

ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ & ΠΟΣΟΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΙΣ Φ/Β ΠΛΑΚΕΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΜΥΡΩΝ ΜΑΛΛΙΑΡΑΚΗΣ (Α.Μ. 2016019053)
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΙΛΑΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΟΥΛΟΥΡΙΔΑΚΗΣ ΠΑΥΛΟΣ

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1 ΔΟΜΗ φ/β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	9
Ανακύκλωση φ/β συλλεκτών	9
2.1 Αναγκαιότητα της ανακύκλωσης φ/β συλλεκτών.....	9
2.2 Τέλος ζωής φ/β συλλεκτών	10
2.3 Καταστροφή φ/β συλλεκτών πριν το προσδόκιμο τέλος ζωής.....	10
2.3.1 Ακραία καιρικά φαινόμενα	10
2.3.2 Κατασκευαστικά ελαττώματα	11
2.3.3 Βραχυκύκλωμα	11
2.3.4 hot-spot effect	11
2.3.5 Κεραυνικά φαινόμενα	12
2.3.6 Μείωση της αντίστασης μόνωσης της φ/β πλάκας	12
2.3.7 Διάφορες άλλες αιτίες καταστροφής των φ/β πλαισίων	12
2.3.8 Μέθοδος εντοπισμού βλαβών με υπεριώδη φθορισμό.....	13
2.3.9 Μέθοδος ηλεκτροφωταύγειας.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	17
Συστήματα και μέθοδοι θρυμματισμού	17
3.1 Θραυστήρες κρούσης.....	17
3.2 Θραυστήρας με κοπήρες	18
3.3 Κοσκίνισμα	20
3.4 Διαχωρισμός.....	20
3.5 Μελέτη-σχεδίαση & κατασκευή θραυστήρα ημιβιομηχανικής κλίμακας	20
3.5.1 Επιμέρους στοιχεία – μέρη του θραυστήρα	21
3.5.2 Ιστορικό - στάδια κατασκευής	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	28
4.1 Επιλογή δείγματος προς εξέταση	28
4.2 Βασικές αρχές δειγματοληψίας (sampling)	29
4.3 Μέθοδοι καθορισμένης πιθανότητας επιλογής (probability sampling)	29
4.3.1 Μέθοδος Απλής τυχαίας δειγματοληψίας (simple random sampling)	30
4.3.2 Μέθοδος Συστηματικής δειγματοληψίας (systematic sampling)	30
4.3.3 Δειγματοληψία κατά στρώματα (stratified sampling)	30
4.3.4 Δειγματοληψία κατά ομάδες (cluster sampling)	31

4.3.5 Δειγματοληψία κατά στάδια (multi-stage sampling).....	31
4.4 Μέθοδοι απροσδιόριστης πιθανότητας επιλογής.....	32
(Non-Probability Sampling)	32
4.4.1 Συμπτωματική δειγματοληψία	33
4.4.2 Δειγματοληψία σκοπιμότητας	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	35
Διερεύνηση ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού των περιεχομένων υλικών στις φ/β πλάκες.....	35
5.1 Γενικά Στοιχεία για τις ακτίνες Χ	35
5.2 Τενική ανάλυσης με φθορισμό ακτίνων-Χ (X Ray Fluorescence analysis XRF)	36
5.3 Πειραματική διερεύνηση	40
5.3.1 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	40
5.3.2 Στάδια πειραματικής διαδικασίας	41
5.4 Αποτελέσματα διερεύνησης με ακτίνες “χ”	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	52
Συμπεράσματα πειραματικής διαδικασίας και δυνατότητες αξιοποίησης των αποτελεσμάτων	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως προέκυψε από την προηγούμενη προπτυχιακή διατριβή με θέμα την «ΣΥΛΛΟΓΗ ΚΑΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΤΕΣΤΡΑΜΜΕΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ» η κατασκευή και λειτουργία μιας μονάδας ανακύκλωσης αυτών δεν είναι οικονομικά βιώσιμη, λόγω της μικρής ποσότητας διαθέσιμων υλικών προς ανακύκλωση, τόσο στην περιφέρεια της Κρήτης όσο και στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο

Ειδικότερα κατά χρονική περίοδο 2008 – έως και σήμερα, τα φ/β πάνελ προς ανακύκλωση είναι κυρίως πάνελ κατεστραμμένα από καιρικά φαινόμενο, η με κατασκευαστικά ελαττώματα τα οποία εκδηλώνονται στην διάρκεια του χρόνου και πριν το τέλος ζωής αυτών, ενώ με την λήξη των προνομιικών συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας που αναμένεται μετά το έτος 2025 θα προκύψουν σημαντικές ποσότητες σε αχρηστία λόγο έλλειψης οικονομικού ενδιαφέροντος (σημαντική μείωση τιμής μονάδας & αύξηση δαπανών συντήρησης και αντικαταστάσεων). Ειδικότερα για την περιοχή της Κρήτης καθώς και των υπολοίπων μη διασυνδεδεμένων νήσων (ΜΔΝ), η περίπτωση της συλλογής και μεταφοράς των κατεστραμμένων φ/β πάνελ σε μονάδες ανακύκλωσης εκτός Ελλάδος χωρίς μια πρώτη επεξεργασία δυσχεραίνεται λόγω του μεγάλου όγκου των μεταφερόμενων αντικειμένων παράλληλα με το αυξημένο κόστος μεταφοράς (ακτοπλοϊκή μεταφορά από τα νησιά)

Με βάση τα στοιχεία της προαναφερόμενης προπτυχιακής εργασίας, και προκειμένου να διευκολυνθεί η συλλογή και η μεταφορά σε εκτός Ελλάδος λειτουργούσες μονάδες, προτάθηκε η δημιουργία μιας κινητής μονάδας «μερικής επεξεργασίας» όπου θα πραγματοποιούνται τα αρχικά στάδια της επεξεργασίας ανακύκλωσης τα οποία είναι κοινά για τα περισσότερα είδη φ/β συλλεκτών ήτοι: Η αποσυναρμολόγηση των μεταλλικών πλαισίων (αλουμίνιο), των καλωδίων και των κουτιών σύνδεσης (χαλκός) και την θραύση της φ/β πλάκας, (κρύσταλλο, φ/β κυψέλη EVA κ.λπ.) σε προεπιλεγμένη κοκκομετρία.

Τα προϊόντα αυτής της επεξεργασίας με σημαντικά μειωμένο όγκο θα μπορούν ευκολότερα πλέον να συσκευαστούν κατάλληλα και να μεταφερθούν σε μονάδες ανακύκλωσης για περεταίρω επεξεργασία, με αναλογικά μειωμένα έξοδα.

Επανεξετάζοντας τα παραπάνω παρατηρείται ότι οι ποσότητες των φ/β προς ανακύκλωση που δημιουργούνται κάθε έτος συνεχώς αυξανόμενες, παραμένουν σχετικά μικρές, όμως μαζί με τις συσσωρευμένες ποσότητες των προηγούμενων ετών άρχισε πλέον να γίνεται αισθητή η παρουσία τους, συσσωρευμένα στους χώρους των φ/β εγκαταστάσεων ή σε άλλους ακατάλληλους προς τούτο χώρους, δημιουργώντας ένα σοβαρό πλέον περιβαλλοντικό πρόβλημα.

Σε κάθε περίπτωση το οικονομικό αποτέλεσμα που προκύπτει από την πλήρη ανακύκλωση των φ/β πάνελ και την αξιοποίηση της μεγίστης εφικτής ποσότητας ανακτώμενων υλικών, με τα σημερινά δεδομένα, δεν επαρκούν για την κάλυψη των εξόδων που απαιτούνται για την συλλογή – μεταφορά – και την ολική ανακύκλωση αυτών, καθιστώντας μη βιώσιμη την οποιαδήποτε εγκατάσταση ανακύκλωσης, παρόλο που ο τελικός αγοραστής έχει πληρώσει το αντίστοιχο τέλος ανακύκλωσης το οποίο συμπεριλαμβάνεται στην τιμή πώλησης των φ/β πλαισίων.

Μέχρι και σήμερα η όποια προσπάθεια συλλογής και ανακύκλωσης πραγματοποιείται, περιορίζεται στην λειτουργία μεμονωμένων κέντρων συλλογής φ/β πλαισίων τα όποια προωθούν προς ανακύκλωση σε μονάδες έκτος Ελλάδος, όμως απαραίτητη προϋπόθεση γι' αυτό είναι ο φ/β συλλέκτης να είναι ακέραιος και μη παραμορφωμένος πράγμα που όπως φαίνεται δεν συμβαίνει όταν αναφερόμαστε σε καταστροφές από ανέμους και λοιπά ακραία καιρικά φαινόμενα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα εν λόγω κέντρα συλλογής δεν περισυλλέγουν τους φ/β συλλέκτες από τον χώρο των εγκαταστάσεων και αφήνουν την συλλογή τους στους ιδιοκτήτες, οι όποιοι υποχρεούνται να τα αποστείλουν σε αυτά, πράγμα που δεν συμβαίνει καθώς δημιουργείται μια σημαντική οικονομική δαπάνη η οποία επιβαρύνει τους ιδιοκτήτες.

Η εικόνα που επικρατεί στις διαφορές φ/β εγκαταστάσεις είναι οι φ/β συλλέκτες να βρίσκονται διάσπαρτα σκορπισμένοι στους χώρους των εγκαταστάσεων ή συσσωρευμένοι στην ύπαιθρο, εκτεθειμένοι στις καιρικές συνθήκες (Φωτ. Νο 1,2,3,4)



Φωτ. Νο 1&2 (Κατεστραμμένο φ/β tracker από ακραία καιρικά φαινόμενα)



Φωτ. Νο 3&4 (Κατεστραμμένο φ/β tracker από ακραία καιρικά φαινόμενα)

Είναι δεδομένο ότι στις περισσότερες γνωστές μεθόδους ανακύκλωσης στο Α' στάδιο προβλέπεται ο θρυμματισμός της φ/β πλάκας σε συγκεκριμένο μέγεθος θρύμματος , το γεγονός αυτό παράλληλα με τις προαναφερόμενες δυσκολίες συλλογής και μεταφοράς αυτούσιων φ/β πλαισίων (με τις όποιες παραμορφώσεις φέρουν), θα μπορούσε να προκύψει ένα σημαντικό οικονομικό όφελος (για τους λογούς που προαναφέραμε) εάν ο θρυμματισμός πραγματοποιείται στον χώρο συλλογής των φ/β πλαισίων.

Με την προτεινόμενη διαδικασία στις μονάδες τελικής επεξεργασίας – ανακύκλωσης θα καταλήγουν οι φ/β πλάκες σε μορφή θρύμματος οπού τις περισσότερες φορές (λόγω ανάμιξης θρυμματισμένου υλικού διαφόρων τύπων φ/β πλακών) δεν θα υπάρχει η πληροφόρηση των κατασκευαστικών στοιχείων των φ/β πλαισίων και αντίστοιχα για τα εμπεριεχόμενα σε αυτά υλικά κατασκευής .

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, διερευνήσαμε την δυνατότητα του ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού των υλικών που εμπεριέχονται στις φ/β πλάκες, (σε οποιαδήποτε διαθέσιμη μορφή

θρυμματοποιημένες ή ακέραιες) προκειμένου να γνωρίζουμε τι ανακυκλώνουμε (είδος υλικών, ποσότητα ανά είδος)

Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των περιεχόμενων στις φ/β πλάκες υλικών πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό επίπεδο στα εργαστήρια του Π.Κ. με την τεχνολογία φθορισμού ακτίνων Χ (στο σκάνερ ακτίνων Χ - SPECTRO XEPOS της AMETEK, με τεχνολογία ED-XRF) όπου ελέγχθηκαν επεξεργασμένα, απαλλαγμένα από το γυαλί και το υλικό επικάλυψης «EVA», προεπιλεγμένα δείγματα θρυμμάτων με συγκεκριμένη κοκκομετρία από φ/β πλάκες διαφόρων κατασκευαστών.

Η θρυμματοποίηση των δειγμάτων της φ/β πλάκας πραγματοποιήθηκε σε μηχάνημα το οποίο μελετήθηκε σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε (σε ημιβιομηχανική κλίμακα), στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας.

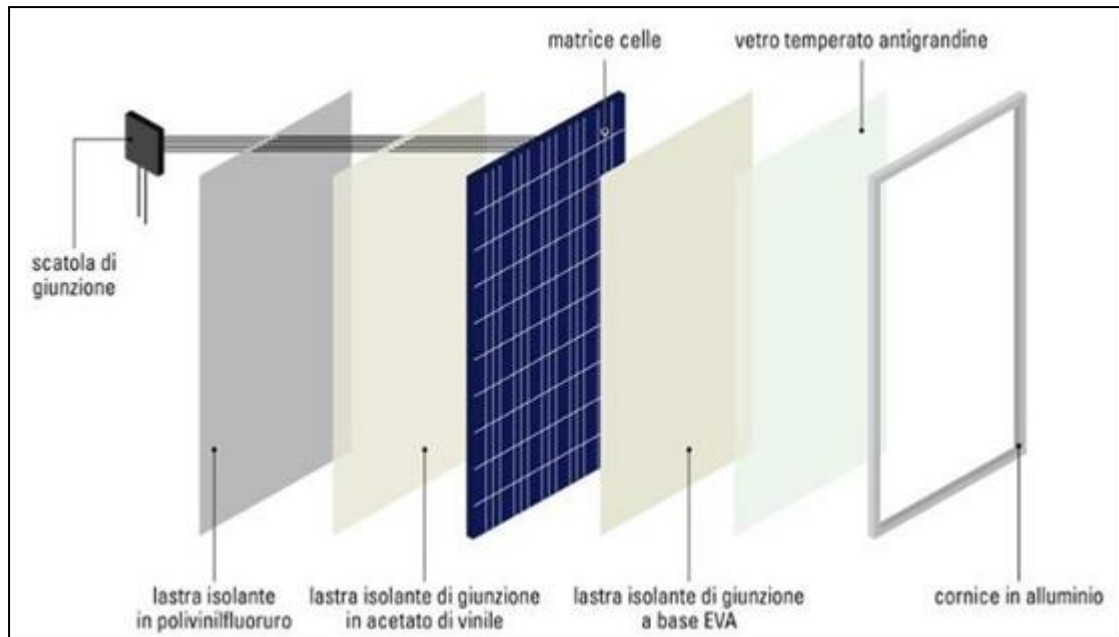
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΔΟΜΗ φ/β ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Για λόγους πληρότητας της παρούσας εργασίας και για την περεταίρω κατανόηση της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήσαμε μια σύντομη ανασκόπηση στην πιο συνήθη δομή ενός φ/β συλλέκτη.

