



# **Μεταλλικά Υλικά & Ανέγερση Θαλασσίων Κατασκευών. Μηχανικές & Θερμικές Κατεργασίες με Έμφαση στις Συγκολλήσεις: Εκπαιδευτικοί στόχοι και ερευνητικές προοπτικές**

**Άννα Δ. Ζερβάκη, Επίκουρη Καθηγήτρια**  
Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών  
Τομέας Θαλασσίων Κατασκευών

**ΕΜΠ, 14 Απριλίου 2025**

- Ακαδημαϊκή/ Επαγγελματική πορεία
- Εκπαιδευτικό έργο
- Ερευνητική δραστηριότητα
- Μελλοντικοί στόχοι

- Ακαδημαϊκή/ Επαγγελματική πορεία
- Εκπαιδευτικό έργο
- Ερευνητική δραστηριότητα
- Μελλοντικοί στόχοι

## ΣΠΟΥΔΕΣ

- **2004:** Διδακτορικό δίπλωμα, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας “**Συγκολλήσεις κραμάτων Αλουμινίου με laser: Πειραματική μελέτη και προσομοίωση της διαμόρφωσης της μικροδομής της ΘΕΖ**”
- **1989:** Δίπλωμα Μηχανικού Μεταλλείων-Μεταλλουργού, Ε.Μ.Π.

## ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΧΟΛΕΙΑ

- **Αύγουστος 2013:** Phase Field Method, Access e.V., Aachen, Germany
- **Ιούνιος 2008:** Simulation of Phase Transformations, DGM, Germany
- **Φεβρουάριος 1997:** EUROLASER Academy, Laser Welding , Laser Surface Treatment, Laser Bending, University of Liverpool, UK
- **Απρίλιος 1996:** Computational Kinetics, Royal Institute of Technology, Sweden

# Ακαδημαϊκή/ Επαγγελματική Πορεία

ΕΘΝΙΚΟ  
ΜΕΤΣΟΒΙΟ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

2021

**2/08/2021-σήμερα:** Σχολή Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών, Επικ. Καθηγήτρια

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

**07/2014-1/08/2021:** Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Υλικών, Ε.ΔΙ.Π., Α βαθμίδα

**07/2002-07/2014:** Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Εργαστήριο Υλικών, ΕΤΕΠ

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

2002

**1/2002-07/2002:** Περιφερειακό Εργαστήριο Δημοσίων Έργων

ΕΒΕΤΑΜ Α.Ε.

**11/2000-01/2002:** Προϊσταμένη Εργαστηρίου Μηχανικών & Υδραυλικών Δοκιμών

Υπεύθυνη Μονάδας Βιομηχανικών Εφαρμογών LASER

**02/1992-01/2002:** Υπεύθυνη Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής Μικροσκοπίας & Μεταλλογραφίας

1990

**08/1990-01/1992:** Τομέας Ερευνητικών Προγραμμάτων

ΙΤΕ/ΙΗΔΛ

1989

**09/1989-07/1990:** Υποτροφία ειδίκευσης & εκπαίδευσης, Εργαστήριο Εφαρμογών LASER

# Περιεχόμενα

- Επαγγελματική πορεία
- Εκπαιδευτικό έργο
- Ερευνητική δραστηριότητα
- Μελλοντικοί στόχοι

08/2021 – σήμερα (Επ. Καθηγήτρια )

## Προπτυχιακά μαθήματα

### **Μεταλλικά Υλικά**

- Υποχρεωτικό μάθημα 2<sup>ου</sup> εξαμήνου
- 4<sup>ος</sup> χρόνος αυτοδύναμης διδασκαλίας

### **Μηχανουργικές Κατεργασίες Διάβρωση & Προστασία Μεταλλικών Υλικών**

- Υποχρεωτικό μάθημα 3<sup>ου</sup> εξαμήνου
- 4<sup>ος</sup> χρόνος αυτοδύναμης διδασκαλίας

### **Επιστήμη & Τεχνολογία Συγκολλήσεων**

- Μάθημα επιλογής 8<sup>ου</sup> εξαμήνου
- 4<sup>ος</sup> χρόνος αυτοδύναμης διδασκαλίας

ΓΡΗΓΟΡΗΣ Ν. ΧΑΪΔΕΜΕΝΟΠΟΥΛΟΣ  
Καθηγητής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας  
ANNA ZEPBAKH  
Επίκουρη Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

## **ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ**



## **Εργαστηριακές Σημειώσεις**

Οδηγίες Εργασίας για ΜΚΕ

- Διεισδυτικά Υγρά
- Μαγνητικά Σωματίδια
- Υπέρηχοι
- Replica

**08/2021 – σήμερα (Επικ. Καθηγήτρια )**

**Μεταπτυχιακά μαθήματα**

**ΔΠΜΣ Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία**

**Υλικά Ναυπηγικών & Θαλασσίων Κατασκευών & Μέθοδοι Κατεργασίας τους**

- Υποχρεωτικό μάθημα Κατεύθυνσης II
- 3<sup>ος</sup> χρόνος συν -διδασκαλίας με Καθ. Ν. Τσούβαλη

**Δομική Συμπεριφορά και Σχεδιασμός Υποθαλάσσιων αγωγών**

- Κατ'επιλογήν Υποχρεωτικό Κατεύθυνσης II
- 3<sup>ος</sup> χρόνος συν- διδασκαλίας με Καθ. Σ. Καρμάνο, και Καθ. Ι. Χατζηγεωργίου

**08/2021 – σήμερα (Επικ. Καθηγήτρια )**

## **Μεταπτυχιακά μαθήματα**

**ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών**

### **Φυσική Μεταλλουργία**

- Μάθημα επιλογής 1<sup>ου</sup> εξαμήνου
- 3<sup>ος</sup> χρόνος συν διδασκαλίας με Καθ. Γ. Φούρλαρη

### **Συγκολλήσεις**

- Μάθημα επιλογής 2<sup>ου</sup> εξαμήνου
- 3<sup>ος</sup> χρόνος συν διδασκαλίας με Καθ. Σ. Παπαευθυμίου

**ΔΠΜΣ Συστήματα Αυτοματισμού**

### **Συγκολλήσεις**

- Μάθημα επιλογής 2<sup>ου</sup> εξαμήνου
- 3<sup>ος</sup> χρόνος συν διδασκαλίας με Καθ. Σ. Παπαευθυμίου

