

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών και Επικίνδυνων**  
**Αποβλήτων**

**Διπλωματική εργασία**

**«Ποσοτική εκτίμηση τοξικών μετάλλων και επικίνδυνων ουσιών σε οθόνες LCD-TFT Απόβλητου Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού»**



**Σαββιλωτίδου Βασιλική**

**Εξεταστική Επιτροπή:**  
**Γιδαράκος Ευάγγελος (Επιβλέπων, Καθηγητής)**  
**Γεντεκάκης Ιωάννης (Καθηγητής)**  
**Διαμαντόπουλος Ευάγγελος (Καθηγητής)**

**Χανιά, Οκτώβριος 2013**

## **Ευχαριστίες**

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην εκπόνησή της. Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Γιδαράκο Ευάγγελο για την ανάθεση αυτού του πολύ ενδιαφέροντος θέματος. Μου έδωσε την ευκαιρία να κατανοήσω βαθύτερα το πρόβλημα των Ηλεκτρονικών Αποβλήτων στην πράξη, στο Εργαστήριο Διαχείρισης Τοξικών Αποβλήτων Πολυτεχνείου Κρήτης. Επίσης τον ευχαριστώ για τις πολύτιμες συμβουλές του και τις γνώσεις που μου μετέφερε, αλλά και για τη καθοριστική συμβολή του στη συνέχιση των σπουδών μου.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Χαχλαδάκη Ιωάννη για τη βοήθειά του και την άμεση ανταπόκρισή του σε οτιδήποτε χρειάστηκα. Ήταν πάντα διαθέσιμος να ασχοληθεί με κάθε απορία μου. Τον ευχαριστώ πολύ για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε και ελπίζω πραγματικά να συνεχίσουμε να έχουμε στο μέλλον.

Έπειτα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές της σχολής ΜΗΠΕΡ του Πολυτεχνείου Κρήτης που με καθοδήγησαν τα τελευταία 5 χρόνια στο πολύ ενδιαφέρον και ευρύ αντικείμενο του Μηχανικού Περιβάλλοντος. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως τους καθηγητές κ. Γεντεκάκη Ιωάννη και κ. Διαμαντόπουλο Ευάγγελο για την αποδοχή τους να συμμετάσχουν στην εξεταστική επιτροπή.

Έπειτα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους και τις φίλες των φοιτητικών μου χρόνων, που έκαναν τα χρόνια αυτά μία πραγματικά αξέχαστη εμπειρία. Βέβαια, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους γονείς μου, που είναι πάντα δίπλα μου.

Σαββιλωτίδου Βασιλική  
Χανιά, Οκτώβριος 2013

## Περίληψη

Η ραγδαία αύξηση της παραγωγής Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών έχει οδηγήσει σε αντίστοιχη ταχύτατη ανάπτυξη Αποβλήτων Ηλεκτρικών και Ηλεκτρονικών Συσκευών (ΑΗΗΣ) και αναμένεται να παρουσιάσει εντονότερη αυξητική τάση τα αμέσως επόμενα έτη. Λόγω της πολύπλοκης σύνθεσής τους, της επικινδυνότητάς τους, της ταχείας αύξησης του όγκου τους και των σημαντικών επιπτώσεων που προκαλεί η παραγωγή του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού στο περιβάλλον, εξ αιτίας της υψηλής κατανάλωσης ενέργειας, η διαχείριση των ΑΗΗΣ αποτελεί ένα σύγχρονο και πολυδιάστατο περιβαλλοντικό θέμα.

Ο κύριος άξονας της εργασίας αφορά την επικινδυνότητα των οθονών LCD (Liquid Crystal Display). Δεδομένου ότι η πιο διαδεδομένη μορφή επίπεδης οθόνης, που απαντάται σήμερα σε τηλεοράσεις, ηλεκτρονικούς υπολογιστές και πληθώρα άλλων συσκευών, είναι οι οθόνες LCD, περιγράφεται η σύστασή τους και οι επικίνδυνες ουσίες από τις οποίες συνίστανται. Αναπτύσσονται οι τεχνικές και οι διεργασίες για την ορθή διαχείριση οθονών, που βασίζονται στην τεχνολογία υγρών κρυστάλλων. Ο τομέας της διαχείρισής τους βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη, ενώ από έρευνες έχει διαπιστωθεί ότι η απομάκρυνση επικίνδυνων ουσιών, η ανάκτηση πολύτιμων υλικών αλλά και η ανακύκλωση του γυαλιού των LCD πάνελ είναι προτιμητέες αλλά και εφαρμόσιμες διεργασίες υπό προϋποθέσεις.

Δίνεται επίσης έμφαση στη νομοθεσία όσον αφορά τη διαχείριση, την ασφαλή εναπόθεση αλλά και τα επιτρεπτά όρια των ρυπογόνων ουσιών που εμπεριέχονται στις οθόνες, καθώς η πρόληψη και η προφύλαξη είναι δυνατόν να μειώσουν τους κινδύνους που απειλούν τόσο το περιβάλλον αλλά και την υγεία. Η σύνθεση των κατασκευαστών με τα προβλεπόμενα νομοθετικά όρια των επικίνδυνων ουσιών, είναι αναγκαία. Για το λόγο αυτό στα πλαίσια της εργασίας ακολουθήθηκε μια πειραματική διαδικασία και τα κατάλληλα βήματα για τη διαλογή και τον διαχωρισμό του γυαλιού (αποσυναρμολόγηση, τεμαχισμός, κονιορτοποίηση, χώνευση, ανάλυση) οθόνων LCD από ηλεκτρονικές συσκευές

που κυκλοφορούν σήμερα στην αγορά, με απώτερο στόχο να εξεταστούν οι συγκεντρώσεις τοξικών μετάλλων και έπειτα να συγκριθούν με τα νομοθετήματα. Επιλέχθηκαν συσκευές που κατασκευάστηκαν μετά το 2006, για την εκπόνηση συμπερασμάτων όσον αφορά την τήρηση ή μη των ορίων που επέβαλλε η Οδηγία 2002/95/ΕΚ, και τέθηκε σε ισχύ από τον Ιούλιο του 2006. Λαμβάνοντας υπόψη την Οδηγία, τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση των δειγμάτων αποδεικνύουν ότι οι κατασκευαστικές εταιρίες έχουν συμμορφωθεί με το νομοθετικό πλαίσιο, που αφορά στην απαγόρευση επικίνδυνων ουσιών σε ΑΗΗΣ.

## **Abstract**

The rapid increase in the production of electrical and electronic devices has led to a corresponding rapid expansion of Electrical and Electronic Equipment waste (WEEE) and is expected to grow over the next few years. Due to the complex composition of waste, its hazardous nature and the significant ecological impact caused, managing waste is a contemporary and multi-dimensional environmental issue. The need for effective waste management has become urgent in order to ensure the protection of the environment and public health.

The main axis of this project refers to LCD (Liquid Crystal Display) screens. The speedy redesign of such products and their replacement with newer models leads to perpetual changes in electronic and electrical equipment. As the most widespread type of screen (TVs, computer screens and various other devices), it is described and the hazardous substances are analyzed. Techniques and processes for the proper management of LCDs are explicated, whereas studies have presented the preferred methods of recycling, substance removal and extraction.

Moreover, legislation regarding the management, safe deposit and the permissible limits of pollutants contained in the screens are emphasized, as prevention can reduce environmental and health dangers. Therefore, manufacturers should exercise caution and abide by the legislative limits of hazardous substances. Thus, in this study, an experimental procedure was followed for the sorting and separation of glass LCD monitors (dismantling, shredding, and pulverizing, smelting, resolution) from electronic devices currently on the market, in order to measure the concentrations of toxic metals against the legal measurements. The selected devices were produced after 2006 in order to draw conclusions regarding the limits imposed by the Directive 2002/95/EC, into force since July 2006. Considering the Directive, the results obtained by the analysis of the samples display the compliance of manufacturing companies with the legislative framework about hazardous substances in WEEE.

## Περιεχόμενα

Περίληψη.....	iii
Abstract .....	v
Ευρετήριο Εικόνων, Πινάκων .....	viii
1 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
Εισαγωγή .....	1
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	
2 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ .....	4
2.1.1 Τι είναι Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός (ΗΗΕ); .....	5
2.1.2 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα .....	5
2.1.3 Υφιστάμενη κατάσταση σε παγκόσμιο επίπεδο .....	6
2.1.4 Στάση των πολιτών απέναντι στο πρόβλημα .....	9
2.1.5 Σύσταση των ΑΗΗΕ .....	11
2.1.6 Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.....	15
2.1.7 Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη χρήση επικίνδυνων ουσιών σε ΗΗΕ.....	15
2.1.8 Αποφάσεις .....	17
2.1.9 Εθνική Νομοθεσία .....	18
2.1.10 Περιβαλλοντικές επιδόσεις των εταιριών.....	19
2.2 ΟΘΟΝΕΣ: ΠΟΥ ΤΙΣ ΣΥΝΑΝΤΑΜΕ; .....	22
2.2.1 Στο δρόμο προς τις επίπεδες οθόνες-Εξελικτική πορεία οθονών.....	23
2.2.2 Η τεχνολογία των LCD.....	25
2.2.3 Επικίνδυνες ουσίες .....	27
2.2.4 Διαχείριση αποβλήτων οθονών.....	29
2.2.4.1 Αποσυναρμολόγηση .....	30
2.2.4.2 Μέθοδος Τεμαχισμού–Διαχωρισμού .....	31
2.2.4.3 Επαναχρησιμοποίηση .....	32
2.2.4.4 Ανακύκλωση.....	33
2.2.4.5 Υγειονομική ταφή .....	36
2.2.4.6 Αποτέφρωση .....	36
3 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
3.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ .....	38
3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ .....	39
3.3 ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΘΟΝΩΝ LCD.....	42

3.4 ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ.....	44
3.5 ΚΟΝΙΟΡΤΟΠΟΙΗΣΗ.....	45
3.6 ΧΩΝΕΥΣΗ.....	47
3.7 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ.....	49
4 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	54
4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΟΡΙΑ.....	61
4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ ΤΤLC.....	67
4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	71
5 <sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	75
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	79

## Ευρετήριο Εικόνων, Πινάκων, Διαγραμμάτων

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΕΞΑΓΩΓΗ ΑΗΘΕ ΑΠΟ ΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΕΝΕΣ ΣΤΙΣ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΧΩΡΕΣ, (ROBINSON, 2009) .....	7
ΕΙΚΟΝΑ 2: ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΣΤΗΝ ΠΟΛΙΤΕΙΑ WISCONSIN 2010-2011, (WISCONSIN RESIDENTS AND ELECTRONICS RECYCLING) .....	10
ΕΙΚΟΝΑ 3: ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟΥ ΠΙΝΑΚΑ ΠΟΥ ΕΝΔΕΧΕΤΑΙ ΝΑ ΑΝΙΧΝΕΥΤΟΥΝ ΣΕ ΕΝΑ ΚΙΝΗΤΟ, (WIDMER ET. AL., 2005) .....	11
ΕΙΚΟΝΑ 4: ΟΔΗΓΟΣ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ 2012, (HTTP://WWW.GREENPEACE.ORG/GREECE/EL/GUIDE-TO-GREENER-ELECTRONICS/18TH-EDITION/) .....	20
ΕΙΚΟΝΑ 5: ΟΔΗΓΟΣ ΠΡΑΣΙΝΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ 2011, (HTTP://WWW.GREENPEACE.ORG/GREECE/EL/NEWS/2011/2/ODIGOS_GIA_PIO_PRASINA_IL_EKTRONIKA/) .....	22
ΕΙΚΟΝΑ 6: ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΩΛΗΣΕΩΝ TABLETS, LAPTOPS, DESKTOP PCS ΑΠΟ ΤΟ 2010-2017(WWW.STATISTA.COM) .....	24
ΕΙΚΟΝΑ 7: ΤΜΗΜΑΤΑ ΟΘΟΝΗΣ LCD, (ZHUANG ET.AL., 2012) .....	25
ΕΙΚΟΝΑ 9: ΟΘΟΝΕΣ ΑΗΘΕ .....	43
ΕΙΚΟΝΑ 10: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΟΝ ΤΕΜΑΧΙΣΜΟ .....	45
ΕΙΚΟΝΑ 11: ΜΑΧΑΙΡΟΜΥΛΟΣ FRITCH PULVERISETTE 19 .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 12: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΕ ΣΚΟΝΗ .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 13: MARS 6 MICROWAVE REACTOR SYSTEM CEM .....	47
ΕΙΚΟΝΑ 14: AUTOSAMPLER ASX-500 .....	50
ΕΙΚΟΝΑ 15: ICP-MS 7500CX, AGILENT TECHNOLOGIES .....	50
ΕΙΚΟΝΑ 16: ΜΕΡΗ ΟΡΓΑΝΟΥ ICP-MS, (EBDON ET.AL., 1998) .....	51
ΕΙΚΟΝΑ 17:ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ICP-MS, (HTTP://WWW.CHEM.UOA.GR/COURSES/ANALTECHN/SAT_01_ICP_ICPMS.PDF) .....	52
ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ LCD ΣΥΣΚΕΥΩΝ Α) .....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΕ ΑΠΟΒΛΗΤΑ LCD ΣΥΣΚΕΥΩΝ Β) .....	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΟΣΟΣΤΟ ΓΥΑΛΙΝΟΥ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΗΘΕ .....	38
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΛΛΕΧΘΕΝΤΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ .....	40
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΩΝΕΥΣΗΣ .....	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΟΡΙΑ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΑΝΑΛΥΘΗΚΑΝ .....	53
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΑΡΙΘΜΗΣΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ .....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ICP-MS (ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗΣ, TABLET) ΣΕ PPM .....	56
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ICP-MS ΓΙΑ ΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΩΝ .....	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ICP-MS - ΌΡΙΑ ΟΔΗΓΙΑΣ .....	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΌΡΙΑ TTLC .....	68
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΙΜΩΝ ΜΕ TTLC .....	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΔΕΙΓΜΑΤΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ-ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΕ PPM .....	72
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΧΡΩΜΙΟ (CR) - ΑΝΕΚΤΟ ΟΡΙΟ ΟΔΗΓΙΑΣ .....	63
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2: ΕΥΡΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ (ZN, AS, SN, CR) .....	66
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3: ΕΥΡΟΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ (AL, NI, CU) .....	67
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4: ΑΡΣΕΝΙΚΟ (AS) - ΟΡΙΟ TTLC .....	71



## **ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΑ**

### **Ελληνικά**

ΑΗΗΕ: Απόβλητα Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού

ΑΗΗΣ: Απόβλητα Ηλεκτρικών & Ηλεκτρονικών Συσκευών

ΗΗΕ: Ηλεκτρικός & Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός

### **Ξενόγλωσσα**

BFR: Βρωμιωμένο Επιβραδυντικό Φλόγας (Brominated Flame Retardant)

CRT: Οθόνη Καθοδικής Λυχνίας (Cathode Ray Tube)

CFC: Χλωροφθοράνθρακες (Chlorofluorocarbon)

ICP-MS: Φασματομετρία Μάζας Επαγωγικά Συζευγμένου Πλάσματος (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry)

LCD: Οθόνη Υγρών Κρυστάλλων (Liquid Crystals Display)

LCDG: Γυαλί Οθόνης Υγρών Κρυστάλλων (Liquid crystals Display Glass)

PAHs: Πολυκυκλικοί Αρωματικοί Υδρογονάνθρακες (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)

PBB: Πολυβρωμιωμένο Διφαινύλιο (Polybrominated Biphenyl)

PBDE: Πολυβρωμιωμένος Διφαιθυλαίθερας (Polybrominated Diphenyl Ethers)

PCB: Πλακέτα Τυπωμένων Κυκλωμάτων (Printed Circuit Board)

RoHS: Περιορισμός της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών (Restriction on the use of certain Hazardous Substances)

TBBPA: Τετραβρωμοβισφαινόλη Α (Tetrabromobisphenol A)

WEEE: Απόβλητα Ηλεκτρικού & Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (Waste Electrical & Electronic Equipment)

## Εισαγωγή

Εκτιμάται ότι κάθε χρόνο παράγονται περισσότεροι από 40 εκατομμύρια τόνοι ηλεκτρονικών αποβλήτων, σε ολόκληρο τον κόσμο. Ο όγκος τους αντιστοιχεί στο 4% των συνολικών αποβλήτων, ενώ ταυτόχρονα ο ρυθμός παραγωγής τους αυξάνεται γοργά ξεπερνώντας το 3%. Το γεγονός αυτό, σε συνάρτηση και με τους κινδύνους που εγκυμονεί για το περιβάλλον η ανεξέλεγκτη απόρριψή τους, καταδεικνύουν την τεράστια σημασία του συγκεκριμένου ζητήματος. Η κυριότερη αιτία επιδείνωσης του προβλήματος είναι η καλπάζουσα τεχνολογική καινοτομία και η διεύρυνση της αγοράς, που επιταχύνουν συνεχώς τη διαδικασία αντικατάστασης των ειδών αυτών. Αναμφισβήτητα η παραγωγή προϊόντων Ηλεκτρικού και Ηλεκτρονικού Εξοπλισμού (ΗΗΕ) αποτελεί σήμερα έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς βιομηχανικής παραγωγής και παράλληλα έναν μεγάλο περιβαλλοντικό κίνδυνο ως προς την αντιμετώπιση της ροής αποβλήτων που συνεπάγεται.

Χώρες όπως η Κίνα και η Ινδία αντιμετωπίζουν ένα ταχύτατα αυξανόμενο ποσό ΑΗΗΕ, το οποίο προέρχεται τόσο από την εγχώρια κατανάλωση αλλά κυρίως από την παράνομη εισαγωγή τους. Αυτή η επιχειρηματική ευκαιρία που στηρίζεται στην έλλειψη ισχυρής εθνικής νομοθεσίας στις φτωχές χώρες, αποτελεί οικονομική πηγή για τους κατοίκους των πόλεων, αλλά παράλληλα ενέχει σοβαρούς κινδύνους για τη ζωή τους και τον περιβάλλοντα χώρο. Από την άλλη μεριά η Ελλάδα προσπαθεί να αυξήσει το ποσοστό της ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ. Ωστόσο η υγειονομική ταφή συνεχίζει να αποτελεί την κύρια μέθοδο διαχείρισης.

Η ταχύτατη παραγωγή των ΑΗΗΣ αλλά και η περιεκτικότητά τους σε επικίνδυνες ουσίες όπως είναι ο υδράργυρος, το κάδμιο, ο μόλυβδος, το εξασθενές χρώμιο και τα πολυχλωροδιφαινύλια (PCB), καθώς και οι ουσίες που καταστρέφουν το όζον, κίνησε την προσοχή των κρατών μελών. Η ανάγκη για την χάραξη κοινής στρατηγικής αντιμετώπισης του προβλήματος ήταν έντονη. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος η Ε.Ε. εξέδωσε κάποιες Οδηγίες 2002/96/ΕΚ και 2002/95/ΕΚ, οι οποίες αφορούν στα ΑΗΗΕ καθώς και στην απαγόρευση της χρήσης

συγκεκριμένων επικίνδυνων ουσιών κατά την κατασκευή του ΗΗΕ. Σήμερα το κοινό πρόγραμμα πολιτικής και δράσης των κρατών μελών αναφέρει τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού ως έναν από τους τομείς ενδιαφέροντος στους οποίους πρέπει να επιτευχθεί κανονιστική ρύθμιση, βάσει της εφαρμογής των αρχών της πρόληψης, της ανάκτησης και της ασφαλούς διάθεσης των αποβλήτων. Οι διατάξεις της τελευταίας Οδηγίας 2012/19/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 4ης Ιουλίου 2012 αποσκοπούν στη διατήρηση, την προστασία και τη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, στην προστασία της υγείας του ανθρώπου και στη συνετή και ορθολογική χρησιμοποίηση των φυσικών πόρων. Η εν λόγω Οδηγία θα πρέπει να εφαρμοστεί το αργότερο ως τις 14 Φεβρουαρίου 2014.

Εκτός από την ραγδαία ανάπτυξή τους, τα ΑΗΗΕ θεωρούνται ως ένα ρεύμα που απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή εξαιτίας της μεταβλητότητάς τους. Συνεχώς νέες κατασκευαστικές μέθοδοι αντικαθιστούν τις παλαιότερες. Η τεχνολογική πρόοδος και ο ανταγωνισμός ωθούν τους κατασκευαστές στην παραγωγή νέων προϊόντων με στόχο να ανταποκρίνονται στις ανάγκες της αγοράς με το βέλτιστο τρόπο. Τέτοιου είδους αλλαγές έχουν σημειωθεί στον τομέα των τηλεοπτικών δεκτών. Είναι γνωστό ότι ενώ οι οθόνες CRT αποτελούσαν για πολλά χρόνια τη μερίδα του λέοντος, σταμάτησαν να είναι εμπορικά εκμεταλλεύσιμες με την εισαγωγή της σύγχρονης τεχνολογίας οθονών LCD.

Η επικράτηση των LCD οθονών και η παρουσία τους σε πληθώρα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών έχουν οδηγήσει στην αυξανόμενη παραγωγή αποβλήτων LCD. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει ανησυχία ως προς τις επικίνδυνες ουσίες που ενδέχεται να περιλαμβάνει ο εξοπλισμός τους. Στην Οδηγία 2002/95/ΕΚ γίνεται αναφορά στην επικινδυνότητα των οθονών LCD και στα μέτρα που πρέπει να ληφθούν για την προστασία της υγείας και του περιβάλλοντος. Με την εξασφάλιση ενιαίων όρων στόχος είναι η πλήρης εναρμόνιση των κρατών μελών. Η Οδηγία 2002/95/ΕΚ που αφορά στην απαγόρευση επικίνδυνων ουσιών τέθηκε σε ισχύ το 2006. Το ερώτημα που γεννιέται είναι σημαντικό. Τα κράτη μέλη εφαρμόζουν τα νομοθετικά όρια που προβλέπουν οι ισχύουσες νομοθετικές,

κανονιστικές και διοικητικές διατάξεις; Άραγε για τις κατασκευαστικές εταιρίες ηλεκτρονικών ειδών ο τομέας του περιβάλλοντος συνιστά τομέα προτεραιότητας ή διέρχεται μέσω των πυλώνων της οικονομικής, κοινοτικής πολιτικής;

Στην παρούσα εργασία γίνεται ιδιαίτερη προσπάθεια να δοθεί απάντηση σε ένα βαθμό στο αν και κατά πόσο οι οθόνες που βασίζονται στην τεχνολογία των υγρών κρυστάλλων κατασκευάζονται από υλικά φιλικά προς το περιβάλλον. Αντικείμενο της εργασίας αποτελεί η καταγραφή των συγκεντρώσεων επικίνδυνων ουσιών που ανιχνεύονται στο LCD πάνελ ηλεκτρονικών αποβλήτων με στόχο τη σύγκριση των τιμών αυτών με τα επιβαλλόμενα όρια, που θεσπίστηκαν στην Οδηγία 2002/95/ΕΚ, η οποία είναι γνωστή ως Οδηγία RoHS. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων έδειξαν ότι οι συγκεντρώσεις των τοξικών μετάλλων που ανιχνεύτηκαν στα δείγματα ήταν μικρότερες από τα νομοθετικά όρια που αναφέρει η Οδηγία. Ωστόσο, παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές αρσενικού σε 3 δείγματα από τα 16. Οι λόγοι για τους οποίους εμφανίζονται αυξημένες τιμές αρσενικού εξετάστηκαν λεπτομερώς και σε βάθος, έχοντας υπόψη ότι το αρσενικό χαρακτηρίζεται ως στοιχείο υψηλής τοξικότητας.

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

---

### 2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Ακόμη και σήμερα δεν υπάρχει ένας ενιαίος ορισμός για τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού(ΑΗΗΕ). Τα ΑΗΗΕ είναι ένας γενικός όρος που περιλαμβάνει διάφορες μορφές ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Έχει επικρατήσει να χαρακτηρίζονται εκείνες οι ηλεκτρονικές συσκευές που δεν χρησιμοποιούνται πια, ανεξαρτήτως του αν βρίσκονται πεταμένες σε κάποια χωματερή ή ξεχασμένες σε μια αποθήκη.

- Ως «απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού» ή «ΑΗΗΕ» ορίζεται ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που θεωρείται απόβλητο κατά την έννοια του άρθρου 3 παράγραφος 1 της Οδηγίας 2008/98/ΕΚ, συμπεριλαμβανομένων όλων των κατασκευαστικών στοιχείων, των συναρμολογημένων μερών και των αναλωσίμων, που συνιστούν τμήμα του προϊόντος κατά τον χρόνο απόρριψής του.

Πηγή: Ευρωπαϊκή Οδηγία 2012/19/ΕΕ, Άρθρο 3

- Σύμφωνα με την Κυβερνητική Οργάνωση *Basel Action Network*, «Τα ηλεκτρονικά απόβλητα περικλείουν ένα πλατύ και αναπτυσσόμενο εύρος ηλεκτρονικών συσκευών που ποικίλουν από μεγάλες οικιακές συσκευές όπως ψυγεία, κλιματιστικά, κινητά τηλέφωνα, ηχοσυστήματα και αναλώσιμα ηλεκτρονικά μέχρι υπολογιστές οι οποίοι έχουν απορριφθεί από τους χρήστες του»

Πηγή: <http://www.ban.org/>

(Widmer et.al., 2005)

### 2.1.1 Τι είναι Ηλεκτρικός και Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός (ΗΗΕ);

- Ως «ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός» ή «ΗΗΕ» χαρακτηρίζεται ο εξοπλισμός, η ορθή λειτουργία του οποίου εξαρτάται από ηλεκτρικά ρεύματα ή ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ο εξοπλισμός για την παραγωγή, τη μεταφορά και τη μέτρηση των ρευμάτων και πεδίων αυτών, ο οποίος έχει σχεδιασθεί για να λειτουργεί υπό ονομαστική τάση έως 1000 V εναλλασσομένου ρεύματος ή έως 1500 V συνεχούς ρεύματος.

*Πηγή: Ευρωπαϊκή Οδηγία 2012/19/ΕΕ, Άρθρο 3*

### 2.1.2 Υφιστάμενη κατάσταση στην Ελλάδα

Υπολογίζεται ότι κάθε χρόνο συσσωρεύονται σε χώρους ταφής της Ελλάδας μέχρι και 200.000 τόνοι ηλεκτρικών αποβλήτων. Η τεράστια αυτή ποσότητα, περιέχει δεκάδες τοξικές ουσίες, οι οποίες με την πάροδο του χρόνου εισχωρούν στο υπέδαφος, μολύνουν τον υδροφόρο ορίζοντα και κατά συνέπεια εισβάλλουν στη διατροφική αλυσίδα. Σήμερα η Ελλάδα βρίσκεται στην 22η θέση στον τομέα της ανακύκλωσης. Με ένα ποσοστό 8%, ξεπερνάει μόνο την Τσεχία, την Πορτογαλία και την Πολωνία. Τις πρώτες θέσεις καταλαμβάνει η Ολλανδία με 64%, η Γερμανία με 59% και η Αυστρία με 58%. Ως κύριο πρόβλημα διαχείρισης των αποβλήτων στην Ελλάδα είναι η ύπαρξη μεγάλου αριθμού παράνομων και ανεξέλεγκτων χωματερών. Εκτιμάται ότι το 90% των ΑΗΗΕ, είτε καταλήγουν μαζί με τα άλλα αστικά στερεά, είτε ανακυκλώνονται μαζί με άλλα μέταλλα, χωρίς όμως καμιά προεργασία.