Τα στρώματα που απαρτίζουν ένα φ/β συλλέκτη είναι τα ακόλουθα:

- Ένα διαφανές υλικό το οποίο συντελεί στην μηχανική προστασία των φ/β κυττάρων, το οποίο είναι γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο προκειμένου να εξασφαλίζεται μεγαλύτερη διαφάνεια (στο συγκεκριμένο υλικό διαπερνάται περίπου 91,5% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας).
- Ένα λεπτό στρώμα από Etilene Vinil Acetato (υποδεικνύεται με τη συντομογραφία EVA), το οποίο χρησιμοποιείται για την συγκόλληση των φ/β κυττάρων στην προαναφερόμενη γυάλινη επιφάνεια, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ηλεκτρική απομόνωση μεταξύ των κυττάρων.
- Ένα σύνολο (σύμπλεγμα) φωτοβολταϊκών κυττάρων, τα οποία διαμορφώνουν μια ενιαία επιφάνεια.
- Ένα δεύτερο στρώμα EVA μέσω του οποίου σταθεροποιούνται τα φ/β κύτταρα.
- Μία οπίσθια επιφάνεια στήριξης, που γενικά κατασκευάζεται από ένα μονωτικό υλικό με χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.
- Μια συνθετική επίστρωση χαμηλού κόστους επιτυγχάνεται με την χρήση του Polyvinyl fluoride (PVF), γνωστό στο εμπόριο ως Tedlar, καθόσον η απαιτήσεις μηχανικών αντοχών είναι χαμηλότερες συγκριτικά με εκείνες τις εμπρόσθιας επιφάνειας.
- Πλαίσιο από προφίλ αλουμινίου για την μηχανική προστασία, της φ/β πλάκας και την στήριξη των φ/β συλλεκτών στις αντίστοιχες βάσεις.



Εικόνα Νο 1.(Σχηματική δομή επιπέδων φ/β πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου)

Το «σάντουιτς» που δημιουργείται με την στρωματοποίηση των προαναφερόμενων υλικών, στην συνέχεια υποβάλλεται σε μια θερμική επεξεργασία, σε θερμοκρασιακό περιβάλλον περίπου 150 ° C, επιτυγχάνοντας έτσι την σφράγιση των συστατικών και της EVA (αρχικά ημιδιαφανής, η οποία γίνεται διάφανη). Ακολουθώντας την διαδικασία της συσσωματοποίησης των διαφόρων στρωμάτων τα συστατικά δεν μπορούν πλέον να διαχωριστούν, πράγμα που σημαίνει ότι αν ένα κύτταρο υποστεί ζημιά , δεν είναι εφικτή η επισκευή ή η αντικατάσταση του, αλλά απαιτείται η ολική αντικατάσταση του φ/β συλλέκτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανακύκλωση φ/β συλλεκτών

2.1 Αναγκαιότητα της ανακύκλωσης φ/β συλλεκτών

Η διαχείριση των φ/β συλλεκτών στο «τέλος ζωής» είναι απαραίτητη. Εάν όλοι αυτοί οι φ/β συλλέκτες καταλήξουν σε κάποια εγκατάσταση αποτέφρωσης αστικών απόβλητων, τα περιεχόμενα μέταλλα θα εξαεριοθούν και ένα ποσοστό αυτών θα διασκορπιστεί στην ατμόσφαιρα μέσω των εκπομπών από την καμινάδα του αποτεφρωτήρα. Εάν πάλι καταλήξουν σε δημοτικούς χώρους υγειονομικής ταφής υπάρχει κίνδυνος έκπλυσης τοξικών μετάλλων στο έδαφος. Η έκπλυσιμότητα των μετάλλων σε χώρους υγειονομικής ταφής προσδιορίζεται από δυο μεθόδους: την Αμερικανική μέθοδο EPA Toxicity Characterization Leachate Profile (TCLP) και την Γερμανική DEV S4. Σε περίπτωση που η συγκέντρωση του εξεταζόμενου μετάλλου υπερβαίνει τα καθορισμένα αποδεκτά όρια αυτών των 2 μεθόδων, τα φ/β πλαίσια πρέπει να ανακυκλώνονται ή να αντιμετωπίζονται ως επικίνδυνα απόβλητα. Τα φωτοβολταϊκά που έχουν ολοκληρώσει τον κύκλο ζωής τους θα πρέπει να συλλέγονται μέσω εξειδικευμένου δικτύου συλλογής και όχι μέσω των κλασικών δημοτικών συστημάτων συλλογής, όπου με βάση την εμπειρία καταλήγει λιγότερο από 1% των αποσυρόμενων φωτοβολταϊκών πλαισίων. Βασικός σκοπός της ανακύκλωσης των φ/β στοιχείων είναι η ανάκτηση για αξιοποίηση - επαναχρησιμοποίηση των βασικών υλικών κατασκευής των, προκειμένου να επιτευχθεί ένα σημαντικό οικονομικό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από το τέλος του κύκλου ζωής των φ/β συλλεκτών

Η μη ορθή διαχείριση των φ/β αποβλήτων (συλλογή και ανακύκλωση τους) και κατά συνέπεια η εγκατάλειψη τους στους υπαίθριους χώρους των εγκαταστάσεων έχει ως αποτέλεσμα την έκπλυση του εδάφους με βαρέα μέταλλα όπως το κάδμιο και ο μόλυβδος, καθώς επίσης έχουμε και απώλεια διαφόρων οικονομικά αξιόλογων υλικών όπως είναι, το ασημί, το ίνδιο, το γάλλιο και το γερμάνιο. Η έκπλυση του εδάφους με μόλυβδο από τα φ/β απόβλητα είναι αμελητέα καθώς η ποσότητα έκπλυσης στο περιβάλλον είναι στα 75 g - 510 g για κάθε τόνο φ/β συλλεκτών.

Παρόλα αυτά στον ανθρώπινο οργανισμό αλλά και σε διάφορους ζωικούς οργανισμούς ο μόλυβδος δύναται ανάλογα με τον βαθμό έκθεσης να επηρεάσει αρνητικά την λειτουργία του νευρικού συστήματος, των νεφρών, του ανοσοποιητικού καθώς επίσης τα συστήματα του καρδιαγγειακού και αναπαραγωγής, είναι γεγονός ότι τα οικοσυστήματα που βρίσκονται κοντά σε πηγές μόλυνσης που εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες μόλυβδου παρουσιάζουν απώλειες στην βιοποικιλότητα, μειωμένη ανάπτυξη και παραγωγή σε φυτά και ζώα.

Το κάδμιο συγκαταλέγεται μεταξύ των βαρέων μετάλλων με οξεία τοξικότητα αποδεδειγμένα καρκινογόνο με υψηλή δυναμικότητα συσσώρευσης στον άνθρωπο, με την βιολογική ημιζωή του να ανέρχεται στα 30 χρόνια.

2.2 Τέλος ζωής φ/β συλλεκτών

Η έννοια του «τέλους ζωής» των φ/β συλλεκτών σημαίνει ότι ο φ/β συλλέκτης για διάφορους λόγους έχει υποστεί σημαντική μείωση (κάτω από τα ελάχιστα αποδεκτά όρια) της παραγωγικής του ικανότητας ή έχει απολεσθεί πλήρως η παραγωγική ισχύς αυτού, όποτε ουσιαστικά είναι άχρηστο, παρόλο που μπορεί κατά τα λοιπά να διατηρείται άρτιο και ακέραιο.

2.3 Καταστροφή φ/β συλλεκτών πριν το προσδόκιμο τέλος ζωής

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη αναφορά στις βασικές αιτίες καταστροφής των φ/β συλλεκτών πριν το προσδοκώμενο τέλος ζωής αυτών.

2.3.1 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Μια από τις βασικότερες αιτίες καταστροφής φ/β συλλεκτών σήμερα, κυρίως σε φ/β εγκαταστάσεις σε ορεινές περιοχές όπου οι ριπαίοι άνεμοι >80 χλμ./ώρα, δημιουργούν υψηλές ανεμοπιέσεις με αποτέλεσμα να ρηγματώνεται το γυαλί των φ/β συλλεκτών και κατά συνέπεια να αποκολλάται η φ/β πλάκα από το πλαίσιο αλουμινίου. Ακόμα μια συνέπεια των υψηλών ανεμοπιέσεων στους φ/β συλλέκτες είναι η αποξήλωση τους αυτοτελώς από τις βάσεις στήριξης υπό μορφή «ντόμινο» συμπαρασυρόμενοι από τον άνεμο.

2.3.2 Κατασκευαστικά ελαττώματα

Άλλη μια αιτία καταστροφής είναι τα συχνά θα λέγαμε κατασκευαστικά ελαττώματα που συνήθως εμφανίζονται από τους πρώτους μήνες λειτουργίας των φ/β εγκαταστάσεων, φ/β συλλέκτες που εμφανίζουν τέτοιου είδους πλατώματα συνήθως αποστέλλονται στον προμηθευτή για αντικατάσταση, στα πλαίσια των παρεχόμενων εγγυήσεων.

Σύμφωνα όμως με ερευνά που πραγματοποιήσαμε, εξαίρεση από τα παραπάνω αποτελεί συγκεκριμένη μάρκα και τύπος φ/β συλλεκτών στα οποία το κατασκευαστικό ελάττωμα εκδηλώνεται, μετά τα πρώτα 3 χρόνια λειτουργίας αυτών, και εμφανίζεται με την διακοπή συνέχειας των ηλεκτρικών αγωγών, του φ/β κύτταρου σε ποσοστό μέχρι και 90 % των εγκατεστημένων φ/β συλλεκτών.

Οι παραπάνω φ/β συλλέκτες, χρήζουν αντικατάστασης καθόσον εμφανίζουν σημαντική μείωση της παραγωγικής τους ικανότητας.

2.3.3 Βραχυκύκλωμα

Ηλεκτρικές δυσλειτουργίες & βραχυκυκλώματα συνήθως εντοπίζονται στα κουτιά (junction box) τελικής σύνδεσης των ηλεκτρικών κυκλωμάτων των διαφόρων φ/β κύτταρων και των εξωτερικών καλωδιώσεων κάθε φ/β συλλέκτη, με επακόλουθο την καταστροφή αυτού ενώ συχνά συμπαρασύρονται σε καταστροφή και οι υπόλοιποι φ/β συλλέκτες της ίδιας στοιχειοσειράς.

2.3.4 hot-spot effect

Το Φαινόμενο μαύρων κηλίδων (hot – spot effect) είναι κάποιες ατέλειες που μπορούν να εμφανιστούν κατά τη λειτουργία των φ/β συλλεκτών υπό κανονικές συνθήκες και να επηρεάσουν την ενέργεια που παράγεται.

Όπως έχει εξακριβωθεί το φαινόμενο των μαύρων κηλίδων μπορεί να εμφανιστεί από αστοχία υλικού ενός από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που απαρτίζουν ένα φ/β συλλέκτη, από λανθασμένη σύνδεση της πολικότητας των στοιχείων ή από μερική σκίαση. Πάντως και στις τρεις περιπτώσεις τα αποτελέσματα είναι ακριβώς τα ίδια, δηλαδή οδηγούμαστε στην υπερθέρμανση των “ελλαττωματικών” φωτοβολταϊκών στοιχείων και τελικά στην ολική τους καταστροφή.

2.3.5 Κεραυνικά φαινόμενα

Κεραυνικά πλήγματα άμεσα ή έμμεσα στα μεταλλικά στοιχεία στήριξης των φ/β συλλεκτών ή στα δίκτυα της ΔΕΗ τα οποία άγονται ως κρουστικές υπερτάσεις στους φ/β συλλέκτες. παρόλο ότι γενικά στις εγκαταστάσεις αυτού του είδους τοποθετούνται υπερτασικές ασφαλιστικές διατάξεις.

2.3.6 Μείωση της αντίστασης μόνωσης της φ/β πλάκας

Έχει διαπιστωθεί, ότι ύστερα από σχετικά σύντομο διάστημα λειτουργίας φ/β συλλεκτών εμφανίζονται ζημιές στην στοιβάδα TCO ορισμένων μονάδων λεπτής στοιβάδας (TCO: Transparent Conductiv Oxide).

Η βλάβη αυτής της ηλεκτρικά αγωγίμης στοιβάδας στην εσωτερική πλευρά του προστατευτικού κρυστάλλου η οποία δεν επιδιορθώνεται και κατά συνέπεια παρουσιάζεται διαρροή ηλεκτρικών φορτίων (RISO) επιφέροντας σημαντικές απώλειες στην απόδοση σε ολόκληρη την στοιχειοσειρά στην όποια είναι συνδεδεμένο το ζημιωμένο φ/β πλαίσιο. Η διάβρωση TCO προκαλείται συνήθως στο περιθώριο της φωτοβολταϊκής μονάδας κατά την αντίδραση της υγρασίας με το νάτριο που περιέχει το προστατευτικό κρύσταλλο.

- Όλες οι προαναφερόμενες περιπτώσεις βλαβών και ελαττωμάτων εντοπίζονται, είτε με γυμνό οφθαλμό είτε με τον έλεγχο μετρήσεων (τάσης, έντασης, αντίστασης μόνωσης κ.λπ.) οδηγούν στην ολική καταστροφή του φ/β συλλέκτη, και δημιουργούν μια απρόβλεπτη ποσότητα φ/β συλλεκτών για ανακύκλωση πριν από το αναμενόμενο φυσιολογικό «τέλος ζωής» αυτών.

2.3.7 Διάφορες άλλες αιτίες καταστροφής των φ/β πλαισίων

Εκτός από τις παραπάνω κατασκευαστικών ελαττωμάτων και βλαβών υπάρχουν και άλλες οι οποίες εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα. όπως οι φυσαλίδες, οι ρωγμές, οι γραμμές ή οι κηλίδες στα κύτταρα, τα ελαττώματα στην αντιανακλαστική επίστρωση, η αποκόλληση του σκελετού του πλαισίου.

Πέραν των προαναφερόμενων βλαβών που αποτελούν και την βασική αιτία καταστροφής των φ/β συλλεκτών, εμφανίζονται και βλάβες οι οποίες δεν εντοπίζονται άμεσα (με γυμνό οφθαλμό ή συνήθη έλεγχο μετρήσεων, όπως η τριχοειδής ρηγμάτωση της κρυσταλλικής επικάλυψης της φ/β πλάκας η οποία δημιουργείται και επιδεινώνεται συνεχώς από τις ανεμοπιέσεις με αποτέλεσμα την ολική καταστροφή του φ/β συλλέκτη

βλάβες οι οποίες δεν είναι ορατές εκ πρώτης όψεως και για τον εντοπισμό αυτών απαιτείται ειδική διαδικασία και εξοπλισμός.

Στην συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή μιας εκ των διαδικασιών για τον εντοπισμό ζημιών (όπως οι παραπάνω) οι οποίες επιφέρουν σημαντική μείωση της αποδόσεις των φ/β συλλεκτών σε φ/β πλαίσια με μειωμένη απόδοση, η μέθοδος του υπεριώδους φθορισμού.