# Διπλωματικές εργασίες

08/2021 – σήμερα (Επικ. Καθηγήτρια )

## Επίβλεψη Διπλωματικών Εργασιών

- 13 ολοκληρωμένες
- 13 σε εξέλιξη

## Επίβλεψη Μεταπτυχιακών Εργασιών

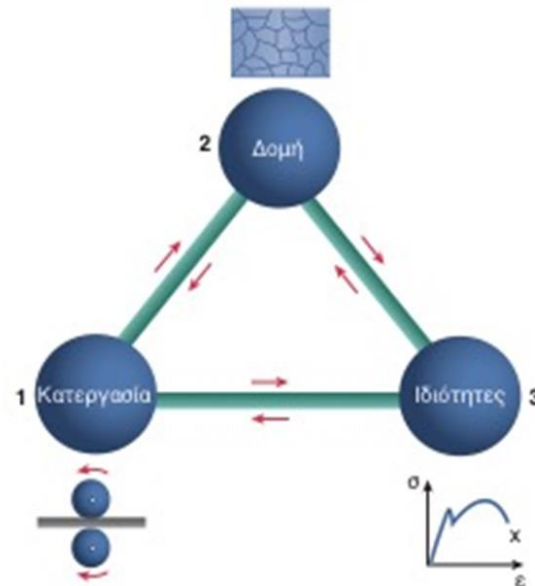
- 3 ολοκληρωμένες
- 3 σε εξέλιξη

## Επίβλεψη Διδακτορικών Διατριβών

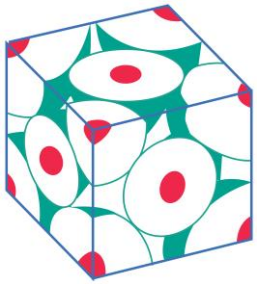
- 3 σε εξέλιξη

## Εκπαιδευτικοί στόχοι και παιδαγωγική στρατηγική (1/2)

- Κατανόηση θεμελιωδών αρχών Επιστήμης Μεταλλικών Υλικών, Κατεργασιών, Διάβρωσης & Συγκολλήσεων
- Σύνδεση πραγματικών βιομηχανικών προβλημάτων με το μάθημα
- Εργαστήριο σε όλα τα προπτυχιακά μαθήματα με υποχρέωση συγγραφής Έκθεσης Εργαστηρίου



## Εκπαιδευτικοί στόχοι και παιδαγωγική στρατηγική (2/2)

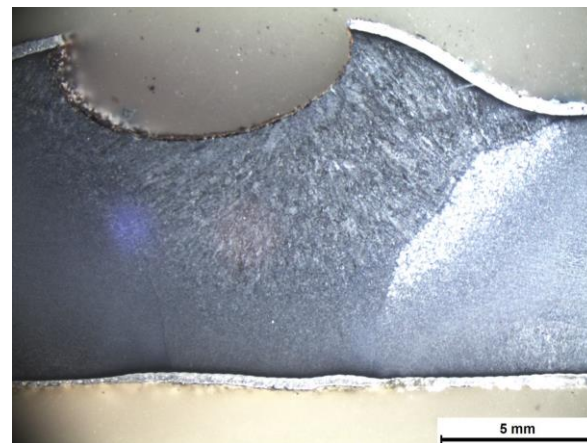


- Αλληλεπίδραση κρυσταλλικής δομής -  $H_2$
- Διαμορφωσιμότητα
- Θερμικές Κατεργασίες

### Case studies

**Συγκολλήσεις:** Υλικό + Παραμένουσες Τάσεις + Διαβρωτικό περιβάλλον → SCC

**Διάβρωση:** Παρουσίαση πραγματικών προβλημάτων. Ανάλυση- Θεωρία διάβρωσης- Ηλεκτροχημεία- Αναζήτηση λύσεων & Προτάσεις.



- Επαγγελματική πορεία
- Εκπαιδευτικό έργο
- Ερευνητική δραστηριότητα
- Μελλοντικοί στόχοι

- ❑ **Συγκολλήσεις μεταλλικών υλικών. Μηχανικές & Θερμικές Κατεργασίες**
- ❑ **Προσθετική Κατασκευή (WAAM)**
  - Συγκολλήσεις τόξου
  - Συγκολλήσεις δια τριβής και ανάδευσης (FSW)
- ❑ **Ανοξείδωτοι χάλυβες σε περιβάλλον H<sub>2</sub>**
  - Μετασχηματισμοί φάσεων
  - Μηχανική συμπεριφορά
- ❑ **Συσχέτιση Κατεργασίας-Δομής-Ιδιοτήτων- Απόδοσης Μεταλλικών Υλικών**
  - Προσομοίωση εξέλιξης μικροδομής σε συγκολλήσεις/θερμικές κατεργασίες με υπολογιστική θερμοδυναμική, υπολογιστική κινητική και phase field method
  - Αστοχίες Μηχανολογικών Στοιχείων και Κατασκευών

## Χρηματοδοτούμενη έρευνα

### Επιστημονική Υπεύθυνη

**2024-2026: NICOLHY:NOVEL INSULATION CONCEPTS FOR LH2 STORAGE TANKS**

<https://nicolhy.eu/>

BAM (DE), Uni Bologna(IT), NTNU(NO), DLR (DE)



### Ρόλος ομάδας ΕΜΠ:

Αξιολόγηση, Κατάταξη & Επιλογή Υλικών για κατασκευή VIP για χρήση σε 20K

Ανάπτυξη μοντέλων ΠΣ

Προσδιορισμός διαδικασίας συγκόλλησης για κατασκευή VIP

**2023-2025: ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ FSW ΣΕ ΚΡΑΜΑΤΑ AL-CU-LI**

Απευθείας χρηματοδότηση από ΕΑΒ



### Στόχοι:

Βελτιστοποίηση συγκολλήσεων FSW ανόμοιων κραμάτων Al (2099/2066) με διαφορετικό πάχος

Μηχανική συμπεριφορά των διαφορετικών ζωνών της συγκόλλησης (NZ, TMAZ, HAZ)

## Μέλος Ερευνητικής ομάδας

2023-2027: **LH2CRAFT**: Safe and Efficient Marine Transportation of Liquid Hydrogen <https://lh2craft.eu/>

HYDRUS(GR) BV(FR) RINA (IT) GABADI (ES) ABS (GR) WEGEMT (NL) TU Dresden (DE)