<http://www.iatronet.gr/ygeia/perivallon-ygeia/article/1573/anakyklwsi-ilektrikwn-syskefwn-apo-tin-priza-sto-prasino.htm> l)

Εν τούτοις, η εταιρία Ανακύκλωσης Συσκευών Α.Ε., που είναι υπεύθυνη για την οργάνωση και τη λειτουργία του Συλλογικού Συστήματος Εναλλακτικής Διαχείρισης των ΑΗΗΕ, θέτει εθνικούς στόχους που περιλαμβάνουν τη χωριστή συλλογή τουλάχιστον 4 kg ανά κάτοικο και ανά έτος και συγκεκριμένα ποσοστά

ως προς το βαθμό αξιοποίησης καθώς και ανακύκλωσης των ΑΗΗΕ, που κυμαίνονται από 50%-80%, κατ' ελάχιστον, του μέσου βάρους ανά συσκευή. Παράλληλα η εταιρία προσπαθεί να ευαισθητοποιήσει τους πολίτες και να τους προτρέψει να πάρουν την ανακύκλωση «στα χέρια τους». Η διαχείριση των ΑΗΗΕ στην Ελλάδα περιλαμβάνει χειρονακτική ή μηχανική αποσυναρμολόγηση, ανάκτηση αξιοποιήσιμων υλικών(μέταλλο, πλαστικό, γυαλί κλπ), απορρύπανση, μηχανική επεξεργασία (κοπή- τεμαχισμός- διαλογή και διαχωρισμός των υλικών), ανάκτηση κλασμάτων (σιδηρούχα, μη σιδηρούχα, πλαστικό), προώθηση των κλασμάτων στις τελικές βιομηχανίες για παραγωγή ανακυκλούμενων πρώτων υλών καθώς και επεξεργασία των υπολειμμάτων των διεργασιών για εναπόθεση σε Χώρους Υγειονομικής Ταφής Υπολειμμάτων (ΧΥΤΥ).

<http://www.electrocycle.gr>.

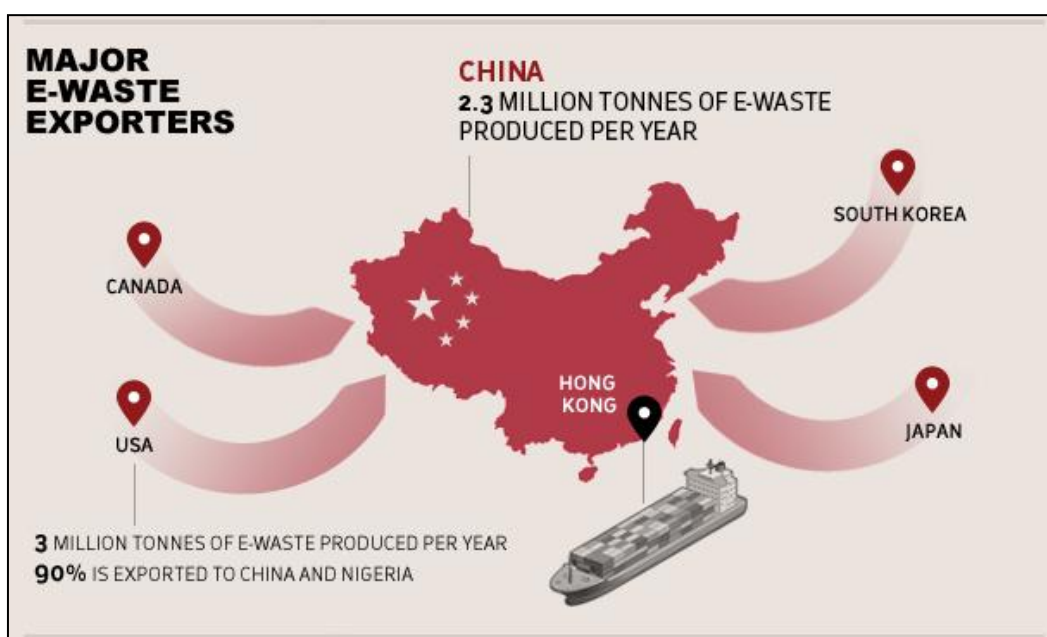
Η οικονομική δυσχέρεια της χώρας τα τελευταία χρόνια ίσως είναι ένας λόγος που εξηγεί το χαμηλό ποσοστό ανακύκλωσης ΑΗΗΕ στην Ελλάδα. Παρόλο που έχουν γίνει σημαντικά βήματα στον τομέα, η ανακύκλωση δεν αποτελεί προτεραιότητα.

### **2.1.3 Υφιστάμενη κατάσταση σε παγκόσμιο επίπεδο**

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η παγκόσμια αύξηση σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού παραγωγής και κατανάλωσης ήταν ραγδαία. Στον οικονομικά αναπτυγμένο δυτικό κόσμο κυριάρχησε το καταναλωτικό μοντέλο ανάπτυξης, που σε συνδυασμό με την αλματώδη τεχνολογική ανάπτυξη επέφερε πληθώρα νέων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Όλα αυτά είχαν ως αποτέλεσμα τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά απόβλητα να αποτελούν σήμερα την ταχύτερα αναπτυσσόμενη κατηγορία αποβλήτων (4% αύξηση το χρόνο). Περίπου 40 εκατομμύρια τόνοι ηλεκτρονικών αποβλήτων παράγονται κάθε χρόνο (**Schluerp et.al., 2009**). Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή το ποσό των ΑΗΗΕ που παράγονται ανά πολίτη της Ε.Ε. είναι περίπου 17-20 κιλά ανά έτος και εκτιμάται ότι θα αυξάνεται σε ετήσια βάση μεταξύ 2,5 και 2,7% (**Huisman, 2008**). Εκτιμάται επίσης ότι το ετήσιο ποσό των ηλεκτρονικών αποβλήτων της Ε.Ε., θα ανέλθει στα

12 εκατομμύρια τόνους, μέσα στα επόμενα 10 χρόνια (<http://www.econews.gr/2009/05/11/e-wastes-eu-ends-africa/>). Ενώ επικρατεί αυτή η κατάσταση στην Ευρώπη, στην Κίνα και την Ινδία ο ρυθμός παραγωγής των ΑΗΗΕ ανέρχεται σε 1 κιλό ανά κάτοικο ανά έτος (**Chancerel and Rotter, 2009**).

Η πίεση από τις περιβαλλοντικές οργανώσεις ώθησε τις εταιρείες να βρουν εναλλακτικές λύσεις για την εναπόθεση των επιβλαβών για το περιβάλλον υλικών. Γενικά, τα περισσότερα ηλεκτρονικά απόβλητα απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής, καθώς αποτελεσματική τεχνολογία επεξεργασίας, η οποία ανακτά τα πολύτιμα υλικά με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είναι ακριβή. Κατά συνέπεια, αν και παράνομα βάσει της Σύμβασης της Βασιλείας, οι πλούσιες χώρες εξαγουν μια «άγνωστη» ποσότητα αποβλήτων σε φτωχές χώρες, όπου οι τεχνικές ανακύκλωσης περιλαμβάνουν την καύση και την διάλυση σε ισχυρά οξέα με περιορισμένα μέτρα για την προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος. Αυτού του είδους η επεξεργασία οδηγεί αρχικά σε ακραία φαινόμενα ρύπανσης που ακολουθείται από τη μετανάστευση των ρύπων σε ύδατα υποδοχής και αλυσίδες τροφίμων (**Robinson, 2009**).



Εικόνα 1: Εξαγωγή ΑΗΗΕ από τις Αναπτυγμένες στις Αναπτυσσόμενες Χώρες, (Robinson, 2009)



Έτσι, περίπου 80-90% της ποσότητας των ΑΗΗΕ που συλλέγονται για ανακύκλωση, εξάγεται σε χώρες όπως η Κίνα, η Ινδία, το Πακιστάν, το Βιετνάμ, οι Φιλιππίνες, η Μαλαισία, η Νιγηρία, η Γκάνα, κλπ. (**Ladou and Lovegrove, 2008, Robinson, 2009**). Οι άνθρωποι χρησιμοποιώντας υδρομεταλλουργικές διεργασίες ανακτούν πολύτιμα μέταλλα. Τα μέταλλα διαλύονται σε ισχυρά όξινα διαλύματα και στη συνέχεια ανακτώνται από τα διαλύματα (**Brigden et.al., 2008**). Οι μέθοδοι καύσης καθώς και τα ισχυρά οξέα που χρησιμοποιούν είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα για την υγεία. Σύμφωνα με την Greenpeace, τα δείγματα που συλλέχθηκαν σε μια χωματερή της Γκάνα περιείχαν υψηλά τοξικά μέταλλα τουλάχιστον εκατό φορές πάνω από τα κανονικά επίπεδα (<http://www.greenpeace.org/international/en/>).

Η κατάσταση που περιγράφεται οφείλεται κατά κύριο λόγο στον οικονομικό παράγοντα. Στη Γερμανία το κόστος για να απορριφθεί κατάλληλα μια παλιά οθόνη CRT είναι περίπου 3,5 ευρώ, αλλά για να φορτωθεί σε ένα πλοίο κοντέινερ και να μεταφερθεί στην Γκάνα το κόστος είναι μόλις 1,5 ευρώ (**Προίτος, 2009**). Το κόστος ανακύκλωσης ενός υπολογιστή στις Ηνωμένες Πολιτείες είναι 20 δολάρια, ενώ αν ο υπολογιστής εξαχθεί στην Ινδία, κοστίζει μόλις 2 δολάρια (**Sinha, 2007**). Όπως αναφέρθηκε με την συνθήκη της Βασιλείας απαγορεύτηκε το «παράνομο εμπόριο» ηλεκτρονικών αποβλήτων. Εντούτοις στην ευρωπαϊκή νομοθεσία ο όρος «επαναχρησιμοποίηση» αφήνει ένα ανοικτό παράθυρο επιτρέποντας τις παλιές ηλεκτρονικές συσκευές να εξαχθούν σε χώρες όπως η Γκάνα και η Νιγηρία. Η εξαγωγή ηλεκτρονικών αποβλήτων μπορεί να δημιουργήσει θετικά αποτελέσματα μόνο σε χώρες που υπάρχουν αναπτυγμένες βιομηχανίες αναφορικά με την αποκατάσταση των ηλεκτρονικών και μπορούν να παρέχουν πρώτες ύλες για τις καινούργιες κατασκευές.

(<http://www.econews.gr/2009/05/11/e-wastes-eu-ends-africa/>)

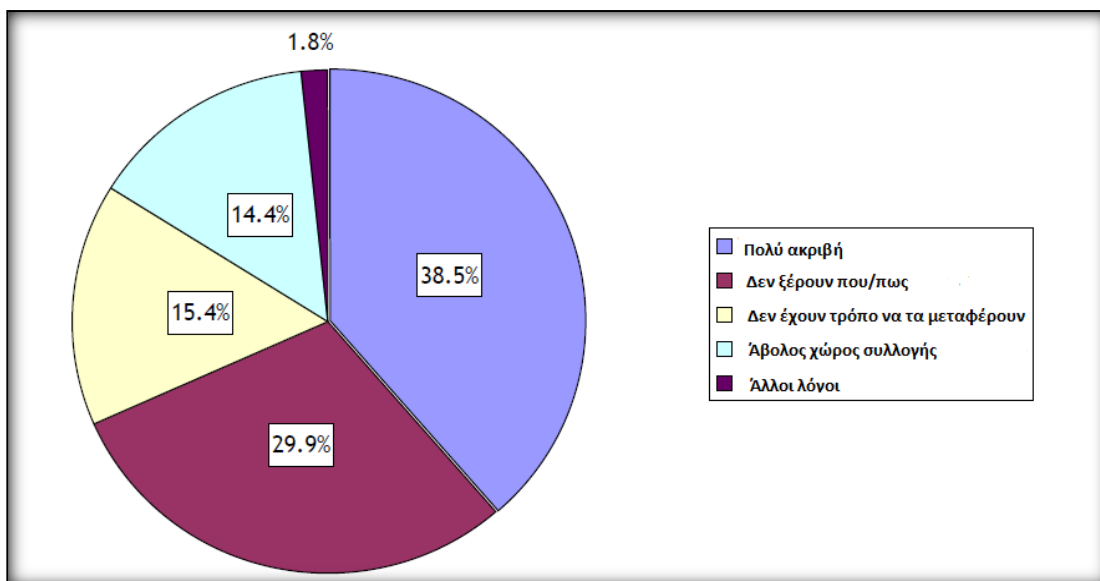
## 2.1.4 Στάση των πολιτών απέναντι στο πρόβλημα

Με την Οδηγία 2002/96/ΕΚ τα κράτη μέλη θέσπισαν μέτρα, έτσι ώστε οι καταναλωτές να συμμετέχουν στη συλλογή των ΑΗΗΕ και να ενθαρρύνονται ως προς τη διαδικασία επαναχρησιμοποίησης, επεξεργασίας και αξιοποίησης.

Οι χρήστες ενημερώνονται πλήρως σχετικά με:

- την υποχρέωση να μην διατίθενται πλέον τα ΑΗΗΕ μαζί με αδιαχώριστα αστικά απόβλητα, αλλά να αποκομίζονται χωριστά
- τα συστήματα επιστροφής και συλλογής στα οποία έχουν πρόσβαση
- το ρόλο τους στην επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και τις άλλες μορφές αξιοποίησης των ΑΗΗΕ
- τις δυνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία ως αποτέλεσμα της παρουσίας επικίνδυνων ουσιών στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό
- την έννοια του συμβόλου που παρατίθεται στο παράρτημα IV

Παρόλα αυτά σύμφωνα με έρευνα που έγινε στην πολιτεία Wisconsin των ΗΠΑ, το έτος 2010-2011, οι πιο βασικοί λόγοι για τους οποίους οι κάτοικοι δεν συμμετέχουν στην ανακύκλωση ηλεκτρονικών αποβλήτων στηρίζονται στην έλλειψη ενημέρωσης (Εικόνα 2).



Εικόνα 2: Συμμετοχή στην ανακύκλωση στην πολιτεία Wisconsin 2010-2011, (Wisconsin residents and electronics recycling)

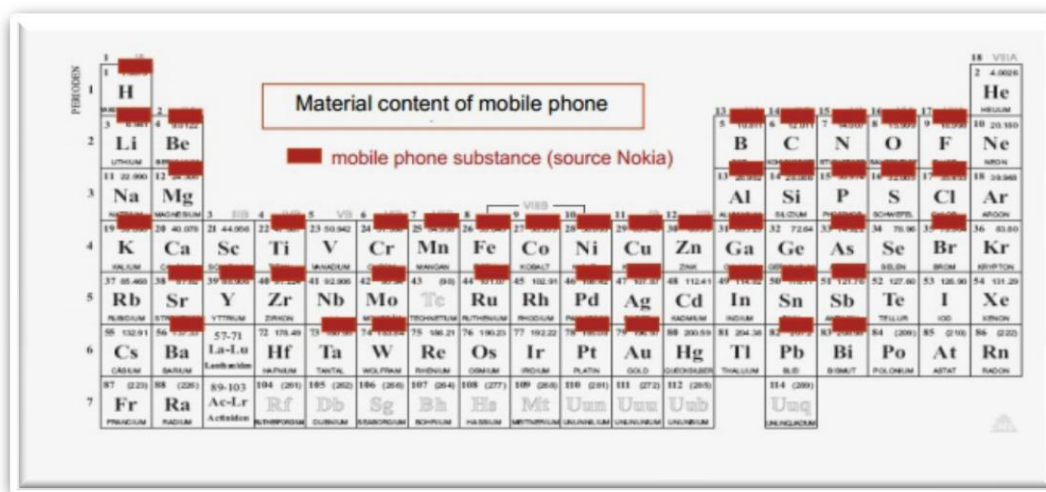
Στη Γερμανία ενώ υπάρχει οργανωμένο σύστημα συλλογής αποβλήτων, η εφαρμογή του δεν ήταν απόλυτα επιτυχής εκ του αποτελέσματος, καθώς τα ΑΗΗΕ αποτελούσαν ένα ποσοστό από 0,4 - 1,5%w/w του ρεύματος αποβλήτων των νοικοκυριών, θέτοντας τα συστήματα αυτά υπό αμφισβήτηση (**Dimitrakakis et.al., 2009**). Στην Ελλάδα για την εξυπηρέτηση των πολιτών υπάρχουν ειδικοί κάδοι σε συμβεβλημένα σούπερ μάρκετ, καταστήματα ηλεκτρικών ειδών και επιλεγμένα δημοτικά σημεία συλλογής. Η συνεργασία της εταιρίας Ανακύκλωσης Α.Ε με τους δήμους μέχρι στιγμής δεν έχει αποφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αν και υπάρχουν δήμοι, όπως της Κέας, που σημειώνουν εξαιρετικές επιδόσεις (13,5kg/κάτοικο το έτος 2009), οι περισσότεροι δεν εξυπηρετούν και δεν ενημερώνουν τους πολίτες.

(<http://news.kathimerini.gr/archive-editions/article/oiko/2011/01/1294633.html>)

Τα παραπάνω αποτελέσματα αποδεικνύουν ενδεχόμενη αδυναμία των κρατών μελών να μεταφέρουν το ευρωπαϊκό δίκαιο στο εθνικό δίκαιο, ή έλλειψη ισχυρών μέτρων αντιμετώπισης περιβαλλοντικών θεμάτων που θα συνετίσουν τους πολίτες (όπως η δημιουργία συστήματος συλλογής στη Γερμανία). Όμοια κατάσταση επικρατεί και σε άλλες χώρες σήμερα. Πράγματι η αποστασιοποίηση των πολιτών είναι ένας ουσιαστικός λόγος, που οξύνει την αυξανόμενη ένταση του προβλήματος των ΑΗΗΕ.

## 2.1.5 Σύσταση των ΑΗΗΕ

Η χημική σύνθεση των αποβλήτων είναι πολύπλοκη. Εξαρτάται από το είδος και την ηλικία του απορριπτόμενου ηλεκτρονικού αντικειμένου (Robinson, 2009). Η πολυπλοκότητά τους οφείλεται επίσης στη μεγάλη ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για την παραγωγή ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (Γιδαράκος, 2006). Εκτιμάται ότι τα ΑΗΗΕ περιέχουν περισσότερες από 1000 ουσίες (Oteng-Abasio M., *Electronic Waste Management in Ghana-Issues and Practices*). Σε γενικές γραμμές, τα ηλεκτρονικά προϊόντα αποτελούνται από σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, πλαστικά, γυαλί, ξύλο και κόντρα πλακέ, πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, σκυρόδεμα και κεραμικά, καουτσούκ και άλλα αντικείμενα. Εκτός από τα παραπάνω, ο ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός περιέχει επικίνδυνες ουσίες. Υπολογίζεται ότι ο σίδηρος, ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο χρυσός και άλλα μέταλλα αποτελούν το 60%, ενώ οι επικίνδυνες ουσίες αποτελούν το 2,7 % των ΑΗΗΕ (Widmer et.al., 2005). Εκτιμάται ότι ένα κινητό τηλέφωνο δύναται να περιέχει πάνω από 40 στοιχεία από τον περιοδικό πίνακα (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Στοιχεία του περιοδικού πίνακα που ενδέχεται να ανιχνευτούν σε ένα κινητό, (Widmer et.al., 2005)

Από αυτά τα στοιχεία άλλα είναι πολύτιμα (Cu, Sn, Au), άλλα είναι επικίνδυνα (τα αλογόνα, Hg, Cd) και άλλα συνδυάζουν και τα δύο αυτά χαρακτηριστικά (Pb) (Hagelucen, 2006).

Εκτός από τα τοξικά μέταλλα (υδράργυρος, κάδμιο, μόλυβδος, εξασθενές χρώμιο), ο ΗΗΕ μπορεί να περιλαμβάνει και άλλες επικίνδυνες ουσίες, τόσο για το περιβάλλον όσο και για την υγεία:

- Πολυχλωροδιφαινύλια (PCB),
- Επιβραδυντές Φλόγας (πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDEs), Πολυβρωμοδιφαινύλια (PBB), Τετραβρωμοβισφαινόλη Α (ΤΒΒΡΑ)),
- Χλωροφθοράνθρακες (CFC),
- Πολυκυκλικούς Αρωματικούς Υδρογονάνθρακες (PAHs)

Σύμφωνα με την greenpeace, το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) που ανιχνεύεται στα ηλεκτρονικά απόβλητα, βλάπτει τους ανθρώπους και το περιβάλλον μέσα από όλα τα στάδια του κύκλου ζωής του: κατά τη διάρκεια της παραγωγής, της χρήσης και της απόρριψής του, το PVC είναι μακράν το πιο καταστροφικό είδος πλαστικού για το περιβάλλον. Η καύση του μπορεί να δημιουργήσει διοξίνες και φουράνια, που είναι από τις πιο γνωστές καρκινογόνες ουσίες. Πρόκειται για δύο συγγενείς ενώσεις, που περιέχουν 75 και 135 ομοειδείς, αντίστοιχα. Τουλάχιστον 20 από αυτές θεωρούνται υψηλής τοξικότητας. Είναι σταθερές και ανθεκτικές ουσίες που πιστεύεται ότι έχουν χρόνο ζωής από επτά έως δώδεκα χρόνια στο ανθρώπινο σώμα, προκαλώντας σοβαρά προβλήματα στην υγεία (Sarkar, 2007). Παράλληλα, τα βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας (BFRs) είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις φυσικές διαδικασίες αποσύνθεσης και μπορούν να διεισδύσουν στους οργανισμούς των ζώων και των ανθρώπων.

Τα προβλήματα που μπορούν να δημιουργηθούν από τις παραπάνω ουσίες εξαρτώνται τόσο από την τοξικότητά τους αλλά και από την ορθότητα της διαχείρισής τους. Σύμφωνα με την Οδηγία 2002/95 η χρήση των επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές απαγορεύτηκε. Ως υψηλού

κινδύνου βάσει των επικίνδυνων ουσιών που περιλαμβάνουν χαρακτηρίζονται τα ακόλουθα κατασκευαστικά στοιχεία: πυκνωτές, μπαταρίες, οδόνες υγρών κρυστάλλων και πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων.

### **Τα πιο τοξικά μέταλλα που ανιχνεύονται σε ΗΗΕ και οι επιπτώσεις τους**

#### ● Μόλυβδος

Ο μόλυβδος χρησιμοποιείται αρκετά για συγκολλήσεις εξαρτημάτων στα PCBs, όπως επίσης και στη κατασκευή σωλήνων καθοδικών ακτινών και στη κατασκευή ηλεκτρικών λαμπών φωτισμού (**Lim and Schoenung, 2010**). Παρόλο που χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια, πολλές ουσίες που περιέχουν μόλυβδο μπορεί να είναι τοξικές στους ανθρώπους ή στην άγρια ζωή. Ο μόλυβδος και μερικές από τις ενώσεις του μπορούν να επηρεάσουν την ανάπτυξη του εγκεφάλου στα παιδιά και στα αγέννητα βρέφη. Η υψηλή τοξικότητά του έχει καταδείξει την αντικατάστασή του με πιο αποδεκτές εναλλακτικές λύσεις.

#### ● Υδράργυρος

Ο υδράργυρος χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο στην κατασκευή ΗΗΕ, όπως μπαταρίες και πληθώρα άλλων ηλεκτρικών συσκευών. Χρησιμοποιείται επίσης στον οπίσθιο φωτισμό των LCD πάνελ, λαμπτήρες φθορισμού (λαμπτήρες CCFL) (**Lim and Schoenung, 2010**). Σημαντικές εκπομπές υδραργύρου, που προέρχονται από τον άνθρωπο προς το περιβάλλον, λαμβάνουν χώρα κατά την αποτέφρωση αποβλήτων και κατά την παραγωγή μετάλλων. Επίσης, κατά την αποσυναρμολόγηση των LCD είναι πιθανό να εκλυθούν εκπομπές, καθώς ο σχεδιασμός των συσκευών καθιστά δύσκολη την αφαίρεση του οπίσθιου φωτισμού (**AEA Technology, 2004**). Εκτεταμένη έκθεση στον υδράργυρο και στις ενώσεις του μπορεί να επηρεάσει τον εγκέφαλο, το πεπτικό σύστημα, τα μάτια, την καρδιά, τους νεφρούς, τους πνεύμονες, το αναπαραγωγικό σύστημα, το δέρμα και τα αγέννητα βρέφη. Ο υδράργυρος και οι ενώσεις του είναι πολύ τοξικές για τους οργανισμούς, τα φυτά και τους μικροοργανισμούς. Είναι παραμένοντα στο περιβάλλον και μερικά μείγματα υδραργύρου τείνουν

να βιοσυσσωρευτούν και μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε υδρόβια είδη.

#### ● Κάδμιο

Το κάδμιο χρησιμοποιείται αρκετά ως αντισυνδεδειγμένο μέσο, αντιδιαβρωτικό μέσο, σε μπαταρίες νικελίου-καδμίου και ως χρωστικό ή σταθεροποιητικό μέσο σε πλαστικά και μπογιές. Εκτεταμένη έκθεση στο κάδμιο και στις ενώσεις του μπορούν να επηρεάσουν το αίμα, αγγεία, οστά, πεπτικό σύστημα, καρδιά, ανοσοποιητικό σύστημα, νεφρούς, συκώτι και πνεύμονες και μπορεί να προκαλέσει καρκίνο. Δύναται να επηρεάσει τη φωτοσύνθεση και τη διαπνοή στα φυτά και είναι τοξικό για ένα μεγάλο φάσμα οργανισμών όπως μύκητες εδάφους και ψάρια, επηρεάζοντας κυρίως την ανάπτυξη και την αναπαραγωγή.

#### ● Εξασθενές χρώμιο

Το χρώμιο και οι ουσίες του μπορούν να προκαλέσουν καρκίνο και γενετικές βλάβες. Το εξασθενές χρώμιο έχει χρησιμοποιηθεί από τη βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών στην επιχρωμίσωση μεταλλικών επιφανειών ως αναστολέας διάβρωσης μη επεξεργασμένων και γαλβανισμένων πλακών χάλυβα, ως υλικό ηλεκτρικής θωράκισης για φύλλα συγκεκριμένων μετάλλων, καθώς και ως «διακοσμητικό» ή σκληρυντής (hardener) χαλύβδινων περιβλημάτων. Η εισπνοή του εξασθενές χρωμίου φαίνεται ότι επηρεάζει κυρίως το αναπνευστικό σύστημα. Η βραχυχρόνια έκθεση μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αναπνευστικά προβλήματα, βήχα και δύσπνοια, ενώ η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει άλλες αναπνευστικές επιπτώσεις όπως βλάβες στη όσφρηση, βρογχίτιδα και πνευμονία. Το εξασθενές χρώμιο είναι καρκινογενές για τον άνθρωπο και η έκθεση σε αυτό έχει ως αποτέλεσμα αυξημένο κίνδυνο καρκίνου του πνεύμονα. Οι ουσίες του εξασθενές χρωμίου είναι τοξικές και απορροφούνται εύκολα από τα βιολογικά συστήματα.