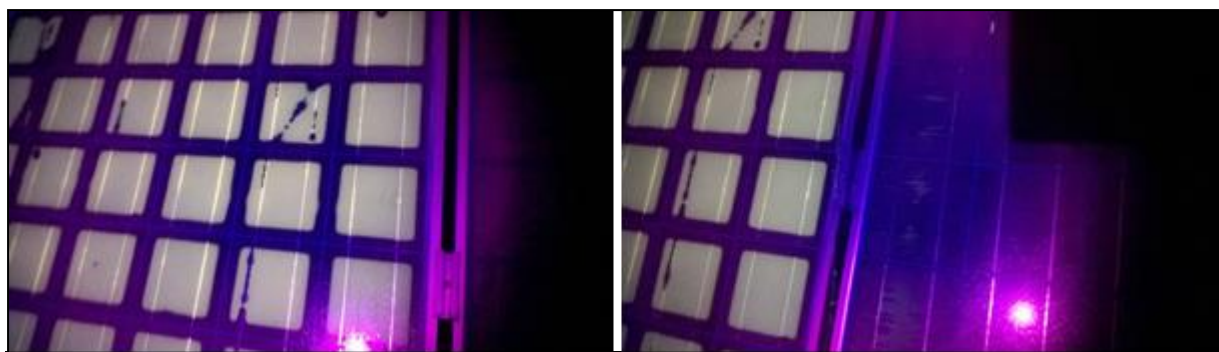
2.3.8 Μέθοδος εντοπισμού βλαβών με υπεριώδη φθορισμό

Η μέθοδος υπεριώδους φθορισμού συνίσταται στην εξέταση των φ/β κυψέλων με ακτίνες UV, ο έλεγχος αυτός στηρίζεται στο γεγονός ότι κατά το χρόνο δημιουργίας των μικρορωγμών (microcraks) στα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν παρατηρούνται φαινόμενα φθορισμού στην ενθυλάκωση, στην συνέχεια όμως εξαιτίας των κλιματολογικών παραγόντων και των συνθηκών λειτουργίας λίγους μήνες μετά παρατηρείται στο άνω στρώμα της φ/β πλάκας το φαινόμενο του φθορισμού με την επίδραση των ακτίνων UV.^[3]

Ο απλός φθορισμός, ή φθορισμός συνήχησης, ή α' είδους, λέγεται εκείνος κατά τον οποίο μια ουσία φωτιζόμενη από μια φωτεινή δέσμη εκπέμπει ακτινοβολία του ίδιου μήκους κύματος με την ακτινοβολία που απορροφά από την δέσμη.

Καθώς η υγρασία και το οξυγόνο μπορούν να διεισδύσουν στις κυψέλες μέσω του πολυμερούς οπίσθιου φύλλου (Tedlar) λόγω των μικρορωγμών, ο φθορισμός αφομοιώνεται, με την πάροδο του χρόνου έκθεσης, αυξάνεται η περιοχή του εγκλεισμού του οξυγόνου, με αποτέλεσμα οι περίμετροι γύρω από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα να είναι “σκοτεινοί” κατά την έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, επειδή ο επαγόμενος φθορισμός στο πολυμερές καταστέλλεται ταχέως από τα υπάρχοντα μόρια οξυγόνου.

Η παραπάνω μέθοδος μας δίνει την δυνατότητα εντοπισμού μαύρων περιοχών στην φ/β πλάκα οι οποίες υποδηλώνουν την αποσύνδεση την συγκεκριμένης περιοχής από την υπόλοιπη πλάκα εξαιτίας μικρορωγμών «microcracks».^[3]



Εικόνα Νο 2&3 (Μέθοδος υπεριώδους φθορισμού)



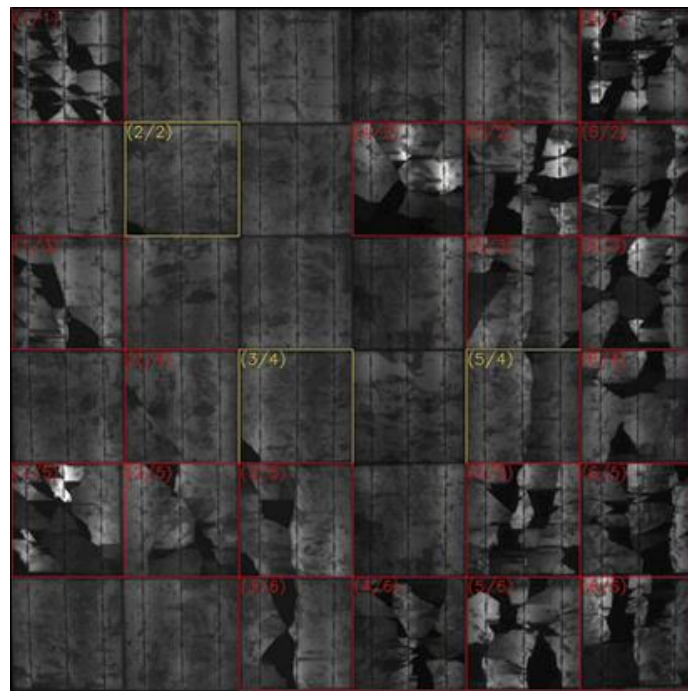
Εικόνα Νο 4. (Απεικόνιση της διάβρωσης και των μικρό-ρωγμών (micro-cracks) με χρήση υπεριώδους φθορισμού)

2.3.9 Μέθοδος ηλεκτροφωταύγειας

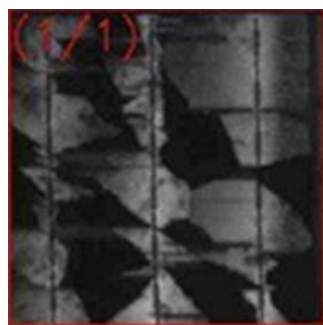
Το τεστ ηλεκτροφωταύγειας αποτελεί την «τεχνολογία αιχμής» σε ό,τι αφορά των έλεγχο των φωτοβολταϊκών κυψελών – πλαισίων. Ο έλεγχος αυτός στηρίζεται στην ιδιότητα των φωτοβολταϊκών κυψελών να ακτινοβολούν υπό την επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος, αυτό συμβαίνει εξαιτίας του εισαγωγίμου υλικού που κατασκευάζονται οι φ/β πλάκες, καθώς εφαρμόζοντας διάφορα δυναμικού στα άκρα ενός φ/β γίνεται μια αναδιάταξη ηλεκτρονίων, λόγω του ότι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που εισέρχονται στην

φ/β πλάκα έχουν μεγαλύτερη ενέργεια από αυτά των δεσμών στην κρυσταλλική δομή κάποιου από τους δεσμούς σπάνε, με αποτέλεσμα να αφήνουν «οπές» οι οποίες καλύπτονται από τα εισερχόμενα ηλεκτρόνια υψηλότερης ενέργειας από αυτήν των δεσμών με αποτέλεσμα η διάφορα ενέργειας να εκπέμπεται υπό μορφή θερμότητας η ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Βασιζόμενοι στην παραπάνω ιδιότητα μπορούμε να εντοπίσουμε μικρορωγμές στα φ/β πλαίσια ή άλλα κατασκευαστικά και μη ελαττώματα .^[3]

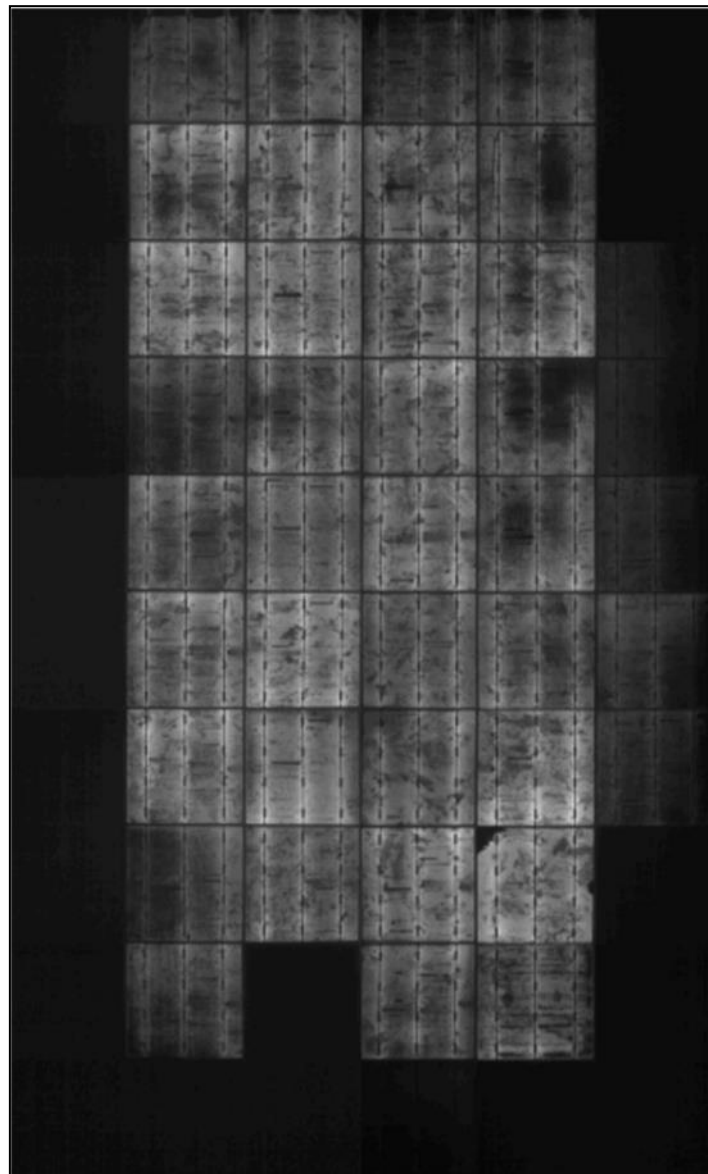


Εικόνα Νο 5. (Απεικόνιση μέρους φωτοβολταϊκού πλαισίου με μικρορωγμές με την μέθοδο της ηλεκτροφωταύγειας)



Εικόνα Νο 6. (Απεικόνιση φωτοβολταϊκής κυψέλης με μικρορωγμές με την μέθοδο της ηλεκτροφωταύγειας)

Οι μαύρες περιοχές των φωτοβολταϊκών κυψελών στο τεστ ηλεκτροφωταύγειας οφείλονται στην ηλεκτρική αποσύνδεση του συγκεκριμένου μέρους της κυψέλης συνήθως λόγω μικρό- ρωγμών και αποτελούν βλάβη, ακόμα οι περιοχές αυτές των φωτοβολταϊκών πλαισίων στο τεστ ηλεκτροφωταύγειας μπορεί να οφείλονται και στην ηλεκτρική αποσύνδεση της συγκεκριμένης κυψέλης λόγω αστοχίας διασύνδεσης (κατασκευαστικό ελάττωμα), είτε στο PID φαινόμενο, όπου έχουμε διαρροή ηλεκτρικού ρεύματος γεγονός που αποτελεί επίσης μια σημαντική βλάβη που οδηγεί σε μειωμένη απόδοση της φ/β πλάκας.



Εικόνα Νο 7. (Απεικόνιση φωτοβολταϊκού πλαισίου με PID με την μέθοδο της ηλεκτροφωταύγειας)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Συστήματα και μέθοδοι θρυμματισμού

Στο τρέχον κεφάλαιο θα εξετάσουμε τα διάφορα είδη θραυστήρων που υπάρχουν στην αγορά για την θρυμματοποίηση – τον τεμαχισμό πλαστικού, γυαλιού, χαρτιού και άλλων ανακυκλώσιμων υλών, καθώς στις περισσότερες μονάδες ανακύκλωσης αποτελεί ένα από τα πρωταρχικά και κυριότερα στάδια για την περεταίρω επεξεργασία των ως προς ανακύκλωση στοιχείων.

Η επιλογή του τεμαχιστή ή αλλιώς θραυστήρα εξαρτάται από τις απαιτούμενες ιδιότητες του προϊόντος όπως για παράδειγμα στην ανακύκλωση πλαστικών χρησιμοποιούνται τεμαχιστές με κόπτες, ενώ στην ανακύκλωση πιο ψαθυρών υλικών, στα οποία θέλουμε παραγωγή λεπτόκοκκου προϊόντος της τάξης των 2-3mm, χρησιμοποιούνται μύλοι σφυρηλάτησης ή σφυρηλασίας (σφυρόμυλοι).

Στην συνέχεια θα εξετάσουμε την επομένη φάση του προϊόντος μετά τον θρυμματισμό που είναι εκείνη του κοσκινίσματος και η διαδικασία του διαχωρισμού. Οι τρεις αυτές διαδικασίες βρίσκονται σχεδόν σε όλες τις μονάδες ανακύκλωσης οποιουδήποτε προϊόντος πλαστικού, ελαστικού ή άλλου. Ο λόγος για τον οποίο γίνεται διερεύνηση αυτών των διαδικασιών είναι γιατί οι εν λόγω διαδικασίες σε μεγάλο μέρος τους είναι κοινές και στην ανακύκλωση φ/β. ^{[4],[5]}

3.1 Θραυστήρες κρούσης

Στους θραυστήρες κρούσης τα αντικείμενα - υλικά προς τεμαχισμό προσκρούουν σε μια ακίνητη ειδικά διαμορφωμένη επιφάνεια και τεμαχίζονται.

Αναλυτικότερα τα υλικά εισέρχονται στον χώρο θραύσης όπου περιστρέφονται συμπαρασυρόμενα από τον περιστρεφόμενο άξονα (ο οποίος φέρει ειδικά διαμορφωμένα ελάσματα κρούσης) και εκσφενδονίζονται με μεγάλη ταχύτητα στις ακίνητες πλάκες – σχάρες όπου προσκρούόμενα τεμαχίζονται, τα τεμαχισμένα τμήματα των αντικειμένων παραμένουν περιστρεφόμενα στον κύλινδρο μέχρι να διαμορφωθούν στο κατάλληλο μέγεθος προκειμένου να εξέλθουν από τις οπές της προαναφερόμενης σχάρας . Το μέγεθος του θρύμματος εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του κυλίνδρου, τον χρόνο παραμονής στον θραυστήρα άλλα κυρίως από

το μέγεθος των οπών της σχάρας του θραυστήρα που καθορίζουν και το ζητούμενο μέγεθος θρύμματος.