KSOE(KR) UPatras (GR)

(Ε.Υ. Ν. Τσούβαλης)



## Ρόλος:

Σχεδιασμός προγράμματος Μηχανικών δοκιμών (Tensile, SSRT, NSST, Fatigue) μεταλλικών υλικών σε RT, LT και CT

Αξιολόγηση επίδρασης Υδρογόνου στα μεταλλικά υλικά κατασκευής δεξαμενών μεμβρανικού τύπου

Ποσοτικοποίηση επίδρασης Υδρογόνου

Σχεδιασμός συγκολλήσεων & αξιολόγηση επίδρασης παρουσίας Υδρογόνου

2022-2025: **SIRENES**: Structural Integrity of offshore Renewable ENergy platformS

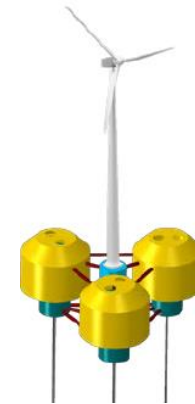
(χρηματοδότηση από ΕΛΙΔΕΚ, Π.Θ. Ε.Υ. Σ. Καραμάνος)

## Ρόλος :

Σχεδιασμός (WPS) και επίβλεψη ρομποτικών συγκολλήσεων (regular steel, HSLA steel).

Σχεδιασμός και επίβλεψη κατεργασίας HFMI

Συμπεριφορά κόπωσης υπό διάβρωτικό περιβάλλον



## Απευθείας χρηματοδότηση από βιομηχανία

**2022-2026:** Μελέτες αστοχίας υλικών

Χρηματοδότηση: Motor Oil

**2021-2026:** Μελέτες αστοχίας υλικών στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ελευσίνας

Χρηματοδότηση: ΕΛ.ΠΕ.

**2021-2026:** Μελέτες αστοχίας υλικών στις Βιομηχανικές Εγκαταστάσεις Ασπροπύργου

Χρηματοδότηση: ΕΛ.ΠΕ.

**2021-2026:** Παροχή υπηρεσιών αστοχίας μεταλλικών υλικών Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας

Χρηματοδότηση: Διάφοροι φορείς (METKA, METLEN, FRIGOGLASS, CORAL GAS, ELPEDISON)

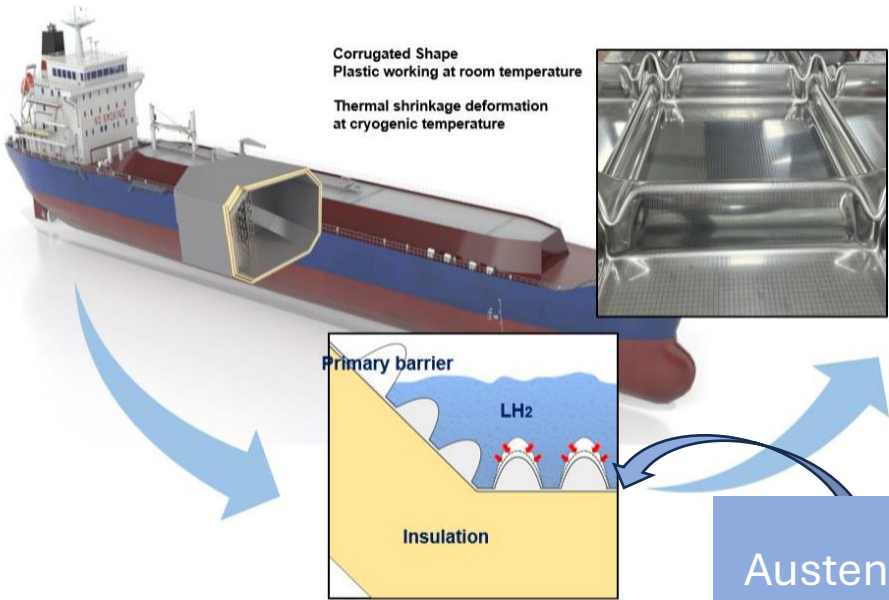




KHI, Suiso Frontier (2021)  
Spherical tank, 1250m<sup>3</sup>



| Item                        | Description            | Unit              |
|-----------------------------|------------------------|-------------------|
| Tank type                   | Membrane type          | -                 |
| Gross volume                | Abt. 160,000 (4 tanks) | m <sup>3</sup>    |
| Hull Protection             | Dual metal barrier     | -                 |
| Density of LH <sub>2</sub>  | 71.0                   | kg/m <sup>3</sup> |
| Design vapor pressure       | 0.035                  | MPa               |
|                             | 350                    | mbar              |
| Design temperature          | -253                   | °C                |
| Entire insulation thickness | ≤1,000                 | mm                |
| Target BOR                  | ≤0.2                   | %/day             |

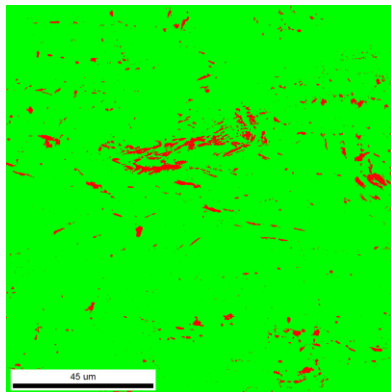
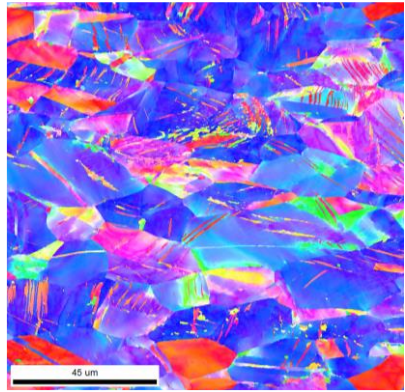