Τα παραπάνω μέταλλα έχουν προκαλέσει το ενδιαφέρον ως προς την τοξικότητά τους. Η Ε.Ε. έχει πάρει μέτρα για την απαγόρευση της χρήσης τους.

(<http://www.ecosmes.net/cm/navContents?!=EL&navID=eee&subNavID=2&pagID=25&flag=1> , <http://ewasteguide.info/node/219> )

### **2.1.6 Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.**

Λόγω των διαρκώς επιδεινούμενων περιβαλλοντικών προβλημάτων που σχετίζονται με τη διαχείριση των ΑΗΗΕ, η χάραξη κοινής στρατηγικής αντιμετώπισης του προβλήματος ήταν απαραίτητη. Η Ε.Ε. θέσπισε βασικές οδηγίες σχετικά με τα απόβλητα ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού:

- **Οδηγία 2002/96/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 27ης Ιανουαρίου 2003, σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).
- **Οδηγία 2002/96/ΕΚ** τέθηκε σε ισχύ τον Αύγουστο του 2005 και αφορά στις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές επεξεργασίας, ανάκτησης και ανακύκλωσης των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών.
- **Οδηγία 2003/108/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 8ης Δεκεμβρίου 2003 για τροποποίηση της οδηγίας 2002/96/ΕΚ σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ).

### **2.1.7 Νομοθετικό πλαίσιο σχετικά με τη χρήση επικίνδυνων ουσιών σε ΗΗΕ**

Η περιεκτικότητα των ΗΗΕ σε επικίνδυνες ουσίες σε συνδυασμό με την συνεχή αύξηση παραγωγής των ΑΗΗΕ ώθησαν την Ε.Ε. να θεσπίσει Οδηγίες για την απαγόρευση/περιορισμό της χρήσης επικίνδυνων ουσιών.



- **Οδηγία 2002/95/ΕΚ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου της 27<sup>ης</sup> Ιανουαρίου 2003 σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.

Με την παραπάνω Οδηγία:

Τα κράτη μέλη εξασφαλίζουν ότι, **από την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006**, ο νέος ηλεκτρικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που διατίθεται στην αγορά, δεν περιέχει μόλυβδο, υδράργυρο, κάδμιο, εξασθενές χρώμιο, πολυβρωμοδιφαινύλια (PBB) ή πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE). Τα εθνικά μέτρα περί περιορισμού ή απαγόρευσης της χρήσης των παραπάνω ουσιών στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό, που έχουν θεσπισθεί σύμφωνα με την κοινοτική νομοθεσία πριν από την έκδοση της παρούσας Οδηγίας, μπορούν να διατηρηθούν έως την 1<sup>η</sup> Ιουλίου 2006.

- **Οδηγία 2008/35/ΕΚ** για την τροποποίηση της Οδηγίας 2002/95/ΕΚ σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, όσον αφορά τις εκτελεστικές αρμοδιότητες που ανατίθενται στην Επιτροπή.
- **Οδηγία 2011/65/ΕΕ** του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, της 8ης Ιουνίου 2011 σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Η οδηγία 2002/95/ΕΚ, όπως τροποποιήθηκε με τις πράξεις που παρατίθενται στο παράρτημα VII, μέρος Α, καταργείται, με ισχύ από τις 3 Ιανουαρίου 2013.

**Η Οδηγία 2011/65/ΕΕ διατηρεί την απαγόρευση το 2003** για τη χρήση μολύβδου, υδραργύρου, καδμίου, εξασθενούς χρωμίου, πολυβρωμοδιφαινύλια (PBB) και πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρων (PBDE). Ωστόσο, η πλήρης εξάλειψη αυτών των ουσιών δεν είναι πάντα εφικτή. Η Επιτροπή παρέχει ανοχή 0,01% για το κάδμιο και μια ανοχή της τάξης του 0,1% για τις άλλες πέντε ουσίες. Επιπλέον, ορισμένες χρήσεις που απαριθμούνται στο παράρτημα της παρούσας οδηγίας θα πρέπει να γίνουν ανεκτές. Η Οδηγία 2011/65/ΕΕ επεκτείνει τον περιορισμό σε

όλα τα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού καθώς και τα καλώδια ή ανταλλακτικά.

### 2.1.8 Αποφάσεις

Το ευρωπαϊκό νομοθετικό πλαίσιο συμπληρώνεται από τις ακόλουθες αποφάσεις, που αφορούν την εξάλειψη/μείωση των επικίνδυνων ουσιών:

- **2005/747/EK**: Απόφαση της Επιτροπής για την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.
- **2005/717/EK**: Απόφαση της Επιτροπής για την τροποποίηση με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.
- **2005/618/EK**: Απόφαση της Επιτροπής για την τροποποίηση της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με την καθιέρωση μέγιστων τιμών συγκέντρωσης για ορισμένες επικίνδυνες ουσίες στα είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού.
- **2006/310/EK**: Απόφαση της Επιτροπής για την τροποποίηση, με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σε ό,τι αφορά τις εξαιρέσεις ορισμένων εφαρμογών του μολύβδου.
- **2006/690/EK**: Απόφαση της Επιτροπής για την τροποποίηση του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, ως

προς τις εξαιρούμενες εφαρμογές μολύβδου σε υαλοκρύσταλλα, για τις ανάγκες προσαρμογής στην τεχνική πρόοδο.

- **2006/691/ΕΚ**: Απόφαση της Επιτροπής για την τροποποίηση, με στόχο την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου σχετικά με τις εξαιρούμενες εφαρμογές του μολύβδου και του καδμίου.
- **2006/692/ΕΚ**: Απόφαση της Επιτροπής περί τροποποίησης του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου, ως προς τις εξαιρούμενες εφαρμογές εξασθενούς χρωμίου, για τις ανάγκες προσαρμογής στην τεχνική πρόοδο.
- **2008/385/ΕΚ**: Απόφαση της Επιτροπής για την τροποποίηση, με σκοπό την προσαρμογή στην τεχνική πρόοδο, του παραρτήματος της οδηγίας 2002/95/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου όσον αφορά τις εξαιρέσεις από τις εφαρμογές του μολύβδου και του καδμίου.

### **2.1.9 Εθνική Νομοθεσία**

Με την θέσπιση των οδηγιών, το κάθε κράτος μέλος υποχρεούται να μεταφέρει τις νομοθετικές και κανονιστικές διατάξεις/μεταρρυθμίσεις στο εθνικό δίκαιο. Στην Ελλάδα η διαχείριση των ΑΗΗΕ διέπεται από τις παρακάτω νομοθετικές διατάξεις:

#### **Προεδρικά Διατάγματα**

- **Π.Δ 117/2004**: «Μέτρα, όροι και πρόγραμμα για την εναλλακτική διαχείριση των αποβλήτων ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις των Οδηγιών 2002/95/ΕΚ σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού

και 2002/96/ΕΚ σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού του Συμβουλίου της 27ης Ιανουαρίου 2003»

**Τροποποιήθηκε από:**

- **Π.Δ 114/2013, (ΦΕΚ 147/Α/17.6.2013)**: «Για τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό εξοπλισμό σε συμμόρφωση προς την Οδηγία 2011/65/ΕΕ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου»
- **Υ.Α. οικ. 133480/2011, (ΦΕΚ 2711/Β/15.11.2011)**: «Τροποποίηση του παραρτήματος ΙΒ του π.δ 117/2004»
- **Π.Δ. 15/2006, (ΦΕΚ 12/Α/3.2.2006)**: «Τροποποίηση του προεδρικού διατάγματος 117/04 (82/Α), σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της Οδηγίας 2003/108 «για την τροποποίηση της Οδηγίας 2002/96 σχετικά με τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ)» του Συμβουλίου της 8<sup>ης</sup> Δεκεμβρίου 2003»

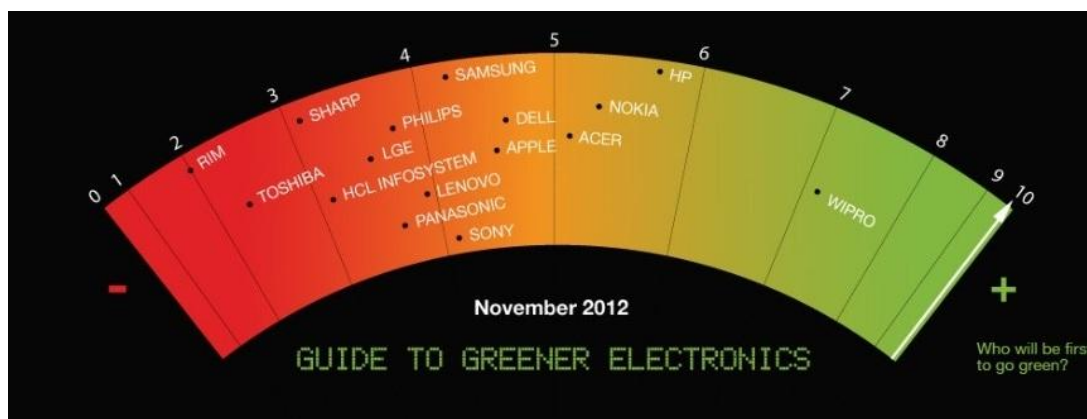
### **2.1.10 Περιβαλλοντικές επιδόσεις των εταιριών**

Η greenpeace πιέζει τις μεγάλες πολυεθνικές εταιρίες να μειώσουν το ρυπαντικό φορτίο των συσκευών και να καταργήσουν τις επιβλαβείς ουσίες κατά την παραγωγική διαδικασία. Οι εταιρίες βαθμολογούνται ανάλογα με τις προσπάθειες που διεξάγουν για τη μείωση της τοξικότητας των ΑΗΗΕ και την ενίσχυση της ανακύκλωσης. Ουσιαστικά ελέγχουν τα ακόλουθα:

- Ενεργειακή απόδοση των συσκευών
- Περιεκτικότητα σε επικίνδυνες ουσίες: PVC, BFRs, αντιμόνιο, βηρύλλιο
- Ποσοστό χρήσης ανακυκλωμένου πλαστικού εκ της συνολικής ποσότητας πλαστικού που χρησιμοποιούν

- Κύκλος ζωής των συσκευών -> δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης και ανακύκλωσης

Σύμφωνα με τον 18<sup>ο</sup> οδηγό πράσινων ηλεκτρονικών, που εκδόθηκε το Νοέμβριο του 2012 η WIPRO κατέχει την πρώτη θέση για την κατασκευή προϊόντων χωρίς τοξικές ουσίες με βαθμολογία 7,1 με άριστα το 10.



Εικόνα 4: Οδηγός πράσινων ηλεκτρονικών 2012, (<http://www.greenpeace.org/greece/el/Guide-to-Greener-Electronics/18th-Edition/>)

Η κατάταξη έχει ως εξής:

Βαθμολογία	Εταιρίες- Επιδόσεις
7,1	<b>WIRPO:</b> Κατέχει την πρώτη θέση καταφέροντας το 80% των προϊόντων της να είναι απαλλαγμένα από PVC και BFRs.
5,7	<b>HP:</b> Παρουσιάζει πρόοδο στη μείωση τοξικών ουσιών. Ωστόσο πέτυχε μόνο το 67% του στόχου της.
5,4	<b>NOKIA:</b> Το ποσοστό χρήσης ανακυκλωμένου πλαστικού είναι μόνο 33% και ταυτόχρονα παρουσιάζει αδυναμία εξάλειψης των ενώσεων αντιμονίου.
5,1	<b>ACER:</b> Δεν σημειώνει καθόλου ποσοστό ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης.
4,6	<b>DELL:</b> Παραλείπει να γνωστοποιήσει το ποσοστό ανακυκλωμένου πλαστικού ή έστω ένα χρονοδιάγραμμα για τη βελτίωση σε αυτόν τον τομέα.

4,5	<b>APPLE:</b> Η Apple ήταν μία από τις πρώτες εταιρείες που πωλούν τα προϊόντα χωρίς πλαστικό πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) και βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας (BFR), αλλά δεν αναφέρει τα σχέδια για τη σταδιακή κατάργηση αντιμονίου ή βηρυλλίου.
4,2	<b>SAMSUNG:</b> Η SAMSUNG πηγαίνει αρκετά καλά όσον αφορά την κατάργηση των επικίνδυνων ουσιών, αλλά εμφανίζει μεγάλα ποσοστά εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου.
4,1	<b>SONY:</b> Η εταιρεία χρησιμοποιεί περίπου 8.500 τόνους μετά την κατανάλωση ανακυκλωμένου πλαστικού ετησίως, όμως το πεδίο εφαρμογής της σταδιακής κατάργησης (BFR) είναι περιορισμένο.
3,9	<b>LENOVO:</b> Η Lenovo εμφανίζει καλά αποτελέσματα για τη χρήση του ανακυκλωμένου πλαστικού, αλλά επιβάλλεται να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.
3,8	<b>PHILIPS:</b> Η Philips πρέπει να καθορίσει την κατανάλωση ανακυκλωμένου πλαστικού, και να αναφέρει το ποσοστό που χρησιμοποιεί σήμερα. Καταφέρνει να παράγει μια σειρά από προϊόντα χωρίς επικίνδυνες ουσίες.
3,6	<b>PANASSONIC:</b> Η εταιρία δεν πέτυχε τον στόχο της για εξάλειψη των PVC και BFR από φορητούς υπολογιστές και κινητά τηλέφωνα μέχρι το τέλος του 2011, επικαλούμενη τεχνικές δυσχέρειες.
3,5	<b>LGE:</b> Η LGE δεν δημοσιοποιεί πληροφορίες σχετικά με τις κινήσεις της να καταργήσει τις επικίνδυνες ουσίες στις οθόνες τηλεόρασης και υπολογιστών μέχρι το 2012, καθώς και στις οικιακές συσκευές μέχρι το 2014.
3,1	<b>HCL INFOSYSTEMS:</b> Το 29% των προϊόντων της είναι απαλλαγμένα από PVC και BFRs, αλλά δεν υπάρχει χρονοδιάγραμμα για την μείωση αντιμονίου και βηρυλλίου.
3,1	<b>SHARP:</b> Έχει θέσει στόχους τόσο για τις τοξικές ουσίες όσο και για την ανακύκλωση πλαστικών, αλλά δεν έχει ορίσει πότε θα τους εφαρμόσει.
2,3	<b>TOSHIBA:</b> Η εταιρεία έχει χαμηλή βαθμολογία επειδή δεν

	δημοσιεύει πληροφορίες σχετικά με τις εγγυήσεις και τη διαθεσιμότητα του ανταλλακτικών.
2	<b>RIM:</b> Η RIM αποτυγχάνει. Θέτει ως στόχο να εξαλείψει τη χρήση επικίνδυνων ουσιών, αλλά δεν έχει χρονοδιάγραμμα.



Εικόνα 5: Οδηγός πράσινων ηλεκτρονικών 2011,

([http://www.greenpeace.org/greece/el/news/2011/2/odigos\\_gia\\_pio\\_prasina\\_ilektronika/](http://www.greenpeace.org/greece/el/news/2011/2/odigos_gia_pio_prasina_ilektronika/))

Συγκρίνοντας τον οδηγό 2012 με τον οδηγό 2011 μπορεί να διαπιστωθεί ότι οι περισσότερες εταιρίες σημειώνουν πρόοδο μεγάλη ή μικρή (WIPRO, NOKIA, SAMSUNG, SONY, ACER, SHARP, TOSHIBA, RIM), ενώ παρατηρείται μείωση στην πρόοδο της HP και της APPLE. Είναι εμφανές ότι η έννοια του περιβάλλοντος λαμβάνει ολοένα και μεγαλύτερη υπόσταση στον τομέα κατασκευής ηλεκτρονικών συσκευών.

## 2.2 ΟΘΟΝΕΣ: ΠΟΥ ΤΙΣ ΣΥΝΑΝΤΑΜΕ;

Η καθημερινή ζωή είναι συνυφασμένη με την ανάγκη απεικόνισης δεδομένων, αποτελεσμάτων, εικόνων και γραφικών. Από ένα απλό κομπιουτεράκι χειρός μέχρι μία τεραστίων διαστάσεων γιγαντοοθόνη και από τα μόνιτορ των υπολογιστών στο γραφείο μέχρι τις οθόνες των τηλεοράσεων στο σπίτι, ο

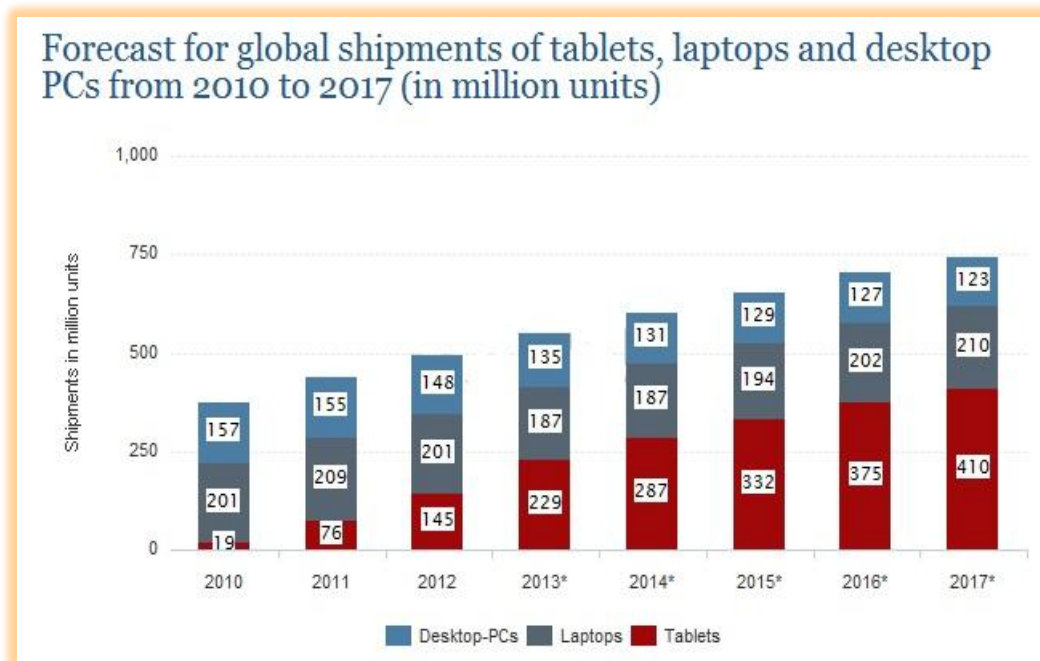
άνθρωπος βρίσκεται καθημερινά εκτεθειμένος σε εκατοντάδες μηνύματα και δεδομένα τα οποία περνούν με ταχύτητα μπροστά από τα μάτια του. Σήμερα η απεικόνιση δεδομένων καλύπτει ένα ευρύ φάσμα καθημερινών αναγκών, καθώς αποτελεί μέσο ψυχαγωγίας, πληροφόρησης αλλά και απαραίτητο εφόδιο στον εργασιακό τομέα για μεγάλο ποσοστό του ανθρώπων. Η ζωή του χρήστη και ο τρόπος επικοινωνίας του με τον υπόλοιπο κόσμο μπορούν να γίνουν ασύγκριτα πιο εύκολα και αποτελεσματικά ανάλογα με το μέσο απεικόνισης που χρησιμοποιεί. Λόγω της αδιάκοπης παραγωγής τους και ίσως ασυναίσθητα οι οθόνες να έχουν θεωρηθεί ως κάτι δεδομένο, όμως μόνο η σκέψη για το πώς θα ήταν η ζωή σήμερα αν αποσύρονταν όλες οι συσκευές που αποτελούνται από οθόνη, ή πόσο λειτουργικές θα ήταν οι ίδιες συσκευές χωρίς οθόνη, μπορεί να κάνει αντιληπτό το γεγονός ότι οι οθόνες αποτελούν ένα χρήσιμο και αναντικατάστατο αγαθό.

### **2.2.1 Στο δρόμο προς τις επίπεδες οθόνες-Εξελικτική πορεία οθονών**

Χωρίς αμφισβήτηση οι οθόνες που κυριάρχησαν στην αγορά τα προηγούμενα χρόνια, βασίζονται στην τεχνολογία της καθοδικής λυχνίας (Cathode Ray Tube, CRT). Σε εφαρμογές που απαιτούσαν μικρό βάρος και όγκο, δεν αποδείχτηκαν βολικές, παρά το μικρό τους κόστος. Σε αυτές τις περιπτώσεις τη λύση έδωσαν άλλες τεχνολογίες που συνδύαζαν μικρότερο όγκο και βάθος αλλά και χαμηλότερη κατανάλωση ρεύματος έναντι των CRT. Σήμερα οι οθόνες υγρών κρυστάλλων χρησιμοποιούνται ευρέως στις συσκευές. Εμφανίστηκαν αρχικά στους φορητούς υπολογιστές (laptop) και σε notebook, αλλά πλέον απαντώνται σε πληθώρα άλλων συσκευών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού **(AEA Technology, 2004)**.



## Διείσδυση των LCD συσκευών



Εικόνα 6: Στατιστικά στοιχεία πωλήσεων tablets, laptops, desktop PCs από το 2010-2017([www.statista.com](http://www.statista.com))

Τα παραπάνω στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν σε παγκόσμιο επίπεδο συνολικά στοιχεία για την ποσότητα των tablets, laptops, desktop PCs από το 2010 έως το 2012, καθώς και μία πρόγνωση μέχρι το 2017. Το 2010 πωλήθηκαν περίπου 19 εκατομμύρια tablets σε όλο τον κόσμο και προβλέπεται ότι το ποσό αυτό θα αυξηθεί σε 332 εκατομμύρια ως το 2015 (**Statista-The statistics Portal for Market Data, Market Research**).

☞ Εκτιμήθηκε ακόμη ότι η παραγωγή LCD TV από εταιρείες ηλεκτρονικών υπηρεσιών κατασκευής και κατασκευαστές αρχικού σχεδιασμού θα αυξανόταν από 78,2 εκατομμύρια το 2010 σε 109,6 εκατομμύρια το 2015, επιτυγχάνοντας ένα σύνθετο ετήσιο ρυθμό αύξησης 7% για την περίοδο (**Gartner, 2011**).

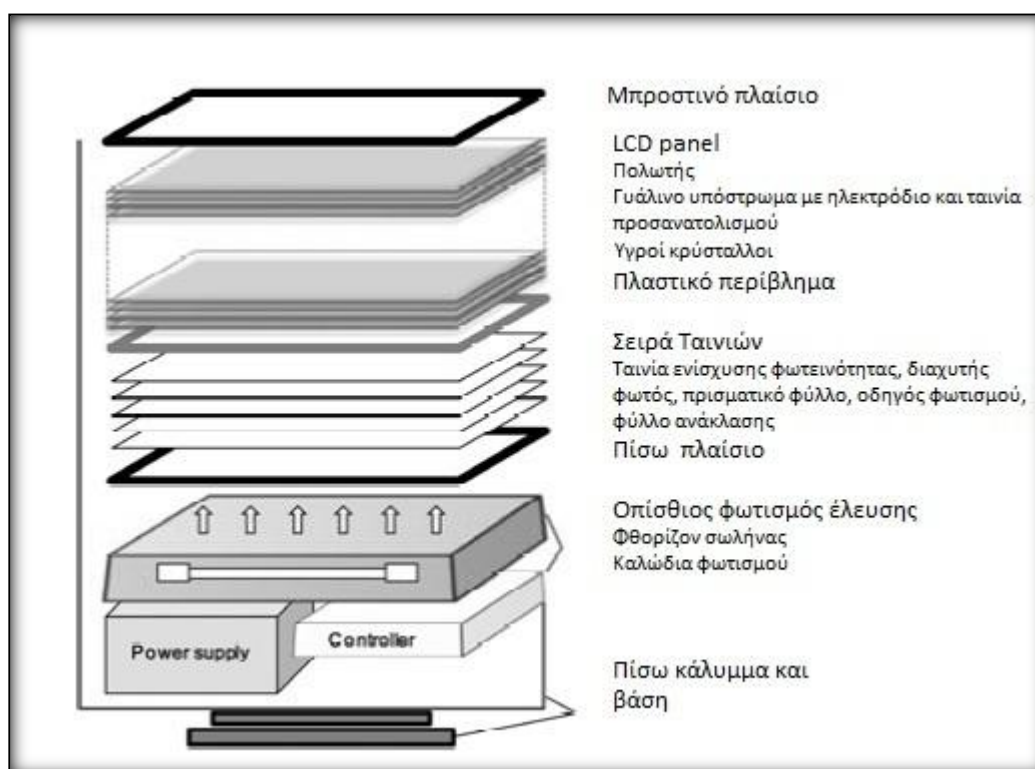
Τελικά το 2012, πάνω από 200 εκατομμύρια τηλεοράσεις LCD παρήχθησαν σε όλο τον κόσμο (**Gartner, 2013**). Παρατηρήθηκε δηλαδή μέσα σε δύο χρόνια τεράστια αύξηση σε σχέση με την αναμενόμενη βάσει των στατιστικών στοιχείων και

φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι οθόνες LCD θα συνεχίσουν να αυξάνονται ταχύτατα σε παγκόσμιο επίπεδο.

## 2.2.2 Η τεχνολογία των LCD

Η πρώτη πειραματική συσκευή ηλεκτρονικής απεικόνισης με τη βοήθεια υγρών κρυστάλλων έγινε από την εταιρία RCA το 1968.

Οι LCD συσκευές περιλαμβάνουν συνήθως τα εξής τμήματα: το μπροστινό πλαίσιο, το LCD πάνελ, το πλαστικό περίβλημα, μια σειρά ταινιών, το πίσω πλαίσιο, τον οπίσθιο φωτισμό έλευσης, το τροφοδοτικό και το χειριστήριο, ένα πίσω κάλυμμα και μία βάση. Το LCD πάνελ αποτελείται από δύο πλάκες γυαλιού, ανάμεσα στις οποίες βρίσκονται οι υγροί κρύσταλλοι. Οι εξωτερικές πλευρές του γυαλιού είναι σε επαφή με τον πολωτή, ενώ η εσωτερική είναι επικαλυμμένη με ταινίες και με ένα διαφανές αγώγιμο ηλεκτρόδιο.



