

## Α-7. Προηγμένες τεχνολογίες ανάκτησης κρίσιμων μετάλλων από απόβλητα ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού

### 1. ΓΕΝΙΚΑ

<b>ΣΧΟΛΗ</b>	ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ		
<b>ΤΜΗΜΑ</b>	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ		
<b>ΕΠΙΠΕΔΟ ΣΠΟΥΔΩΝ</b>	ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ		
<b>ΚΩΔΙΚΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b>	A-7	<b>ΕΞΑΜΗΝΟ ΣΠΟΥΔΩΝ</b>	A
<b>ΤΙΤΛΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b>	Προηγμένες τεχνολογίες ανάκτησης κρίσιμων μετάλλων από απόβλητα ηλεκτρονικού και ηλεκτρολογικού εξοπλισμού		
<b>ΑΥΤΟΤΕΛΕΙΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ</b>	<b>ΕΒΔΟΜΑΔΙΑΙΕΣ ΩΡΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ</b>	<b>ΠΙΣΤΩΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ</b>	
Διάφορες μορφές διδασκαλίας	5	7,5	
<b>ΤΥΠΟΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b>	Επιστημονικής Περιοχής, Ανάπτυξης Δεξιοτήτων		
<b>ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΜΑΘΗΜΑΤΑ:</b>	--		
<b>ΓΛΩΣΣΑ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ και ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ:</b>	Ελληνική		
<b>ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΠΡΟΣΦΕΡΕΤΑΙ ΣΕ ΦΟΙΤΗΤΕΣ ERASMUS</b>	Ναι		
<b>ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ</b>	<a href="https://eclass.hmu.gr/courses/EE381/">https://eclass.hmu.gr/courses/EE381/</a>		

### 2. ΜΑΘΗΣΙΑΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

<b>Μαθησιακά Αποτελέσματα</b>
<p>Κατά το ΠΔ 117/ 5-3-2004 ως ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός (ΗΗΕ) νοείται «ο εξοπλισμός του οποίου η ορθή λειτουργία εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών και ο οποίος έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση μέχρι 1.000 V εναλλασσομένου ρεύματος και μέχρι 1.500 V συνεχούς ρεύματος». ΑΗΗΕ θεωρούνται τα είδη ΗΗΕ που για κάποιο λόγο όπως π.χ. τέλος χρόνου ζωής, απορρίπτονται «συμπεριλαμβανομένων όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, των συναρμολογημένων μερών και των αναλωσίμων, που συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά τον χρόνο απόρριψής του». Οι κύριες κατηγορίες ΑΗΗΕ είναι: μικρές και μεγάλες οικιακές συσκευές, εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, καταναλωτικά είδη, φωτιστικά είδη, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, ιατροτεχνολογικά προϊόντα, όργανα παρακολούθησης και ελέγχου.</p> <p>Τα ΑΗΗΕ αποτελούν ένα μη ομογενοποιημένο και πολύπλοκο σύνολο από άποψη υλικών και συστατικών μερών. Μεταξύ αυτών των υλικών, κάποια έχουν μεγάλη οικονομική αξία και εάν ανακτηθούν μπορούν να προκαλέσουν σπουδαία οφέλη τόσο από οικονομική άποψη όσο και από την άποψη της εξοικονόμησης ενέργειας και της διατήρησης των φυσικών πόρων. Από την άλλη, κάποια από τα συστατικά των ειδών ΗΗΕ και των ΑΗΗΕ είναι πολύ τοξικά για τον άνθρωπο και το περιβάλλον ή μπορούν να προκαλέσουν τη δημιουργία παραγώγων που είναι τοξικά, από τη μη ορθή διαχείριση και επεξεργασία τους. Η ολοκληρωμένη διαχείριση των ΑΗΗΕ κινείται σε 2 παράλληλους άξονες:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• την επεξεργασία των ΑΗΗΕ για την ασφαλή αφαίρεση τοξικών/επικίνδυνων ουσιών</li> <li>• την επεξεργασία των ΑΗΗΕ για την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων και την επαναχρησιμοποίησή τους (ανακύκλωση)</li> </ul> <p>Με την επιτυχή ολοκλήρωση του μαθήματος οι μεταπτυχιακοί φοιτητές θα είναι σε θέση να:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Γνωρίζουν τις βασικές κατηγορίες των ΑΗΗΕ, τους κύριους τρόπους και λόγους για τους οποίους αυτά δημιουργούνται και στατιστικά στοιχεία σχετικά με τις παραγόμενες ποσότητες σε Εθνικό και διεθνές επίπεδο</li> <li>• Γνωρίζουν την επικινδυνότητα και τις επιπτώσεις συγκεκριμένων υλικών των ΑΗΗΕ και αυτών των υλικών που πρέπει να ανακτούμε και να επαναχρησιμοποιούμε, σύμφωνα με την ιεράρχηση της διαχείρισης αποβλήτων της Ευρωπαϊκής Ένωσης</li> <li>• Κατανοήσουν τις μεθοδολογίες συλλογής, αποσυναρμολόγησης, ανάκτησης χρήσιμων κλασμάτων και ανακύκλωσης ΑΗΗΕ</li> <li>• Εντοπίζουν τις κατάλληλες αγορές πρώτων υλών για προώθηση των ανεκτιμώμενων κλασμάτων</li> <li>• Γνωρίζουν την νομοθεσία που διέπει τη διαχείριση των ΑΗΗΕ</li> </ul> <p>Προτείνουν δράσεις τοπικής και Εθνικής εμβέλειας (π.χ. ανταποδοτικά οφέλη στους πολίτες) για την αύξηση του ποσοστού ανακύκλωσης ΑΗΗΕ</p>
<b>Γενικές Ικανότητες</b>
<p>Αναζήτηση, ανάλυση και σύνθεση δεδομένων και πληροφοριών, με τη χρήση και των απαραίτητων τεχνολογιών.          Αυτόνομη εργασία.          Ομαδική εργασία.          Λήψη αποφάσεων          Άσκηση κριτικής και αυτοκριτικής          Προαγωγή της ελεύθερης, δημιουργικής και επαγωγικής σκέψης.</p>