Austenitic Stainless steels  
304/304L  
316/316L

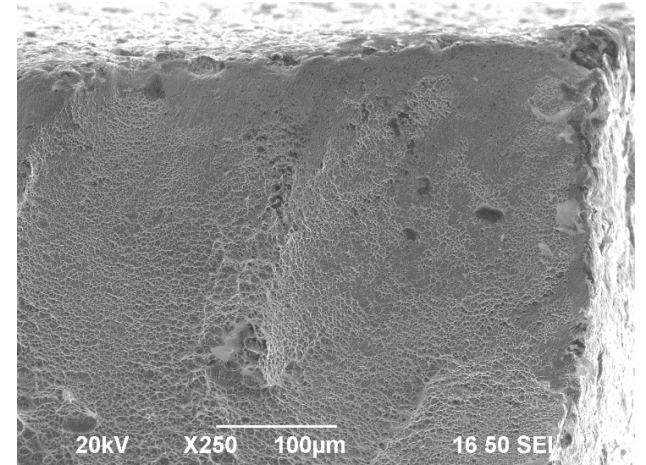
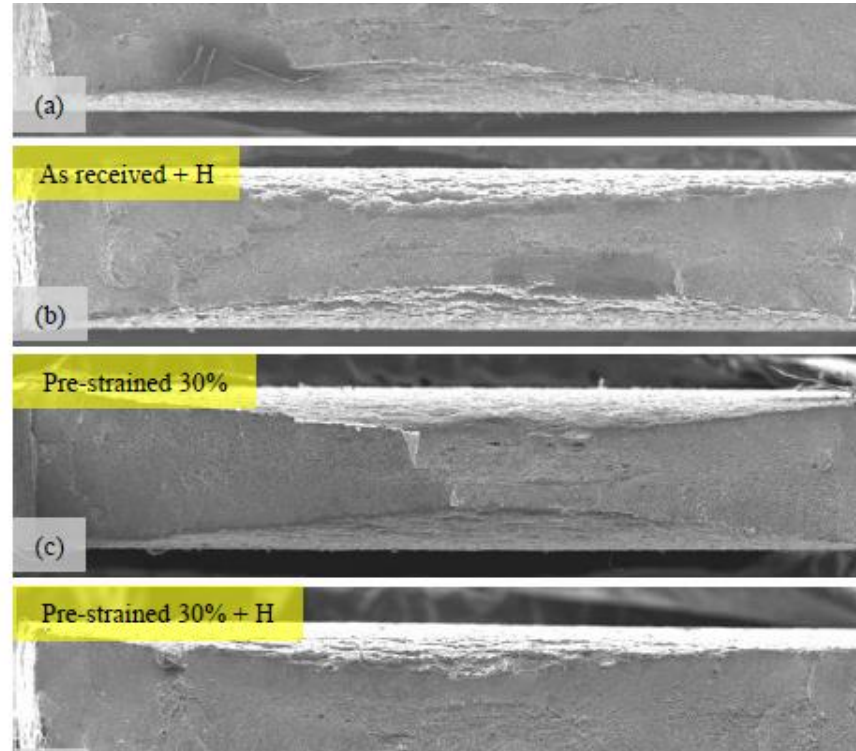
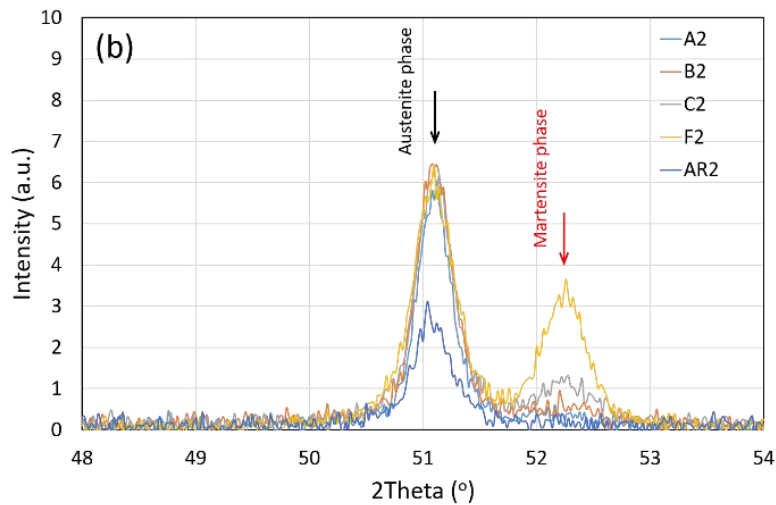
| Item                     | Candidate       | Selection basis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Assessment Requirements                                                                                                                                                          |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Primary barrier</b>   | <b>STS 316L</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>STS 316L has been known to be stable enough to be used in hydrogen environments, with very little martensitic phase transformation even when subjected to large deformation.</li> <li>The references are CSA CHMC, IGC interim recommendation, NASA report, etc.</li> </ul>                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydrogen embrittlement under large (plastic) deformation.</li> <li>Cryogenic (20K) mechanical strength, fatigue strength, etc.</li> </ul> |
| <b>Secondary barrier</b> | <b>STS 304L</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>A metal based corrugated membrane is decided to be more suitable than composite-based secondary barrier at LH2 temperature(-253°C).</li> <li>STS 304L is selected due to the fact that the temperature at the secondary barrier in normal operation is similar to LNG carriers and it is already proven in many LNG carriers.</li> </ul> |                                                                                                                                                                                  |

- Correlation between strain-induced martensitic transformation (SIM) and hydrogen effect
- Identification of trap sites within the material (TDS)
- Assessment of Hydrogen embrittlement under RT, LT, CT (SSRT tests).

# Αποτελέσματα σε προ-παραμορφωμένο χάλυβα 316L



| Phase           | Total Fraction | Partition Fraction |
|-----------------|----------------|--------------------|
| Austenite       | 0.968          | 0.968              |
| Martensite Alfa | 0.032          | 0.032              |

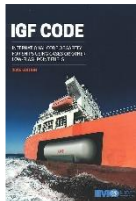


## Existing Regulatory Framework

### Rules & Regulations



IGC (for LNG)



IGF (as fuel)

### Guidelines – Recommendations



IMO Working  
Groups (CCC 8 & 9)



Classification  
Societies

### International Standards for material testing



ISO (Gas H<sub>2</sub>,  
fuel)



ASTM



ANSI-CSA

New Rules & Guidelines under progress... (e.g. IMO CCC)

## Regulatory Gaps

---

Limited **official rules** specifically for **carriage of LH<sub>2</sub>** → mainly LNG based regulations

---

No international standards specifically applicable to **hydrogen containment systems** and **hydrogen carrier ships**