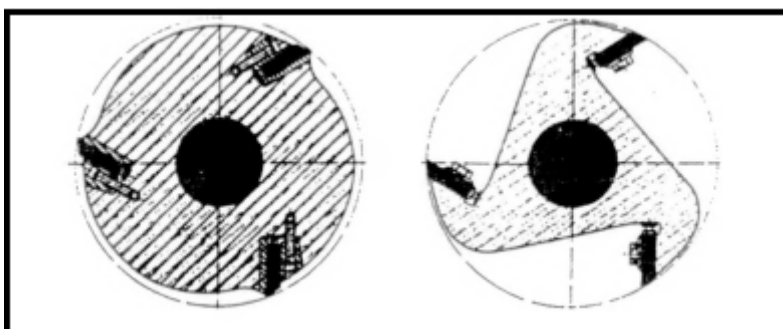


Εικόνα Νο 8. (Θραυστήρας Κρούσης)

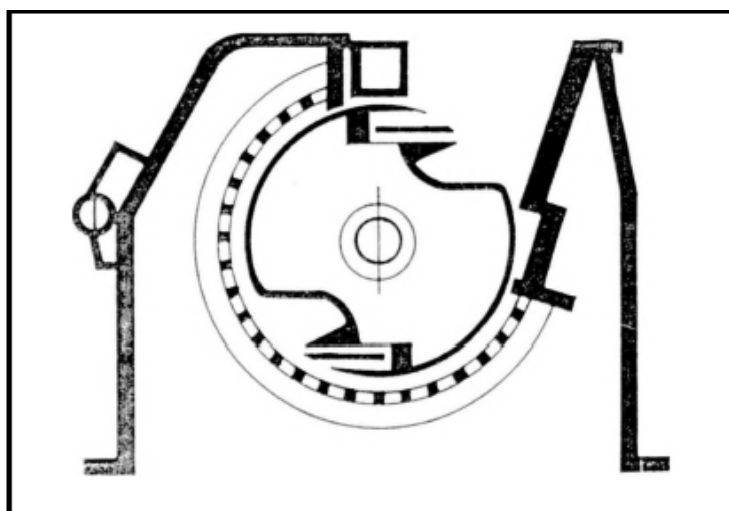
3.2 Θραυστήρας με κοπτήρες

Ο τεμαχισμός των εισερχόμενων αντικειμένων - υλικών επιτυγχάνεται από μαχαιριά «κοπτήρες» τα οποία είναι ενσωματωμένα στον περιστρεφόμενο κύλινδρο - άξονα κινούμενα με μεγάλη ταχύτητα. Το μέγεθος του θρύμματος καθορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής και διαχωρίζεται (με διαβάθμιση) από το αντίστοιχο κόσκινο το οποίο είναι εγκατεστημένο στην εξόδου του θαλάμου θρυμματισμού.

Κατά των τεμαχισμό φύλλων οι αφρωδών υλικών απαιτείται η εγκατάσταση συστήματος απορρόφησης του θρύμματος με σκοπό οι οπές του κόσκινου να παραμένουν ανοικτές ενώ απαιτείτε ακόμα μια προσαρμογή των κοπτικών εξαρτημάτων τα οποία στους περισσότερους θραυστήρες διαφοροποιούνται ανάλογα το είδος των αντικειμένων - υλικών τα οποία θέλουμε να τεμαχίσουμε. Στην παρακάτω φωτογραφική απεικόνιση σχεδίων αποτυπώνονται δυο τυπολογίες κοπτήρων, καθώς επίσης και η σχηματική τομή ενός θραυστήρα με κοπτήρες, σε πλήρη συγκρότηση. [4],[5]

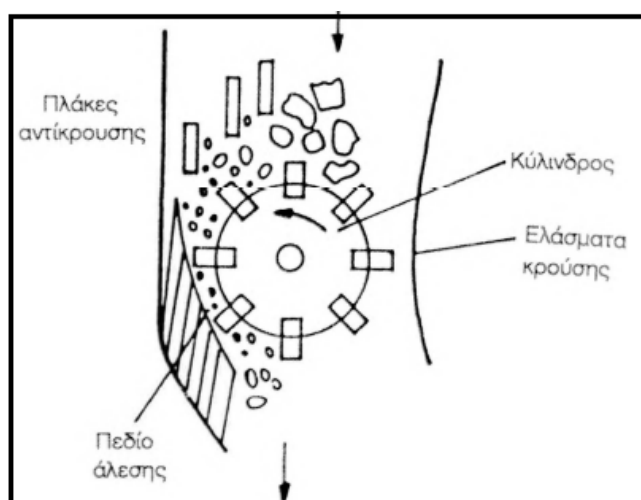


Εικόνα Νο 9. (Κοπτήρας με τρείς κοπτικές αιχμές)



Εικόνα Νο 10. (Κοπτήρας με δύο κοπτικές αιχμές)

Στην συνέχεια απεικονίζεται ο συνδυασμός των προαναφερόμενων ειδών θραυστήρα ως είναι ένας θραυστήρας που περιλαμβάνει τρία βασικά μέρη , το πεδίο κρούσης, το πεδίο άλεσης και το κόσκινο.



Εικόνα Νο 11. (Συνδυασμός σφυρόμυλου και θραυστήρα με κοπτήρες)

3.3 Κοσκίνισμα

Λόγω της ιδιαιτερότητας της κατασκευής του θραυστήρα που πραγματοποιήθηκε στην εν λόγω εργασία δεν θα επεκταθούμε ιδιαίτερα στην διαδικασία του κοσκινίσματος καθώς ο θραυστήρας που κατασκευάστηκε, όπως περιγράφεται στην συνέχεια, είναι ένας θραυστήρας δύο αξόνων με κοπτήρες οι όποιοι εκ κατασκευής έχουν πολύ μικρό διάκενο μεταξύ τους με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν – θρύμμα να ανταποκρίνεται στην απαιτούμενη κοκκομετρία. Επίσης, επειδή η διαδικασία που ακολουθήθηκε είχε ως σκοπό την διερεύνηση των εμπεριεχομένων στοιχείων στις φ/β πλάκες και όχι την ανακύκλωση αυτών, η διαδικασία του κοσκινίσματος, για μέρος του θρύμματος διαφορετικού μεγέθους από το μέγεθος της προεπιλεγμένης κοκκομετρίας, δεν κρίθηκε απαραίτητη.

Ο βασικός σκοπός της διαδικασίας του κοσκινίσματος είναι ο διαχωρισμός του θρύμματος με βάση την τάξη μεγέθους που έχουμε ορίσει ανάλογα με την διαδικασία που θέλουμε να ακολουθήσουμε στην συνέχεια. Συνήθως, το κοσκίνισμα πραγματοποιείται σε διάτρητες δονούμενες επίπεδες επιφάνειες, η αντίστοιχα διάτρητους περιστρεφόμενους κυλίνδρους από τις όποιες διέρχονται τα θρύμματα του εκάστου στοιχείου και διαχωρίζονται με βάση το μέγεθος των οπών του κόσκινου οι όποιες καθορίζουν το μέγεθος του διερχόμενου θρύμματος. [4],[5]

3.4 Διαχωρισμός

Επόμενο στάδιο του κοσκινίσματος είναι ο διαχωρισμός των θρυμματοποιημένων στοιχείων με σκοπό την περεταίρω ανάκτηση αυτών, στα πειράματα που διεξήχθησαν στην εν λόγω διατριβή ο διαχωρισμός για λογούς ευκολίας, και της μικρής κατά τα λοιπά ποσότητας δειγμάτων έγινε χειρωνακτικά επομένως δεν θα δοθεί περεταίρω έκταση.

3.5 Μελέτη-σχεδίαση & κατασκευή θραυστήρα ημιβιομηχανικής κλίμακας

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε (προκειμένου να έχουμε την δυνατότητα θρυμματοποίησης των διαφόρων δειγμάτων) ένας θραυστήρας ημιβιομηχανικής κλίμακας, εμπνευσμένος από τους μεγαλύτερου μεγέθους θραυστήρες που χρησιμοποιούνται ευρέως σε μονάδες ανακύκλωσης –

σκραπ, προσαρμοσμένος για την θρυμματοποίηση φ/β πλάκας (συγκεκριμένα τμήμα φ/β πλάκας συγκεκριμένου μεγέθους), και άλλων παρόμοιων, μικρού μεγέθους ηλεκτρονικών συσκευών και εξαρτημάτων.



Φωτ. Νο 5. (Τελική μορφή θραυστήρα)

3.5.1 Επιμέρους στοιχεία – μέρη του θραυστήρα:

- 1) **Το σασί** - μεταλλική κατασκευή στήριξης των διαφόρων τμημάτων και εξαρτημάτων αυτού.
- 2) **Μηχανισμό θρυμματοποίησης** - ο οποίος αποτελείται από μια σειρά ομαδοποιημένων ειδικά διαμορφωμένων κοπτικών εργαλείων (κοπτικός δίσκος) τα οποία συναρμολογούνται σε 2 αντίστροφα περιστρεφόμενους άξονες με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα πραγματοποιώντας τον θρυμματισμό κάθε υλικού που διέρχεται μεταξύ των δίσκων κατά την περιστροφή αυτών.



Φωτ. Νο 6. (Μηχανισμός θρυμματισμού – κοπτικοί δίσκοι 4 αιχμών)

- 3) Τον ηλεκτροκινητήρα – ο οποίος είναι ένας μονοφασικός ηλεκτροκινητήρας 1,5 ίππου και 1400 rpm/min.



Φωτ. Νο 7. (Τεχνικά χαρακτηριστικά ηλεκτροκινητήρα)

- 4) Τον μειωτήρα στροφών - χρησιμοποιήθηκε ένας γραμμικός μειωτήρας στροφών με σχέση μείωσης 30:1.



Φωτ. Νο 8. (Μειωτήρας στροφών)

5) Τους μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης

Η μετάδοση κίνησης από τον άξονα του μειωτήρα στον βασικό άξονα περιστροφής των κοπτικών δίσκων πραγματοποιείται με την χρήση κλειστής αλυσίδας και των αντίστοιχων οδοντωτών τροχών (αλυσοτροχούς) με σχέση 1:1, ενώ η μετάδοση κίνησης από τον βασικό άξονα στον δευτερεύοντα αντίστροφα περιστρεφόμενο άξονα πραγματοποιείται με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών ($Z=52$ Module 2.5).



Φωτ. Νο 9. (Σύστημα μετάδοσης κίνησης)

- 6) Δοχείο συλλογής θρυμματισμένου υλικού – το οποίο είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα.



Φωτ. Νο 10. (Δοχείο συλλογής θρυμματισμένου υλικού)

3.5.2 Ιστορικό - στάδια κατασκευής

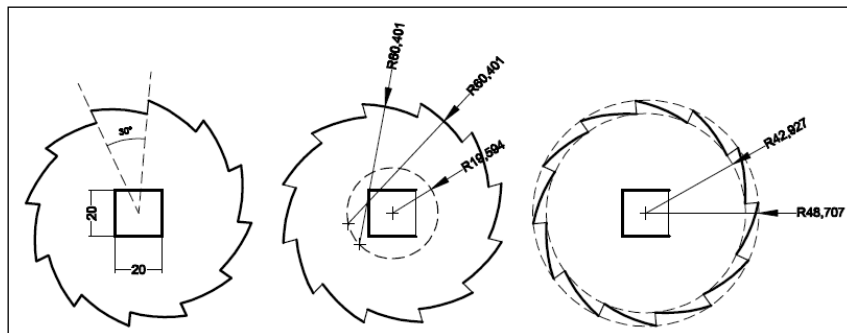
Η πορεία της σχεδίασης και της κατασκευής μέχρι το τελικό «προϊόν» περιλαμβάνει δύο διαφορετικές κατασκευές με αρκετές τροποποιήσεις, η πρώτη ιδέα ήταν η χρήση ενός κοπτικού με τέσσερις κοπτικές ακμές όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία με το οποίο



Φωτ. Νο 11. (Κοπτικός δίσκος 4^{ων} αιχμών και αποστάτης αυτού)

όμως δεν επετεύχθη το ζητούμενο αποτέλεσμα λόγω της ελαστικότητας της φ/β πλάκας.

Στην συνέχεια, τροποποιήσαμε τον μηχανισμό θρυμματοποίησης (μείωση μήκους αξόνων) και τοποθετήσαμε σε αυτούς 3 διαφορετικές ομάδες κοπτικών δίσκων Α-Β-Γ των οποίων οι θέσεις των κοπτικών απολήξεων, διαμορφωμένες στην εξωτερική περίμετρο του κοπτικού δίσκου είναι ισοκατανεμημένες

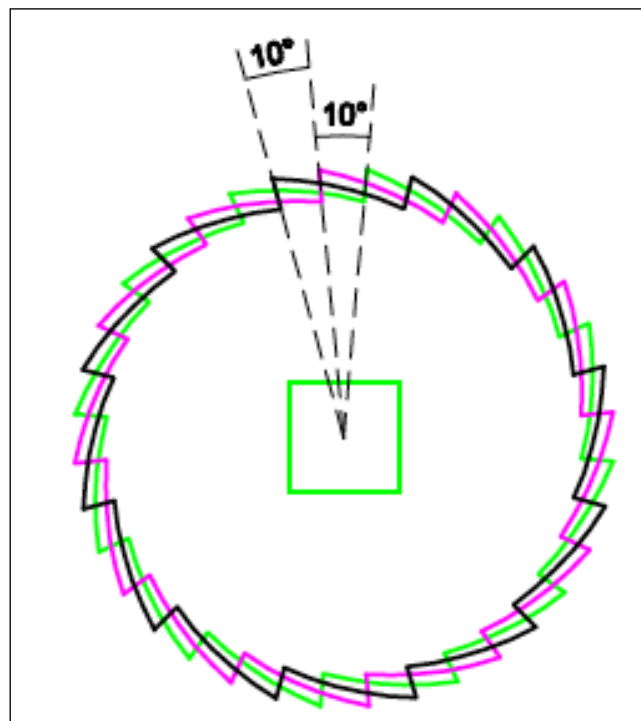


Εικόνα Νο 12. (Νέοι κοπτήρες)

έτσι ώστε όταν διαταχθούν στους άξονες του θραυστήρα με την επαναλαμβανομένη διάταξη (Α-Β-Γ-Α-Β-Γ κ.λπ.) τότε, μεταξύ του προηγούμενου και του επομένου σε σειρά δίσκου οι αντίστοιχες κοπτικές αιχμές να διαφέρουν μεταξύ τους κατά 10 μοίρες (με σταθερό το σημείο προσαρμογής τους στον περιστρεφόμενο άξονα), έτσι οι αντίστοιχες κοπτικές απολήξεις των κοπτικών δίσκων σχηματίζουν ένα έλικα (με χαρακτηριστικό βήμα 16 cm/ολική περιστροφή έλικα).

Ενδιάμεσα των κοπτικών δίσκων τοποθετούνται μεταλλικοί δίσκοι κυκλικού σχήματος με λεία την επιφάνεια της περιμέτρου, οι όποιοι περιστρέφονται ελευθέρα επάνω στον άξονα συναρμογής. Οι παραπάνω δίσκοι έχουν διάμετρο ίση με αυτήν της εσωτερικής περιφέρειας των κοπτικών αιχμών, και τοποθετούνται ως αποστάτες των κοπτικών δίσκων, έτσι στο διάκενο που δημιουργείται ενθυλακώνεται ο αντίστοιχος κοπτικός δίσκος του έτερου περιστρεφόμενου άξονα.

Σημειώνουμε, ότι η επιλογή του τετράγωνου προφίλ της διατομής του άξονα των κοπτικών δίσκων κατ το μήκος προσαρμογής αυτών, έγινε για λόγους κατασκευαστικής ευκολίας στην κατασκευή των κοπτικών δίσκων, (κοπή λαμαρίνας με πλάσμα).