Εικόνα 7: Τμήματα οθόνης LCD, (Zhuang et.al., 2012)

**Αρχή λειτουργίας:** Το βασικό δομικό στοιχείο μιας οθόνης υγρών κρυστάλλων είναι ο υγρός κρύσταλλος. Παρόλο που ένας κρύσταλλος ποτέ δε θα μπορούσε να χαρακτηριστεί υγρός, υπάρχουν κάποια υλικά στη φύση τα οποία βρίσκονται σε μια ενδιάμεση κατάσταση, δηλαδή δεν μπορούν να θεωρηθούν ούτε υγρά αλλά ούτε στερεά. Τα μόριά τους μπορούν να κινηθούν ελεύθερα όπως τα υγρά, αλλά ταυτόχρονα ο προσανατολισμός τους παραμένει ο ίδιος, όπως τα στερεά. Λόγω της μοριακής τους δομής, οι υγροί κρύσταλλοι έχουν την ιδιότητα να αλλάζουν την πολικότητα του φωτός που περνά από μέσα τους, ανάλογα με την τάση του ηλεκτρικού ρεύματος που εφαρμόζεται σε αυτούς. Συνεπώς, εσωκλείοντας ένα στρώμα υγρών κρυστάλλων μεταξύ δύο φίλτρων οριζόντιας πόλωσης του φωτός, τα οποία είναι προσανατολισμένα ώστε να μην αφήνουν τη διέλευσή του, είναι εφικτό να ελεγχθεί η ποσότητα του φωτός που θα περάσει τη διάταξη αυτή ανάλογα με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στο στρώμα των υγρών κρυστάλλων. Έτσι μια οθόνη υγρών κρυστάλλων δεν είναι τίποτα περισσότερο από ένα τέτοιο «σάντουιτς» πολωτικών φίλτρων και υγρών κρυστάλλων. Επειδή οι υγροί κρύσταλλοι δεν εκπέμπουν φως, οι οθόνες υγρών κρυστάλλων φωτίζονται από κάποια εξωτερική πηγή φωτός. Υπάρχει μια μικρή λάμπα φθορίου πίσω από το «σάντουιτς», η οποία συνοδεύεται από μια επιφάνεια διάχυσης του φωτός για την ισόποση κατανομή της φωτεινότητας σε όλη την επιφάνεια της οθόνης. Η εικόνα σχηματίζεται ανάλογα με το ηλεκτρικό φορτίο που ασκείται στους υγρούς κρυστάλλους από ένα πλέγμα μικροσκοπικών ηλεκτροδίων.

Τα τελευταία χρόνια άρχισε η διάθεση στην αγορά οθονών LCD, που χρησιμοποιούν φωτοεκπέμπουσες διόδους (LED), αντί των λαμπτήρων φθορισμού.

[http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com\\_content&task=view&id=94&Itemid=61](http://www.ipet.gr/digitech2/index.php?option=com_content&task=view&id=94&Itemid=61)

### 2.2.3 Επικίνδυνες ουσίες

Με την αλλαγή της τεχνολογίας των οθονών, ήταν αναμενόμενο ότι οι οθόνες θα παρουσίαζαν διαφορετική σύσταση βάσει της διαφορετικής τους κατασκευής. Το γεγονός αυτό κίνησε περιβαλλοντικό ενδιαφέρον ως προς την επικινδυνότητά τους. Η κύρια πηγή ρύπου των CRT είναι ο μόλυβδος καθώς και άλλα σημαντικά μέταλλα σε μικρότερο ποσοστό (**Lim and Schoenung, 2010**). Στο παρελθόν έχουν γίνει μελέτες για την εκπλυσιμότητα των τοξικών μετάλλων των CRT και έχει προσημειωθεί ο κίνδυνος που προκαλεί η παρουσία τους. Οι νεότερες συσκευές (LCD) δεν έχουν μελετηθεί συστηματικά, όμως χαρακτηρίζονται λιγότερο τοξικές για την υγεία του ανθρώπου από τις CRT οθόνες (**Socolof et.al., 2005**), παρόλο που όσον αφορά την οικολογική τοξικότητα είναι χειρότερες εξαιτίας του μεγάλου ποσοστού υδραργύρου (**Lim and Schoenung, 2010**). Σύμφωνα με το Παράρτημα II της Οδηγίας 2002/96/ΕΚ, Οθόνες υγρών κρυστάλλων (μαζί με το περίβλημά τους, οσάκις ενδείκνυται), η επιφάνεια των οποίων υπερβαίνει τα 100 τετραγωνικά εκατοστά, θα πρέπει να απομακρύνονται από τα ΑΗΗΕ. Αν και οι οθόνες είναι πιο ελαφριές και ο όγκος τους είναι μικρότερος, εκτιμάται ότι οι υγροί κρύσταλλοι περιλαμβάνουν περίπου 10-25 ενώσεις (**Zhuang et.al., 2012**), κάποιες από τις οποίες είναι υψηλής τοξικότητας (αρωματικά πολυμερή με βενζόλιο, κυάνιο, φθόριο, βρώμιο, χλώριο κτλ). Σήμερα, περίπου 50.000 διαφορετικές χημικές ενώσεις είναι γνωστό ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συστατικά οθονών υγρών κρυστάλλων. Όμως, μόνο 250 από αυτές αποτελούν τις ευρύτερα χρησιμοποιούμενες, ως συστατικά των άνω των 1000 εμπορικά διαθέσιμων μιγμάτων υγρών κρυστάλλων (**AEA Technology, 2004**). Παρόλο που υπήρχαν ανησυχίες για τους κινδύνους που ενδέχεται να προκαλέσουν οι υγροί κρύσταλλοι, σύμφωνα με μελέτες, η τοξικότητα των υγρών κρυστάλλων είναι σπάνια (**Tsydenova and Bengtsson, 2011**). Κάποιες εταιρίες προσπαθούν να μειώσουν ή να εξαλείψουν την χρήση χλωρίου στην κατασκευή LCDG (Liquid Crystal Display Glass), αν και τα πραγματικά περιβαλλοντικά οφέλη μείωσης του Cl ερευνούνται (**Kotani and Masunaga, 2012**). Αναφέρεται επίσης ότι στο LCD πάνελ ανιχνεύεται σημαντική ποσότητα αρσενικού καθώς και υδράργυρος σε μικρότερο ποσοστό (**Salhofer and Tesar, 2011**).

Στους παρακάτω πίνακες παρατίθενται επικίνδυνες ουσίες, που ανιχνεύονται στα τμήματα των LCD σύμφωνα με στοιχεία μελετών:

**Πίνακας 1: Επικίνδυνες ουσίες σε απόβλητα LCD συσκευών α)**

<b>Υλικά και Συστατικά</b>	<b>Επικίνδυνες Ουσίες</b>	<b>Επιπτώσεις</b>
Υγροί Κρύσταλλοι	Βενζόλιο, Κυανό-ομάδα, F, Cl, Br	Επικίνδυνα για το περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία
Φωτισμός	Υδράργυρος	Βλαβερό για τα νεφρά, το ήπαρ, το νευρικό σύστημα, το ενδοκρινικό και το αναπαραγωγικό σύστημα, καρκινογόνο
Πλαστικό περίβλημα και πλαίσιο	Επιβραδυντικά φλόγας (PBDE, PBB)	Βλαβερά για τον εγκέφαλο, τα νεφρά το ήπαρ, το ενδοκρινικό και το αναπαραγωγικό σύστημα, καρκινογόνο
Τροφοδοτικό και Χειριστήριο	As, Τοξικά Μέταλλα (Pb, Cd, Cr)	Βλαβερά για τα νεφρά, το ήπαρ, τα κόκαλα, το νευρικό σύστημα, το αιματολογικό σύστημα

**(Zhuang et.al., 2012)**

**Πίνακας 2: Επικίνδυνες ουσίες σε απόβλητα LCD συσκευών β)**

<b>Υλικά και Συστήματα</b>	<b>Επικίνδυνες Ουσίες</b>
Ηλεκτρόδια	Ίνδιο και οξείδιο κασσίτερου
Ταινίες Προσανατολισμού	Πολυαμίδιο ή διαμάντι (π.χ. άνθρακας)
Πολωτής	Πολυβινυλαλκοόλη εμπλουτισμένη με ιώδιο ή απροσδιόριστες χρωστικές ουσίες

**(Lee and Cooper, 2008)**

Αναφορικά τα κυριότερα τοξικά μέταλλα που ανιχνεύονται σε LCD οθόνες είναι τα ακόλουθα: μέταλλα αντιμονίου, αρσενικού, βάριο, βηρύλλιο, κάδμιο, χρώμιο, κοβάλτιο, χαλκός, μόλυβδος, υδράργυρος, μολυβδαίνιο, νικέλιο, σελήνιο, ασήμι, βανάδιο, και ψευδάργυρος (**Lim and Schoenung, 2010**). Παρόλο που δεν είναι αντικείμενο της παρούσας εργασίας, αξίζει να αναφερθεί ότι οι συσκευές LCD είναι επικίνδυνες απ' την αρχή του κύκλου ζωής τους και όχι μόνο εφόσον γίνουν απόβλητα. Επικίνδυνες ουσίες(πτητικές οργανικές ενώσεις VOCs, ακετόνη, ισοπροπυλική αλκοόλη) εκπέμπονται κατά την διάρκεια της κατασκευής των συσκευών τους. Σύμφωνα με μελέτη που έγινε σε βιομηχανία κατασκευής οθονών LCD, επισημαίνεται ότι η έκθεση σε αυτές τις ουσίες μπορεί να προκαλέσει νεφρική δυσλειτουργία και τονίζεται το μεγάλο ποσοστό των εργαζομένων, που είναι πιθανόν να διατρέχει κίνδυνο (**Chang et.al., 2010**). Ταυτόχρονα όμως εκτός από τις επικίνδυνες ουσίες, υπάρχουν υλικά υψηλής αξίας, που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν και να ανακυκλωθούν, όπως το γυαλί, το πλαστικό και ορισμένα μέταλλα.

#### **2.2.4 Διαχείριση αποβλήτων οθονών**

Δεδομένης της δημοτικότητας της οθόνης υγρών κρυστάλλων, η αύξηση αυτών που έχουν φτάσει στο τέλος του κύκλου ζωής τους, συνιστά ένα περιβαλλοντικό πρόβλημα. Το πώς μπορούν να διαχειριστούν, ώστε να έχουν τις λιγότερες δυνατές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, είναι ένα θέμα που επιβάλλεται να αντιμετωπιστεί ορθά, μέσω φιλικών προς το περιβάλλον διεργασιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι με την ανακύκλωση εκτός από την ανάκτηση υλικών, απομακρύνονται οι επικίνδυνες ουσίες.

Τόσο από οικονομική όσο και από οικολογική άποψη είναι προτιμότερο, να προλαμβάνεται η εμφάνιση αρνητικών συνεπειών στο περιβάλλον παρά αυτές να αντιμετωπίζονται εκ των υστέρων διορθωτικά, δεδομένου ότι η αποκατάσταση δεν είναι πάντοτε εφικτή αλλά ούτε και πλήρης. Η αρχή της πρόληψης είναι ο πυρήνας της προστασίας του περιβάλλοντος και έχει χαρακτήρα ρυθμιστικό και διαχειριστικό σε μια προσπάθεια συμβιβασμού των αντίρροπων τάσεων και

συμφερόντων (ανταγωνισμός, οικονομικά συμφέροντα και προστασία του περιβάλλοντος). Επομένως πριν προκύψει η ανάγκη για διαχείριση συνιστάται η προληπτική δράση, που περιλαμβάνει μέτρα για τη μείωση των κινδύνων.

Αναπόφευκτα με την εισαγωγή νέων προϊόντων που έχουν διαφορετική σύνθεση από τα ήδη υπάρχοντα, προκύπτουν νέες απαιτήσεις στην ανακύκλωση (CRT-glass->LCD-glass). Η Οδηγία 2002/96/ΕΚ έχει ως πρώτη προτεραιότητα την πρόληψη της δημιουργίας αποβλήτων ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού (ΑΗΗΕ), και επιπλέον την επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και άλλες μορφές αξιοποίησης των αποβλήτων αυτών, ώστε να μειωθεί η ποσότητα των αποβλήτων προς διάθεση. Σύμφωνα με το Παράρτημα II της Οδηγίας, οι οθόνες υγρών κρυστάλλων (μαζί με το περίβλημά τους, οσάκις ενδείκνυται), η επιφάνεια των οποίων υπερβαίνει τα 100 τετραγωνικά εκατοστά, πρέπει να αφαιρούνται από τα απόβλητα που συλλέγονται χωριστά.

#### **2.2.4.1 Αποσυναρμολόγηση**

Ως αποσυναρμολόγηση Τέλους Κύκλου Ζωής (TKZ), μπορεί να οριστεί η ελεγχόμενη διαδικασία που στοχεύει στον, με οποιοδήποτε τρόπο, άρτιο διαχωρισμό και ανάκτηση επιθυμητών υποσυνόλων ή και εξαρτημάτων του προϊόντος. Κατά την διαδικασία της αποσυναρμολόγησης διαχωρίζονται τα διάφορα συστατικά των οθονών, τα οποία στη συνέχεια χειρίζονται ξεχωριστά.

Ως κυριότερα πλεονεκτήματα της εφαρμογής συστηματικής αποσυναρμολόγησης καταγράφονται:

- Ανάκτηση ολοκληρωμένων και πιθανώς λειτουργικών υποσυνόλων (επαναχρησιμοποίηση)
- Καθαρότερη ανάκτηση υλικών (αυξημένος βαθμός απόδοσης της μετέπειτα ανακύκλωσης)
- Καλύτερη επίτευξη απομάκρυνσης ή/και απομόνωσης επικίνδυνων ουσιών

Ένας σημαντικός λόγος που δυσχεραίνει την αποσυναρμολόγηση και μειώνει την αποδοτικότητά της είναι η μεγάλη ποικιλία υλικών, ενώ πολλά από αυτά είναι και μη ανακυκλώσιμα. Είναι σημαντικό λοιπόν κατά τον σχεδιασμό να ληφθεί υπόψιν η αποσυναρμολόγηση. Οι κατασκευαστές θα πρέπει να θεωρούν αλληλένδετους και ταυτόχρονους στόχους, τόσο την εύκολη συναρμολόγηση, όσο και την εύκολη αποσυναρμολόγηση, και μάλιστα χωρίς να τις θεωρούν ως αντίστροφες διαδικασίες. Σύμφωνα με την οδηγία απαιτείται η αφαίρεση του οπίσθιου φωτισμού στις οθόνες LCD. Ωστόσο, ο σχεδιασμός τους καθιστά δύσκολη την αφαίρεσή του **(ΑΕΑ Technology, 2004)**. Επιπλέον μέσω της αποσυναρμολόγησης μπορεί να επιτευχθεί απομάκρυνση των υγρών κρυστάλλων και ανάκτηση του πολυτή και του γυαλιού **(Zhuang et.al., 2012)**.

#### **2.2.4.2 Μέθοδος Τεμαχισμού–Διαχωρισμού**

Το πρόβλημα της ανακύκλωσης ΑΗΗΕ αντιμετωπίζεται μέχρι και σήμερα κυρίως με μεθόδους τεμαχισμού–διαχωρισμού (shredding–separating). Βασική αρχή της επεξεργασίας αυτής είναι ο τεμαχισμός των συσκευών σε πολύ μικρά κομμάτια και μετέπειτα η εφαρμογή διαδοχικών διεργασιών διαχωρισμού και ανάκτησης των διαφόρων υλικών.

Η μέθοδος ακολουθείται κυρίως για τους παρακάτω λόγους:

- Επίτευξη διαχωρισμού υλικών με χαμηλό κόστος
- Άρση δυσκολιών στην αποσυναρμολόγηση που προκύπτουν από φθορές χρήσης κατά τη διάρκεια ζωής της συσκευής.

Ο τεμαχισμός όμως, φέρει και ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα:

- Επιτυγχάνει χαμηλό ποσοστό ανακύκλωσης υλικών.
- Δεν επιτρέπει επαναχρησιμοποίηση εξαρτημάτων ή υποσυνόλων.
- Συχνά παρατηρείται ρύπανση υλικών, τα οποία θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν με άλλα επικίνδυνα ή μη ανακυκλώσιμα, καθιστώντας τα απορριπτέα.



- Αποκλίνει από το πνεύμα της πρόσφατης εθνικής και ευρωπαϊκής νομοθεσίας, που δίνουν προτεραιότητα στην επαναχρησιμοποίηση των ΑΗΗΕ.

Αναφέρεται ότι η σκόνη που παράγεται κατά τον τεμαχισμό μπορεί εύκολα να εισπνευσθεί και επιπλέον ενέχεται κίνδυνος δερματικής έκθεσης των εργαζομένων καθώς και κίνδυνος περιβαλλοντικής μόλυνσης (**Tsydenova and Bengtsson, 2011**). Η σύνθεση της σκόνης περιλαμβάνει πλαστικά, μέταλλα, κεραμικά και διοξείδιο του πυριτίου(γυαλί και σκόνη) (**MJC, 2004**). Ταυτόχρονα, απελευθερώνεται υδράργυρος από τον οπίσθιο φωτισμό των οθονών και είναι πιθανή η διασπορά του αρσενικού. Εκτιμάται ότι αν και η ποσότητα Hg που ανιχνεύεται στις LCDs είναι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με τις μπαταρίες, είναι εύκολο να απελευθερωθεί Hg λόγω του εύθραυστου φωτισμού (**Salhofer and Tesar, 2011**).

Η ανακύκλωση ΑΗΗΕ με την μέθοδο του τεμαχισμού μπορεί να θεωρηθεί ως αποτελεσματική, κοστολογικά συμφέρουσα και προτιμητέα. Η έρευνα όμως ήδη προσανατολίζεται προς νέες πιο ολοκληρωμένες λύσεις για την διαχείριση των ΑΗΗΕ του μέλλοντος.

### **2.2.4.3 Επαναχρησιμοποίηση**

Η ανακατασκευή των LCD συσκευών αναδύεται ως μια λογική εναλλακτική λύση για την ανάκτηση υλικών / ανακύκλωση. Οι οθόνες που συλλέγονται στις ανεπτυγμένες οικονομίες, εξάγονται - ανακατασκευασμένες ή μη - και οδηγούνται προς πώληση στις αναπτυσσόμενες χώρες. Τα περισσότερα υλικά για επαναχρησιμοποίηση εξάγονται στην Ασία, την Αφρική και την Ανατολική Ευρώπη.

Η επαναχρησιμοποίηση αποτελεί μία μέθοδο βιώσιμη που εμποδίζει την εξάλειψη των φυσικών πόρων. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι η πλήρης ανακατασκευή των οθονών δεν είναι κερδοφόρα λόγω των σχετικά χαμηλών τιμών πώλησης και επιπλέον εξαρτάται από την ηλικία των αποβλήτων και τον

βαθμό της ζημιάς που έχουν υποστεί. Σύμφωνα με έρευνα που έγινε σε δείγμα ηλεκτρονικών αποβλήτων της πόλης Δρέσδης της Γερμανίας, οι περισσότερες συσκευές ήταν μεγάλης ηλικίας, ενώ οι πλήρως κατεστραμμένες συσκευές αποτελούσαν το 52% (**Dimitrakakis et.al., 2009**). Επομένως το μέγιστο δυνατό ποσοστό επαναχρησιμοποίησης ήταν αναλογικά πολύ χαμηλό.

#### **2.2.4.4 Ανακύκλωση**

Το μεγαλύτερο ποσοστό ανακύκλωσης LCD οθονών σήμερα, αφορά την απομάκρυνση υδραργύρου από τον φωτισμό (το πιο συνηθισμένο επικίνδυνο υλικό σε τεχνολογίες LCD). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι τεχνικές ανακύκλωσης των LCD είναι περιορισμένες (**Lee and Cooper, 2008**). Το LCD πάνελ έχει την πιο πολύπλοκη δομή από τα τμήματα των LCD συσκευών, καθώς αποτελείται από πολωτή, γυάλινο υπόστρωμα και υγρούς κρυστάλλους. Η ανακύκλωση του LCDG περιλαμβάνει: α) αποτελεσματική απομάκρυνση και ανάκτηση των οργανικών μερών που περιέχουν υγρούς κρυστάλλους και ταινίες από το γυαλί, β) ανάκτηση των πόρων του μετάλλου ινδίου, γ) ανακύκλωση του γυάλινου υποστρώματος (**Lu et.al., 2012**).

##### Μελέτες που έχουν γίνει σχετικά με την ανακύκλωση LCDG:

- Σύμφωνα με μελέτη που έγινε για την ανάκτηση του πολωτή και του γυαλιού, μετά την αποσυναρμολόγηση και τον τεμαχισμό, οι υγροί κρύσταλλοι απομακρύνθηκαν από το πάνελ του γυαλιού με διάλυση σε ισοπροπυλική αλκοόλη (16,7vol.%). Μετά από διάλυση για 45 λεπτά στους 60 °C η απομάκρυνση των υγρών κρυστάλλων έφτασε σχεδόν το 100 wt%. Πάνω από 79,7 wt% του πολωτή διαχωρίστηκε από το γυαλί, ενώ η μέση περιεκτικότητα ανάκτησής του ήταν 90,3 wt% (**Zhuang et.al., 2012**).
- Σε άλλη μελέτη το ποσοστό απομάκρυνσης των υγρών κρυστάλλων μετά από πυρόλυση σε θερμοκρασία 850 K, έφτασε το 87,87 wt%. Έπειτα το γυαλί

μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την ανάκτηση ινδίου (**Lu et.al., 2012**). Επίσης στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι για την απομάκρυνση των υγρών κρυστάλλων η μέθοδος της πυρόλυσης κρίνεται πιο αποτελεσματική από ότι η χρήση ακετόνης, η οποία είναι πολύ τοξική και επιβλαβής.

- Μία «μέθοδος αφρού LCD» για τα απόβλητα γυαλιού LCD εξετάστηκε, στην οποία το απόβλητο LCD γυαλί ανακυκλώνεται για να παραχθεί αλουμινοβοριοπυριτικό αφρώδες γυαλί, το οποίο μπορεί τελικά να χρησιμοποιηθεί ως ένα θερμομονωτικό υλικό, ή άλλες χρήσεις. Το παραγόμενο προϊόν έχει εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες: πυκνότητα μικρότερη από  $0,14\text{g/cm}^3$ , μικρή θερμική αγωγιμότητα, αντοχή κάμψης πάνω από  $35\text{N/cm}^2$ . Επομένως, το αφρώδες γυαλί θα μπορούσε να είναι χρήσιμο για διάφορες εφαρμογές (**Lee, 2013**).
- Συνδυασμός πυρόλυσης και βύθισης οξέος πραγματοποιήθηκε για την ανάκτηση πολύτιμων πόρων σε οθόνες υγρών κρυστάλλων. Χρησιμοποιήθηκε θειικό οξύ για την μελέτη ανάκτησης ινδίου από το γυαλί LCD μετά την απογύμνωσή του από το πολωτικό φιλμ. Σε χρόνο 42 min, θερμοκρασία  $65,6\text{ }^\circ\text{C}$  και συγκέντρωση οξέος  $0,6\text{mol/L}$ , η ανάκτηση του ινδίου ήταν περίπου κοντά στο 100% (**Wang et.al., 2013**).

Πυρομεταλλουργικές διαδικασίες έχουν επίσης πραγματοποιηθεί για την ανάκτηση μετάλλων. Αναφέρεται όμως ότι μπορεί να προκληθούν εκπομπές μετάλλων, ιδιαίτερα μετάλλων με χαμηλό σημείο τήξης, όπως χαλκός, κάδμιο, μόλυβδος (**Tsydenova and Bengtsson, 2011**). Μελλοντικά εκτιμάται ότι η περιεκτικότητα ινδίου στο πάνελ των οθονών ενδέχεται να αποδειχτεί ιδιαίτερης σημασίας στον τομέα της ανακύκλωσης (**Salhofer and Tesar, 2011**). Με βάση τα αποτελέσματα των μελετών που αναφέρθηκαν, είναι αντιληπτό ότι τόσο η απομάκρυνση των επικίνδυνων ουσιών από τις οθόνες, όσο και η ανάκτηση πολύτιμων υλικών, είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν μέσω κατάλληλων διεργασιών. Τα αποτελέσματα των μελετών είναι ικανοποιητικά και ενθαρρυντικά. Με την ανακύκλωση υλικών υψηλής αξίας μπορούμε να

αποφύγουμε την απώλεια φυσικών πόρων και να έχουμε οικονομικά οφέλη (ανάκτηση γυαλιού, χαλκού, μολύβδου, χρυσού, βρωμίου). Παρόλα αυτά αν η ανακύκλωση δεν ακολουθεί σωστές διαδικασίες, ενδέχεται να επιδεινώσει την περιβαλλοντική ρύπανση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο τεμαχισμός για ανακύκλωση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών ειδών. Δεδομένου ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τα ΑΗΗΕ τεμαχίζονται δίχως να προηγείται η δέουσα αποσυναρμολόγηση, επικίνδυνες ουσίες όπως τα PCB τα οποία περιέχονται στους πυκνωτές, μπορεί να διαχυθούν στα ανακτηθέντα μέταλλα και τα απόβλητα τεμαχισμού. Ως εκ τούτου, ο μολυσμένος κονιορτός πρέπει να αντιμετωπίζεται ως επικίνδυνο απόβλητο, πράγμα που αυξάνει πάρα πολύ το κόστος της ανακύκλωσης.

#### Πρόσθετα στοιχεία για το ίνδιο:

Η κύρια χρήση του αφορά στην κατασκευή επίπεδων οθόνων. Ανιχνεύεται σε ένα οπτικά διαφανές, αγώγιμο στρώμα. Η αφθονία του στην περιεκτικότητα του φλοιού της οθόνης είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του αλουμινίου ή του υδραργύρου. Ωστόσο, δεν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία για τις υψηλές συγκεντρώσεις του ινδίου. Το ίνδιο ανακτάται ως παραπροϊόν άλλων μεταλλευμάτων, συνηθέστερα ψευδαργύρου. Χρησιμοποιείται ως οξείδιο ινδίου-κασσίτερου/ indium-tin-oxide (ITO), το οποίο τυπικά αποτελείται από 90% οξείδιο του ινδίου και 10% οξείδιο του κασσίτερου. Όταν το (ITO) εναποτίθεται σαν μία λεπτή μεμβράνη πάνω στο γυαλί ή το πλαστικό, το τελευταίο γίνεται ηλεκτρικά αγώγιμο. Οι λεπτές επιστρώσεις (ITO) χρησιμοποιούνται κυρίως σε τηλεοράσεις, κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές, υπολογιστές, και άλλες συσκευές.

Σύμφωνα με έρευνα που πραγματοποιήθηκε το 2011, εκτιμάται ότι 9 τόνοι υγρών κρυστάλλων, 900kg ινδίου και 8000 τόνοι γυαλί θα μπορούσαν να ανακτώνται κάθε χρόνο στο Ηνωμένο Βασίλειο από τα ΑΗΗΕ, δεδομένης της αύξησης της παραγωγής των LCD. Αυτές οι ποσότητες είναι συγκρίσιμες με τα στοιχεία κατανάλωσης στο Ηνωμένο Βασίλειο. Ωστόσο, στην πραγματικότητα ανακτώνται πολύ μικρότερες ποσότητες ή καθόλου.

**(Study into the feasibility of protecting and recovering critical raw materials through infrastructure development in the south east of England', 2011)**

#### **2.2.4.5 Υγειονομική ταφή**

Τα περισσότερα ηλεκτρονικά απόβλητα απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής ως έχουν. Η παρουσία ποικίλων ουσιών στα ΑΗΗΕ συμβάλει στην εμφάνιση πολυάριθμων αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον κατά την υγειονομική ταφή. Όσον αφορά το γυαλί κατά το πλείστον υφίσταται επεξεργασία με αποτέφρωση ή θάβεται σε χωματερές (Lee, 2013). Οι LCD λόγω της έλλειψης συγκεκριμένων τεχνολογιών ανακύκλωσης συνήθως οδηγούνται σε ΧΥΤΑ. Με την εναπόθεσή τους όμως εμφανίζεται το πρόβλημα που μπορεί να προκαλέσει μία διαρροή βαρέων μετάλλων και επικίνδυνων ουσιών, δεδομένου ότι κανένας ΧΥΤΑ δεν είναι πλήρως υδατοστεγής. Για το λόγο αυτό συνιστάται η επαναχρησιμοποίηση/ανακύκλωση των συσκευών για την αποφυγή ανεξέλεγκτων χωματερών.