### 3. ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

<p><b>Ενότητα 1: Εισαγωγή – Σκοπός του μαθήματος</b>          Ανάλυση στρατηγικής στη διαχείριση των ΑΗΗΕ</p>
---

**Ενότητα 2: Κατηγορίες ΑΗΗΕ – Ανάλυση κύκλου ζωής και στατιστικά δεδομένα**

Οι 10 κατηγορίες ΑΗΗΕ σύμφωνα με τη νομοθεσία της ΕΕ: Μικρές οικιακές συσκευές, μεγάλες οικιακές συσκευές, εξοπλισμός πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών, καταναλωτικά είδη, φωτιστικά είδη, ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά εργαλεία, παιχνίδια και εξοπλισμός ψυχαγωγίας και αθλητισμού, ιατροτεχνολογικά προϊόντα, όργανα παρακολούθησης και ελέγχου, συσκευές αυτόματης διανομής. Στατιστικά δεδομένα χρήσης, χρόνων ζωής και ετήσιων ποσοτήτων αποβλήτων στην Ευρώπη. Στοχοθεσία ΕΕ για ανακύκλωση ΑΗΗΕ έως το 2030.

**Ενότητα 3: Επικινδυνότητα υλικών στα ΑΗΗΕ και επιπτώσεις τους στη δημόσια υγεία και το περιβάλλον**

Βαρέα μέταλλα (κάδμιο, μόλυβδος, αρσενικό, χρώμιο, νικέλιο, ραδιενεργά ισότοπα), οργανικές ουσίες (χλωροφθοράνθρακες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια, αλογονωμένα επιβραδυντικά φλόγας) και πλαστικά σε ΑΗΗΕ. Ποσοστά επί του συνόλου (περιεκτικότητα σε κάθε ΑΗΗΕ), περιβαλλοντική διαδρομή μετά την απόρριψη των ΑΗΗΕ και κίνδυνοι για τη δημόσια υγεία και το περιβάλλον

**Ενότητα 4: Κρίσιμες πρώτες ύλες**

Τι ονομάζουμε κρίσιμες πρώτες ύλες και που βρίσκονται στα ΑΗΗΕ (μπαταρίες λιθίου, φωτοβολταϊκά συστήματα, ανεμογεννήτριες, ηλεκτρικά οχήματα κ.α.). Σύγκριση ποσοτήτων κρίσιμων πρώτων υλών ανά κατηγορία ΑΗΗΕ.

Γιατί η ανάκτηση τους αποτελεί στρατηγική προτεραιότητα για την ΕΕ.