Εικόνα Νο 13. (Νέοι κοπτήρες τυπολογίες Α-Β-Γ με διαφορετικά χρώματα)



Φωτ. Νο 12. (Νέος κοπτικός δίσκος και αποστάτης αυτού στην τελική τους μορφή)

Ενώ όμως είχαμε λύσει το πρόβλημα της τυπολογίας των κοπτικών δίσκων έμενε να χρησιμοποιήσουμε τον κατάλληλο ηλεκτροκινητήρα, του οποίου η ισχύς και ο αριθμός των στροφών θα μπορούσαν να θρυμματοποιήσουν τα δείγματα. Έτσι, στην αρχή δοκιμάστηκε τριφασικός κινητήρας ισχύος 0.75 HP/1500 rpm, με γωνιακό μειωτήρα στροφών με σχέση μετάδοσης 18:1 ήτοι 83 rpm στον άξονα εξόδου. Ο σχετικά μικρός αριθμός στροφών επιλέχτηκε για την αποφυγή δημιουργίας σημαντικών δονήσεων - κραδασμών κατά την διάρκεια λειτουργίας του θραυστήρα.

Κατά την διάρκεια των δοκιμών χρησιμοποιώντας διαφορετικά είδη Φ/β πλάκας διαπιστώσαμε ότι σε πολλές περιπτώσεις δεν υπήρχε επάρκεια ισχύος για την θρυμματοποίηση όλων των ειδών των φ/β πλακών που χρησιμοποιήσαμε, με αποτέλεσμα την αδυναμία περιστροφής των κοπτικών δίσκων.

Στην συνέχεια, δοκιμάστηκε στον ίδιο κινητήρα διαφορετικός μειωτήρας με σχέση μετάδοσης 30:1 ήτοι 47 rpm στον άξονα εξόδου με σκοπό την αύξηση της ροπής στους άξονες περιστροφής των κοπτικών δίσκων, όμως δεν επετεύχθη το ζητούμενο αποτέλεσμα καθώς η πολυστρωματική δομή της φ/β πλάκας παρουσίαζε ιδιόζουσα συμπεριφορά στην θρηματοποίηση με αποτέλεσμα να μαγκώνει εντός των κοπτικών δίσκων όποτε και ο θραυστήρας έπρεπε να αποσυναρμολογηθεί για την αφαίρεση αυτής.

Μετά τις παραπάνω αστοχίες καταλήξαμε στην χρήση ενός μονοφασικού (για ευκολία χρήσης εντός του εργαστηρίου CAD καθώς δεν υπήρχε τριφασικό ρεύμα διαθέσιμο) ηλεκτροκινητήρα 1,5 HP/1400 rpm με γραμμικό (παράλληλων αξόνων) μειωτήρα με σχέση μετάδοσης 30:1 ήτοι 47 rpm στον άξονα εξόδου ήτοι 47 rpm στους περιστρεφόμενους άξονες των κοπτικών δίσκων.

Ο προαναφερόμενος ηλεκτροκινητήρας με τον τελικά επιλεγθέντα μειωτήρα, παρείχε επαρκή ισχύ για την θρυμματοποίηση κάθε τύπου φ/β πλάκας (από τα διαθέσιμα εξεταζόμενα δείγματα). Κατά την σχεδίαση και κατασκευή του εν λόγω θραυστήρα έχει γίνει πρόβλεψη για την τοποθέτηση διαφορετικών κοπτικών δίσκων (όμοιας τυπολογίας διαφορετικού πάχους και διαφορετικού βήματος έλικας) έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα της διαφοροποίησης του μεγέθους του παραγόμενου θρύμματος, καθώς και της θρυμματοποίησης διαφόρων άλλων υλικών όπως ηλεκτρονικών συσκευών (σκληρών δίσκων, πλακετών κ.λπ.) για οποιαδήποτε μελλοντική χρήση χωρίς να απαιτείται μετατροπή στην βασική δομή του θραυστήρα.



Φωτ. Νο 13,14,15,16 . (Στάδια κατασκευής του θραυστήρα)

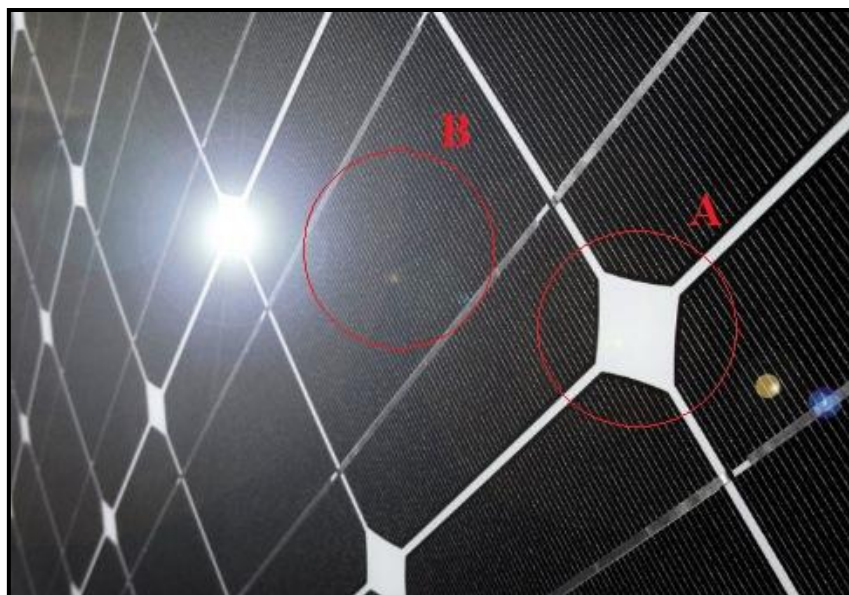
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Επιλογή δείγματος προς εξέταση

Η δειγματοληψία είναι η σημαντικό στάδιο της πειραματικής διερεύνησης των περιεχόμενων υλικών στις φ/β πλάκες,

Για την αντικειμενικότητα των αποτελεσμάτων των πειραμάτων ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η επιλογή του δείγματος (τμήμα της φ/β πλάκας) που χρησιμοποιήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων στην παρούσα εργασία, ειδικότερα ο προσδιορισμός της περιοχής της φ/β πλάκας που επιλέγεται, προκειμένου να ληφθεί το δείγμα των πειραμάτων έτσι ώστε να εκπροσωπεί το σύνολο της φ/β πλάκας και όχι μεμονωμένες περιοχές αυτής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω είναι το εξής, σκεφτείτε την επιλογή δείγματος από μια περιοχή της φ/β πλάκας όπου υπάρχουν “ματίσεις” (σημεία παράλληλης σύνδεσης των κυψελών) του συγκολλημένου κυκλώματος χαλκού σε αυτήν, προφανώς η εν λόγω περιοχή θα παρουσιάσει μεγαλύτερη ποσότητα χαλκού από μια άλλη περιοχή του φ/β πάνελ όπου η φ/β πλακά είναι «καθαρή» (όπως είναι εμφανές στην παρακάτω εικόνα)



Φωτ. Νο 16. (Τμήμα φ/β πλάκας)

Στην παραπάνω εικόνα είναι πλέον εμφανές ότι για να έχουμε ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για τα εμπεριεχόμενα στοιχεία στην εν' λόγω φ/β πλάκα πρέπει να επιλέξουμε την περιοχή Β έναντι της περιοχής Α του φ/β πάνελ για τους λόγους που προαναφέρουμε.

Έτσι σε αυτό το κεφαλαίο θα γίνει αναφορά στις μεθόδους και τεχνικές της δειγματοληψίας όπου πρέπει να ακολουθούνται για την επιλογή ενός αντιπροσωπευτικού δείγματος.

4.2 Βασικές αρχές δειγματοληψίας (sampling)

Με τον όρο δειγματοληψία αναφερόμαστε στην επιλογή αντιπροσωπευτικού τμήματος του συνόλου που εξετάζουμε. Η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος είναι αναγκαία προκειμένου να μεγιστοποιείται η δυνατότητα γενίκευσης των συμπερασμάτων μας όσον αφορά το ως προς εξέταση σύνολο (στην περίπτωση μας την φ/β πλάκα).

Τα χαρακτηριστικά του δείγματος δεν προσεγγίζουν αυτά του πληθυσμού καθώς η κατανομή αυτών διαφέρει σημαντικά. Παρόλα αυτά ο λόγος που χρησιμοποιούμε ένα τμήμα έναντι ολοκλήρου του εξεταζόμενου συνόλου είναι η αδυναμία μας στην παρούσα φάση να συμπεριλάβουμε όλο το σύνολο, λόγο μεγέθους των εξεταζόμενων αντικειμένων

Σε κάθε περίπτωση ο κατάλληλος σχεδιασμός δειγματοληψίας εξασφαλίζει καλύτερες προϋποθέσεις για την διασφάλιση της αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος και της δυνατότητας γενίκευσης των αποτελεσμάτων μας. ^{[6],[7]}

4.3 Μέθοδοι καθορισμένης πιθανότητας επιλογής (probability sampling)

Σε αυτήν την μέθοδο δειγματοληψίας η πιθανότητα επιλογής κάθε μονάδας του πληθυσμού στο δείγμα ορίζεται εκ των προτέρων, κάθε μονάδα έχει τις ίδιες πιθανότητες επιλογής με την επιλογή ενός μέλους να είναι ανεξάρτητη από την επιλογή των άλλων μελών. Στη διαδικασία αυτή περιλαμβάνεται η χρήση διαδικασιών τυχαίας επιλογής (αρίθμηση μελών και επιλογή με τη χρήση πινάκων τυχαίων αριθμών), η οποία εφαρμόζεται είτε στο σύνολο του πληθυσμού, είτε τμηματικά.

Όλες οι μέθοδοι που θα αναφερθούν στην συνέχεια είναι μέθοδοι καθορισμένης πιθανότητας επιλογής. ^[7]

4.3.1 Μέθοδος Απλής τυχαίας δειγματοληψίας (simple random sampling)

Η παρούσα μέθοδος αφορά την επιλογή ενός τυχαίου δείγματος ορισμένου μεγέθους από τον πληθυσμό, κάθε μέλος του πληθυσμού έχει την ίδια πιθανότητα επιλογής στο δείγμα (αμερόληπτη επιλογή). Το ενδεχόμενο να επιλεγεί ένα δείγμα με ακραίες περιπτώσεις, δηλαδή ο μέσος όρος κάποιας από τις υπό έρευνα μεταβλητές να διαφέρει τυχαία από το μέσο όρο του πληθυσμού, δεν εξαλείφεται. Η πιθανότητα αυτή είναι αυξημένη για περιπτώσεις όπου έχουμε μικρό πληθυσμό – δείγμα ή η κατανομή της μεταβλητής μας είναι ανομοιομορφη. ^{[6],[7]}

4.3.2 Μέθοδος Συστηματικής δειγματοληψίας (systematic sampling)

Πρόκειται για μια εναλλακτική μέθοδο της τυχαίας δειγματοληψίας η οποία προϋποθέτει την αρχειοθέτηση των μονάδων του πληθυσμού, η διάφορα της με την τυχαία δειγματοληψία είναι ότι ο πληθυσμός πρέπει να είναι κατανεμημένος με τυχαίο τρόπο. Για παράδειγμα, αν έχουμε έναν πληθυσμό με 100 μονάδες ($N=100$) με μέγεθος δείγματος $n=20$ τότε το διάστημα δειγματοληψίας μας θα είναι $N/n=5$, ξεκινώντας από μια τυχαία μονάδα του πληθυσμού και επιλέγοντας κάθε 5^η κατά σειρά μονάδα αυτού κατασκευάζουμε το δείγμα των 20 μονάδων. ^{[6],[7]}

4.3.3 Δειγματοληψία κατά στρώματα (stratified sampling)

Σε αυτόν τον τύπο δειγματοληψίας χωρίζουμε τον πληθυσμό σε **ομοιογενείς ομάδες** ή αλλιώς στρώματα, κάθε μέλος μπορεί να ανήκει μονό σε μια ομάδα με το κάθε στρώμα να αποτελεί έναν υποσύνολο του αρχικού μας πληθυσμού.

Επιλεγούμε ένα δείγμα από το κάθε στρώμα με οποία από τις δυο προαναφερθείσες μεθόδους θέλουμε (Simple Random Sampling ή Systematic Sampling), το μέγεθος του δείγματος που θα πάρουμε από το κάθε στρώμα είναι αντίστοιχο της αναλογίας του στρώματος στον υπό εξέταση πληθυσμό. Για τον λόγο αυτόν προκειμένου να εφαρμοστεί η μέθοδος είναι εμφανές ότι πρέπει να γνωρίζουμε εκ των προτέρων την κατανομή των χαρακτηριστικών της μεταβλητής που μας ενδιαφέρει. Η παρούσα μέθοδος αποκλείει περιπτώσεις όπου δεν είναι αντιπροσωπευτικές ολοκλήρου του πληθυσμού.

4.3.4 Δειγματοληψία κατά ομάδες (cluster sampling)

Πρόκειται για έναν τύπο δειγματοληψίας με βάση κάποιες λειτουργικές ομάδες (clusters) στις οποίες ανήκουν τα μέλη του πληθυσμού, η τυχαιότητα των επιλογών μας εφαρμόζεται σε κάθε επίπεδο, κύρια διαφορά με την παραπάνω μέθοδο (Stratified Sampling) είναι ότι η επιλογή των ομάδων γίνεται επίσης με τυχαίο τρόπο (όχι με ομαδοποίηση των μελών του πληθυσμού βάση κάποιου χαρακτηριστικού όπως γίνεται στη προηγούμενη μέθοδο).

Για παράδειγμα, επιλέγεται τυχαία ένας αριθμός σχολείων από κάθε περιφέρεια, στη συνέχεια ένα τυχαίο δείγμα τάξεων από κάθε σχολείο, κατόπιν επιλέγονται τυχαία κάποια τμήματα των τάξεων αυτών και τέλος από αυτά τα τμήματα επιλέγεται ένας αριθμός μαθητών. Η τελική επιλογή των μαθητών μπορεί να γίνει με βάση τη δειγματοληψία κατά στρώματα (Stratified Sampling), και οι μαθητές να επιλεγούν και με βάση κάποια χαρακτηριστικά που μας ενδιαφέρουν. Συνεπώς στη δειγματοληψία κατά ομάδες ξεκινάμε με την επιλογή ιεραρχικά ταξινομημένων υπό-ομάδων του πληθυσμού και καταλήγουμε στην επιλογή συγκεκριμένων περιπτώσεων με τυχαίο τρόπο.

4.3.5 Δειγματοληψία κατά στάδια (multi-stage sampling)

Πρόκειται για τον οποιονδήποτε συνδυασμό από τις παραπάνω τεχνικές. Η επιλογή σε κάθε επίπεδο της έρευνας, κάποιας τεχνικής έναντι μιας άλλης, εξαρτάται από

- α) το βαθμό στον οποίο είναι αυτή εφικτή
- β) το κόστος της σε σχέση με τον προϋπολογισμό της έρευνας.

Η καταλληλότητα της τεχνικής σε σχέση με το σκοπό της έρευνας θα πρέπει να ληφθεί υπόψη. Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ο επιθυμητός βαθμός ακρίβειας και της γενίκευσης των αποτελεσμάτων και κατόπιν αυτού να επιλεγθεί μία τεχνική δειγματοληψίας ικανοποιητική για τις προσδοκίες της έρευνας.