#### **2.2.4.6 Αποτέφρωση**

Κατά την διάρκεια της διαδικασίας παράγονται επικίνδυνες ενώσεις όπως PAHs (Chien and Shih, 2006). Αρκετές μελέτες αναφέρουν τη δημιουργία και εξετάζουν την πιθανότητα η συγκέντρωση χλωρίου να σχετίζεται με τη συγκέντρωση διοξινών στα καυσαέρια της αποτέφρωσης. Τα αποτελέσματα των μελετών δείχνουν ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ του βυνιλοχλωριδίου (είδος χλωρίου που χρησιμοποιείται στις ηλεκτρονικές συσκευές) και των διοξινών που παράγονται από την αποτέφρωση, αντίθετα άλλοι παράγοντες επιδρούν περισσότερο (όπως η χημική σύνθεση της ιπτάμενης τέφρας, κ.α) στο σχηματισμό των διοξινών (Kotani and Masunaga, 2012). Σύμφωνα με την μελέτη των Kotani και Masunaga, ο κίνδυνος εμφάνισης καρκίνου από την παραγωγή διοξινών από LCDG στην Ιαπωνία εκτιμήθηκε περίπου  $3,2 \times 10^{-10}$ . Αξίζει να σημειωθεί και η επίπτωση προς το περιβάλλον. Στις εγκαταστάσεις αποτέφρωσης παράγονται

καυσαέρια, ιπτάμενη τέφρα και τέφρα πυθμένα. Συνήθως η τέφρα απορρίπτεται σε ΧΥΤΑ για τελική διάθεση και ενδέχεται τοξικές ουσίες να εισέλθουν στο έδαφος και στο υπόγειο νερό (**Lim and Schoenung, 2010**).

Σύμφωνα με την Οδηγία που αφορά τα απόβλητα ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού για τα περισσότερα τμήματα ΑΗΗΕ, η επαναχρησιμοποίηση ή/και ανακύκλωση είναι προτιμότερα από την αποτέφρωση με ανάκτηση ενέργειας, διότι κάποια τμήματα περιέχουν ουσίες που μπορεί να είναι προβληματικές για την αποτέφρωση, ιδίως εάν δεν ελέγχονται καταλλήλως. Αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερης σημασίας σε χώρες με λίγες δυνατότητες για ορθή αποτέφρωση και που αντιμετωπίζουν δυσκολίες να επιτύχουν υψηλή επαναχρησιμοποίηση και ποσοστά ανακύκλωσης. Επομένως, υπάρχει κίνδυνος αυτές οι τροπολογίες να οδηγήσουν σε μη ελεγχόμενη αποτέφρωση και περιβαλλοντική ρύπανση.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

---

### 3.1 ΣΤΟΧΟΣ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Λόγω των διαφόρων τοξικών μετάλλων και των επικίνδυνων ουσιών που περιέχονται στις οθόνες LCD, τα απόβλητα LCD ενδέχεται να προκαλέσουν κινδύνους τόσο στο περιβάλλον όσο και στην ανθρώπινη υγεία. Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να εντοπιστούν και να προσδιοριστούν οι ποσότητες των ουσιών αυτών, έτσι ώστε να ληφθούν ενισχυτικά περιβαλλοντικά μέτρα, σε περίπτωση που οι ποσότητες αυτές ενέχουν κινδύνους. Στόχος της πειραματικής διαδικασίας της παρούσας εργασίας είναι να εξεταστεί η περιεκτικότητα του γυαλιού των οθονών LCD σε τοξικά μέταλλα. Τα τοξικά μέταλλα που εξετάζονται είναι: Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Sn, Hg, Pb, Al, Fe. Επιλέχθηκε να αναλυθεί η σύσταση του γυαλιού καθώς αποτελεί υλικό με σημαντικό ποσοστό στις LCD. Ενδεικτικά, το LCD πάνελ σε μία τηλεόραση υπολογίζεται περίπου στο 34% του συνολικού της βάρους, το αντίστοιχο ποσοστό σε ένα laptop φτάνει το 20% του βάρους του.

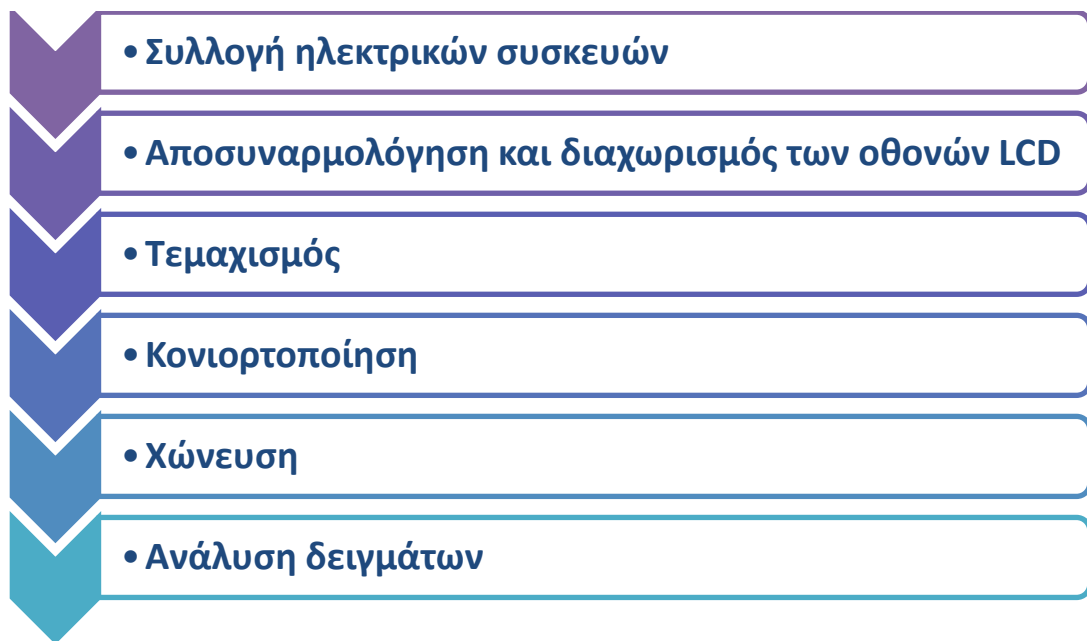
Πίνακας 3: Ποσοστό γυαλίνου πάνελ σε ΗΗΕ

	TV	laptop
LCD πάνελ	34%	20%
Total	100%	100%

(AEA Technology, 2004)

Για την ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση των παραπάνω τοξικών μετάλλων, γίνεται αρχικά κατάλληλη προετοιμασία και επεξεργασία επιλεγμένων οθονών απόβλητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού και έπειτα πραγματοποιείται ανάλυση στα δείγματα μέσω φασματομετρίας μάζας επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος (ICP-MS).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τις παρακάτω ενέργειες:



Το μεγαλύτερο μέρος των παραπάνω εργασιών εκπονήθηκε στο *Εργαστήριο Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων Πολυτεχνείου Κρήτης*.

### 3.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Το πρώτο βήμα αφορούσε τη συλλογή των συσκευών, δηλαδή την εύρεση πεπαλαιωμένων συσκευών, που περιλαμβάνουν **οθόνες LCD**, κατά προτίμηση με έτος κατασκευής από το 2006 και μετά. Ο λόγος που επιλέχθηκαν μόνο συσκευές που κατασκευάστηκαν μετά το 2006 ήταν για να πληρούν τις προϋποθέσεις της Οδηγίας 2002/95/ΕΚ σχετικά με τον περιορισμό της χρήσης ορισμένων επικίνδυνων ουσιών σε είδη ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, που τέθηκε σε ισχύ από τον Ιούλιο του 2006. Η αναζήτηση τέτοιου είδους συσκευών έγινε σε τοπικά καταστήματα με ηλεκτρικά είδη, που διαθέτουν χώρους για προσωρινή αποθήκευση άχρηστων συσκευών. Κατά την επιλογή των υπό εξέταση συσκευών, έγινε προσπάθεια να συλλεχθούν συσκευές από διαφορετικές κατασκευαστικές εταιρίες, ώστε τα αποτελέσματα να προσεγγίζουν όσο το δυνατόν περισσότερο την υπάρχουσα κατάσταση του ρεύματος αποβλήτων. Επιπλέον, έχοντας ως στόχο μια ασφαλή και ολοκληρωμένη εικόνα αποτελεσμάτων στην μετέπειτα ανάλυση των δειγμάτων, συλλέχθηκαν συσκευές



από 4 διαφορετικές κατηγορίες ηλεκτρικού εξοπλισμού(τηλεόραση, υπολογιστής, κινητό τηλέφωνο, tablet).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συσκευές, που συλλέχθηκαν από αποθήκες υποκαταστήματος γνωστής αλυσίδας, ήταν προσεκτικά τοποθετημένες σε κουτιά και σακούλες, χωρίς να υπάρχει η παραμικρή επαφή μεταξύ των συσκευών που θα μπορούσε να συνεπάγεται μεταφορά ρύπων από τη μία στην άλλη. Αντίθετα συσκευές, που συλλέχθηκαν από μικρό τοπικό κατάστημα, ήταν τοποθετημένες στο χώρο εργασίας χωρίς κάποιου είδους προφύλαξη(σε επαφή με τον περιβάλλοντα αέρα και τους εργαζόμενους), στοιβαγμένες σε ένα σωρό, από τις οποίες κάποιες ήταν ολόκληρες, ενώ ανάμεσά τους υπήρχαν μεμονωμένα εξαρτήματα (όπως μπαταρίες, σπασμένες οθόνες).

Συγκεκριμένα συγκεντρώθηκαν **9 συσκευές**:

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά Συλλεχθέντων Συσκευών

Συσκευή	Εταιρία	Μοντέλο	Έτος κυκλοφορίας
τηλεόραση	FUNAI	model:32A-1528WLB	2006
υπολογιστής	LG PHILIPS	LM170E01	2009
tablet	ARCHOS	model:8000 A101IT	2010
κινητό	Sony	Sony Ericsson XRERIA E10i	2010
κινητό	Sony	Sony Ericsson CK13i	2011
κινητό	Sony	Sony Ericsson XPEPIA ARC	2011
κινητό	Sony	Sony Ericsson AINO	2009
κινητό	SAMSUNG	S5260 Star II	2011
κινητό	NOKIA	NOKIA C2-02	2011

**τηλεόραση FUNAI, model:32A-1528WLB**



**υπολογιστής LG PHILIPS LM170E01**



**tablet ARCHOS, model:8000 A101IT**



**κινητό Sony Ericsson XPERIA E10i**



**κινητό Sony Ericsson CK13i**



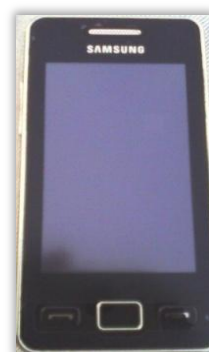
**κινητό Sony Ericsson XPERIA ARC**



**κινητό Sony Ericsson AINO**



**κινητό SAMSUNG S5260 Star II**



**κινητό NOKIA C2-02**



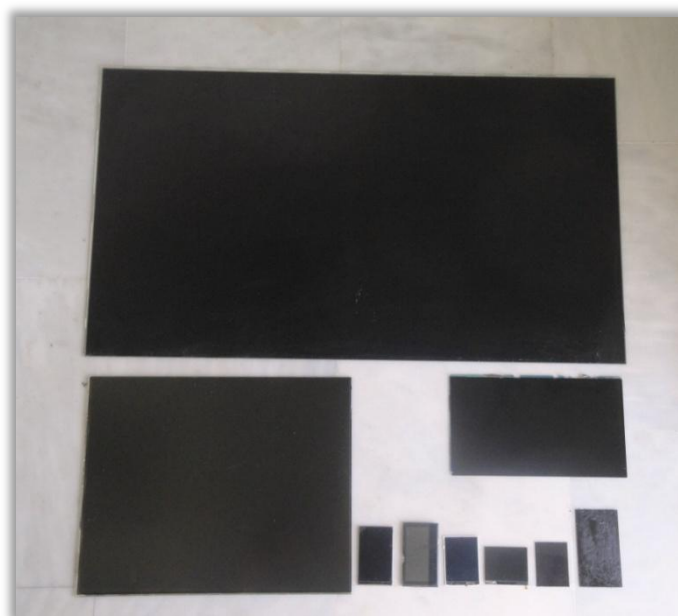
**Εικόνα 8: Συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν**

### **3.3 ΑΠΟΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΟΘΟΝΩΝ LCD**

Σ' αυτό το στάδιο, με τη χρήση κατάλληλων εργαλείων χειρός αλλά και τον απαραίτητο εξοπλισμό προφυλάξεως, αποσυναρμολογήθηκαν οι συσκευές. Τα κύρια εργαλεία, που χρησιμοποιήθηκαν για την απομόνωση των οθονών, ήταν *κατσαβίδι ίσιο, κατσαβίδι σταυρός, τανάλια και σφυρί*, ενώ ο απαραίτητος εξοπλισμός ασφαλείας ήταν *γάντια εργασίας και ποδιά εργασίας*, προκειμένου να αποφευχθεί οποιαδήποτε επαφή με το δέρμα. Για την αποφυγή προσμίξεων από δείγμα σε δείγμα τα εργαλεία πλένονταν με απιονισμένο νερό πριν από κάθε χρήση. Κατά την αποσυναρμολόγηση αφαιρέθηκαν τα πλαστικά περιβλήματα, τα καλώδια, οι πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, καθώς και τα ηλεκτρολόγια των κινητών και απομονώθηκε το γυαλί των οθονών χωρίς το πλαστικό ή μεταλλικό πλαίσιο που τις περιέβαλε. Με λίγα λόγια με την ολοκλήρωση της αποσυναρμολόγησης επιτεύχθηκε ο διαχωρισμός του LCD πάνελ, έτσι ώστε να

επεξεργαστεί κατάλληλα και να μελετηθεί στη συνέχεια η ακριβής σύσταση του γυαλιού για κάθε συσκευή. Ουσιαστικά η αποσυναρμολόγηση ήταν απαραίτητη διεργασία για την επιτυχή μελέτη αλλά και την απλοποίηση των επακόλουθων διεργασιών.

Μέσα από τη διαδικασία της αποσυναρμολόγησης διαπιστώθηκε ότι η αποσυναρμολόγηση δεν είναι καταστροφική διαδικασία. Ανάλογα με τον τρόπο και τα εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν, τα μεμονωμένα εξαρτήματα που θα προκύψουν μπορούν είτε να αποσυναρμολογηθούν ακέραια και ανέγγιχτα ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν στην κατασκευή άλλου προϊόντος είτε να καταστραφούν σε βαθμό που το κόστος της ανακατασκευής τους να είναι ανώφελο.



Εικόνα 9: Οθόνες ΑΗΗΕ

Από την παραπάνω εικόνα φαίνεται το μέγεθος της οθόνης κάθε συσκευής και αναλογικά μπορεί να εκτιμηθεί ο αντίστοιχος όγκος ολόκληρης της συσκευής. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο χρόνος και η δυσκολία αποσυναρμολόγησης των συσκευών σχετίστηκε με τον όγκο τους. Οι μικρότερες συσκευές (κινητά τηλέφωνα) αποσυναρμολογήθηκαν ταχύτατα και εύκολα, ενώ η αποσυναρμολόγηση της τηλεόρασης δεν ήταν απλή.

### 3.4 ΤΕΜΑΧΙΣΜΟΣ

Κατά τον τεμαχισμό–μείωση του μεγέθους, λαμβάνοντας υπόψη ότι το LCD πάνελ συνίσταται από δύο φύλλα γυαλιού τέθηκε ο προβληματισμός για το αν θα ήταν σοφότερο να τεμαχιστούν χωριστά ή μαζί. Δοκιμάζοντας την κοπή του ενιαίου πάνελ τα δύο φύλλα αποκολλούνταν εύκολα με αποτέλεσμα να έχουμε την ευκαιρία τεμαχισμού των δύο γυάλινων φύλλων χωριστά αλλά και μαζί ώστε να εξετάσουμε το ενδεχόμενο διαφορετικής σύστασής τους. Έτσι δημιουργήθηκαν τριών ειδών τεμάχια:

- α) τεμάχια μόνο από το μπροστινό φύλλο,*
- β) τεμάχια μόνο από το πίσω φύλλο και*
- γ) τεμάχια και από τα δύο φύλλα*

Επομένως, με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκαν 3 διαφορετικά δείγματα τεμαχίων από την οθόνη της τηλεόρασης, άλλα 3 δείγματα από την οθόνη του υπολογιστή και 3 δείγματα από την οθόνη του tablet, αντίστοιχα. Αυτό ενδεχομένως θα αποτελούσε κριτήριο ώστε να διαπιστωθεί κατά πόσο συνεισφέρει το κάθε φύλλο στην συνολική επικινδυνότητα και τοξικότητα της οθόνης. Όσον αφορά τα κινητά, λόγω του περιορισμένου μεγέθους της οθόνης τους, δεν ήταν δυνατό να γίνουν τόσα δείγματα. Επομένως για κάθε κινητό φτιάχτηκε 1 μόνο δείγμα τεμαχίων γ). Για να επιβεβαιωθούν και να εξακριβωθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δειγμάτων των κινητών, θεωρήθηκε σκόπιμο να φτιαχτεί ένα συνολικό δείγμα με τεμάχια από όλα τα κινητά. Για το συνολικό δείγμα, επιλέχθηκε από κάθε δείγμα κινητού ίση ποσότητα υλικού (0,6 gr).



Εικόνα 10: Δείγματα μετά από τον τεμαχισμό

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται τα δείγματα που προέκυψαν μετά τον τεμαχισμό. Για το κάθε δείγμα τεμαχίστηκε ποσότητα υλικού αρκετή, ώστε να λάβουν χώρα στη συνέχεια οι αναλύσεις. Το κάθε τεμάχιο είχε επιφάνεια μικρότερη από 1Χ1cm, διαστάσεις που επιτεύχθηκαν με τη χρήση ψαλιδιού.

### 3.5 ΚΟΝΙΟΡΤΟΠΟΙΗΣΗ

Το στάδιο της κονιορτοποίησης πραγματοποιήθηκε στην συσκευή ομογενοποίησης στερεών δειγμάτων του εργαστηρίου Τοξικών και Επικίνδυνων Αποβλήτων, *pulverisette 19 FRITCH*, η οποία συνδέεται με κυκλώνα Nabertherm (Εικόνα 11). Η κονιορτοποίηση στόχευε στη μετατροπή του υλικού από μορφή τεμαχίων σε μορφή σκόνης. Τοποθετήθηκε στη συσκευή το μαχαίρι κοπής και κόσκινο διαμέτρου 0,5mm, έτσι ώστε το υλικό που θα παραχθεί να είναι κοκκομετρίας 0,5mm και μικρότερης

Η αρχή λειτουργίας της συσκευής ομογενοποίησης περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1<sup>ο</sup> Βήμα: Τέθηκε σε λειτουργία το μηχάνημα χωρίς δείγμα, προκειμένου να εξέλθει όση ποσότητα είχε παραμείνει σε αυτό από προηγούμενες χρήσεις.

2<sup>ο</sup> Βήμα: Τοποθετήθηκε μικρή ποσότητα του δείγματος που επρόκειτο να κονιορτοποιηθεί. Η ποσότητα αυτή δεν συλλέχθηκε, αλλά απορρίφθηκε. Αυτό έγινε με στόχο την ομογενοποίηση της συσκευής, ώστε να μην υπάρχει καμία υπόνοια από προηγούμενο δείγμα.

3<sup>ο</sup> Βήμα: Εκκίνηση της συσκευής (για 10 περίπου δευτερόλεπτα) για κοπή του δείγματος και συλλογή της σκόνης σε πλαστικό σακουλάκι.

4<sup>ο</sup> Βήμα: Προσεκτικό καθάρισμα του μαχαιριού, της χοάνης, του κόσκινου και του γυάλινου δοχείου συλλογής με σαπουνόνερο και απιονισμένο νερό. Βούρτσισμα της συσκευής για τυχόν υπολείμματα.

5<sup>ο</sup> Βήμα: Επαναχρησιμοποίηση της συσκευής για νέο δείγμα, εφόσον τα εξαρτήματα έχουν στεγνώσει τελείως, ώστε να μην κολλήσει το δείγμα.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλήφθηκε 16 φορές έτσι ώστε να κονιορτοποιηθούν όλα τα δείγματα. Στο τέλος της διαδικασίας τα δείγματα είχαν πλέον μορφή σκόνης. Συλλέχθηκαν από το γυάλινο δοχείο, που τοποθετείται στην έξοδο του κυκλώνα, σε ξεχωριστά σακουλάκια με ετικέτα, που έγραφε την ονομασία του κάθε δείγματος (Εικόνα 12).



Εικόνα 11: Μαχαιρόμυλος FRITCH pulverisette 19



Εικόνα 12: Δείγματα σε σκόνη

### 3.6 ΧΩΝΕΥΣΗ

Για τη μετατροπή των δειγμάτων από στερεή μορφή σε μορφή διαλύματος, ώστε να ακολουθήσει μετέπειτα στοιχειακή ανάλυση με φασματομετρία, επιλέχθηκε η χώνευση σε φούρνο με μικροκύματα. Η χώνευση πραγματοποιήθηκε στον ειδικό φούρνο *MARS 6 Microwave Reactor System CEM*, που βρίσκεται στο χώρο του εργαστηρίου (Εικόνα 13).



Εικόνα 13: MARS 6 Microwave Reactor System CEM



Το πρόγραμμα που επιλέχθηκε ήταν το modified glass 3052. Πριν εισέλθουν τα δείγματα στο φούρνο τηρήθηκαν οι οδηγίες της μεθόδου.

Σύμφωνα με τις οδηγίες:

- από το κάθε δείγμα μετρήθηκαν στη ζυγαριά *A & D INSTRUMENTS LTD 100 mg υλικού*, (ακρίβεια του οργάνου 4 δεκαδικά)
- η ποσότητα αυτή τοποθετήθηκε για το κάθε δείγμα σε διαφορετικό vessel, αφού πρώτα ξεβιδώθηκαν τα καπάκια όλων των vessels με τα ειδικά εργαλεία του μηχανήματος,
- παράλληλα παρασκευάστηκε **10 mL μίγματος νιτρικού και υδροχλωρικού οξέος (HNO<sub>3</sub> και HCl) με αναλογία 1:5** σε γυάλινα δοχεία ,
- το μίγμα μεταφέρθηκε στο vessel που περιείχε το δείγμα (σκόνη). Η διαδικασία αυτή έγινε στον απαγωγό, φορώντας γάντια και ειδική μάσκα λόγω της έκλυσης οξέων,
- στη συνέχεια το δείγμα βιδώθηκε προσεκτικά, έτσι ώστε η οπή, που βρίσκεται στο καπάκι του vessel, να είναι ελεύθερη (αυτό έγινε για να μπορέσουν να εκλυθούν τα αέρια πιο μετά κατά το ξεβίδωμα),
- μετά το σφράγισμα του vessel , ακολούθησε προσεκτική τοποθέτηση στον φούρνο στις θέσεις που προβλέπει το μηχάνημα. Το πρώτο vessel ήταν το πρότυπο και τοποθετήθηκε στη θέση 1,
- με την τοποθέτηση του πρότυπου δείγματος εισήχθη και το θερμόμετρο, που έχει ειδική θέση και συνδέεται με τον φούρνο από τη μία πλευρά και με το vessel από την άλλη. Στο σημείο αυτό, τοποθετήθηκε επίσης ο αισθητήρας πίεσης, που συνδέθηκε όπως και το θερμόμετρο, τόσο με το πρότυπο δείγμα όσο και με τον φούρνο, έπειτα η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για τα υπόλοιπα 7 δείγματα και τοποθετήθηκαν ένα-ένα στις προβλεπόμενες θέσεις. Όταν όλα τα δείγματα ήταν έτοιμα και τοποθετημένα σωστά όπως και οι συνδέσεις του θερμομέτρου και της πίεσης, η συσκευή ήταν έτοιμη να λειτουργήσει. Ο φούρνος διαθέτει αισθητήρες καταμέτρησης οι οποίοι αναγνωρίζουν αυτόματα τον τύπο και τον αριθμό των δειγμάτων, έπειτα καθορίζει αυτόματα όλες τις παραμέτρους, ρυθμίζει την ισχύ και εκτελεί

χώνευση σε όλα τα δείγματα που βρίσκονται τοποθετημένα στο εσωτερικό του (<http://cem.com/mars6-technology.html>). Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι λόγω εμφάνισης προβλήματος στην πίεση, εν τέλει τέθηκε σε λειτουργία το πρόγραμμα Platinum Aluminum, το οποίο παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά λειτουργίας με το αρχικό. Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τρία στάδια: στο πρώτο στάδιο η θερμοκρασία αυξάνεται μέχρι να φτάσει στους **180 °C**, στο δεύτερο στάδιο γίνεται η διαδικασία της χώνευσης και στο τρίτο στάδιο η θερμοκρασία πέφτει, καθώς ο φούρνος έχει τη δυνατότητα να προκαλεί διακυμάνσεις στη θερμοκρασία.

Τα χαρακτηριστικά της μεθόδου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά Χώνευσης

Μέθοδος	Αναλογία οξέος	Ποσότητα Δείγματος	Θερμοκρασία	Διάρκεια
Platinum Aluminum	10mL(HNO <sub>3</sub> :HCL, 1:5)	100mg	180°C	20min

Μετά την ολοκλήρωση της χώνευσης ακολούθησε προσεκτικό άνοιγμα του κάθε vessel. Όλα τα διαλύματα διηθήθηκαν με φίλτρο σε πλαστικά μπουκαλάκια και στη συνέχεια αραιώθηκαν με απιονισμένο νερό μέχρι τα 45 ml. Έπειτα τα δείγματα ήταν έτοιμα για ανάλυση και τοποθετήθηκαν προσωρινά στο ψυγείο. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε δύο φορές με 8 δείγματα κάθε φορά, έτσι ώστε να χωνευτούν και τα 16 δείγματα.

### 3.7 Ανάλυση δειγμάτων

Η ανάλυση των δειγμάτων για ανιχνεύσεις τοξικών μετάλλων έλαβε χώρα με χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών ICP-MS (Inductive coupled plasma mass spectrometer) 7500cx coupled with Autosampler Series 3000, Agilent Technologies. Η φασματοφωτομετρία μάζας με επαγωγικά

συζευγμένο πλάσμα είναι η σύζευξη δύο πολύ καλά καταρτισμένων τεχνικών. Όλα σχεδόν τα στοιχεία του περιοδικού πίνακα μπορούν να προσδιοριστούν με την τεχνική ICP-MS με όρια ανίχνευσης 0,01-1 ng/ml (Ebdon et.al., 1998). Τα τοξικά μέταλλα που εξετάστηκαν στα δείγματα είναι τα εξής: Al, Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb, Hg, Sn, As, Cd.