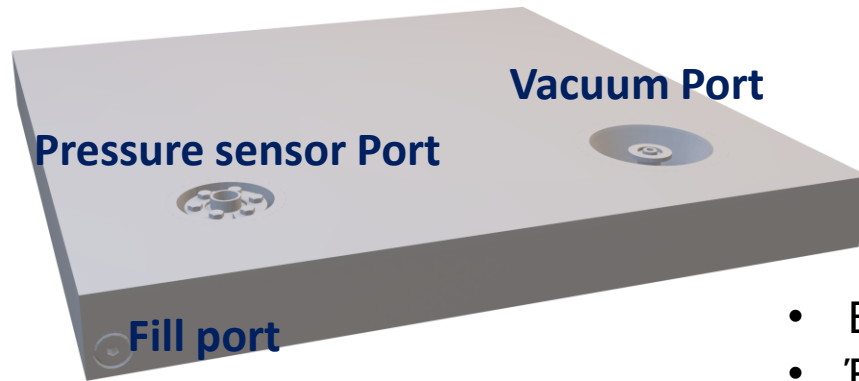
---

Lack of **LH<sub>2</sub> material compatibility testing** and standardization → gaseous hydrogen environment is mainly addressed

---

Lack of integration of the **provisions of LH<sub>2</sub> in bulk** with the regulations of **hydrogen as fuel**

---

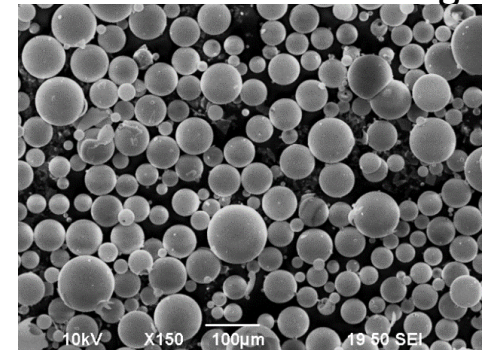


## Vacuum Insulation Panels (VIP) for LH2 storage tanks

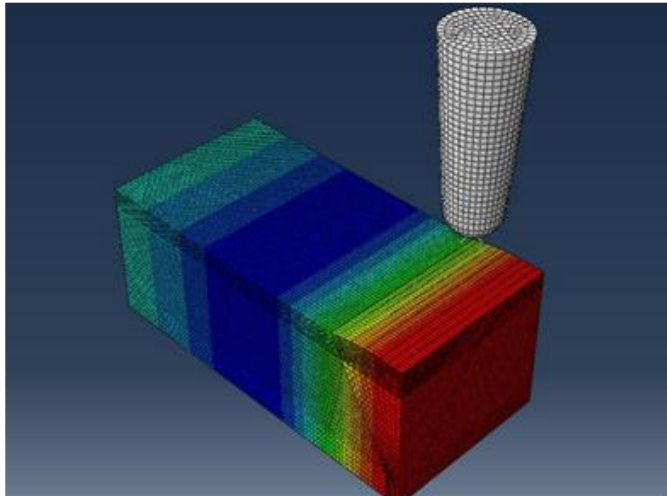
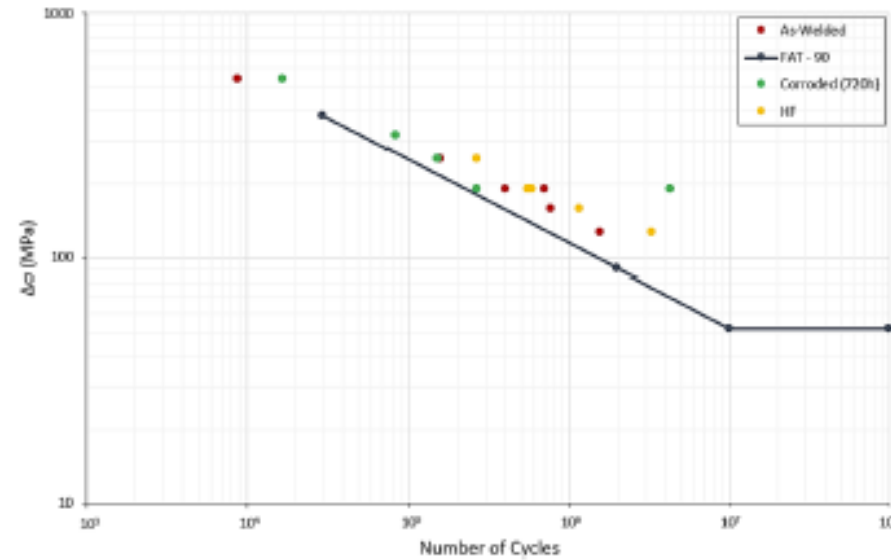
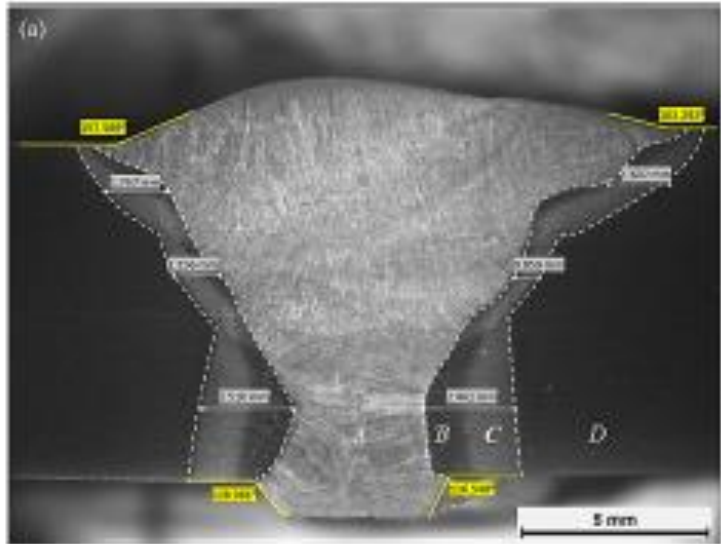
**Foil material: AISI 316L,  $t=0.2$  mm**

- Βελτιστοποίηση συγκολλήσεων GTAW / LBW
- Έλεγχος ρυθμού εισαγωγής θερμότητας
- Αξιολόγηση μηχανικής συμπεριφοράς (WM/HAZ) σε CT παρουσία H<sub>2</sub>

