

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών

Τομέας Πυρηνικής Τεχνολογίας

***ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΟΥ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ
ΑΕΡΟΖΟΛ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΩΝ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ του

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥ ΖΑΧΙΩΤΗ

Φοιτητή της Σχολής

Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ

Επίβλεψη: Αν. Καθηγητής Μ.Ι.Αναγνωστάκης

Συνεργασία: Δρ. Δ.Ι. Καράγγελος, Μ. Ι. Σάββα

ΑΘΗΝΑ 2013

Πρόλογος

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας, έγιναν δειγματοληψίες ραδιενεργού ατμοσφαιρικού αεροζόλ με χρήση αδρανειακών συλλεκτών. Οι δειγματοληψίες έλαβαν χώρα στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (ΕΠΤ-ΕΜΠ), όπου οι συλλέκτες δεν είχαν τεθεί σε λειτουργία μέχρι και την εκπόνηση της παρούσας ΔΕ. Συγκεκριμένα έγινε χρήση του Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων της Staplex – Model 236 και του Δακτυλιοειδή Αδρανειακού Συλλέκτη της Staplex. Η καθιέρωση ενός πρωτοκόλλου για τη δειγματοληψία αεροζόλ με τους συγκεκριμένους συλλέκτες ήταν ο βασικός στόχος της ΔΕ.

Η ΔΕ εκπονήθηκε στο ΕΠΤ – ΕΜΠ στο διάστημα Δεκέμβριος 2011 – Απρίλιος 2013. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Αναπληρωτή Καθηγητή Μ. Ι. Αναγνωστάκη που ανέλαβε να επιβλέψει τη ΔΕ. Η παρακολούθηση από μεριάς μου του μαθήματος «Ραδιοπεριβαλλοντική Ανάλυση και Προστασία» ήταν καθοριστική για την ανάπτυξη του ενδιαφέροντός μου για τις ερευνητικές δραστηριότητες του Τομέα Πυρηνικής Τεχνολογίας κι, επομένως, για την επιθυμία μου να εκπονήσω τη Διπλωματική μου Εργασία στο ΕΠΤ – ΕΜΠ.

Θα ήθελα επίσης να αναφέρω ότι οφείλω πολλά στη συνεργασία με το διδάκτορα κ. Δ. Καράγγελο τόσο στο πειραματικό στάδιο της εργασίας, όσο και στο στάδιο της συγγραφής των κειμένων. Η βοήθειά του υπήρξε καθοριστική καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας ΔΕ.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα Μ. Σάββα, η οποία συνέβαλε καίρια στην επίλυση συγκεκριμένων προβλημάτων που προέκυψαν κατά την εκπόνηση της εργασίας.

Αθήνα, Απρίλιος 2013

Πίνακας Περιεχομένων

1	Εισαγωγή.....	1
2	Προσδιορισμός ραδιενεργών ισοτόπων στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ	5
2.1	Εισαγωγή στη δειγματοληψία αέρα.....	5
2.1.1	Ο σκοπός της δειγματοληψίας αέρα.....	5
2.1.2	Διάρκεια δειγματοληψίας	6
2.1.3	Ρυθμός δειγματοληψίας.....	6
2.1.4	Ακρίβεια δειγματοληψίας.....	8
2.1.5	Κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρυπαντών και βασικές μέθοδοι συλλογής	9
2.1.6	Στρατηγική δειγματοληψίας αέρα	10
2.2	Η φυσική ραδιενέργεια στον αέρα.....	11
2.2.1	Το ραδόνιο (^{222}Rn).....	12
2.2.2	Το ισότοπο κοσμικής προέλευσης ^7Be	14
2.3	Μέθοδοι δειγματοληψίας για τον εντοπισμό της συγκέντρωσης ραδιοϊσοτόπων στον αέρα.....	15
2.3.1	Δειγματοληψία ραδιενεργών αερίων και ατμών	16
2.3.2	Δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ	18
2.4	Ανιχνευτικές διατάξεις.....	22
2.4.1	Η γ-φασματοσκοπική ανάλυση	23

2.4.2	Ανιχνευτές γερμανίου.....	23
2.4.3	Η α-φασματοσκοπική ανάλυση.....	28
	Σχήματα 2ου Κεφαλαίου	31
3	Αδρανειακοί Συλλέκτες Διαδοχικών Σταδίων (Cascade Impactors)	35
3.1	Εισαγωγή στους Αδρανειακούς Συλλέκτες	35
3.1.1	Γενική περιγραφή των Αδρανειακών Συλλεκτών Διαδοχικών Σταδίων	36
3.1.2	Εξέλιξη και τύποι Αδρανειακών Συλλεκτών Διαδοχικών Σταδίων	37
3.1.3	Εφαρμογές ΑΣΔΣ για δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ.....	39
3.2	Απόδοση συλλογής των Αδρανειακών Συλλεκτών Διαδοχικών Σταδίων. 42	
3.2.1	Η Αεροδυναμική Διάμετρος.....	42
3.2.2	Αριθμοί Stokes και Reynolds	44
3.2.3	Καμπύλες απόδοσης και διάμετρος αποκοπής.....	46
	Σχήματα 3ου Κεφαλαίου	51
4	Δειγματοληψία ατμοσφαιρικού αεροζόλ στο ΕΠΤ-ΕΜΠ με χρήση του Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων Staplex – Model 236.....	61
4.1	Περιγραφή του Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων.....	61
4.2	Περιγραφή της διαδικασίας δειγματοληψίας.....	62
4.2.1	Προετοιμασία των φίλτρων.....	62