Για Παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι έχουμε έναν αγρότη ο οποίος ενδιαφέρεται για την υγεία των δέντρων του ομαδοποιεί τα δέντρα του σε τετράγωνα κομμάτια γης – στρώματα (stratums) - των 8x8 δέντρων (stratified sampling), μετά αποφασίζει να χωρίσει το κάθε στρώμα σε σειρές (λειτουργικές ομάδες – clusters) των 8 δέντρων

(cluster sampling) και τέλος επιλεγεί προς εξέταση τυχαία (simple random sampling) 1 σειρά δέντρων (cluster) από την κάθε ομάδα γης 8x8 δέντρων (stratum).

Το προαναφερθέν παράδειγμα είναι ένα παράδειγμα δειγματοληψίας κατά στάδια χρησιμοποιούνται κατά σειρά τις μεθόδους:

- Δειγματοληψίας κατά στρώματα (stratified sampling)
- Δειγματοληψίας κατά ομάδες (cluster sampling)
- Απλής τυχαίας δειγματοληψίας (simple random sampling)

4.4 Μέθοδοι απροσδιόριστης πιθανότητας επιλογής

(Non-Probability Sampling)

Σε αυτόν τον τύπο δειγματοληπτικής μεθόδου δεν είναι δυνατός ο προσδιορισμός της πιθανότητας επιλογής του κάθε μέλους του πληθυσμού στο δείγμα. Η επιλογή του κάθε μέλους του δείγματος με λίγα λόγια δεν είναι διασφαλισμένη καθώς επίσης τα κριτήρια επιλογής είναι υποκειμενικά.

Καθώς η δειγματοληψία σε αυτή την περίπτωση δεν βασίζεται στην τύχη, δεν μπορούμε να είμαστε βέβαιοι για την αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού που εξετάζουμε. Για το λόγο αυτό τα δείγματα που συλλέγονται με αυτό τον τρόπο θεωρούνται κατά μία έννοια μεροληπτικά. Η χρήση μεροληπτικού δείγματος μας περιορίζει όσον αφορά την γενίκευση των αποτελεσμάτων της έρευνας. Για τον λόγο αυτόν η εν λόγω μέθοδος δειγματοληψίας καλό είναι να χρησιμοποιείται σε μικρότερης κλίμακας προκαταρκτικές έρευνες, που ενδιαφέρονται να προσδιορίσουν αν υφίσταται ή όχι ένα φαινόμενο, και **όχι να προσδιορίσουν το ακριβές μέγεθός του.**

Παράδειγμα:

Έστω μία έρευνα που επικεντρώνεται στη μελέτη νεογνών, μπορεί να συμπεριλάβει μόνο νεογνά των οποίων οι γονείς θα δεχθούν να λάβουν μέρος στην έρευνα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μπορεί να προσδιοριστεί αν υφίσταται ή όχι το υπό μελέτη φαινόμενο, χωρίς όμως να υπάρχει η δυνατότητα γενίκευσης των συμπερασμάτων, όσον αφορά το μέγεθος αυτού.

Το σχέδιο δειγματοληψίας που θα επιλεγεί καθορίζεται από παράγοντες ποικίλους παράγοντες (όπως το ερευνώμενό πρόβλημα, οι απώτεροι στόχοι της έρευνας, η μέθοδος συλλογής δεδομένων, ο προϋπολογισμός, ο διαθέσιμος χρόνος για την διεξαγωγή της μελέτης κ.λπ.), όμως πρέπει πάντα να αποβλέπει στη μείωση των συστηματικών σφαλμάτων μέτρησης, έτσι ώστε με βάση τις μετρήσεις στο δείγμα η εξαγωγή συμπερασμάτων για ολόκληρο τον πληθυσμό να είναι επιστημονικά έγκυρη. [6],[7]

4.4.1 Συμπτωματική δειγματοληψία

Δημιουργείται ένα είδος εθελοντικού δείγματος, καθώς συμμετέχουν σε αυτό όσοι είναι άμεσα προσβάσιμοι και πρόθυμοι να συμμετάσχουν, σε αυτή την περίπτωση, η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος και η ερευνητική χρησιμότητα των αποτελεσμάτων τίθενται υπό αμφισβήτηση. Ο μόνος τρόπος γενίκευσης των αποτελεσμάτων της έρευνας στην προκειμένη περίπτωση είναι σε πληθυσμούς οπου έχουν χαρακτηριστικά παρόμοια με αυτά το δείγματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης αυτού του είδους δειγματοληψίας είναι στον τομέα της ψυχολογίας (π.χ. μια έρευνα που αφορά φοιτητές 20-25 ετών) . [7]

4.4.2 Δειγματοληψία σκοπιμότητας

Σε αυτή την περίπτωση συλλέγεται δείγμα του οποίου τα μέλη θεωρούνται πιο σημαντικά - καλύτερα για τη συγκεκριμένη έρευνα. Υπάρχει δηλαδή κάποια σκοπιμότητα για την επιλογή του κάθε μέλους στο δείγμα. Στην εν λόγω μέθοδο εμφανίζονται διάφορες τεχνικές όσον αφορά την συλλογή των μελών του δείγματος, μερικές από αυτές είναι:

- **Τεχνική της διαμέσου (median)**

Επιλέγονται άτομα που θεωρούνται ότι είναι αντιπροσωπευτικά του τυπικού μέλους του πληθυσμού, πρακτικά επιλεγούμε μέλη του πληθυσμού τα οποία βρίσκονται γύρω στη διάμεσο της κατανομής **συγκεκριμένων χαρακτηριστικών του πληθυσμού**, αποφεύγοντας τις ακραίες περιπτώσεις. Βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι πρέπει να γνωρίζουμε εξ αρχής αυτά τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού. [6],[7]

- Τεχνική του ειδήμονα ή της ομοιογένειας

Επιλέγονται άτομα που θεωρούνται ειδήμονες σε κάποιο ζήτημα, ή άτομα με ειδικά χαρακτηριστικά (πχ άτομα με συγκεκριμένο σεξουαλικό προσανατολισμό, ειδικούς σε ένα θέμα, άτομα με κάποια συγκεκριμένη ασθένεια κ.λπ.).^{[6],[7]}

- Τεχνική quota (μεριδίου)

Σε αυτήν την μέθοδο έχουμε κάνει εκ' των προτέρων κάποιες αυθαίρετες υποθέσεις σχετικά με την κατανομή των χαρακτηριστικών που μας ενδιαφέρουν στον πληθυσμό, και στην συνέχεια συλλέγουμε δείγμα που αντιπροσωπεύει αυτά τα χαρακτηριστικά, στις προαποφασισμένες αναλογίες.^{[6],[7]}

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Λιερέυνηση ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού των περιεχομένων υλικών στις φ/β πλάκες

Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των περιεχομένων στις φ/β πλάκες υλικών πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό επίπεδο στα εργαστήρια του Π.Κ. με την τεχνολογία φθορισμού ακτινών X, λόγω των πλεονεκτημάτων αυτής ως αυτά αναγράφονται στην συνέχεια.^{[1],[2]}

5.1 Γενικά Στοιχεία για τις ακτίνες X

Οι ακτίνες X παράγονται από μεταλλική άνοδο λυχνίας κενού (σωλήνας Coolidge), όταν σε αυτήν προσπίπτουν ηλεκτρόνια υψηλής ταχύτητας, τα οποία εκπέμπονται από κατάλληλη κάθοδο και επιταχύνονται προς την άνοδο με την επιβολή υψηλής τάσης. Ο λόγος που χρησιμοποιείται το κενό ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο είναι για την αποφυγή δημιουργίας τόξου μεταξύ αυτών για αυτό μερικά συστήματα ακτινών X διαθέτουν εξωτερικές αντλίες κενού ενώ στα περισσότερα απαιτείται μια διαδικασία προθέρμανσης πριν τη χρήση, με σταδιακή αύξηση του ρεύματος της λυχνίας και της τάσης με σκοπό την αργή καύση του διαθέσιμου οξυγόνου.^{[1],[2]}

Όταν εφαρμοστεί στη λυχνία υψηλό ρεύμα τότε έχουμε μεγαλύτερη θερμιονική εκπομπή ηλεκτρονίων και συνεπώς, υψηλότερη ένταση ακτινοβολίας, συνεπώς η ενέργεια της ακτινοβολίας είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης στην ανόδο. Μεγαλύτερη ενέργεια, βραχύτερο μήκος κύματος επομένως μεγαλύτερη ικανότητα διείσδυσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι το 97-99% της κινητικής ενέργειας των εκπεμπόμενων ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε θερμότητα και μόνο το 1-3% περίπου μετατρέπεται σε ακτίνες X, για αυτόν τον λόγο το υλικό κατασκευής της ανόδου είναι συνήθως βολφράμιο, καθώς έχει υψηλό σημείο τήξης (3249 °C) και ατομικό αριθμό, ιδανικό ώστε να αλληλοεπιδρά με ηλεκτρόνια υψηλής ενέργειας παρόλα αυτά για την αντιμετώπιση των υψηλών θερμοκρασιών, επιτυγχάνουμε την ψύξη αυτής με την χρήση κυκλώματος λαδιού η νερού ενώ σε λυχνίες χαμηλότερης ισχύος αρκούμαστε στην χρήση ανεμιστήρων.^{[1],[2]}

Η ταχύτητα με την οποία κινούνται τα ηλεκτρόνια και προσπίπτουν στην άνοδο είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο. Όσο

ψηλότερη η τάση (περισσότερα kV) τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα των ηλεκτρονίων, άρα και η ενέργεια που έχουν όταν προσπίπτουν στην άνοδο.

Όσο μεγαλύτερη ενέργεια έχουν τα ηλεκτρόνια που προσπίπτουν στην άνοδο τόσο μεγαλύτερη η ισχύ διείσδυσης των παραγόμενων ακτίνων X. Συνεπώς αύξηση των kV προκαλεί ταυτόχρονη αύξηση της έντασης των ακτίνων X (αριθμό φωτονίων), ενώ τα περισσότερα mA ρεύματος αυξάνουν μόνο την ένταση χωρίς αλλαγή του φάσματος.

Τέλος οι γεννήτριες ακτίνων X διαθέτουν ένα φίλτρο από υλικό με υψηλό ατομικό αριθμό (μόλυβδος, χαλκός ή ορείχαλκος) κατά μήκος της διαδρομής της δέσμης με σκοπό τη διαμόρφωση της ποιότητας της εξερχόμενης ακτινοβολίας που επιτυγχάνεται εξαιτίας της απορρόφησης των φωτονίων χαμηλής ενέργειας τα οποία εκπέμπονται από τη λυχνία πριν φτάσουν στο στόχο, ενώ παράλληλα η λυχνία θωρακίζεται ώστε οι ακτίνες X να εξέρχονται μόνο από την ειδική εσοχή.^{[1],[2]}

5.2 Τενική ανάλυσης με φθορισμό ακτίνων-X (X Ray Fluorescence analysis XRF)

Ο φθορισμός των ακτίνων-X είναι το φαινόμενο κατά το οποίο άτομα που βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης ή ιονισμού, λόγω προηγούμενης αλληλεπίδρασής τους με σωματίδιο ή φωτόνιο επαρκούς ενέργειας, αποδιεγείρονται εκπέμποντας ακτίνες-X χαρακτηριστικής ενέργειας. Αυτή η χαρακτηριστική ακτινοβολία συχνά ονομάζεται και φθορίζουσα. Λόγω του ότι οι χαρακτηριστικές ακτίνες-X έχουν συγκεκριμένες ενέργειες για κάθε στοιχείο, τις χρησιμοποιούμε για την ταυτοποίηση στοιχείων, όπως και έγινε στα πειράματα που διεξήχθησαν στην παρούσα διατριβή με σκοπό τον προσδιορισμό των στοιχείων στις φ/β πλάκες.

Γενικότερα η μέθοδος *XRF* βασίζεται στη δημιουργία μιας στενής δέσμης ακτίνων X, η οποία προσπίπτοντας πάνω στο εξεταζόμενο δείγμα προκαλεί την εκπομπή δευτερογενών ηλεκτρονίων. Η ανάπτυξη της μεθόδου στηρίχτηκε στην οπτική των ακτίνων X, που επιτρέπει την αποτελεσματική διέγερση μικρής περιοχής δείγματος, αποδίδοντας μια σημαντική ένταση φθορισμού.^{[1],[2]}

Ανάλογα με το είδος της ακτινοβολίας που προκαλεί τη διέγερση των ατόμων του δείγματος, οι τεχνικές ανάλυσης με φθορισμό διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:

- XRF (X – Ray Fluorescence) όταν η διεγείρουσα ακτινοβολία είναι ακτίνες X

- PIXE (Particle Induced X-ray Emission) όταν η διεγείρουσα ακτινοβολία είναι σωματίδια – συνήθως δέσμη σωματιδίων από επιταχυντή.

Ανάλογα με το αν ανιχνεύονται και αξιοποιούνται οι χαρακτηριστικές ενέργειες ή τα χαρακτηριστικά μήκη κύματος της ακτινοβολίας, οι αναλύσεις XRF χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- **EDXRF (Energy Dispersive XRF)**

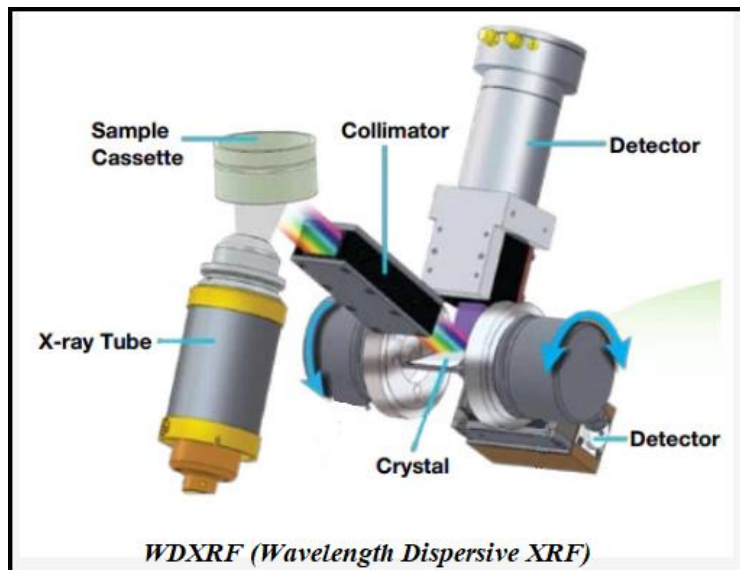
Στην οποία γίνεται καταγραφή και ανάλυση της ενέργειας των χαρακτηριστικών ακτίνων-X. Η τεχνική αυτή στηρίζεται στην αρχή διαχωρισμού και ανίχνευσης των χαρακτηριστικών ενεργειών των ακτίνων-X.