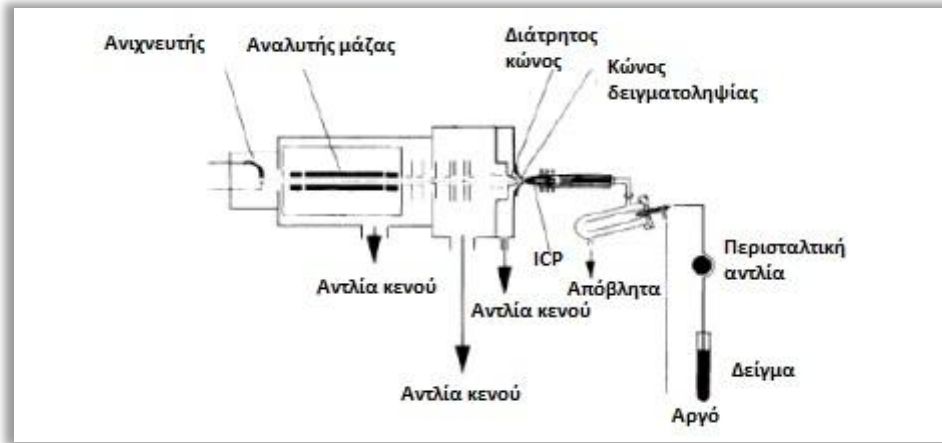
Εικόνα 14: Autosampler ASX-500



Εικόνα 15: ICP-MS 7500cx, Agilent Technologies

Τα κυριότερα μέρη ενός οργάνου ICP-MS φαίνονται στην Εικόνα 16:

- το σύστημα εισαγωγής δείγματος
- Η πηγή ιόντων ICP
- Το σύστημα εισαγωγής των ιόντων
- Σύστημα κενού
- Ο αναλυτής μάζας
- Ο ανιχνευτής ιόντων



Εικόνα 16: Μέρη οργάνου ICP-MS, (Ebdon et.al., 1998)

Η ανάλυση βασίζεται σε καμπύλη βαθμονόμησης. Τα κριτήρια αποδοχής της καμπύλης είναι τα ακόλουθα:

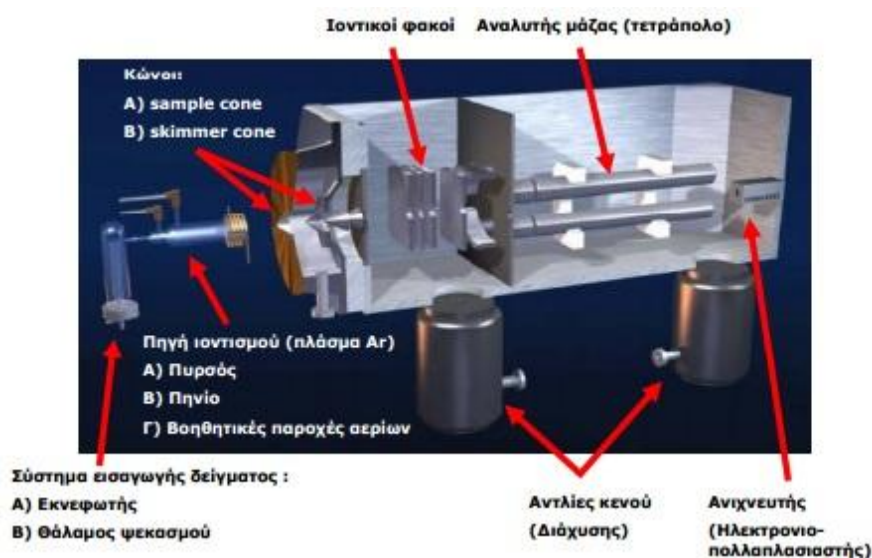
1.  $R^2 \geq 0,999$ ,  $ppb \leq 0,3$  ,
2. Οι έλεγχοι θα πρέπει να είναι εντός της καθορισμένης κλίμακας,
3. Οι έλεγχοι γίνονται κάθε 20 δείγματα και στο τέλος, αν το στοιχείο βρίσκεται εκτός του εύρους ο έλεγχος πρέπει να επαναληφθεί,
4. Το RSD πρέπει να είναι μικρότερο του 10%

Σε περίπτωση που κάποιο από τα παραπάνω κριτήρια δεν πληρείται σημαίνει ότι τα αποτελέσματα δεν είναι ικανοποιητικά και η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί.

Τα βήματα που ακολουθούνται αφού το δείγμα εισέλθει στο μηχάνημα ανάλυσης είναι τα εξής:

- Το διάλυμα του δείγματος εισάγεται με αντλία στον εκνεφωτή, όπου νεφοποιείται, σχηματίζοντας ένα λεπτό αερόλυμα (aerosol)
- Το αερόλυμα θερμαίνεται επαγωγικά σε υψηλή θερμοκρασία (6000-10000 K) πλάσματος αργού (Ar), το οποίο διασπά και ιονίζει το δείγμα για να παράγει ένα νέφος θετικά φορτισμένων ιόντων.
- Τα ιόντα του δείγματος εκχυλίζονται από το πλάσμα σε ένα σύστημα κενού που περιέχει ένα τετραπολικό αναλυτή ή μάζα φίλτρου

- Τα ιόντα διαχωρίζονται και ταξινομούνται από τον αναλυτή με βάση τον λόγο μάζα προς φορτίο ( $m / z$ ) με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα φάσμα (πλήθος ιόντων).
- Η συγκέντρωση ιόντων ενός συγκεκριμένου λόγου μάζας προς το φορτίο μετράται με ένα ηλεκτρονικό ανιχνευτή πολλαπλασιαστή.
- Ο ρυθμός καταμέτρησης που λαμβάνεται για ένα συγκεκριμένο ιόν συγκρίνεται με την καμπύλη βαθμονόμησης για να δώσει τη συγκέντρωση του εν λόγω στοιχείου στο δείγμα (**Agilent 7500 series ICP-MS, Hardware Manual**).



Εικόνα 17: Αρχή λειτουργίας ICP-MS,

([http://www.chem.uoa.gr/courses/analtechn/SAT\\_01\\_ICP\\_ICPMS.pdf](http://www.chem.uoa.gr/courses/analtechn/SAT_01_ICP_ICPMS.pdf))

Δίνεται το, κατώτερο όριο ανίχνευσης, ή DL (Detection Limit), δηλαδή η χαμηλότερη ποσότητα, για κάθε στοιχείο, που ήταν δυνατό να ανιχνευτεί στο ICP-MS αλλά και τα όρια ποσοτικοποίησης που είναι ενδεικτικά της ποσότητας των υπό εξέταση στοιχείων που βρίσκονται στα δείγματα (Πίνακας 6).

Πίνακας 6: Όρια Ανίχνευσης και Ποσοτικοποίησης των στοιχείων που αναλύθηκαν

Element Name	Mass	Tune Step	Concentration Units	Calibration DL	Calibration QL
Al	27	1	µg/l	3,56E-03	1,19E-02
Cr	52	2	µg/l	1,37E+00	4,57E+00
Fe	56	3	µg/l	1,50E-03	5,00E-03
Ni	60	2	µg/l	1,25E-01	4,17E-01
Cu	63	2	µg/l	3,48E-01	1,16E+00
Zn	66	2	µg/l	1,67E+00	5,57E+00
As	75	2	µg/l	6,93E-02	2,31E-01
Cd	111	2	µg/l	1,29E-01	4,30E-01
Sn	118	1	µg/l	1,21E-01	4,03E-01
Hg	202	2	µg/l	7,00E-02	2,33E-01
Pb	208	1	µg/l	1,56E-01	5,20E-01

Το όριο ανίχνευσης υπολογίζεται από τη μέση τιμή του τυφλού, την τυπική απόκλιση του τυφλού και κάποιον παράγοντα εμπιστοσύνης. Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το όριο ανίχνευσης είναι η ακρίβεια του οργάνου που χρησιμοποιήθηκε για να προβλέψει τις συγκεντρώσεις των στοιχείων.

## 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

---

### 4.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Οι αναλύσεις με την ICP MS μέθοδο επικεντρώθηκαν τόσο στα τοξικά μέταλλα που διέπονται των απαγορεύσεων της Οδηγίας 2002/95/EK (Cd, Pb, Hg, Cr), καθώς και στα πιο σημαντικά από τα υπόλοιπα μέταλλα που ενδέχεται να είναι τοξικά βάσει της ποσότητας που ανιχνεύεται (Ni, Cu, Zn, As, Sn, Al, Fe). Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζεται πόσο συνεισφέρουν τα δύο γυάλινα φύλλα της οθόνης στην συνολική επικινδυνότητα του LCD πάνελ. Τα δείγματα της τηλεόρασης, του υπολογιστή και του tablet αρχικά μελετώνται, ως προς τις συγκεντρώσεις των τοξικών μετάλλων ξεχωριστά για το μπροστινό και για το πίσω φύλλο και έπειτα συγκρίνονται με το συνολικό με το αντίστοιχο δείγμα. Επιπλέον, γίνεται σύγκριση των δειγμάτων των κινητών μεταξύ τους αλλά και με το συνολικό δείγμα των κινητών.


Σ' αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την ανάλυση, πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι όλα τα δείγματα του γυαλιού έχουν προσμίξεις υγρών κρυστάλλων, διότι η εσωτερική πλευρά και των δύο γυαλιών βρίσκεται σε επαφή με τους υγρούς κρυστάλλους. Επίσης, παρότι έγινε προσπάθεια να αποκολληθεί το λεπτό πολωτικό φιλμ που περιβάλλει το γυαλί, εν τέλει τεμαχίστηκε το σύνολο των δύο υλικών. Για το λόγο αυτό, τα συμπεράσματα για τα μεμονωμένα γυαλιά θα δώσουν μια ένδειξη για το πόσο συνεισφέρουν τοξικολογικά το καθένα και για το αν διαφέρουν μεταξύ τους και ίσως όχι τις ακριβείς τιμές σύστασης του γυαλιού. Ομοίως τα συμπεράσματα για τα ενιαία δείγματα αφορούν το LCD πάνελ συμπεριλαμβάνοντας τους υγρούς κρυστάλλους, το πολωτικό φιλμ και το γυαλί.

Κάνοντας τους κατάλληλους υπολογισμούς, τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με τη μέθοδο ανάλυσης ICP-MS στο υγρό χωνευμένο δείγμα μετατράπηκαν σε συγκεντρώσεις (εκφρασμένες σε ppm) στο στερεό δείγμα. Στη συνέχεια

παρουσιάζονται οι τιμές των στοιχείων που μελετήθηκαν καθώς και οι αποκλίσεις των μετρήσεων:

**Πίνακας 7: Αρίθμηση Δειγμάτων**

<b>Όνομασία Δειγμάτων</b>		
Τηλεόραση (μπροστινό γυαλί)	<b>1</b>	
Τηλεόραση (πίσω γυαλί)	<b>2</b>	
Τηλεόραση (μπρ. & πίσω γυαλί)	<b>3</b>	
Υπολογιστής (μπροστινό γυαλί)	<b>1</b>	
Υπολογιστής (πίσω γυαλί)	<b>2</b>	
Υπολογιστής (μπρ. & πίσω γυαλί)	<b>3</b>	
Tablet (μπροστινό γυαλί)	<b>1</b>	
Tablet (πίσω γυαλί)	<b>2</b>	
Tablet (μπρ. & πίσω γυαλί)	<b>3</b>	
Συνολικό δείγμα κινητών		
Κινητό Sony Ericsson XPERIA ARC		
Κινητό NOKIA C2		
Κινητό Sony Ericsson AINO		
Κινητό Sony Ericsson XPERIA E10i		
Κινητό Sony Ericsson CK13i		
Κινητό SAMSUNG Star II		



<b>Αρίθμηση</b>	
<b>1</b>	Μπροστινό γυαλί
<b>2</b>	Πίσω γυαλί
<b>3</b>	Μπροστινό και Πίσω γυαλί



Πίνακας 8: Αποτελέσματα ICP-MS (τηλεόραση, υπολογιστής, tablet) σε ppm

Δείγματα	Μέταλλα										
	Al	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Hg	Pb
Τηλεόραση 1	4,87±0,26	154,75±1,22	<DL	130,34±2,58	23,24±1,82	1141,57±14,84	626,85±9,47	<DL	144,84±4,42	<DL	<DL
Τηλεόραση 2	3,30±0,08	136,62±3,27	<DL	119,19±2,68	8,04±0,79	984,85±2,07	501,78±6,27	<DL	119,53±2,67	<DL	<DL
Τηλεόραση 3	2,45±0,13	93,28±1,32	<DL	100,29±3,26	6,69±0,22	1037,74±5,08	440,32±6,74	<DL	98,27±3,70	<DL	<DL
Υπολογιστής 1	5,51±0,10	135,96±5,66	<DL	118,10±5,46	4,85±1,20	1304,81±20,49	365,83±11,41	<DL	71,89±1,42	<DL	<DL
Υπολογιστής 2	5,04±0,16	160,50±6,48	<DL	134,04±2,49	13,69±1,06	994,96±1,59	606,23±7,88	<DL	255,20±2,07	<DL	<DL
Υπολογιστής 3	5,08±0,11	134,66±3,76	<DL	114,60±0,69	8,81±0,39	1161,84±30,44	493,69±10,52	<DL	157,50±3,17	<DL	<DL
Tablet 1	6,98±0,15	176,27±2,47	<DL	148,17±2,92	15,98±0,54	1015,80±12,19	<DL	<DL	762,69±5,95	<DL	<DL
Tablet 2	7,78±0,11	220,24±2,31	<DL	169,42±2,27	9,21±1,26	1134,00±9,98	<DL	<DL	731,28±16,82	<DL	<DL
Tablet 3	5,29±0,07	149,18±2,46	<DL	127,14±3,09	5,07±0,12	164,00±2	3,46±0,47	<DL	653,32±12,22	<DL	<DL

DL(Detection Limit): Όριο Ανίχνευσης

- Από τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει σε γενικές γραμμές ότι οι τιμές των *μπροστινών γυάλινων περιβλημάτων των LCD είναι πολύ κοντινές με τις τιμές που παρουσιάζουν τα πίσω γυάλινα φύλλα* για όλα σχεδόν τα στοιχεία. Οι τυχόν αποκλίσεις που σημειώνονται είναι μικρές και οδηγούν στο συμπέρασμα ότι η συνεισφορά ως προς την συνολική τοξικότητα είναι όμοια στις δύο περιπτώσεις.
- Εξετάζοντας προσεκτικά τις αναφερόμενες αποκλίσεις μπορεί να γίνει διακριτό ότι *το μπροστινό γυαλί της τηλεόρασης είναι πιο τοξικό από το πίσω*, βάσει του Πίνακα 8, καθώς οι συγκεντρώσεις όλων των υπό εξέταση στοιχείων είναι (ελάχιστα) μεγαλύτερες. Αντίθετα στον *υπολογιστή και το tablet υψηλότερες τιμές εμφανίζονται στο πίσω γυάλινο φύλλο*. Οι παραπάνω διαφορές ενδέχεται να οφείλονται στην ποσότητα των υγρών κρυστάλλων που μεταφέρθηκε στο κάθε γυαλί εξ επαφής, είτε στο σφάλμα της μέτρησης. Επίσης, ένας άλλος πιθανός λόγος είναι η μεταφορά ρύπων από το προηγούμενο στο επόμενο δείγμα στο στάδιο της κονιορτοποίησης με αποτέλεσμα οι τιμές κάποιων στοιχείων να αυξηθούν, παρόλο που έγινε προσεκτικό καθάρισμα πριν από κάθε χρήση της συσκευής ομογενοποίησης και των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνταν κατά την κοπή.
- Πάντως είναι σαφές ότι σε όλες τις συσκευές *τα συγκεντρωτικά δείγματα, που περιλαμβάνουν το συνολικό γυαλί (μπροστινό και πίσω), τείνουν να έχουν μικρότερες τιμές από αυτές που έχει το καθένα ξεχωριστά*. Αυτό εν μέρει είναι ανεξήγητο, καθώς αναμένονταν ότι τα συνολικά δείγματα θα ήταν πιο τοξικά δεδομένου ότι περιλαμβάνουν το σύνολο των υγρών κρυστάλλων. Όμως ενδέχεται κατά τον τεμαχισμό, σκόνη ή ακόμα και τρίμματα να διαχύθηκαν στον περιβάλλοντα χώρο και να μην συλλέχθηκαν στο δείγμα, με αποτέλεσμα να μειωθεί η τοξικότητα των συνολικών δειγμάτων. Αυτό παρατηρήθηκε περισσότερο στην κοπή του συνολικού γυαλιού και όχι των χωριστών μεμονωμένων γυαλιών, γιατί τεμαχίζοντας με το ψαλίδι, τα δύο γυάλινα φύλλα αποκολλούνταν, ενώ ταυτόχρονα αποκολλούνταν και το πολωτικό φιλμ, συνεπώς καθιστούσαν δύσκολο τον έλεγχο του προσανατολισμού των τριμμάτων. Συν τοις άλλοις αυτή η διαφορά

στις τιμές θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα σημαντικό στοιχείο για την επεξεργασία του γυαλιού των LCD βάσει των παραπάνω. Εύλογα προκύπτει ότι είναι προτιμότερη, όντας λιγότερο τοξική, η επεξεργασία του ενιαίου γυαλιού και όχι των χωριστών τμημάτων του. Βέβαια αυτό εξαρτάται και από άλλους παράγοντες (όπως το είδος της επεξεργασίας που θα εφαρμοστεί, αν θα γίνει απομάκρυνση των υγρών κρυστάλλων κτλ.).

- Ταξινομώντας τις παραπάνω συσκευές ως προς την τοξικότητά τους, το tablet εμφανίζεται πιο τοξικό ως προς το χρώμιο και τον κασσίτερο, ενώ η τηλεόραση και ο υπολογιστής χαρακτηρίζονται πιο τοξικά ως προς το αρσενικό. Βάσει των αρκετά μικρών αποκλίσεων που παρατηρήθηκαν στα δείγματα της κάθε συσκευής, πιστεύεται ότι τα αποτελέσματα είναι ορθά και δίνουν μια πραγματική εικόνα των στοιχείων που συναντώνται σε LCD πάνελ.

Πίνακας 9: Αποτελέσματα ICP-MS για τα δείγματα των κινητών

Δείγματα	Μέταλλα										
	Al	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Hg	Pb
Συνολικό δείγμα κινητών	3,49±0,02	244,37±0,59	<DL	146,01±1,02	15,37±0,57	156,09±6,32	<DL	<DL	403,49±2,66	<DL	<DL
Sony Ericsson XPERIA ARC	3,29±0,10	151,90±4,13	<DL	130,96±5,43	38,41±1,48	151,83±3,11	<DL	<DL	235,06±5,05	<DL	<DL
NOKIA C2	3,66±0,08	116,67±1,63	<DL	97,19±2,22	7,60±0,66	140,82±4,87	<DL	<DL	492,84±12,07	<DL	<DL
Sony Ericsson AINO	1,56±0,07	169,50±5,00	<DL	131,53±4,41	10,47±1,20	175,98±4,56	<DL	<DL	132,51±3,58	<DL	<DL
Sony Ericsson XPERIA E10i	5,45±0,17	381,36±2,56	<DL	160,28±3,14	26,11±0,41	166,52±7,56	<DL	<DL	635,23±29,35	<DL	<DL
Sony Ericsson CK13i	6,04±0,35	446,29±7,81	<DL	166,65±1,70	21,82±0,97	172,35±0,67	<DL	<DL	585,78±32,33	<DL	<DL
SAMSUNG Star II	2,24±0,02	147,22±3,50	<DL	115,54±1,65	19,13±1,40	136,49±6,38	<DL	<DL	221,55±6,37	<DL	<DL

- Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 9 και τα στοιχεία του Πίνακα 8 διαπιστώνουμε τα ακόλουθα: α) οι τιμές αργιλίου (Al) και του νικελίου (Ni) στα κινητά κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα με τις τιμές που ανιχνεύτηκαν στα δείγματα της τηλεόρασης, του υπολογιστή και του tablet, β) στα κινητά παρατηρούνται υψηλότερες τιμές χρωμίου και ειδικά στο Sony Ericsson CK13i που φτάνει τα 446,29 ppm, αλλά και το Sony Ericsson XPERIA E10i που αγγίζει τα 381,36 ppm. Οι τιμές αυτές είναι αρκετά μεγαλύτερες από όλες τις υπόλοιπες συσκευές συμπεριλαμβανομένων κινητών τηλεόρασης, υπολογιστή, tablet, γ) επίσης εντοπίζεται μεγαλύτερη ποσότητα χαλκού (Cu) στα κινητά και πολύ μικρή ποσότητα ψευδαργύρου (Zn), σχεδόν 8 φορές μικρότερη από τις τιμές των άλλων συσκευών, δ) τα κινητά έχουν αρκετά μεγάλες τιμές κασσίτερου, ενώ ποσότητα αρσενικού δεν ανιχνεύτηκε σε κανένα δείγμα. Επομένως, το μικρό μέγεθος των οθονών των κινητών δεν πρέπει να δίνει την εντύπωση ότι οι συσκευές αυτές είναι λιγότερο τοξικές, αντίθετα μελετώντας το ρυπαντικό τους φορτίο, είναι αντιληπτό ότι μπορεί να είναι πιο επικίνδυνα ακόμα και από την τηλεόραση ή των υπολογιστή ως προς ορισμένα τοξικά μέταλλα (όπως το Cr).
- Μελετώντας τις τιμές του κάθε κινητού ως προς το συνολικό δείγμα, παρατηρείται ένα κοινό συμπέρασμα για όλα τα στοιχεία. Οι τιμές του συνολικού δείγματος βρίσκονται κοντά στο μέσο όρο του αθροίσματος των συγκεντρώσεων για το κάθε στοιχείο. Αυτό συνεπάγεται ότι η τοξικότητά τους είναι «αθροιστική» και δεν τηρεί κάποιον άλλον κανόνα. Το αποτέλεσμα ίσως είναι αναμενόμενο, εφόσον για το συνολικό δείγμα ζυγίστηκε ίση ποσότητα γραμμαρίων από το κάθε κινητό. Έτσι, το δείγμα αυτό κατά μία έννοια είναι ανάλογο του μέσου όρου τοξικότητας όλων των κινητών. Περαιτέρω στοιχεία δεν προκύπτουν από την παραπάνω σύγκριση, σίγουρα όμως το συνολικό αποτέλεσμα επιβεβαιώνει την εγκυρότητα των μετρήσεων για το κάθε κινητό, αφού δεν παρατηρούνται μεγάλες διαφορές στις τιμές, που θα ήταν αδικαιολόγητες.

## 4.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ – ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΟΡΙΑ

Σύμφωνα με την Οδηγία 2002/95/ΕΚ για τον περιορισμό της χρήσης επικίνδυνων ουσιών στον Ηλεκτρικό και Ηλεκτρονικό Εξοπλισμό, από τον Ιούλιο του 2006 απαγορεύεται η πώληση σε όλη την Ε.Ε. προϊόντων που δεν είναι συμβατά με τις απαιτήσεις της Οδηγίας. Η Οδηγία απευθύνεται σε: *κατασκευαστές προϊόντων δικής τους παραγωγής, εταιρίες που πωλούν με τη δική τους μάρκα προϊόντα που αγοράζουν και εισαγωγείς εξοπλισμού.*

Οι επικίνδυνες ουσίες που αναφέρονται στην Οδηγία είναι οι ακόλουθες:

- Μόλυβδος
- Υδράργυρος
- Κάδμιο
- Εξασθενές Χρώμιο
- Βρωμιούχα επιβραδυντικά φλόγας

Με την έκδοση της απόφασης (2005/618/ΕΚ), που συμπληρώνει την Οδηγία 2002/95/ΕΚ άρθρο 5 παράγραφος 1, η μέγιστη συγκέντρωση που είναι ανεκτή για τα ομοιογενή υλικά είναι: 0,1 % κατά βάρος για τον μόλυβδο, τον υδράργυρο, το εξασθενές χρώμιο, τα πολυβρωμοδιφαινύλια (PBΒ) και τους πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες (PBDE) και 0,01 % κατά βάρος για το κάδμιο. Η έννοια «ομογενές υλικό» μπορεί να ερμηνευτεί σε ό,τι αφορά σε συστατικό εξοπλισμού το οποίο δε μπορεί να διαχωριστεί σε άλλα επιμέρους συστατικά με μηχανικό τρόπο.

