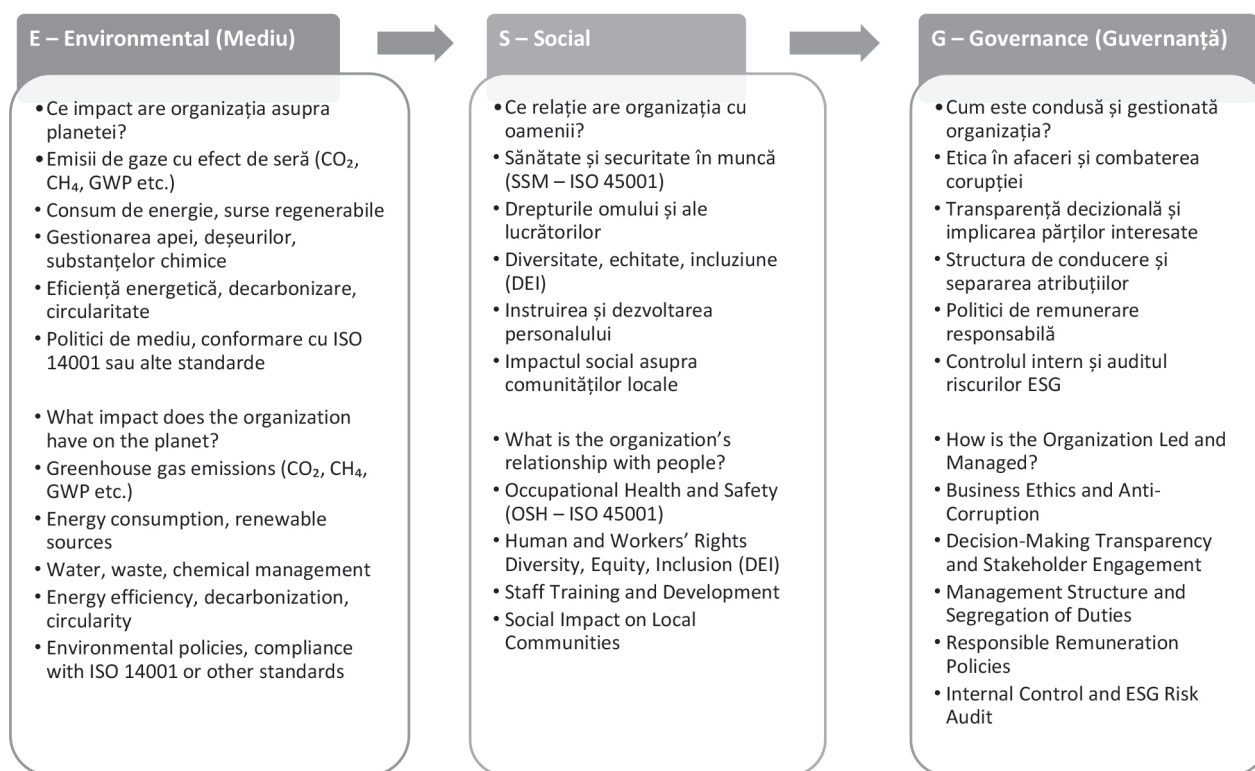


Figura 2. Raportul ESG
Figure 2. ESG reporting

b) Raport ESG

Raportul ESG, ca parte a documentației oficiale de audit ISO și aliniere cu cerințele europene de raportare sustenabilă (CSRD – Corporate Sustainability Reporting Directive), ar trebui transmis trimestrial către conducere și apoi, în formă sumarizată, distribuit intern tuturor secțiilor.

I. Certificare și planificare

Standardele de referință pentru implementarea măsurilor legate de sustenabilizare sunt:

- ISO 14001 – sistem de management de mediu integrat în toate procesele (sudură, sablare, vopsire);
- ISO 45001 – protecția muncitorilor, în special pentru riscuri respiratorii și termice;
- ISO 50001 – optimizarea energetică pentru surse de sudare, macarale, compresoare;
- ISO 3834 – controlul proceselor speciale de sudare în corelație cu cerințele de calitate și sustenabilitate.

Așadar, tranziția sistemului de sudare al unui șantier naval către fabricație ecologică nu este o simplă adaptare la cerințe legislative. Este o transformare strategică ce combină eficiența operațională cu responsabilitatea față de mediu, sănătatea lucrătorilor și viitorul economic al organizației. Cu o abordare

b) ESG report

The ESG report, as part of the official ISO audit documentation and alignment with the European Corporate Sustainability Reporting Directive (CSRD) requirements, should be submitted quarterly to management and then, in summarized form, distributed internally to all departments.

I. Certification and planning

The reference standards for implementing sustainability-related measures are:

- ISO 14001 – environmental management system integrated into all processes (welding, sandblasting, painting);
- ISO 45001 – worker protection, especially for respiratory and thermal risks;
- ISO 50001 – energy optimization for welding sources, cranes, compressors;
- ISO 3834 – control of special welding processes in correlation with quality and sustainability requirements.

Therefore, the transition of a shipyard's welding system to green manufacturing is not a simple adaptation to legislative requirements. It is a strategic transformation that combines operational efficiency with responsibility for the environment, worker health and the economic future of the organization. With a

structurată, implementarea acestor măsuri nu doar că reduce impactul asupra mediului, dar aduce și beneficii directe:

- Scăderea costurilor de energie și materiale;
- Creșterea duratei de viață a echipamentelor;
- Atragerea de finanțări și parteneriate internaționale;

Reducerea riscurilor și creșterea reputației organizației.