- **WDXRF (Wavelength Dispersive XRF)**

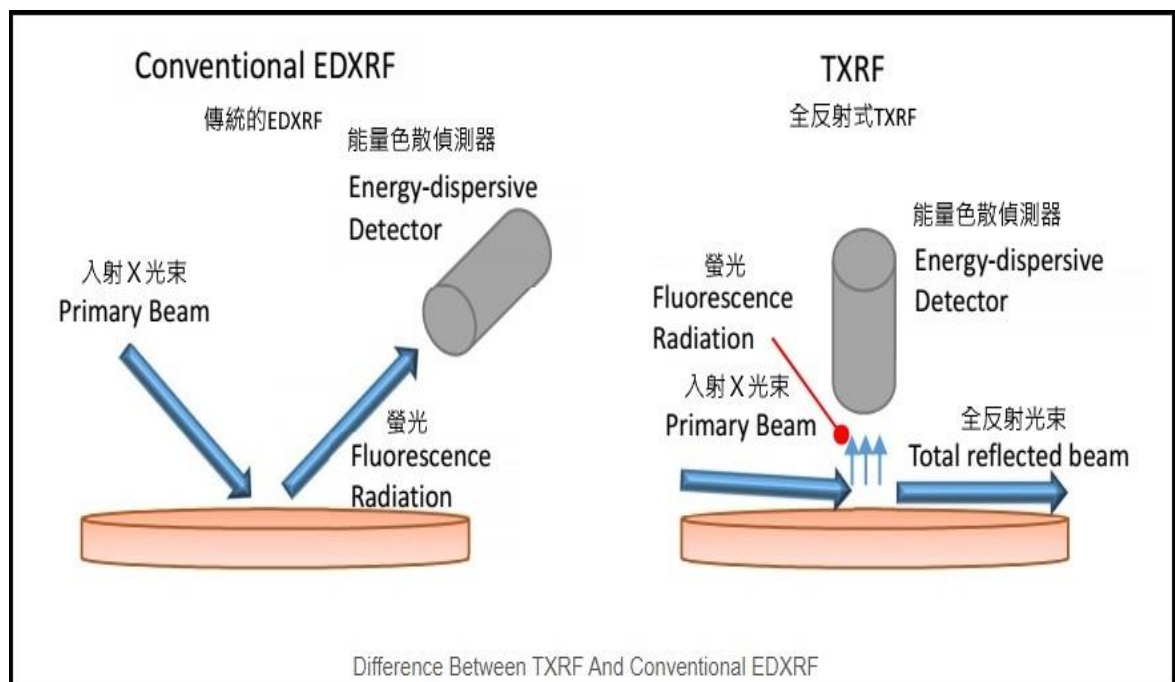
Στην οποία γίνεται καταγραφή και ανάλυση του μήκους κύματος των φθορίζουσών ακτινοβολιών. Αυτή η τεχνική στηρίζεται στην περίθλαση των ακτίνων-X πάνω σε ειδικό κρύσταλλο, η οποία, επιτρέπει την εκτίμηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας.

- **TXRF (Total Reflection X-Ray Fluorescence)**

Η οποία είναι όμοια της EDXRF, διαφέρει όμως ως προς την γωνία εισόδου της δέσμης των ακτίνων X στο δείγμα, στην TXRF ακτινοβολείται υπό γωνία μερικών mrad έναντι των 45 ° στην EDXRF δηλαδή η κατεύθυνση της δέσμης των ακτίνων X είναι σχεδόν παράλληλη με την επιφάνεια του δείγματος, έτσι ώστε η δέσμη των ακτίνων X να ανακλάται πλήρως με σημαντικά μειωμένη διασπορά.



Εικόνα No 14. (WDXRF)



Εικόνα No 14. (EDXRF & TXRF)

Στα πειράματα που διεξήχθησαν για τον προσδιορισμό των εμπεριεχομένων στοιχείων στις φ/β πλάκες στα πλαίσια της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος EDXRF ως αναλύεται στην συνέχεια.

Η EDXRF ανήκει στις μη καταστροφικές μεθόδους ανάλυσης τόσο στερεών όσο και υγρών δειγμάτων, καθώς επίσης το δείγμα δεν υφίσταται καμία αλλαγή στη χημική και ισοτοπική του σύσταση και δεν καθίσταται ραδιενεργό μετά το πέρας της ανάλυσης. Επίσης, είναι μια οικονομικά προσιτή μέθοδος λόγω του χαμηλού κόστους εξοπλισμού.

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

-Μη καταστροφική

Τα δείγματα δεν καταστρέφονται ή δεν αλλάζουν μορφή κατά την έκθεση στις ακτίνες X, οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον ως πρότυπα ή να εξεταστούν με άλλες καταστροφικές μεθόδους.

-Ελάχιστη προετοιμασία

Τα περισσότερα δείγματα αναλύονται με ελάχιστη ή καθόλου προετοιμασία. Άλλες μέθοδοι απαιτούν διαδικασίες διαλυτοποίησης, οι οποίες είναι χρονοβόρες και ακριβές εξαιτίας των αντιδραστηρίων.

-Γρήγορη

Η φασματοσκοπία των ακτίνων X επιτρέπει τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης σε μερικά δευτερόλεπτα.

-Εύκολος χειρισμός

Τα περισσότερα σύγχρονα όργανα λειτουργούν με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, με ένα εύχρηστο λογισμικό (στην περίπτωση μας της AMETEK) για τη λήψη των μετρήσεων και τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων.

-Οικονομική

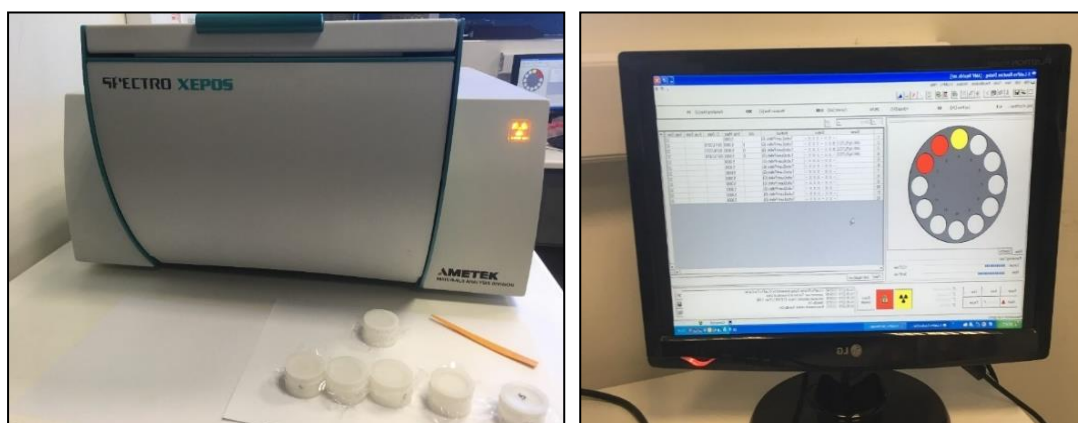
Το κόστος κτήσης ενός *XRF scanner* είναι χαμηλό και οι εφαρμογές σχεδόν απεριόριστες καθώς επιτρέπει την ανάλυση πολλών υλικών όπως πλαστικών, περιβαλλοντικών δειγμάτων, τροφίμων, φαρμάκων, ορυκτών, μετάλλων, κεραμικών, Χρωστικών γυαλιού κ.ά.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα προαναφερόμενα στοιχεία, διερευνήσαμε τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των υλικών που εμπεριέχονται στις φ/β πλάκες, (δεδομένου ότι οι κατασκευάστριες εταιρίες γνωστοποιούν ένα μέρος των υλικών, που συγκροτούν την φ/β πλακά), προκειμένου να γνωρίζουμε τι ανακυκλώνουμε, και ποια μέθοδο ανακύκλωσης θα επιλέξουμε. ^{[1],[2]}

Επίσης, με τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των εμπεριεχομένων υλικών στην φ/β πλακά μας δίνεται η δυνατότητα να εξετάσουμε εκ των προτέρων την οικονομικά συμφέρουσα ή όχι ανάκτηση αυτών, και ποια υλικά κατά περίπτωση θα ανακτήσουμε από την ανακύκλωση. ^{[1],[2]}

Ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των περιεχόμενων στις φ/β πλάκες υλικών πραγματοποιήθηκε σε πειραματικό στάδιο στα εργαστήρια του Π.Κ. με την τεχνολογία φθορισμού ακτίνων X (στο scanner SPECTRO XEPOS της AMETEK, ED-XRF) όπου ελέγχτηκαν επεξεργασμένα (απαλλαγμένα από το γυαλί και το υλικό επικάλυψης “EVA” κ.λπ.) προεπιλεγμένα δείγματα θρυμμάτων με συγκεκριμένη κοκκομετρία, φ/β πλακών διαφόρων κατασκευαστών.

Σημειώνουμε ότι τα εν λόγω πειράματα έγιναν στο εργαστήριο του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης,



Φωτ. Νο 17. (AMETEK, ED-XRF)

5.3 Πειραματική διερεύνηση

5.3.1 Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Για τον ποιοτικό και ποσοτικό προσδιορισμό των περιεχόμενων στις φ/β πλάκες υλικών (κυρίως βαρέα μέταλλα κ.α.), πραγματοποιήθηκαν στο Πολυτεχνείο Κρήτης μια σειρά πειραμάτων στις πιο διαδεδομένες (στην Ελληνική αγορά) κατασκευάστριες εταιρίες*, και τύπο φωτοβολταϊκών συλλεκτών.

Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε περιελάβανε τον θρυμματισμό της φωτοβολταϊκής πλάκας σε θρυμματοποιητή ημιβιομηχανικής κλίμακας ο οποίος σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσης μεταπτυχιακής εργασίας και περιγράφεται στην συνέχεια στο αντίστοιχο κεφάλαιο.

**Κατά την πειραματική διαδικασία του ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού, εμπεριεχόμενων υλικών, εξετάστηκαν φ/β πλάκες των παρακάτω κατασκευαστικών οίκων: Solfocus , Hansol , Sunpower , Suntec , Bp solar.*

5.3.2 Στάδια πειραματικής διαδικασίας

1^ο Στάδιο - επιλογή δείγματος

Από το σύνολο της φ/β πλάκας επιλέγεται μικρό τμήμα (διαστάσεων 000X000) κατά το δυνατό αντιπροσωπευτικό της γενικότερης κατανομής των κατασκευαστικών στοιχείων αυτής (μακροσκοπική επιλογή) το οποίο αποκόπτεται από την πλακά, απομακρύνονται τα διάφορα ξένα προς αυτό στοιχεία, σκόνες, ακαθαρσίες κ.λπ. και προωθείται στην επομένη φάση, τον θρυμματισμό.

2^ο Στάδιο - θρυμματισμός δείγματος

Η διαδικασία του θρυμματισμού περιλαμβάνει την αποκοπή (με ειδικό ψαλίδι) από την φ/β πλακά δείγματος διαστάσεων περίπου 15cm x 15 -30 cm, μέγεθος το οποίο εξυπηρετεί τον θρυμματοποιητή (που κατασκευάσαμε), το οποίο τοποθετείται στην ειδική υποδοχή, θρυμματίζεται και στην συνέχεια το δείγμα υπό μορφή θρύμματος συλλέγεται δια βαρύτατος σε ειδικό μεταλλικό δοχείο στο κάτω μέρος του θαλάμου θρυμματισμού.

3^ο Στάδιο - πυρόλυση

Για τις ανάγκες ροής της πειραματικής διαδικασίας απαιτείται η πραγματοποίηση της πυρόλυσης του θρυματοποιημένου δείγματος φ/β πλάκας με σκοπό τον διαχωρισμό και απομάκρυνση του γυαλιού και του ενδιάμεσου στρώματος του EVA (ειδική διάφανης συγκολλητική επίστρωση μεταξύ γυαλιού και Φωτοβολταϊκής πλάκας) εξατμίζοντας το. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε περεταίρω θρυμματισμός του θρύμματος, με σκοπό να φτάσουμε σε μια μικρότερη κοκκομετρία (σχεδόν σε μορφή άμμου) για να έχουμε όσον τον δυνατόν καλύτερη προσέγγιση των υλικών που εμπεριέχονται στις

φωτοβολταϊκές πλάκες, προκειμένου να προωθηθούν στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας, «εξέταση με ακτίνες Χ».

Περιγραφή διαδικασίας:

Κατά την πυρόλυση, συγκεκριμένη ποσότητα (gr) θρυμμάτων από κάθε εξεταζόμενη φ/β πλακά τοποθετήθηκαν σε πυρολυτικό φούρνο

Αρχικά τοποθετήσαμε εκ περιτροπής σε ένα ειδικά διαμορφωμένο δοχείο (ιδιοκατασκευή από ανοξείδωτο χάλυβα) δείγματα από τις φ/β πλάκες Solfocus (8 gr) , Hansol (21 gr) , Sunpower (27gr) , Suntec (30gr) , Bp solar (31gr) στον πυρολυτικό φούρνο του εργαστηρίου CAD με σκοπό να μετρήσουμε και να καταγράψουμε την θερμοκρασία αλλά και τον χρόνο που χρειάζεται για να εξατμιστεί το λεπτό στρώμα του EVA, και την αποκόλληση του γυαλιού από την φ/β πλακά.

Οι δοκιμές πυρόλυσης πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές θερμοκρασίες, διαδοχικά η μια της άλλης, έτσι ο συνολικός χρόνος του διάρκειας του πειράματος ήταν περίπου 80 λεπτά.

Αναλυτικότερα:

Στους 200 βαθμούς για χρόνο 20 λεπτών

Δεν παρατηρήθηκε καμιά διαφορά στα δείγματα.

Στους 400 βαθμούς για χρόνο 20 λεπτών

Παρατηρήθηκε η διάλυση του Tedlar (οπίσθιο φύλλο της φωτοβολταϊκής πλάκας από ειδικό μονωτικό υλικό) αλλά όχι η εξάτμιση του EVA από το γυαλί. Λόγο της διάλυσης του Tedlar αλλά και της μη εξάτμισης του EVA αφήσαμε τα δείγματα για χρόνο 20 λεπτών ακόμα σε μια θερμοκρασία λίγο χαμηλότερη.

Στους 350 βαθμούς για χρόνο 20 λεπτών”

Παρατηρήθηκε ότι το στρώμα του Tedlar είχε μαυρίσει – λιώσει αλλά το γυαλί εξακολουθούσε να βρίσκεται κολλημένο στα θρύμματα της ΦΒ πλάκας, γεγονός που δηλώνει ότι το μέσο συγκόλλησης του στην ΦΒ πλακά – EVA ήταν ακόμη άθικτο.

Στην συνέχεια επαναλάβαμε την ίδια διαδικασία με νέα δείγματα αυτήν την φορά σε μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Στους 600 βαθμούς για χρόνο 20 λεπτών

Οπού τελικά παρατηρείται η αποκόλληση του γυαλιού αφήνοντας καθαρή την φ/β πλακά με κάποια κομμάτια λιωμένου Tedlar εύκολα διαχωρίσιμα

Μετά την παραπάνω διαπίστωση έγιναν μερικά ακόμη πειράματα με σκοπό να διαπιστωθεί ακριβώς ο χρόνος που θα χρειαστεί για να έχουμε ένα όσον το δυνατόν καθαρότερο δείγμα μετά από πυρόλυση στους 600 βαθμούς.