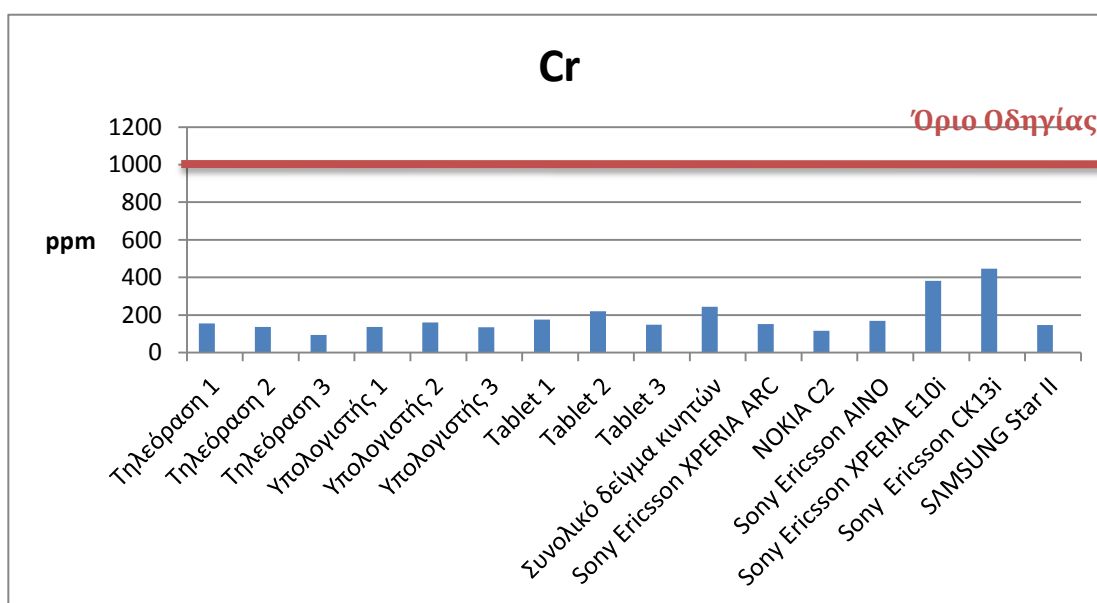
Μετατροπή των συγκεντρώσεων της οδηγίας σε ppm:

<b>Pb ≤0.1%</b>	<b>→</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>Hg≤0.1%</b>	<b>→</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>PPB ≤ 0.1%</b>	<b>→</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>PBDE ≤ 0.1%</b>	<b>→</b>	<b>1000 ppm</b>
<b>Cd ≤0.01%</b>	<b>→</b>	<b>100 ppm</b>
<b>Cr(VI) ≤0.1%</b>	<b>→</b>	<b>1000 ppm</b>

Πίνακας 10: Αποτελέσματα ICP-MS - Όρια οδηγίας

Δείγματα	Μέταλλα										
	Al	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Hg	Pb
Τηλεόραση 1	4,87±0,26	154,75±1,22	<DL	130,34±2,58	23,24±1,82	1141,57±14,84	626,85±9,47	<DL	144,84±4,42	<DL	<DL
Τηλεόραση 2	3,30±0,08	136,62±3,27	<DL	119,19±2,68	8,04±0,79	984,85±2,07	501,78±6,27	<DL	119,53±2,67	<DL	<DL
Τηλεόραση 3	2,45±0,13	93,28±1,32	<DL	100,29±3,26	6,69±0,22	1037,74±5,08	440,32±6,74	<DL	98,27±3,70	<DL	<DL
Υπολογιστής 1	5,51±0,10	135,96±5,66	<DL	118,10±5,46	4,85±1,20	1304,81±20,49	365,83±11,41	<DL	71,89±1,42	<DL	<DL
Υπολογιστής 2	5,04±0,16	160,50±6,48	<DL	134,04±2,49	13,69±1,06	994,96±1,59	606,23±7,88	<DL	255,20±2,07	<DL	<DL
Υπολογιστής 3	5,08±0,11	134,66±3,76	<DL	114,60±0,69	8,81±0,39	1161,84±30,44	493,69±10,52	<DL	157,50±3,17	<DL	<DL
Tablet 1	6,98±0,15	176,27±2,47	<DL	148,17±2,92	15,98±0,54	1015,80±12,19	<DL	<DL	762,69±5,95	<DL	<DL
Tablet 2	7,78±0,11	220,24±2,31	<DL	169,42±2,27	9,21±1,26	1134,00±9,98	<DL	<DL	731,28±16,82	<DL	<DL
Tablet 3	5,29±0,07	149,18±2,46	<DL	127,14±3,09	5,07±0,12	164,00±2	3,46±0,47	<DL	653,32±12,22	<DL	<DL
Συνολικό δείγμα κινητών	3,49±0,02	244,37±0,59	<DL	146,01±1,02	15,37±0,57	156,09±6,32	<DL	<DL	403,49±2,66	<DL	<DL
Sony Ericsson XPERIA ARC	3,29±0,10	151,90±4,13	<DL	130,96±5,43	38,41±1,48	151,83±3,11	<DL	<DL	235,06±5,05	<DL	<DL
NOKIA C2	3,66±0,08	116,67±1,63	<DL	97,19±2,22	7,60±0,66	140,82±4,87	<DL	<DL	492,84±12,07	<DL	<DL
Sony Ericsson AINO	1,56±0,07	169,50±5,00	<DL	131,53±4,41	10,47±1,20	175,98±4,56	<DL	<DL	132,51±3,58	<DL	<DL
Sony Ericsson XPERIA E10i	5,45±0,17	381,36±2,56	<DL	160,28±3,14	26,11±0,41	166,52±7,56	<DL	<DL	635,23±29,35	<DL	<DL
Sony Ericsson CK13i	6,04±0,35	446,29±7,81	<DL	166,65±1,70	21,82±0,97	172,35±0,67	<DL	<DL	585,78±32,33	<DL	<DL
SAMSUNG Star II	2,24±0,02	147,22±3,50	<DL	115,54±1,65	19,13±1,40	136,49±6,38	<DL	<DL	221,55±6,37	<DL	<DL
<b>OPIA</b>	-	<b>1000</b>	-	-	-	-	-	<b>100</b>	-	<b>1000</b>	<b>1000</b>

- Μελετώντας τις τιμές του πίνακα ως προς τα τοξικά μέταλλα που αναφέρονται στην Οδηγία 2002/95/ΕΚ, διακρίνουμε ότι τα τρία από τα τέσσερα αναφερόμενα στοιχεία της Οδηγίας: *κάδμιο (Cd)*, *μόλυβδος (Pb)* και *υδράργυρος (Hg)* δεν απαντώνται σε τιμές υπολογίσιμες από το μηχάνημα ανάλυσης. Δεδομένου ότι οι συγκεντρώσεις των στοιχείων αυτών κυμαίνονται κάτω από το όριο ανίχνευσης της συσκευής, θεωρητικά αν υπάρχουν ίχνη τους στα δείγματα, οι συγκεντρώσεις αυτών, είναι αμελητέες και δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Όσον αφορά το *χρώμιο*, το οποίο επίσης αναφέρεται στην Οδηγία, *ανιχνεύεται σε τιμές αρκετά μικρότερες από το όριο που έχει επιβληθεί*. Βέβαια, στην Οδηγία γίνεται λόγος για την κατάργηση του εξασθενούς χρωμίου, αλλά εφόσον τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το ολικό χρώμιο στα δείγματα είναι μικρότερο από την οριακή τιμή της Οδηγίας, συνεπάγεται ότι και το εξασθενές χρώμιο θα είναι μικρότερο. Από τα παραπάνω φαίνεται πως οι κατασκευαστικές εταιρίες έχουν εναρμονιστεί με τις κανονιστικές διατάξεις, που αφορούν τις επικίνδυνες ουσίες και τηρούν τα επιβαλλόμενα όρια. Οι μεγαλύτερες τιμές συγκέντρωσης χρωμίου εντοπίζονται στα κινητά της Sony Ericsson με μέγιστη τιμή 446,29 ppm στο Sony Ericsson CK13i.



Διάγραμμα 1: Χρώμιο (Cr) - Ανεκτό όριο οδηγίας



Στο Διάγραμμα 1 φαίνεται πιο καθαρά ότι οι τιμές του χρωμίου και συνεπώς και του εξασθενούς χρωμίου είναι πολύ μικρότερες του ορίου που έχει θεσπιστεί από τη νομοθεσία. Βέβαια τα αποτελέσματα αυτά πρέπει να χρησιμοποιηθούν με προσοχή διότι όπως ήδη αναφέρθηκε, απεικονίζουν το ολικό χρώμιο στο δείγμα. Ωστόσο, δεδομένων των αρκετά χαμηλών τιμών που ανιχνεύτηκαν, τα αποτελέσματα του εξασθενούς χρωμίου είναι εξίσου ικανοποιητικά. Τα διαγράμματα των Pb, Hg και Cd δεν παρατίθενται γιατί οι τιμές τους δεν ήταν ανιχνεύσιμες από το μηχάνημα.

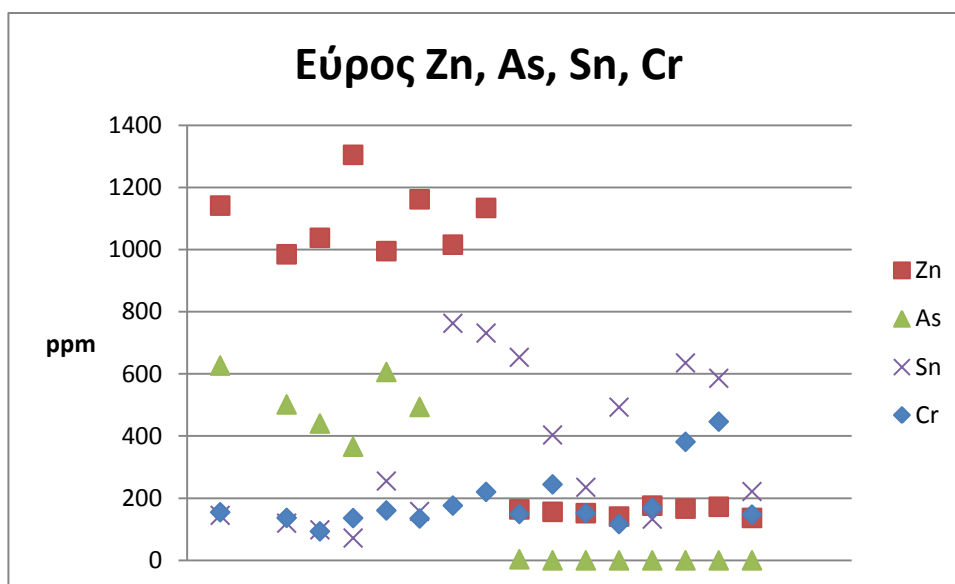
- Εξετάζοντας πιο λεπτομερώς τον πίνακα είναι εμφανές ότι οι τιμές του ψευδάργυρου (Zn) και του αρσενικού (As) κρίνονται πολύ υψηλές σε όλα τα δείγματα, φτάνοντας συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από 1000ppm για τον ψευδάργυρο και κοντά στα 500ppm για το αρσενικό στα δείγματα της τηλεόρασης και του υπολογιστή. Η μεγάλη τιμή αρσενικού προκαλεί ανησυχία ως προς την τοξικότητα των LCD αποβλήτων. Σύμφωνα με μελέτη, το αρσενικό προστίθεται στο γυαλί σε μορφή οξειδίου κατά τη διάρκεια της τήξης και επεξεργάζεται για να βελτιωθεί η οπτική διαύγεια του πάνελ γυαλιού σε LCDs συσκευές (**Lim and Schoenung, 2010**). Στην ίδια μελέτη αναφέρεται ότι ο μόλυβδος και το αρσενικό είναι τα μόνα ικανά στοιχεία να δημιουργήσουν καρκίνο στο νερό και τον αέρα. Σύμφωνα με άλλη αναφορά, επιβεβαιώνεται ότι το αρσενικό των LCD συσκευών πηγάζει κυρίως από το LCD πάνελ (**Salhofer and Tesar, 2011**). Η λανθασμένη διάθεση των ηλεκτρονικών αποβλήτων αποτελεί μία από τις πιο επικίνδυνες πηγές του ανόργανου αρσενικού στο περιβάλλον. Εκτιμάται ότι: «Το αρσενικό είναι παρόν σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων και LCD οθόνες. Δεδομένου ότι αυτά τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα συσσωρεύονται σε χώρους υγειονομικής ταφής, το αρσενικό διαρρέει στο έδαφος σε αυτές τις τοποθεσίες και επηρεάζει τη χημεία του εδάφους και, ενδεχομένως, τη σύνθεση των υπόγειων υδάτων. Όταν το αρσενικό βρίσκεται στο νερό του εδάφους, μπορεί να επηρεάσει τους θαλάσσιους οργανισμούς. Στους ανθρώπους, η κατάποση του αρσενικού σε χαμηλές δόσεις οδηγεί σε ερεθισμό του πεπτικού συστήματος (στομάχι, τα έντερα, κλπ) και η υπερβολική δόση είναι θανατηφόρα. Το αρσενικό έχει επίσης αποδειχθεί ότι είναι

μια καρκινογόνος ουσία, η οποία αναφέρεται ως αιτία εμφάνισης καρκίνου του δέρματος και καρκίνου του ήπατος. Επιπρόσθετα, η καύση αποβλήτων που περιέχουν αρσενικό είναι δυνατό να προκαλέσει τοξικά αέρια τα οποία εισπνεόμενα δύνανται να προκαλέσουν καρκίνο του πνεύμονα» (<https://sites.google.com/site/dukeewaste/arsenic>). Μελέτη που έγινε στην Γκάνα έδειξε ενώ το πόσιμο νερό είχε πολύ μικρές συγκεντρώσεις αρσενικού, βρέθηκε σημαντική ποσότητα αρσενικού στα ούρα των εργαζομένων που ασχολούνται με τα ηλεκτρονικά απόβλητα (**Asante et.al., 2012**). Συνδυάζοντας τα παραπάνω, το αρσενικό ακολουθεί την εξής πορεία: αρχικά χρησιμοποιείται για την κατασκευή των LCD οθονών, στην συνέχεια αν απορριφθεί σε χώρους ταφής ενδέχεται μέρος του να εκπλυθεί και να επηρεάσει το νερό και τα ψάρια, τέλος μέσω της τροφής ο άνθρωπος λαμβάνει κάποια δόση αρσενικού, η οποία επιφέρει ανάλογες επιπτώσεις και δυσλειτουργίες. Η συσσώρευση αρσενικού στον οργανισμό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία.

- Επίσης, παρατηρούνται υψηλές τιμές κασσίτερου (Sn) στο tablet αλλά και στα κινητά Sony Ericsson. Είναι εμφανές ότι το Sony Ericsson CK13i παρουσιάζει τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε όλα τα στοιχεία και μάλιστα έχοντας τιμή Cr και Sn περίπου διπλάσια από σχεδόν όλα τα υπόλοιπα κινητά. Γενικά παρουσιάζει ενδιαφέρον το γεγονός ότι 3 στα 4 κινητά της Sony Ericsson έχουν υψηλά ποσοστά μετάλλων. Οι μικρότερες συγκεντρώσεις φαίνεται να εμφανίζονται στο NOKIA C2 και στο SAMSUNG Star II. Το γεγονός αυτό συμφωνεί με την κατάταξη που έχει εκδώσει η greenpeace για την περιβαλλοντική συμπεριφορά των εταιριών, η οποία αναφέρει ότι η Sony Ericsson εμφανίζει μικρότερη πρόοδο στην σταδιακή κατάργηση των τοξικών ουσιών σε σχέση με την NOKIA και την SAMSUNG (βλ. υποκεφάλαιο 1.10).
- Ο χαλκός (Cu) και ο μόλυβδος (Pb) είναι τα κυριότερα τοξικά μέταλλα που ανιχνεύονται στις LCD, αν και βρίσκονται σε μικρότερες τιμές από αυτές που εμφανίζονται στις καθοδικές λυχνίες (**Lim and Schoenung, 2010**). Αυτό συνάδει με τα αποτελέσματα καθώς απ τη μία ο μολύβδος είναι σε τόσο μικρές

συγκεντρώσεις που δεν ανιχνεύτηκαν, απ την άλλη ο χαλκός σημειώνει σχεδόν τις χαμηλότερες τιμές ανάμεσα στα άλλα μέταλλα, ενώ παράλληλα είναι και τα δύο μέταλλα γνωστά για την τοξικότητά τους.

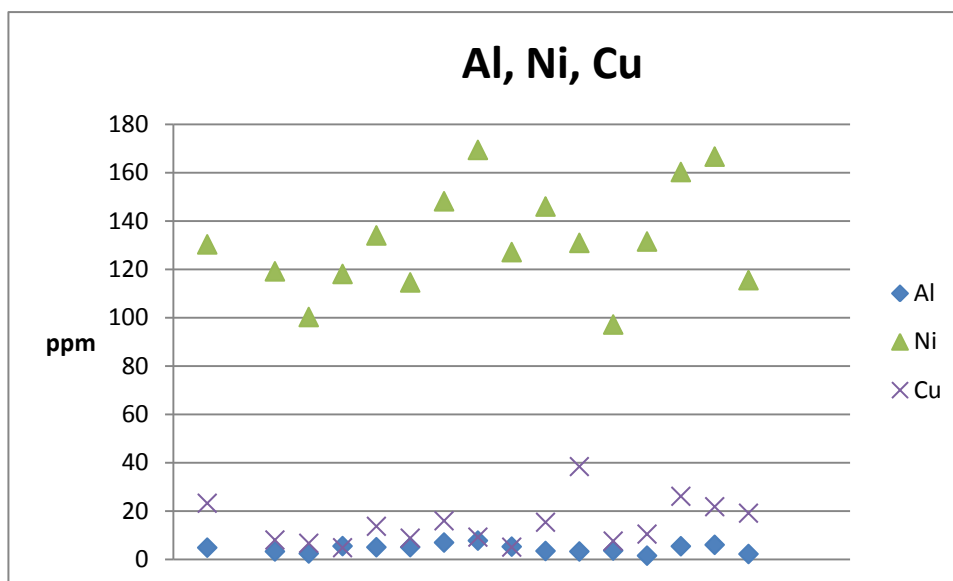
Από τα παραπάνω συμπεράσματα το πιο ουσιώδες είναι ότι σύμφωνα με τις μετρήσεις του πίνακα τα νομοθετικά όρια που έχουν θεσπιστεί από τη Ε.Ε πληρούνται. Όπως φαίνεται όλα τα δείγματα έχουν τιμές μετάλλων πολύ μικρότερες από τις επιτρεπόμενες. Αποδεικνύεται ότι οι εταιρίες κατέβαλλαν προσπάθειες και συμμορφώθηκαν με το νομοθετικό πλαίσιο γύρω από την απαγόρευση των επικίνδυνων ουσιών του ΗΗΕ.



Διάγραμμα 2: Εύρος συγκέντρωσης μετάλλων (Zn, As, Sn, Cr)

Το παραπάνω διάγραμμα δίνει μία εικόνα του εύρους των τιμών για ορισμένα στοιχεία που μετρήθηκαν Zn, As, Sn, Cr. Μελετώντας το διάγραμμα είναι σαφείς οι μεγάλες διακυμάνσεις στον ψευδάργυρο αλλά και στον κασσίτερο. Οι μεγάλες διακυμάνσεις οφείλονται σε ένα βαθμό στο γεγονός ότι εξετάζονται διαφορετικές κατηγορίες ηλεκτρονικών συσκευών αλλά και στο ότι υπάγονται σε άλλη εταιρία, η οποία ενδεχομένως χρησιμοποιεί διαφορετικές κατασκευαστικές μεθόδους. Το εύρος για το χρώμιο (Cr) είναι από 93,28-446,29 ppm, αντίστοιχα για το αρσενικό (As) κυμαίνεται από 3,46-626,85 ppm, αλλά υπάρχουν και μη ανιχνεύσιμες τιμές

αρσενικού στα κινητά, για τον κασσίτερο (Sn) από 71,89 -762,69 ppm και για τον ψευδάργυρο (Zn) 136,49-1141,57 ppm.



Διάγραμμα 3: Εύρος συγκέντρωσης μετάλλων (Al, Ni, Cu)

Στο Διάγραμμα 3 παρουσιάζεται το εύρος των υπόλοιπων μετάλλων που μετρήθηκαν. Είναι αντιληπτό ότι και τα τρία στοιχεία εμφανίζουν χαμηλές τιμές, με την τιμή του νικελίου (Ni) να παρουσιάζει ελαφρώς μεγαλύτερη διακύμανση στα δείγματα. Το εύρος των τιμών για το αλουμίνιο (Al) κυμαίνεται από 1,56 έως 7,78 ppm , για το νικέλιο από 97,19 έως 169,42 ppm και για τον χαλκό (Cu) από 4,85 έως 38,41 ppm.

### 4.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΤΟ TTLC

Η μέθοδος Total Threshold Limit Concentration (TTLC) προσδιορίζει την ολική συγκέντρωση ορισμένων ρυθμιζόμενων μεταλλικών στοιχείων σε κάθε δείγμα. Όταν το δείγμα που εξετάζεται υπερβαίνει τα TTLC όρια τα απόβλητα ταξινομούνται ως επικίνδυνα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης TTLC μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί εάν απαιτείται περαιτέρω ανάλυση για τον καθορισμό της τοξικότητας ακόμα κι αν η συνολική επικινδυνότητα δεν υπερβαίνει τα όρια TTLC (Meridian, 2010). Τα δείγματα αναλύονται με την μέθοδο EPA 7471A

και EPA 6010B για τον μόλυβδο και τα άλλα μέταλλα, αντίστοιχα. Ουσιαστικά πρόκειται για μεθόδους χώνευσης, έτσι ώστε να ληφθούν υπ' όψιν τα διαλυτά και αδιάλυτα κλάσματα του δείγματος. Τα αποτελέσματα συγκρίνονται με τις TTLC τιμές κατωφλιού και όταν οποιαδήποτε ουσία υπερβαίνει τα όρια, τα απόβλητα ταξινομούνται ως επικίνδυνα και χαρακτηρίζονται από έναν κωδικό που καθορίζεται από τις ενώσεις που υπερβαίνουν τα όρια. Τα ρυθμιστικά όρια που χρησιμοποιούνται για τον χαρακτηρισμό των επικίνδυνων αποβλήτων στην Καλιφόρνια παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 11: Όρια TTLC

Ανόργανες ουσίες	TTLC οριακές τιμές (mg/kg)
Αντιμόνιο και/ή οι ενώσεις του (Sb)	500
Αρσενικό και/ή οι ενώσεις του (As)	500
Αμίαντος (Asbestos)	1%
Βάριο και/ή ενώσεις του (Ba)	10000
Βυρήλλιο και/ή οι ενώσεις του (Be)	75
Κάδμιο και/ή οι ενώσεις του (Cd)	100
Χρώμιο και/ή οι ενώσεις του (Cr)	2,500
Εξασθενές χρώμιο (Cr6+)	500
Κοβάλτιο και/ή ενώσεις του (Co)	8000
Χαλκός και/ή οι ενώσεις του (Cu)	2,500
Μόλυβδος και/ή οι ενώσεις του (Pb)	1,000
Υδράργυρος και/ή οι ενώσεις του (Hg)	20
Μολυβδαίνιο και/ή οι ενώσεις του (Mo)	3,500
Νικέλιο και/ή οι ενώσεις του (Ni)	2,000
Σελήνιο και/ή οι ενώσεις του (Se)	100
Ασήμι και/ή οι ενώσεις του (Ag)	500
Θάλλιο και/ή οι ενώσεις του (Tl)	700
Βανάδιο και/ή οι ενώσεις του (V)	2,400
Ψευδάργυρος και/ή οι ενώσεις του (Zn)	5,000

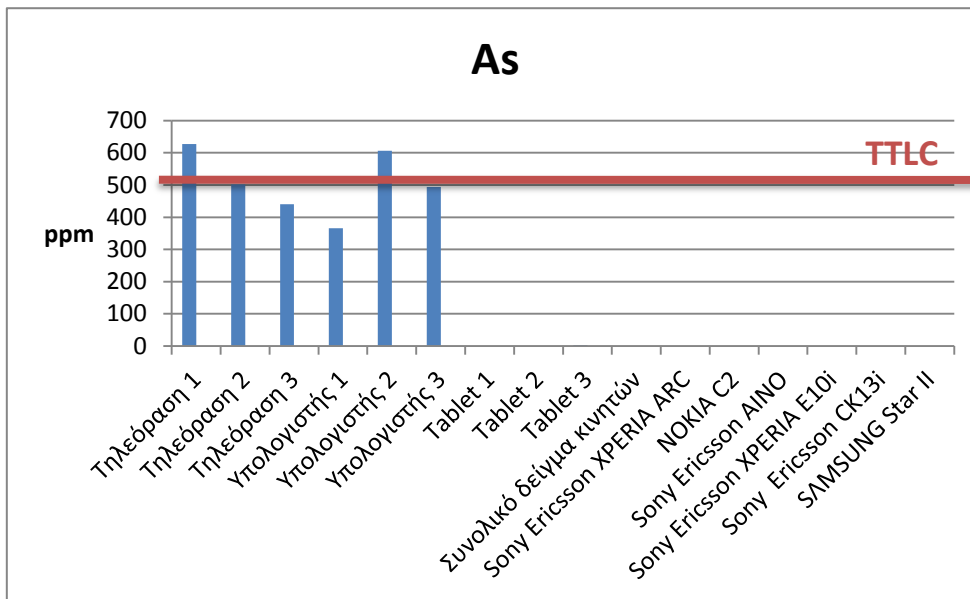
([http://www.torrentlab.com/torrent/resources/resource/STLC\\_and\\_TTLC\\_Limits.pdf](http://www.torrentlab.com/torrent/resources/resource/STLC_and_TTLC_Limits.pdf))

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις των δειγμάτων με τα όρια TTLC, είναι αρχικά αντιληπτό ότι το αρσενικό που ανιχνεύεται στην τηλεόραση και τον υπολογιστή βρίσκεται

πολύ κοντά στο οριακό σημείο και μάλιστα τρία δείγματα υπερβαίνουν το όριο TTLC του αρσενικού. Επίσης, όσον αφορά το χρώμιο, το νικέλιο, τον χαλκό και τον ψευδάργυρο, οι τιμές τους σε όλα τα δείγματα είναι πολύ μικρότερες από την οριακή τιμή. Επομένως, είναι σαφές ότι σύμφωνα με το test TTLC, τρία δείγματα χαρακτηρίζονται τοξικά ως προς το αρσενικό.

Πίνακας 12: Σύγκριση τιμών με TTLC

Δείγματα	Μέταλλα										
	Al	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Hg	Pb
Τηλεόραση 1	4,87±0,26	154,75±1,22	<DL	130,34±2,58	23,24±1,82	1141,57±14,84	626,85±9,47	<DL	144,84±4,42	<DL	<DL
Τηλεόραση 2	3,30±0,08	136,62±3,27	<DL	119,19±2,68	8,04±0,79	984,85±2,07	501,78±6,27	<DL	119,53±2,67	<DL	<DL
Τηλεόραση 3	2,45±0,13	93,28±1,32	<DL	100,29±3,26	6,69±0,22	1037,74±5,08	440,32±6,74	<DL	98,27±3,70	<DL	<DL
Υπολογιστής 1	5,51±0,10	135,96±5,66	<DL	118,10±5,46	4,85±1,20	1304,81±20,49	365,83±11,41	<DL	71,89±1,42	<DL	<DL
Υπολογιστής 2	5,04±0,16	160,50±6,48	<DL	134,04±2,49	13,69±1,06	994,96±1,59	606,23±7,88	<DL	255,20±2,07	<DL	<DL
Υπολογιστής 3	5,08±0,11	134,66±3,76	<DL	114,60±0,69	8,81±0,39	1161,84±30,44	493,69±10,52	<DL	157,50±3,17	<DL	<DL
Tablet 1	6,98±0,15	176,27±2,47	<DL	148,17±2,92	15,98±0,54	1015,80±12,19	<DL	<DL	762,69±5,95	<DL	<DL
Tablet 2	7,78±0,11	220,24±2,31	<DL	169,42±2,27	9,21±1,26	1134,00±9,98	<DL	<DL	731,28±16,82	<DL	<DL
Tablet 3	5,29±0,07	149,18±2,46	<DL	127,14±3,09	5,07±0,12	164,00±2	3,46±0,47	<DL	653,32±12,22	<DL	<DL
Συνολικό δείγμα κινητών	3,49±0,02	244,37±0,59	<DL	146,01±1,02	15,37±0,57	156,09±6,32	<DL	<DL	403,49±2,66	<DL	<DL
Sony Ericsson XPERIA ARC	3,29±0,10	151,90±4,13	<DL	130,96±5,43	38,41±1,48	151,83±3,11	<DL	<DL	235,06±5,05	<DL	<DL
NOKIA C2	3,66±0,08	116,67±1,63	<DL	97,19±2,22	7,60±0,66	140,82±4,87	<DL	<DL	492,84±12,07	<DL	<DL
Sony Ericsson AINO	1,56±0,07	169,50±5,00	<DL	131,53±4,41	10,47±1,20	175,98±4,56	<DL	<DL	132,51±3,58	<DL	<DL
Sony Ericsson XPERIA E10i	5,45±0,17	381,36±2,56	<DL	160,28±3,14	26,11±0,41	166,52±7,56	<DL	<DL	635,23±29,35	<DL	<DL
Sony Ericsson CK13i	6,04±0,35	446,29±7,81	<DL	166,65±1,70	21,82±0,97	172,35±0,67	<DL	<DL	585,78±32,33	<DL	<DL
SAMSUNG Star II	2,24±0,02	147,22±3,50	<DL	115,54±1,65	19,13±1,40	136,49±6,38	<DL	<DL	221,55±6,37	<DL	<DL
<b>TTLC</b>	-	<b>2500</b>		<b>2000</b>	<b>2500</b>	<b>5000</b>	<b>500</b>	<b>100</b>	-	<b>20</b>	<b>1000</b>



Διάγραμμα 4: Αρσενικό (As) - Όριο TTLC

Στο Διάγραμμα 4 παρουσιάζονται οι τιμές του αρσενικού στα 16 δείγματα. Στα δείγματα των κινητών δεν ανιχνεύεται ποσότητα αρσενικού, αντίθετα στην τηλεόραση και τον υπολογιστή εντοπίστηκε μεγάλη ποσότητα σε βαθμό που να ξεπερνάει το TTLC. Βέβαια, πρέπει να τονιστεί ότι οι τιμές δεν έχουν πολύ μεγάλη απόκλιση από το όριο, αλλά τα αποτελέσματα δείχνουν σαφή ισχύουσα παρουσία του εν λόγω στοιχείου σε οριακές τιμές ως και τον χαρακτηρισμό του σαν «τοξικό», ως προς το αρσενικό.