**Core material: hollow glass microspheres**



|   | Foil (Envelope)      | Insulator (Core)       | Fibers           | Inner Plate          | Q (W)  |
|---|----------------------|------------------------|------------------|----------------------|--------|
| 2 | Mylar                | Evacuated Perlite      | Glass Wool       | Stainless Steel 304L | 0,5362 |
| 3 | Mylar                | Evacuated Perlite      | Polyester/Dacron | Stainless Steel 304L | 0,5487 |
| 3 | Stainless Steel 304L | Evacuated Perlite LV   | Glass Wool       | Stainless Steel 304L | 0,738  |
| 4 | Stainless Steel 304L | Evacuated Perlite      | Glass Wool       | Stainless Steel 304L | 0,7588 |
| 5 | Mylar                | Silica (Fumed/Aerogel) | Glass Wool       | Stainless Steel 304L | 1.41   |
| 6 | Stainless Steel 304L | Silica (Fumed/Aerogel) | Glass Wool       | Stainless Steel 304L | 1,66   |
| 7 | Mylar                | Polyurethane Foam      | Glass Wool       | Stainless Steel 304L | 1.97   |
| 8 | Mylar                | Polyurethane Foam      | Polyester/Dacron | Stainless Steel 304L | 2.05   |



## Διπλωματικές Εργασίες ΣΝΜΜ:

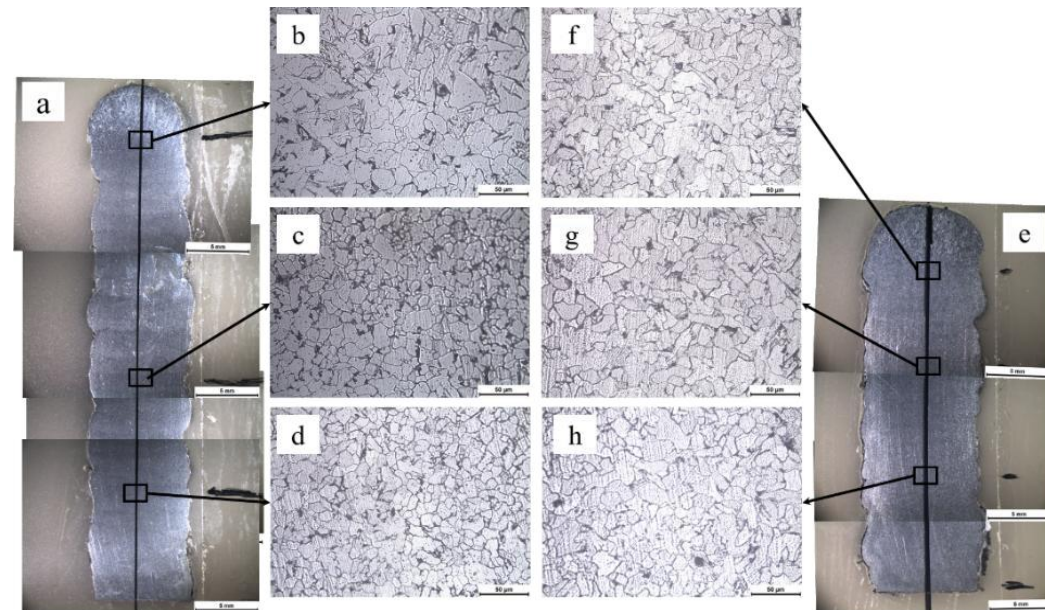
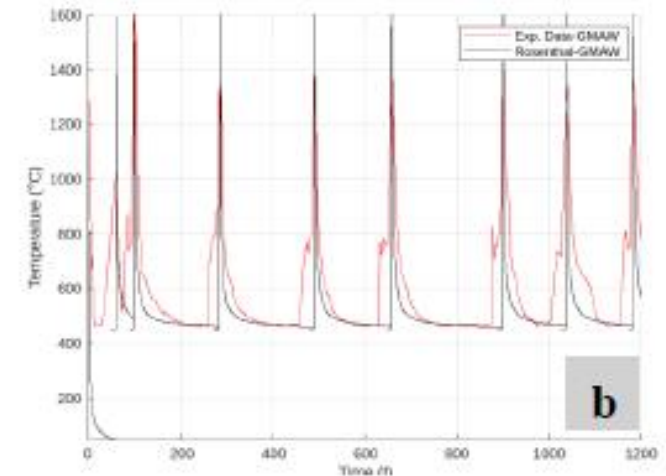
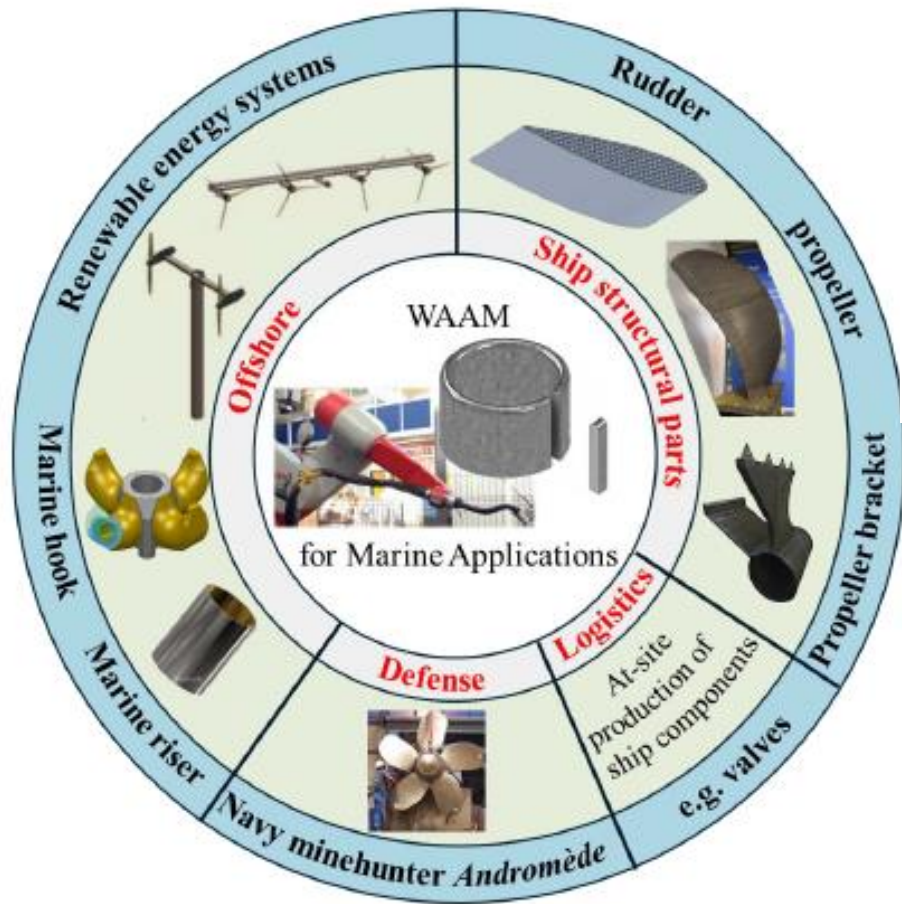
Ν.Δασκαλόπουλος