4. Concluzii

Sudarea este un factor esențial al impactului ecologic industrial, iar tranziția către practici sustenabile este o necesitate impusă de legislația europeană și de presiunile pieței.

Șantierul naval consumă masiv resurse – atât materiale (sârmă, gaze, electrozi), cât și energetice, generând un volum ridicat de emisii și deșeuri care trebuie monitorizate și reduse sistemic.

Sudarea MAG cu CO₂ are un impact de mediu semnificativ, iar înlocuirea parțială cu amestecuri Ar+CO₂ sau optimizarea parametrilor poate reduce amprenta de carbon.

Tehnologiile moderne (laser, frecare, lipire structurală) aduc beneficii ecologice și economice, reducând fumul, stropii, deșeurile și consumul de materiale.

Infrastructura și logistica ecologizată (reciclare, recuperare, digitalizare) constituie o bază fundamentală pentru fabricația verde într-un șantier naval.

Echipamentele și consumabilele trebuie alese în funcție de performanță și amprentă ecologică, nu doar pe criterii de preț sau tradiție industrială.

Formarea continuă a sudorilor și implicarea personalului în cultura sustenabilității sunt decisive pentru succesul tranziției ecologice.

Monitorizarea digitală a consumurilor și a emisiilor (prin SCADA, contoare inteligente, sisteme LEV, KPI ecologici) este esențială pentru controlul și îmbunătățirea continuă.

Certificarea ESG și alinierea la standardele internaționale (ISO 14001, 50001, 3834) sunt pași strategici care cresc reputația organizației și facilitează accesul la finanțări sustenabile.

Confirmare

Prezenta lucrare conține rezultate obținute în cadrul proiectului cu titlul „Academic Network for a Green and Innovative Europe”, acronim ANGIE, nr. 2023-1-RO01-KA220-HED-000158031, cofinanțat prin Programul ERASMUS+, KA220-HED - Cooperation partnerships in higher education.

structured approach, implementing these measures not only reduces the environmental impact, but also brings direct benefits:

- Decrease in energy and material costs;
- Increasing the lifespan of equipment;
- Attracting international funding and partnerships;

Reducing risks and increasing the organization's reputation.

4. Conclusions

Welding is a key driver of industrial environmental impact, and the transition to sustainable practices is a necessity imposed by European legislation and market pressures.

Shipyards consume massive resources- both materials (wire, gases, electrodes) and energy, generating a high volume of emissions and waste that must be monitored and reduced systemically.

CO₂ MAG welding has a significant environmental impact, and partial replacement with Ar+CO₂ mixtures or optimization of parameters can reduce the carbon footprint.

Modern technologies (laser, friction, structural bonding) bring ecological and economic benefits, reducing fumes, splashes, waste and material consumption.

Green infrastructure and logistics (recycling, recovery, digitalization) constitute a strong basis for green manufacturing in a shipyard.

Equipment and consumables must be chosen based on performance and ecological footprint, not just on price or industrial tradition.

Continuous training of welders and staff involvement in the culture of sustainability are decisive for the success of the green transition.

Digital monitoring of consumption and emissions (through SCADA, smart meters, LEV systems, ecological KPIs) is essential for continuous control and improvement.

ESG certification and alignment with international standards (ISO 14001, 50001, 3834) are strategic steps that increase the organization's reputation and facilitate access to sustainable financing.

Acknowledgement

This paper contains results obtained within the project entitled "Academic Network for a Green and Innovative Europe", acronym DIGIGREEN, no. 2023-1-RO01-KA220-HED-000158031, co-financed by the ERASMUS+ Programme, KA220-HED - Cooperation partnerships in higher education.

Bibliografie/References

- [1] Kalutara, P., Zhang, G., Setunge, S., Wakefield, J. (2018). Prioritising sustainability factors for Australian community buildings' management using Analytical Hierarchy Process (AHP). International Journal of Strategic Property Management. 24. 37-50. 10.3846/ijspm.2018.318
- [2] Jindal, P. Chapter 18- Economic, social, and environmental aspects of sustainable development-direct and indirect effects on business practices, Editor(s): Simon Grima, Kiran Sood, Ercan Özen, Rebecca Dalli Gonzi, In Science of Sustainable Systems, Greening Our Economy for a Sustainable Future, Elsevier, 2025, Pages 227-240, ISBN 9780443236037, <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23603-7.00018-2>
- [3] Kaimovs, M., Skarupins, A. (2024). Integrity of various aspects of sustainability. Economics & Education. 9. 6-13. 10.30525/2500-946X/2024-2-1
- [4] Vakili, S., Schönborn, A., Ölçer, A. The road to zero emission shipbuilding Industry: A systematic and transdisciplinary approach to modern multi-energy shipyards, Energy Conversion and Management: X, Volume 18, 2023, 100365, ISSN 2590-1745, <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100365>
- [5] <https://nextgenerationshipyards.com/en/sustainability/>
- [6] <https://www.saint-gobain-marine.com/sustainability-green-shipbuilding>

Pentru citare:

Savu, I.D., Ascenso Pires, I.P., Klobčar, D., Stan (Cosma), A., Savu, A.M., Putz-Egger, L.M., Stan, D., Motounu, D.C., *Joining and Sustainability, Sudura, nr. 3 (2025), year XXXV, 17-33*



ȘCOALĂ DE SUDURĂ

TIG

MIG / MAG

MMA



www.scoala-sudura.ro

MECANOSUD

REZOLVAREA PROBLEMELOR DE SUDURĂ

MECANOSUD s.r.l. • 500068 Brașov • Str. Carierei nr. 153
office@mecanosud.ro • Tel.: 0722 646 119 • 0726 780 321