**Ενότητα 5: Συλλογή και προ-επεξεργασία ΑΗΗΕ**

Συλλογή ΑΗΗΕ – Σύστημα πόρτα-πόρτα και διαλογή στη πηγή

Πρώτος διαχωρισμός ανάλογα το μέγεθος και το είδος ΑΗΗΕ

Χειρωνακτική αποσυναρμολόγηση

Μηχανικός διαχωρισμός (θραύση/τεμαχισμός)

Διαχωρισμός σιδηρούχων από μη-σιδηρούχα μέταλλα (μαγνητικός διαχωρισμός και Eddy current)

Διαχωρισμός πλαστικών μέσω πυκνότητας ή/και αισθητήρων (οπτικός διαχωρισμός)

Έκπλυση, ξήρανση, συμπίεση καθαρών κλασμάτων και προώθηση στην κατάλληλη βιομηχανία

**Ενότητα 5: Μεθοδολογίες ανάκτησης συγκεκριμένων κλασμάτων από ΑΗΗΕ**

A. πυρομεταλλουργικές

B. υδρομεταλλουργικές (χημική εκχύλιση)

Γ. βιο-εκχύλιση (bio-leaching)

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μεθοδολογίας. Εφαρμογή σε ανάκτηση γαλλίου και χρυσού από ΑΗΗΕ.

**Ενότητα 6: Μελέτη περιπτώσεων (Case studies)**

Ανάκτηση πυριτίου από φωτοβολταϊκά πάνελ στο τέλος του χρόνου ζωής τους

Ανάκτηση ίνδιου από συσκευές κινητής τηλεφωνίας

Ανάκτηση πλαστικών υλών από Η/Υ

**4. ΔΙΔΑΚΤΙΚΕΣ και ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ - ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ**

<b>ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ</b>	Πρόσωπο με πρόσωπο θεωρητική διδασκαλία. Εργαστηριακή εκπαίδευση σε μικρές ομάδες φοιτητών. Ασκήσεις πράξης σε μικρές ομάδες φοιτητών. Εργαστηριακή εκπαίδευση σε υπολογιστές που φέρουν κατάλληλο λογισμικό	
<b>ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ</b>	Χρήση λογισμικού παρουσίασης διαφανειών. Ηλεκτρονική επικοινωνία με τους φοιτητές μέσω πλατφόρμας ασύγχρονης τηλεκπαίδευσης.	
<b>ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ</b>	<b>Δραστηριότητα</b>	<b>Φόρτος Εργασίας Εξαμήνου</b>
	Διαλέξεις	65
	Ασκήσεις Πράξης	10
	Εκπόνηση ατομικών εργασιών	35
	Ατομική Μελέτη	100
	<b>Σύνολο Μαθήματος</b>	<b>210</b>
<b>ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΙΤΗΤΩΝ</b>	I. Γραπτή τελική εξέταση (ΓΕ) (80%) - Επίλυση προβλημάτων/υπολογισμοί - Συγκριτική αξιολόγηση στοιχείων θεωρίας II. Ατομική εργασία (ΑΕ) (20%) Παρουσίαση ατομικής εργασίας Τα κριτήρια αξιολόγησης ανακοινώνονται στο πρώτο μάθημα.	

**5. ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΗ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Προτεινόμενη Βιβλιογραφία:

Ελληνικά ή μεταφρασμένα διδακτικά συγγράμματα:

ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ, Διαχείριση - Επεξεργασία – Διάθεση, Γιδάρακος Ευάγγελος, Εκδόσεις ΖΥΓΟΣ, έκδοση 2/2021. Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 98782111

- Ξενόγλωσσα διδακτικά συγγράμματα:

Electronic Waste Management and Treatment Technology, 1<sup>st</sup> Edition, Editors: Majeti Narasimha Vara Prasad Meththika Vithanage. Butterworth-Heinemann, 2019.

United Nations Environmental Programme. (2007). E-waste Volume I: Inventory Assessment Manual. Division of Technology, Industry and Economics, International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga.

United Nations Environmental Programme. (2007). E-waste Volume II: E-waste Management Manual. Division of Technology, Industry and Economics, International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga.

United Nations Environmental Programme. (2012). E-waste Volume III: WEEE/e-waste "Take back system". Division of Technology, Industry and Economics, International Environmental Technology Centre, Osaka/Shiga.

Cui, J. & Forssberg, E. (2003). Mechanical recycling of waste electric and electronic equipment: a review. *Journal of Hazardous Materials*, B99, 243-263

Electronic waste management approaches: An overview. February 2013, Peeranart Kiddee, Ravi Naidu, Ming Hung Wong, *Waste Management* 33(5).

- Συναφή επιστημονικά περιοδικά:  
Waste Management (Elsevier)  
Environmental Science and Technology (ACS)  
Journal of Hazardous Materials (Elsevier)