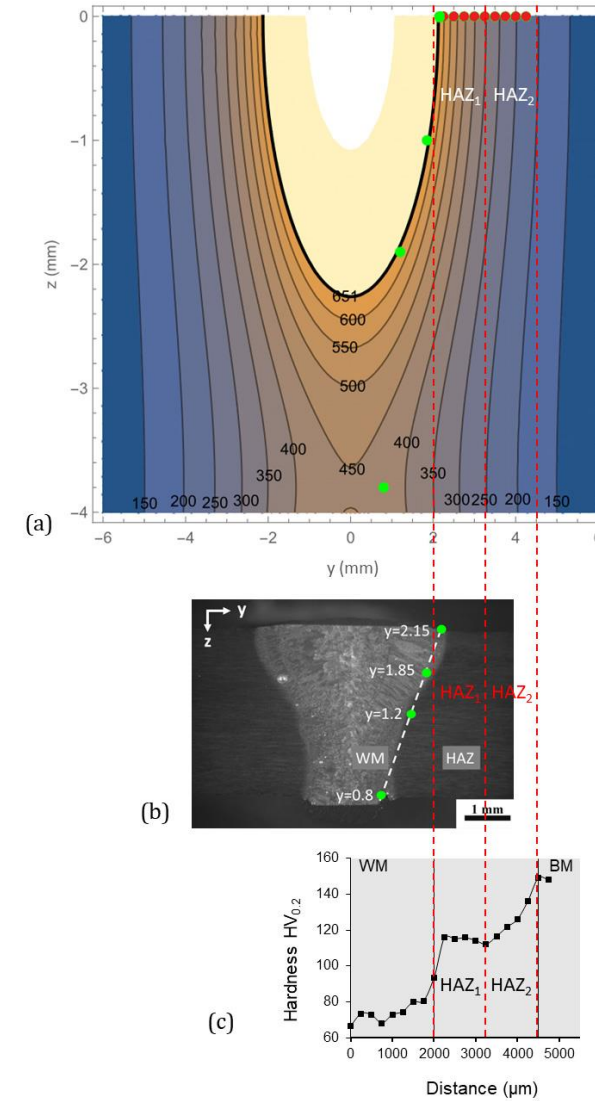
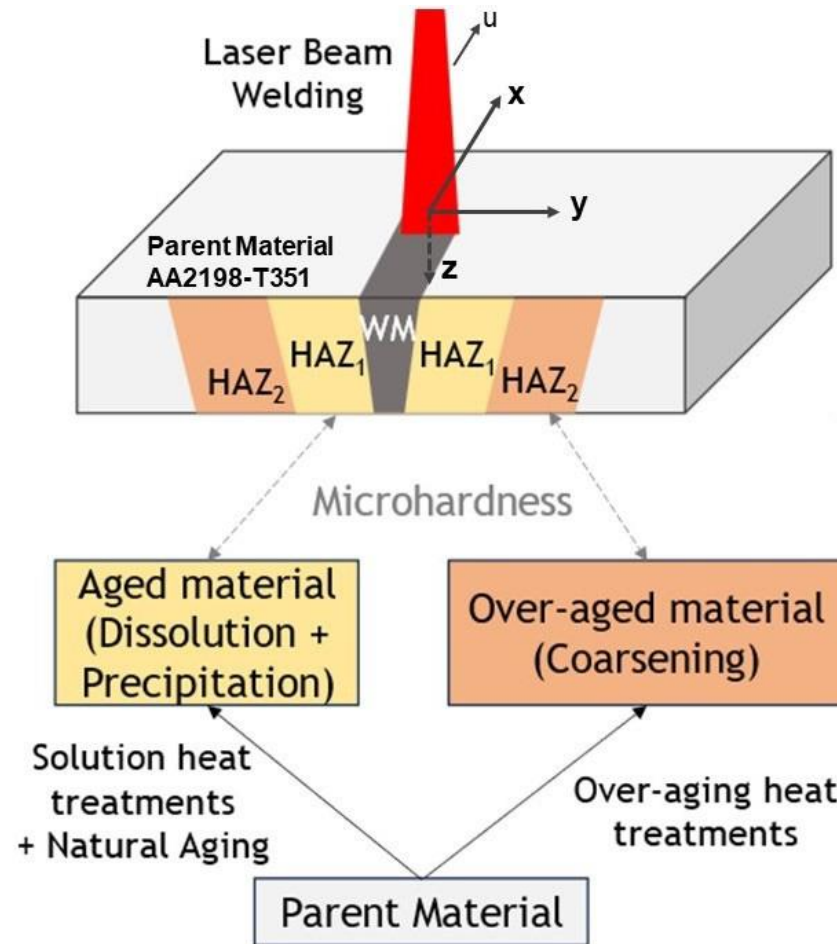
Α. Λέκκας