Έτσι μετά από ακόμα μερικές δοκιμές στου 600 βαθμούς παρατηρήθηκαν τα εξής:

Σε χρόνο 15 λεπτών

Παρατηρήθηκε μια ελαφρά αλλοίωση του Tedlar

Σε χρόνο 35 λεπτών

Το δείγμα ήταν καθαρό από υπολείμματα Tedlar και EVA με την φ/β πλακά πλήρως αποκολλημένη του γυαλιού και του Tedlar.

Συμπέρασμα μετά την διαδικασία της πυρόλυσης:

Χρειάστηκαν 35 λεπτά στους 600 βαθμούς για να έχουμε ένα δείγμα φ/β πλάκας καθαρό από υπολείμματα Tedlar και EVA με το γυαλί πλήρως διαχωρίσιμο και στα 4 δείγματα πλην της Solfocus οπού λόγο της ιδιαιτερότητας στην κατασκευή η φ/β πλάκα όπως διαπιστώθηκε δεν έχει κάποια επίστρωση είτε EVA με γυαλί είτε οτιδήποτε άλλο.

Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις του βάρους των δειγμάτων μετά την πυρόλυση για να προσδιορίσει η ποσότητα του EVA που εξατμίστηκε.

Από την πραγματοποίηση των προαναφερόμενων δοκιμών προέκυψαν τα στοιχεία που αναγράφονται στους πίνακες 1,2

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

ΒΑΡΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΥΡΟΛΥΣΗ		
	<i>Πριν</i>	<i>Μετά</i>
Solfocus	8 gr	8 gr
Hansol	21 gr	19 gr
Sunpower	27 gr	24 gr
Suntec	30 gr	26 gr
Bp solar	31 gr	27 gr

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΠΟΣΟΣΤΟ EVA ΣΤΟ ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΤΗΣ φ/β ΠΛΑΚΑΣ	
Solfocus	-
Hansol	10%
Sunpower	11%
Suntec	13%
Bp solar	13%

4^ο ΣΤΑΔΙΟ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΜΕ ΑΚΤΙΝΕΣ “X”

Ο προσδιορισμός των εμπεριεχομένων στοιχείων στα προεπιλεγμένα δείγματα της φ/β πλάκας πραγματοποιήθηκαν την μέθοδο ED-XRF σε σκάνερ ακτίνων X της εταιρίας AMETEK.

Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε σε 2 φάσεις με δυο διαφορετικά μηχανήματα.

Η πρώτη φάση περιελάμβανε την διερεύνηση των στοιχείων σε ακέραια δείγματα φ/β πλάκας στο πρώτο μηχάνημα ενώ η δεύτερη περιελάμβανε την διερεύνηση των στοιχείων θρυματοποιημένης φ/β πλάκας.

Στην συνέχεια για να έχουμε μια ακόμη καλύτερη προσέγγιση των στοιχείων πραγματοποιήθηκε ακόμα μια φάση θρυμματοποίησης, με τον θραυστήρα διαμορφώνοντας έτσι μια πολύ μικρή κοκκομετρία (σκόνη) , εξετάζοντας χωριστά το

γυαλί και την φ/β πλάκα (εξετάστηκε δηλαδή χωριστά η σκόνη γυαλιού και η σκόνη φ/β πλάκας).

5.4 Αποτελέσματα διερεύνησης με ακτίνες “γ”

1^η Φάση

Τα πειραματικά αποτελέσματα από την πρώτη φάση ελέγχου των ακέραιων στοιχείων φ/β πλάκας με ακτίνες “X” ήταν τα εξής:

Solfocus

Από την πλευρά του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ge, Ga , As , Ag , Si , Mn , Ni , Cu

Από την αντίθετη πλευρά από αυτήν του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ni , Cu , Pt , Ag

Bp Solar

Από την πλευρά του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Si , Ca

Από την αντίθετη πλευρά από αυτήν του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ti

Suntec

Από την πλευρά του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ba , S , Cl

Από την αντίθετη πλευρά από αυτήν του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ca , Sr , Si

SunPower

Από την πλευρά του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ca , Ti , Zr

Από την αντίθετη πλευρά από αυτήν του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Cu , Sn , Si , Ca , Ti

Hansol

Από την πλευρά του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Si , Ca

Από την αντίθετη πλευρά από αυτήν του γυαλιού τα στοιχεία που ευρέθηκαν είναι:

Ti

2η Φάση

Τα πειραματικά αποτελέσματα από την δεύτερη φάση ελέγχου των θρυμματοποιημένων σε μορφή σκόνης στοιχείων φ/β πλάκας με ακτίνες χ ήταν τα εξής :

Solfocus

Στοιχεία που ευρέθηκαν στην θρυμματοποιημένη φ/β πλάκα :

Ga , Ag , Hg

Στοιχεία που ευρέθηκαν στο θρυμματοποιημένο Γυαλί :

Bp Solar

θρυμματοποιημένη φ/β πλάκα : Si , Ca

Στοιχεία που ευρέθηκαν στο θρυμματοποιημένο Γυαλί : Si, Ca , Cu , Sb

Suntec

Στοιχεία που ευρέθηκαν στην θρυμματοποιημένη φ/β πλάκα :

Ti , Ba , Fe , Cu , Zn , Pb , Bi

Στοιχεία που ευρέθηκαν στο θρυμματοποιημένο Γυαλί :

Si , Ca , Fe , Cu , Sr

SunPower

Στοιχεία που ευρέθηκαν στην θρυμματοποιημένη φ/β πλάκα :

Cu , Ti , Sn, Ca , Si

Στοιχεία που ευρέθηκαν στο θρυμματοποιημένο Γυαλί :

Cu , Zn

Hansol

Στοιχεία που ευρέθηκαν στην θρυμματοποιημένη φ/β πλάκα :

Si , Ca , Ba , Fe , Cu , Zn

Στοιχεία που ευρέθηκαν στο θρυμματοποιημένο Γυαλί :

Ca , Sb , Ti , Cu

Οι συγκεντρώσεις των διαφόρων στοιχείων που ευρέθηκαν στα δείγματα γυαλιού και φ/β πλάκας κατά την δεύτερη φάση της πειραματικής διαδικασίας αναγράφονται στους παρακάτω πίνακες ανά κατασκευάστρια εταιρία:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Bp Solar - Glass		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	13,27
Al	Aluminum	0,73
Si	Silicon	31,06
S	Sulfur	0,16
Ca	Calcium	7,54
Ti	Titanium	0,16
Cu	Copper	0,10
Sb	Antimony	0,36

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Bp Solar		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	1,61
Mg	Magnesium	0,10
Al	Aluminum	16,22
Si	Silicon	31,31
Ca	Calcium	1,65
Ti	Titanium	12,48

Fe	Iron	0,11
Ag	Silver	0,82
Sn	Tin	0,12

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Hansol		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	1,56
Mg	Magnesium	0,11
Al	Aluminum	19,10
Si	Silicon	53,43
Ca	Calcium	2,42
Ti	Titanium	4,71
Ag	Silver	0,61

ΠΙΝΑΚΑΣ 6

Hansol - Glass		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	13,00
Mg	Magnesium	1,60
Si	Silicon	33,30
Ca	Calcium	7,41

ΠΙΝΑΚΑΣ 7

Sol Focus		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	36,37
Mg	Magnesium	4,42
Al	Aluminum	9,31
Si	Silicon	2,10
P	Phosphorus	15,08
K	Potassium	4,47
Ca	Calcium	0,37
Ti	Titanium	0,29
Ga	Gallium	5,33
Ge	Germanium	20,81
As	Arsenic	3,28
Ag	Silver	0,83
Hg	Mercury	0,30

ΠΙΝΑΚΑΣ 8

Sol Focus - Glass		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	13,18
Mg	Magnesium	1,80
Si	Silicon	33,48
Ca	Calcium	8,14

ΠΙΝΑΚΑΣ 9

SunPower		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	13,62
Mg	Magnesium	1,83
Al	Aluminum	0,75
Si	Silicon	60,09
S	Sulfur	0,16
Cu	Copper	8,46
Sb	Antimony	0,35
Ti	Titanium	5,90
Sn	Tin	2,08

ΠΙΝΑΚΑΣ 10

SunPower - Glass		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	12,39
Si	Silicon	32,60
Ca	Calcium	8,32
Cu	Copper	0,11

ΠΙΝΑΚΑΣ 11

Suntec - Glass		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	12,93
Mg	Magnesium	2,47
Al	Aluminum	0,47
Si	Silicon	32,62
Ca	Calcium	7,03

ΠΙΝΑΚΑΣ 12

Suntec		
Symbol	Element	Concentration (%)
Na	Sodium	1,25
Al	Aluminum	17,17
Si	Silicon	64,57
S	Sulfur	1,15
Ca	Calcium	1,61
Ti	Titanium	0,18
V	Vanadium	0,08
Ag	Silver	1,50

Σημειώνουμε ότι μικρές ποσότητες γυαλιού αναπόφευκτα εμπεριέχονται στο θρύμμα της φωτοβολταϊκής πλάκας καθώς ο διαχωρισμός τους μετά το στάδιο της πυρόλυσης και της θρυμματοποίησης πραγματοποιήθηκε με χειροκίνητη συσκευή η οποία επίσης κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

-Σημειώνουμε επίσης ότι τα φ/β πλαίσια που επιλέξαμε για τα πειράματά μας αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα, των εγκατεστημένων φ/β συλλεκτών στον Ελλαδικό χώρο, καθόσον παρέρχονται από 5 διαφορετικές κατασκευάστριες εταιρίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Συμπεράσματα πειραματικής διαδικασίας και δυνατότητες αξιοποίησης των αποτελεσμάτων

Ένα από τα σημαντικότερα συμπεράσματα της πειραματικής διαδικασίας είναι ότι για την διερεύνηση του ποιοτικού και ποσοτικού προσδιορισμού των περιεχόμενων υλικών στις φ/β πλάκες δεν είναι αναγκαίος ο θρυμματισμός αυτών, ή ο πυρολυτικός διαχωρισμός της και η μετέπειτα εξέταση των επιμέρους στοιχείων, καθώς τα στοιχεία με την μεγαλύτερη συγκέντρωση είναι άμεσα ανιχνεύσιμα και από τα αέρεια τμήματα φωτοβολταϊκής πλάκας, επίσης κατά την εξέταση αυτών με ακτίνες X , προέκυψε και στις δυο περιπτώσεις (θρυμματισμένη ή αέρεια φ/β πλακά) τα αποτελέσματα ήταν τα ίδια χωρίς αξιόλογες αποκλίσεις.

Είναι σαφές βέβαια ότι η ομογενοποιημένη ποσότητα θρύμματος φ/β πλάκας προσφέρει τα αντικειμενικότερα αποτελέσματα.

Όπως διαπιστώθηκε τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή φ/β πλακών διαφέρουν σε κάθε κατασκευάστρια εταιρία, για λόγους ποιοτικού και οικονομικού ανταγωνισμού.

Συνοψίζοντας, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι: είτε εξετάζοντας το δείγμα της φ/β πλάκας σε μορφή θρύμματος είτε εξετάζοντας αέριο δείγμα της φ/β πλάκας (από οποιαδήποτε μεριά αυτής γυαλιού η οπίσθιου φύλλου Teller) με έναν οποιονδήποτε σκάνερ ακτινών X μας δίνεται η δυνατότητα να προσδιορίσουμε άμεσα το είδος και την ποιότητα και την ποσότητα των εμπεριεχομένων σε αυτήν στοιχείων.

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε το είδος και την ποσότητα των περιεχομένων υλικών στις φ/β πλάκες, έτσι ώστε να μπορούμε να επιλέξουμε την μέθοδο ανακύκλωσης, με βάση τα υλικά τα οποία κατά περίπτωση θέλουμε να ανακτήσουμε.

Επίσης μας δίνεται η δυνατότητα να προσδιορίσουμε εκ των προτέρων τα οικονομικά αποτελέσματα μιας ολικής, ή στα πλαίσια του εφικτού, επιλεκτικής ανάκτησης των διαφόρων δομικών υλικών της φ/β πλάκας, αποφεύγοντας κατά τα λοιπά, την

ασύμφορη ανακύκλωση - ανάκτηση υλικών χαμηλής αξίας με μεγάλο κόστος ανακύκλωσης.

Ακόμη μας δίνεται η δυνατότητα να εξετάσουμε, κατά περίπτωση, την αδρανοποίηση ή να απομάκρυνση μόνο των επικίνδυνων και επιβλαβών στοιχείων, προκειμένου να μπορεί να μορφοποιηθεί το υπόλοιπο της θρυματοποιημένης φ/β πλάκας (χωρίς την ανάκτηση όλων των εμπεριεχομένων υλικών) και να διατεθεί κατάλληλα χωρίς να αποτελούν πλέον μια επικίνδυνη κατά τα λοιπά περιβαλλοντική ρύπανση.

Σε κάθε περίπτωση για την διεξαγωγή περεταίρω συμπερασμάτων θα πρέπει να γίνει επί μέρους διαλογή (από τους παραπάνω πίνακες) των στοιχείων που παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον (ποσότητα, εμπορική αξία και κόστος ανάκτησης) άλλα και αυτών που είναι επιβλαβή για την φύση και τον άνθρωπο, προκειμένου να έχουμε μια προσέγγιση για το οικονομικό όφελος θα μπορούσε να προκύψει από την διαχείριση των φ/β απόβλητων καθώς και μια εκτίμηση της επικινδυνότητας που προκύπτει από την τυχόν εναπόθεση τους στην φύση του συνόλου ή και μέρους αυτών.

Για την περαιτέρω διαχείριση των φ/β απόβλητων θα πρέπει να γνωρίζουμε τις ποσότητες των εμπεριεχομένων στοιχείων για κάθε τύπο φ/β πλάκας, καθώς και την μέθοδο & διαδικασία ανακύκλωσης και ανάκτησης αυτών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. S.M. Shackley, X-Ray Fluorescence Spectrometry (XRF) in Geoarchaeology. Springer Science, 2011.
2. M. Haschke, Laboratory Micro-X-Ray Fluorescence Spectroscopy. Springer Series in Surface Sciences, 55, 1-17, 2014
3. www.kmetrics.gr, Modules Test Report Protocol-No. 190327_1902212010, εργαστήριο INA – MJB Services Smart UV Light
4. ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ ΤΗΝ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ – Δρ. ΑΧΙΛΙΑΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ-ΚΑΒΑΛΑ 1999
5. QUALITY-DRIVEN PRODUCTION OF AGGREGATES IN CRUSHING PLANTS - MAGNUS BENGTSSON DEPARTMENT OF PRODUCT AND PRODUCTION DEVELOPMENT CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY GÖTEBORG, SWEDEN MAY 2009
6. COMPARISON OF SAMPLING TECHNIQUES ON THE PERFORMANCE OF MONTECARLO BASED SENSITIVITY ANALYSIS, Iain A Macdonald 2009
7. <https://www.academia.edu/>, Qualitative Research-sampling , Catherine Kyriakidi
8. M.A. Munoz, M.C. Alonso Grsia. Nieves Vela, F. Chenlo -2011 “Early degradation of Pv modules and guaranty conditions”