#### 4.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Οι πληροφορίες σχετικά με το περιεχόμενο του γυαλιού των LCD σε επικίνδυνες ουσίες είναι περιορισμένες. Μόνο λίγες μελέτες παρουσιάζουν αποτελέσματα συγκεντρώσεων επιλεγμένων στοιχείων και συνήθως αναφέρονται σε διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις ως προς τα δείγματα και την εξέτασή τους. Ωστόσο, συγκεντρώθηκαν τα παρακάτω βιβλιογραφικά δεδομένα, τα οποία μετρήθηκαν σε κινητά τηλέφωνα και laptop:



Πίνακας 13: Δείγματα παρούσας εργασίας-Βιβλιογραφικά στοιχεία σε ppm

Δείγματα	Μέταλλα										
	Al	Cr	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sn	Hg	Pb
Maragkos et.al., 2013	-	18,20	-	82,12	-	73,15	-	<DL	-	<DL	4,18
	-	33,17	-	107,15	-	99,85	-	<DL	-	<DL	26,28
	-	62,14	-	277,74	-	191,85	-	<DL	-	0,14	14,60
	-	27,44	-	137,65	-	93,47	-	<DL	-	<DL	10,28
	-	29,51	-	195,39	-	107,43	-	<DL	-	2,13	21,54
	-	47,15	-	174,37	-	95,05	-	<DL	-	<DL	8,49
	-	103,80	-	164,76	-	147,88	-	<DL	-	<DL	8,28
	-	102,29	-	43,40	-	53,32	-	3,27	-	<DL	33,96
AEA Technology, 2004	-	598	0	53	63	205	4,618	0	444	0	0
Lin et.al., 2009	-	11	-	-	11	77	-	<DL	-	-	5
Lin, 2007	-	1,07	-	-	5,1	0,5	-	<DL	-	-	3,2

- Τα δείγματα της μελέτης (**Maragkos et.al., 2013**) αφορούν οθόνες LCD απόβλητων κινητών πριν και μετά την εφαρμογή της Οδηγίας 2002/95/EK. Τα τρία πρώτα δείγματα προέρχονται από συσκευές που κατασκευάστηκαν κατά την περίοδο 2002-2006, ενώ όλα τα υπόλοιπα από συσκευές που κατασκευάστηκαν στο χρονικό διάστημα 2007-2011. Είναι σαφές ότι οι τιμές των κινητών της παρούσας εργασίας ταυτίζονται περισσότερο με τις τελευταίες. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς κατασκευάζονται στο ίδιο περίπου χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά παρατηρούνται αρκετά σημαντικές διαφορές. Η κυριότερη διαφορά είναι ότι υπάρχουν βιβλιογραφικές τιμές για το μόλυβδο (Pb), οι οποίες είναι σχετικά μικρές αλλά όχι αμελητέες, ενώ στη παρούσα εργασία το στοιχείο δεν ανιχνεύτηκε σε κανένα δείγμα. Αυτό δείχνει ότι τα δείγματά είναι λιγότερο τοξικά ως προς τον μόλυβδο σε σχέση με τα δείγματα της άλλης μελέτης. Το ίδιο συμβαίνει και με τον υδράργυρο (Hg) και το κάδμιο (Cd) για ορισμένα από τα δείγματα. Οι διαφορές αυτές είναι λογικό να εμφανίζονται μεταξύ των δειγμάτων πριν και μετά τη θέσπιση της Οδηγίας RoHS, γιατί είναι το αποτέλεσμα της μείωσης των τοξικών μετάλλων από τους κατασκευαστές. Απ' την άλλη το γεγονός ότι υπάρχουν μικρές συγκεντρώσεις στα Cd, Hg, Pb , ίσως σημαίνει τη σταδιακή πορεία της μείωσης, καθώς οι εταιρίες έχουν ένα χρονοδιάγραμμα βάσει του οποίου ενεργούν. Άλλωστε οι τιμές αυτές απέχουν πολύ από τις οριακές. Τέλος, παρατηρούμε ότι όλα τα υπόλοιπα στοιχεία εμφανίζουν αρκετά μεγαλύτερες τιμές από τις βιβλιογραφικές. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί λογικό επειδή οι κατασκευαστές προσπαθώντας να αποφύγουν τη χρήση τοξικών μετάλλων, αναγκάστηκαν να στραφούν στη χρήση μη τοξικών μετάλλων, με αποτέλεσμα οι τιμές τους να αυξηθούν. Βέβαια τα στοιχεία αυτά δεν είναι υψηλής τοξικότητας. Επομένως, κάνοντας τους παραπάνω συλλογισμούς, προκύπτει ότι τα νέα κινητά είναι πιο φιλικά προς το περιβάλλον σε σχέση με τα παλιότερα.
- Οι τιμές της μελέτης (**AEA Technology, 2004**) ανιχνεύτηκαν σε οθόνη laptop. Συγκριτικά με τις τιμές του υπολογιστή, της τηλεόρασης και του tablet (Πίνακας 8), διαπιστώνονται τόσο ομοιότητες όσο και διαφορές. Είναι εμφανές ότι η συγκέντρωση του χρωμίου (Cr) έχει μειωθεί σημαντικά στις νεότερες συσκευές. Το συμπέρασμα που καταδεικνύεται, είναι ότι οι κατασκευαστές συμμορφώθηκαν

μετά την ισχύ της Οδηγίας RoHS και μείωσαν τις συγκεντρώσεις του χρωμίου. Επίσης, μεγάλη μείωση έχει σημειωθεί στις συγκεντρώσεις του χαλκού (Cu), ενώ ο κασσίτερος (Sn) κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα στις δύο μελέτες. Παρόλα αυτά βάσει των βιβλιογραφικών στοιχείων παρατηρείται μικρή αύξηση των τιμών νικελίου στα νέα προϊόντα καθώς και αρκετά μεγάλη αύξηση του ψευδαργύρου (Zn). Το γεγονός αυτό δεν προκαλεί ανησυχία καθώς ο ψευδάργυρος δεν είναι πολύ τοξικό στοιχείο. Επίσης, όσον αφορά τον μόλυβδο (Pb), το κάδμιο (Cd), τον υδράργυρο (Hg) και τον σίδηρο (Fe) οι τιμές συμφωνούν απόλυτα και είναι μηδενικές. Ωστόσο, το πρόβλημα εντοπίζεται στις τιμές του αρσενικού της τηλεόρασης και του υπολογιστή, οι οποίες είναι εντυπωσιακά μεγαλύτερες από την τιμή που ανιχνεύτηκε στο laptop. Το γεγονός ότι η ποσότητα αρσενικού που βρίσκεται στο tablet συνάδει με την αντίστοιχη ποσότητα στο laptop, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι κατασκευαστικές μέθοδοι των δύο ηλεκτρικών ειδών μπορεί να έχουν περισσότερα κοινά σημεία από ότι ένας υπολογιστής ή μία τηλεόραση. Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι η σύγκριση αφορά δείγματα στα οποία δεν έχει πραγματοποιηθεί ίδια μέθοδος χώνευσης. Συνεπώς, το θέμα που αφορά τις αυξημένες τιμές αρσενικού που παρατηρούνται πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω, ώστε να εξαχθούν πιο αντιπροσωπευτικά συμπεράσματα.

- Συγκρίνοντας τις τιμές της παρούσας μελέτης με την μελέτη (Lin et.al., 2009) αλλά και με τη μελέτη (Lin, 2007), καθώς παρουσιάζουν κοντινές τιμές, διαφαίνεται ότι τιμές του χρωμίου (Cr) και του ψευδαργύρου (Zn) είναι χαμηλότερες από τις τιμές που παρουσιάστηκαν στην παρούσα εργασία. Βέβαια οι αποκλίσεις είναι μεγάλες κυρίως για τον ψευδάργυρο, ο οποίος όπως αναφέρθηκε δεν εμφανίζει μεγάλη τοξικότητα. Οι τιμές του χαλκού αντίθετα κυμαίνονται μέσα στο εύρος των τιμών που εξήχθησαν από τις αναλύσεις του ICP-MS. Τέλος, δε διαπιστώθηκαν ίχνη καδμίου (Cd) και μόλυβδου (Pb), όπως ακριβώς και στην παρούσα μελέτη. Συνεπώς, παρατηρείται μια ελάχιστη αύξηση του χρωμίου, η οποία δεν είναι μεμπτή, καθώς όπως ήδη ειπώθηκε τα δείγματα των μελετών που συγκρίνονται δεν έχουν υποστεί την ίδια προετοιμασία.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Βάσει των αποτελεσμάτων της εργασίας, διαπιστώθηκαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ☞ Παρατηρήθηκε ότι μεγάλο ποσοστό των πολιτών είναι αποστασιοποιημένο από την χωριστή συλλογή των ηλεκτρικών συσκευών και την ανακύκλωση. Οι κυριότεροι λόγοι είναι η άγνοια, η δυσκολία μεταφοράς τους αλλά και οικονομικοί. Για την αντιμετώπιση του θέματος αποδεικνύεται σημαντική η ανάλογη ενημέρωση των πολιτών καθώς και η λειτουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος συλλογής, όπου τα σημεία συλλογής να βρίσκονται σε προσιτά μέρη και ταυτόχρονα να υπάρχει η ανάλογη υποστήριξη από τον εκάστοτε δήμο για τις μεγάλες ηλεκτρικές συσκευές. Επιπλέον, η εξασφάλιση της ανακύκλωσης με ευθύνη επιστροφής του προϊόντος θα επιφέρει βελτιώσεις στην υπάρχουσα κατάσταση.
- ☞ Μελετώντας τη σύσταση του LCD πάνελ των συσκευών σε τοξικά μέταλλα, παρατηρήθηκε ότι τα δύο γυάλινα τμήματα από τα οποία συνίσταται, παρουσιάζουν ποιοτικά και ποσοτικά όμοια συμπεριφορά. Οι μικρές αποκλίσεις που παρατηρήθηκαν στα δείγματα, θεωρούνται αμελητέες. Επομένως, καταδεικνύεται το συμπέρασμα ότι το LCD πάνελ αποτελείται από δύο γυάλινα περιβλήματα ίδιας τοξικότητας, ενώ ανάμεσά τους εμπεριέχονται υγροί κρύσταλλοι. Επιπλέον, η σύγκριση των δειγμάτων των κινητών τηλεφώνων με το συνολικό δείγμα τους, παρείχε σημαντικές πληροφορίες για τη συνολική συμπεριφορά των κινητών και την έκπλυση των τοξικών μετάλλων σε αυτή την περίπτωση. Διαπιστώθηκε εξάλλου ότι το συνολικό δείγμα προσεγγίζει τον μέσο όρο τοξικότητας των κινητών.
- ☞ Η διαχείριση των αποβλήτων LCD οθονών σε ερευνητικό επίπεδο, συμπεριλαμβάνοντας την απορρύπανση, την ανάκτηση πολύτιμων μετάλλων, την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση του γυαλιού, δύναται να πραγματοποιηθεί παρέχοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα και υψηλές αποδόσεις.

Με τον τρόπο αυτό καταδεικνύεται εφικτή η ανάκτηση υλικών υψηλής αξίας και υφίστανται ενδείξεις ανάκτησης του ινδίου. Η ορθή διαχείριση μπορεί να γίνει εξαιρετικά ωφέλιμη και ιδιαίτερα αν δοθεί έμφαση στην εφαρμογή μεθόδων ανακύκλωσης, η οποία καθίσταται ως η μόνη μελλοντικά βιώσιμη και μακροβίωτη λύση, δεδομένου ότι ο άνθρωπος θα συνεχίζει να παράγει ολοένα και περισσότερα απόβλητα.

☞ Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων, με τη χρήση του επαγωγικά συζευγμένου πλάσματος με φασματομετρία μαζών ICP-MS, είναι σαφές ότι οι τιμές των τοξικών μετάλλων που αναφέρονται στην Οδηγία 2002/95/EK, πληρούν τα επιβαλλόμενα όρια της Οδηγίας RoHS. Κανένα από τα δείγματα δεν ξεπερνάει τις μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις. Συγκεκριμένα οι συγκεντρώσεις του υδραργύρου (Hg), του μολύβδου (Pb) και του καδμίου (Cd) ήταν μη ανιχνεύσιμες, ενώ οι μετρούμενες τιμές του χρωμίου (Cr) ήταν πολύ χαμηλότερες από την καθορισμένη τιμή, που επιβάλλει η νομοθεσία. Συνεπώς, εφόσον το ολικό χρώμιο στα δείγματα αντιστοιχεί σε πολύ μικρά ποσοστά, εξάγεται το συμπέρασμα ότι το εξασθενές χρώμιο θα αντιστοιχεί σε ακόμα μικρότερα ποσοστά. Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό η θέσπιση της Οδηγίας οδήγησε σε αποτελεσματική μείωση της χρήσης των απαγορευμένων ουσιών.

☞ Η πολιτική διαχείρισης απόβλητων LCD οθονών πρέπει να επικεντρωθεί στη μείωση του αρσενικού (As). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε σύγκριση με τα όρια TTLC κατέδειξαν 3 από τα 16 δείγματα ως τοξικά ως προς το αρσενικό. Όλα τα υπόλοιπα μέταλλα ανιχνεύτηκαν σε συγκεντρώσεις χαμηλότερες του TTLC. Οι υψηλές τιμές αρσενικού στα δείγματα της τηλεόρασης και του υπολογιστή προκαλούν όμως ανησυχία. Οι κατασκευαστές θα πρέπει να αντικαταστήσουν το εν λόγω τοξικό μέταλλο με άλλα μη τοξικά υλικά, καθώς η υψηλή συγκέντρωση αρσενικού, εξαρτώμενη από τη δόση και την έκθεση, μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να αποβεί θανατηφόρα. Τα παραπάνω αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθούν έχοντας υπόψη ότι τηρήθηκε διαφορετική προετοιμασία των δειγμάτων από την προκαθορισμένη TTLC.

☞ Επομένως, τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας παρέχουν μια εικόνα της επικινδυνότητας του LCD πάνελ απόβλητων συσκευών. Ωστόσο, αν και η απόλυτη ποσότητα των τοξικών μετάλλων προσφέρει κάποιες πολύτιμες πληροφορίες, η τοξικότητα των μετάλλων αυτών είναι σχετικά διαφορετική και θα πρέπει να λαμβάνεται κατά τη σύγκριση υπόψη ο πιθανός αντίκτυπος αυτών των συσκευών στη ροή των αποβλήτων.

### Προτάσεις

☞ Ίσως είναι οξύμωρη η αναφορά αλλά εξ αρχής ο βασικός στόχος της βιομηχανίας ηλεκτρικών ειδών ήταν να κατασκευάσει συσκευές που θα έχουν αντοχή για πάντα. Αντίστοιχα, οι καταναλωτές αναζητούσαν πάντα συσκευές ανθεκτικές στο χρόνο, γιατί η ανθεκτικότητα ταυτιζόταν με την «αξιοπιστία». Σύμφωνα με δήλωση του John Rogers, Professor of University of Illinois, «Δεν χρειαζόμαστε ένα κινητό που να διαρκεί 25 ή 50 χρόνια». Πλέον αυτή η λογική καθίσταται παράλογη και απέχει σχεδόν 180 μοίρες από την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των ηλεκτρικών συσκευών. Οι κατασκευαστικές εταιρίες πρέπει να στρέψουν την προσοχή τους προς την κατασκευή αγαθών που μπορούν να αποσυναρμολογηθούν εύκολα και χωρίς κόστος, με όσο το δυνατό μικρότερο ρυπαντικό φορτίο. Σύμφωνα με την έρευνα του πανεπιστημίου Ιλινόις, οι ερευνητές εξετάζουν την ανάπτυξη εύκαμπτων, εύκολα βιοδιασπώμενων συσκευών που θα διαλύονται στο νερό χρησιμοποιώντας κυρίως μαγνήσιο, διοξείδιο του πυριτίου και μετάξι (**Greengard, 2013**). Στα επόμενα δύο χρόνια αναμένεται η πειραματική κατασκευή βιοδιασπώμενων κινητών τηλεφώνων. Αυτή η νέα και καινοτόμα ιδέα μπορεί να αποτελέσει στο μέλλον λύση στο πρόβλημα της τοξικότητας, που αφορά στις ηλεκτρονικές συσκευές. Θα ήταν χρήσιμο να γίνει περεταίρω έρευνα και να εξακριβωθούν τα στοιχεία που δημοσιεύτηκαν από το πανεπιστήμιο Ιλινόις.

☞ Δεδομένου ότι δεν τηρείται απόλυτα η χωριστή συλλογή ηλεκτρονικών αποβλήτων και μεγάλο ποσοστό αυτών καταλήγουν σε ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ μαζί με αστικά

απορρίμματα, καταδεικνύεται ενδιαφέρουσα η προσομοίωση ενός ΧΥΤΑ/ΧΥΤΥ, που να περιλαμβάνει τόσο ηλεκτρονικά απόβλητα, αλλά και αστικά απορρίμματα. Αναμένεται να διεξαχθούν σημαντικά στοιχεία για την έκλυση των τοξικών μετάλλων καθώς και άλλων επικίνδυνων ουσιών σε αυτές τις συνθήκες.

- ☞ Προτείνεται επίσης μελλοντική και πιο διεξοδική μελέτη του τοξικού μετάλλου αρσενικού στις οθόνες υγρών κρυστάλλων απόβλητου ηλεκτρονικού εξοπλισμού, στοιχείο το οποίο παρουσίασε αυξημένες συγκεντρώσεις, πολύ κοντά στο όριο που δίνει το TTLC.
  
- ☞ Τέλος, ένα ακόμα στοιχείο που χρήζει ιδιαίτερης προσοχής, ανάλυσης και εκτίμησης επικινδυνότητας και το οποίο προτείνεται για μελλοντική εργασία είναι το Ίνδιο, το οποίο χρησιμοποιείται αρκετά συχνά στην παραγωγή λεπτών υμενίων και ηλεκτροδίων για οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD) και οθόνες αφής. Πολύ περιορισμένη βιβλιογραφία υπάρχει για το στοιχείο αυτό, τις συγκεντρώσεις του και τη συχνότητα ύπαρξής του στις LCD.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Ξένη Βιβλιογραφία

- Agilent 7500 series ICP-MS, Hardware Manual  
<http://cbams.concordia.ca/instruments/userguides/documents/7500celCP-%20MShardwaremanualen.pdf>
- AEA Technology (2004), WEEE & Hazardous Waste, A report produced for DEFRA  
<http://archive.defra.gov.uk/environment/waste/producer/electrical/documents/weee-hazwaste.pdf>
- Asante K., Agusa T., Biney C., Agyekum W., Bello M., Otsuka M., Itai T., Takahashi S., Tanabe S., (2012), 'Multi-trace element levels and arsenic speciation in urine of e-waste recycling workers from Agbogbloshie, Accra in Ghana', Science of the Total Environment, 424, 63-73
- Basel Action Network, 'Exporting harm – The high-tech trashing of Asia', Seattle, Febr.2002
- Brigden K., Labunska I., Santillo D., Johnston P., (2008), 'Chemical Contamination at E-waste Recycling and Disposal Sites in Accra and Korforidua, Ghana', Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter, UK
- Chancerel P., Rotter S., (2009), 'Recycling-oriented characterization of small waste electrical and electronic equipment', Waste Management, 29, 2336-2352
- Chang T., Huang K., Liu C., Shie R., Chao K., Hsu W., Bao B., (2010), ' Exposure to volatile organic compounds and kidney dysfunction in thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) workers', Journal of Hazardous Materials, 178, 934-940



- Chien Y., Shih P., (2006), 'Emission of polycycle aromatic hydrocarbons on the combustion of liquid crystal display components' J.Environ. Eng.-ASCE. 132, 1028-1033
- Dimitrakakis E., Janz A., Bilitewski B., Gidarakos E., (2009), 'Determination of heavy metals and halogens in plastics from electric and electronic waste', Waste Management , 29, 2700-2706
- Dimitrakakis E., Janz A., Bilitewski B., Gidarakos E., (2009), 'Small WEEE: Determining recyclables and hazardous substances in plastics', Journal of Hazardous Materials, 161, 913-919
- Ebdon L., Evans E., Fisher A., Hill S., (1998), 'An introduction to Analytical Atomic Spectrometry'
- Gaidajis G., Angelakoglou K., Aktsoylou D., (2010) 'E-waste: Environmental Problems and Current Management', Journal of Engineering Science and Technology Review 3 (1) 193-199
- Gartner, (2011), Market Trends: Worldwide, EMS and ODM TV Production  
<http://www.gartner.com/id=1760714>
- Gartner, (2013), Market Trends: Worldwide, EMS and ODM TV Production  
<http://www.gartner.com/id=2563815>
- Greengard S., (2013), 'Vanishing Electronics',ACM, 56, 20-22  
<http://cacm.acm.org/magazines/2013/5/163770-vanishing-electronics/fulltext>
- Hagelucen C., 'Improving metal returns and eco-efficiency in electronics recycling. In: Proceedings of the 2006 IEEE Int. Symposium on Electronics and the Environment, 218-223

- Huisman, J., Magalini F., Kuehr R., (2008) 'Review of directive 2002/96 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)', Final Report, United Nations University, Bonn, Germany
- Kotani K., Masunaga S., (2012), 'Environmental impact assessment of chlorine in liquid crystal display glass (LCDG) based on material flow analysis', Journal of Environmental Management, 112, 304-308
- Ladou J., Lovegrove S., (2008), 'Export of electronics equipment waste', Int. J. Occup. Environ. Health. 14, 1-10
- Lee Chul- Tae, (2013), 'Production of alumino-borosilicate foamed glass body from waste LCD glass', Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 19, 1916-1925
- Lee S., Cooper J., (2008) 'Estimating Regional Material Flows for LCDs', Proceedings of the IEEE International Symposium on Electronics and the Environment ISEE
- Lim S., Schoenung J., (2010), ' Human health and ecological toxicity potentials due to heavy metal content in waste electronic devices with flat panel displays', Journal of Hazardous Materials, 177, 251-259
- Lin K.,(2007), 'Use of thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass in the production of ceramic tiles', Journal of Hazardous Materials, 148, 91-97
- Lin K., Chang W, Chang T., Lee C., Lin C., (2009), 'Recycling thin film transistor liquid crystal display (TFT-LCD) waste glass produced as glass-ceramics', Journal of Cleaner Production, 17,1499-1503
- Lu R., Ma E., Xu Z., (2012), 'Application of pyrolysis process to remove and recover liquid crystal and films from waste liquid crystal display glass', Journal of Hazardous Materials, 243, 311-318

- Maragkos K., Hahladakis J., Evangelos Gidarakos, (2013), 'Qualitative and quantitative determination of heavy metals in waste cellular phones', Waste Management 33, 1882-1889
- Meridian S., (2010), Hazmat Characterisation Supplemental Report, United States Department of the Interior Bureau of Land Management  
[http://www.blm.gov/pgdata/etc/medialib/blm/ca/pdf/elcentro/nepa/pyramid.Par.82100.File.dat/ca670\\_ea0876\\_appb1.pdf](http://www.blm.gov/pgdata/etc/medialib/blm/ca/pdf/elcentro/nepa/pyramid.Par.82100.File.dat/ca670_ea0876_appb1.pdf)
- MJC, (2004), Screening Level Human Health and Ecological Risk Assessment for Generic E-waste Processing Facility. MJC & Associates for Environment Canada.
- Oteng-Abasio M., Electronic Waste Management in Ghana- Issues and Practices, Chapter 7  
<http://www.intechopen.com/books/sustainable-development-authoritative-and-leading-edge-content-for-environmental-management/electronic-waste-management-in-ghana-issues-and-practices>
- Robinson B., (2009), 'E-waste: An assessment of global production and environmental impacts', 408, 183-191
- Salhofer S., Tesar M., (2011), 'Assessment of removal of components containing hazardous substances from small WEEE in Austria', Journal of Hazardous Materials, 186, 1481-1488
- Sarkar A., 'E-waste in India: environmental health perspective and possible actions', Tackling e-waste towards efficient management techniques 2007
- Schluep M., Hagelueken C., (2009), Recycling: From e-waste to resources, Sustainable Innovation and Technology Transfer Industrial Sector Studies (Nairobi and Bonn, UNEP and STEP).

- Sinha S., 'E-waste: an Indian perspective', Tackling e-waste towards efficient management techniques 2007
- Socolof M., Overly J., Geibig J., (2005), 'Environmental life-cycle impacts of CRT and LCD desktop computer displays', Journal of Cleaner Production, 13, 1281-1294
- Statista-The statistics Portal for Market Data, Market Research  
<http://www.statista.com/statistics/272595/global-shipments-forecast-for-tablets-laptops-and-desktop-pcs/>
- STLC and TTLC Regulatory Limits  
[http://www.torrentlab.com/torrent/resources/resource/STLC\\_and\\_TTLC\\_Limits.pdf](http://www.torrentlab.com/torrent/resources/resource/STLC_and_TTLC_Limits.pdf)
- Tsydenova O., Bengtsson M., (2011)' Chemical hazards associated with treatment of waste electrical and electronic equipment', 31, 45-58
- Wang X., Lu X., Zhang S., (2013), 'Study on the waste liquid crystal display treatment: Focus on the resource recovery', Journal of Hazardous Materials', 342-347
- Widmer R., Oswald-Krapf H., (2005), 'Global perspectives on e-waste', Environmental Impact Assessment Review, 25, 436-458
- Wisconsin residents and electronics recycling, (2012) Results from 2010 and 2011 Wisconsin DNR statewide household surveys
- Zhuang X., He W., Li G., Huang J., Ye Y., (2012), 'Materials Separation from Waste Liquid Crystal Displays Using Compined Physical Methods', Pol. J. Environ. Stud. Vol. 21, No 6, 1921-1927

### **Ελληνική Βιβλιογραφία**

- Γιδαράκος Ευάγγελος, «Επικίνδυνα Απόβλητα», Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2006

### **Διαδίκτυο**

- <http://www.iatronet.gr/ygeia/perivallon-ygeia/article/1573/anakyklwsi-ilektrikwn-syskefwn-apo-tin-priza-sto-prasino.htm> |
- <http://www.econews.gr/2009/05/11/e-wastes-eu-ends-africa/>
- Προίτος , 10 Δεκεμβρίου 2009, κοινωνικό δίκτυο  
[http://proitos.blogspot.gr/2009/12/blog-post\\_4349.html](http://proitos.blogspot.gr/2009/12/blog-post_4349.html)
- <http://www.electrocycle.gr>
- <http://www.ban.org/>