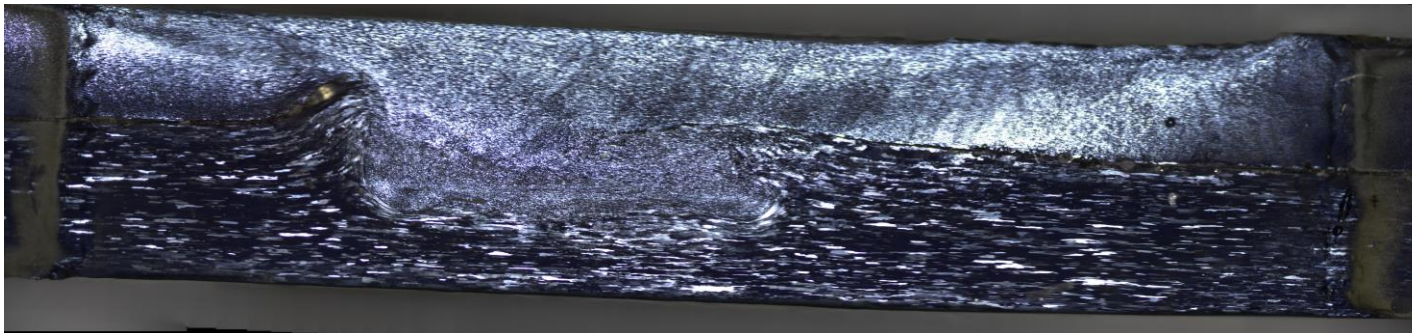
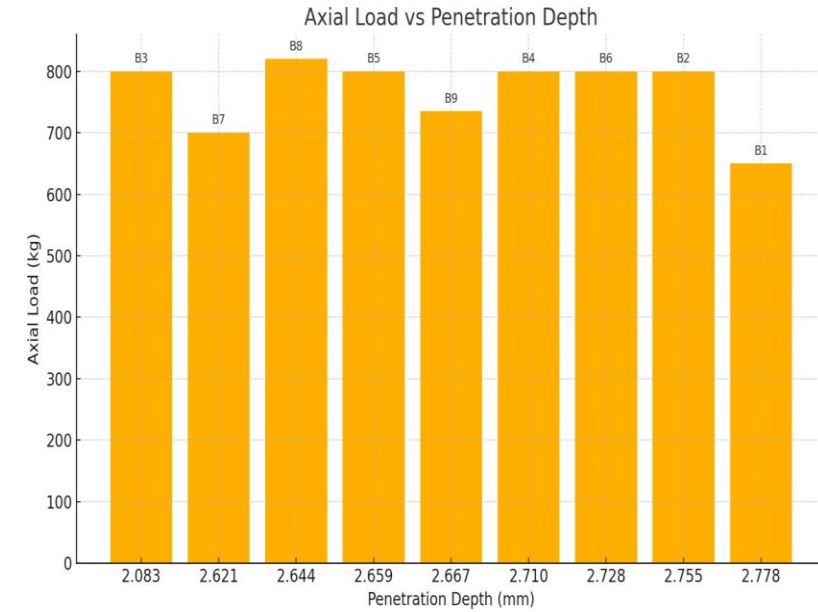
Δ. Χαυλίδης

Σ. Σπυροπούλου

Ε. Χριστοφίλης







## 2021 – σήμερα

### Δημοσιευμένο έργο

- 39 άρθρα σε επιστημονικά περιοδικά
  - 10 άρθρα από 2021 – σήμερα
- 41 άρθρα σε συνέδρια
  - EUROMAT
  - ICEAF
  - EUROSTEEL
  - AWAMR
  - PVP



# Υποβολή Ερευνητικών Προγραμμάτων

**SURFAM** (2022): ADVANCED SURFACE TREATMENTS OF PARTS PRODUCED BY AM TECHNOLOGIES (HORIZON EUROPE )  
Chemetall (DE), IAI (IL), LORTEK(ES), HAI (GR), CNRS (FR), Vrije Universiteit Brussel (BE), LKEME(GR),  
MPT(GR), AFEKA(IL), MAIER (ES) , IFAM(DE).

**SMART WELD** (2022): A UNIVERSALLY APPLICABLE PLATFORM FOR AI-BASED CONTROL OF INDUSTRIAL  
ROBOT WELDING PROCESSES  
UNIVERSITAET SIEGEN (DE), CESKE VYSOKE UCENI TECHNICKE V PRAZE (CZ), Rittal GmbH(DE), PRIME  
LASER (GR), MPT(GR), CARL CLOOS (DE), mySCADA (CZ) SSI Schäfer (CZ)

**HYDEM** (2023): Advanced metallic and composite materials for Hydrogen storage Demonstrators

**ADAPTIVE WELD** (2023) Universally applicable platform for AI-based control of industrial robot welding processes (A(I)daptive Weld  
Platform)

**POLDI** (2023): Quantification of residual stresses distribution in butt joints of Robot Flux Cored Arc Welds (FCAW) of HSLA S700MC  
steel, treated by High Frequency Mechanical Impact (HFMI)

**Deutsches Elektronen-Synchrotron** (DESY 2024): Phase Transformation Kinetics in Austenitic Stainless Steel under Cryogenic  
Conditions.

**Συμπράξεις Ερευνητικής Αριστείας** (2024): 1) *Αντιμετώπιση της Ψαθυροποίησης Υδρογόνου σε Συγκολλήσεις Σωλήνων  
Χάλυβα Χαμηλής Κραμάτωσης*

Παν. Πάτρας , ΣΩΛ.ΚΟΡΙΝΘΟΥ

2) *Αναπτυξη Κραμάτων Θυσιαζόμενων Ανοδίων για χρήση σε συστήματα  
Καθοδικής Προστασίας*

Παν. Πάτρας, Παν. Θεσσαλίας, ΕΠΕ

**Trust Your Stars(2024): Additive Manufacturing for Sustainable Recycling of Stainless Steels (AM4RoSS)**

Παν. Πάτρας, ΑΠΘ, Institute of Physics of Materials of the Czech Academy of Sciences,  
Institute of Metallurgy and Materials Science, Polish Academy of Sciences

**MARINUS Cost Action(2024): Marine Materials Network for Sustainable Use of our Seas**

- Επαγγελματική πορεία
- Εκπαιδευτικό έργο
- Ερευνητική δραστηριότητα
- **Μελλοντικοί στόχοι**

## Εκπαίδευση

Εισαγωγή νέου Κεφαλαίου στο μάθημα «Επιστήμη & Τεχνολογία Συγκολλήσεων»

Εφαρμογή Συγκολλήσεων στην ανέγερση Θαλασσίων Κατασκευών 8<sup>ο</sup> εξάμηνο

## Έρευνα

- Δημιουργία υποδομής για Υπολογιστική Θερμοδυναμική / Κινητική
- Ανάπτυξη Κραμάτων Al:Sc για ναυπηγικές εφαρμογές
- Ανανέωση/ αναβάθμιση Εξοπλισμού ENT για δημιουργία σύγχρονης υποδομής στις Συγκολλήσεις
- Δημιουργία hub για ανάπτυξη, εφαρμογή και διάχυση τεχνολογιών Προσθετικής Κατασκευής (WAAM, SLM) για εφαρμογές στη Ναυπηγική
- Συνέχεια προσπάθειας για προσέλκυση χρηματοδότησης

**Ευχαριστώ για την προσοχή σας!!**