4.2.2	Ζύγιση των φίλτρων	64
4.2.3	Συναρμολόγηση της διάταξης ΑΣΔΣ – Ρύθμιση παροχής της αντλίας	64
4.2.4	Συλλογή του δείγματος.....	67
4.2.5	Ανίχνευση ^7Be σε φίλτρα του ΑΣΔΣ.....	68
4.3	Ανάλυση των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στο ΕΠΤ-ΕΜΠ με χρήση ΑΣΔΣ.....	70
4.3.1	Σχολιασμός και παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων	74
4.3.2	γ-φασματοσκοπικές αναλύσεις φίλτρων από τον ΑΣΔΣ.....	77
4.3.3	Παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων των μετρήσεων συγκέντρωσης του ^7Be	78
4.4	Συμπεράσματα και προτάσεις.....	81
	Πίνακες 4 ^ο κεφαλαίου	84
	Σχήματα 4 ^ο Κεφαλαίου.....	95
	95
5	Δειγματοληψία ατμοσφαιρικού αεροζόλ με Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη (Annular Kinetic Impactor).....	126
5.1	Αρχή λειτουργίας του ΔΑΣ της Staplex	127
5.1.1	Απόδοση συλλογής του ΔΑΣ.	128
5.2	Μετρήσεις με το Staplex ΔΑΣ στο ΕΠΤ-ΕΜΠ.....	130
5.2.1	Περιγραφή της διαδικασίας.....	130

5.3	Αναλύσεις του ΔΑΣ στη διάταξη γ-φασματοσκοπίας.....	132
5.3.1	Αποτελέσματα αναλύσεων για προσδιορισμό του ^7Be	134
5.3.2	Αποτελέσματα αναλύσεων για προσδιορισμό θυγατρικών ραδονίου 134	
5.4	Μετρήσεις σε διάταξη α-φασματοσκοπικής ανάλυσης.....	135
5.4.1	Περιγραφή του πειράματος	135
5.4.2	Μετρήσεις στην α-φασματοσκοπία.....	136
5.4.3	Ερμηνεία και αξιολόγηση των μετρήσεων.....	137
5.5	Συμπεράσματα από τις μετρήσεις.....	139
	Πίνακες 5 ^{ου} κεφαλαίου	140
	Σχήματα 5 ^{ου} κεφαλαίου	142
6	Συμπεράσματα της ΔΕ και μελλοντικά βήματα.....	151
6.1	Συμπεράσματα από τις μετρήσεις με τον ΑΣΔΣ και το ΔΑΣ στο ΕΠΤ - ΕΜΠ	151
6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	155
	Βιβλιογραφία	157
	Παράρτημα Ι: Δειγματοληψία με χρήση φίλτρου ενεργού άνθρακα.....	161
	Παράρτημα ΙΙ : Αριθμητικός υπολογισμός της διαμέτρου αποκοπής.....	168

1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι η αξιοποίηση εξοπλισμού που διατίθεται στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας (ΕΠΤ-ΕΜΠ) για τη δειγματοληψία αεροζόλ και τον προσδιορισμό της κοκκομετρικής κατανομής του.

Οι συλλέκτες που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια της ΔΕ ήταν (α) ο Αδρανειακός Συλλέκτης Διαδοχικών Σταδίων (ΑΣΔΣ, Cascade Impactor) και (β) ο Δακτυλιοειδής Αδρανειακός Συλλέκτης (ΔΑΣ, Annular Kinetic Impactor). Οι συλλέκτες αυτοί δεν είχαν τεθεί σε λειτουργία μέχρι την έναρξη της ΔΕ και για το λόγο αυτό μέσα στους στόχους της ΔΕ ήταν να διερευνηθεί με ποιο τρόπο θα γίνει η βέλτιστη δυνατή αξιοποίησή τους.

Στο πλαίσιο της ΔΕ έγιναν δειγματοληψίες αέρα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης του ισοτόπου κοσμικής προέλευσης ^7Be στα διάφορα κοκκομετρικά κλάσματα ατμοσφαιρικού αεροζόλ, με χρήση Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων. Επιπλέον έγινε χρήση Δακτυλιοειδή Αδρανειακού Συλλέκτη (Annular Kinetic Impactor) για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης τόσο του ^7Be , όσο και θυγατρικών του ραδονίου. Επισημαίνεται στο σημείο αυτό ότι τα παραπάνω ισότοπα που προσδιορίστηκαν είναι ισότοπα φυσικής ραδιενέργειας και έχουν αμελητέα ραδιοβιολογική σημασία για τις συγκεντρώσεις στις οποίες απαντώνται στους εξωτερικούς χώρους σε συνήθεις συνθήκες. Αποτελούν ωστόσο ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη μελέτη του ατμοσφαιρικού αεροζόλ και των οργάνων και μεθόδων προσδιορισμού του. Από τη διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια της ΔΕ προέκυψε η καταλληλότερη διαδικασία πραγματοποίησης δειγματοληψιών με τους δύο δειγματολήπτες, με βάση την ευκολία εκτέλεσης της μέτρησης, τον ελάχιστο χρόνο

προετοιμασίας της δειγματοληψίας, την οικονομία σε αναλώσιμα και την καλύτερη δυνατή απόδοση συλλογής αεροζόλ.

Για την ανάλυση των δειγμάτων έγινε χρήση του ανιχνευτή γερμανίου XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ, ο οποίος είναι εξοπλισμένος και με διάταξη Compton Suppression (Compton Suppression System, CSS), καθώς και της διάταξης α-φασματοσκοπίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ.

Η Δ.Ε. αποτελείται από έξι κεφάλαια, συμπεριλαμβανομένου του παρόντος, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στη συνέχεια:

Στο 2^ο κεφάλαιο γίνεται μια συνοπτική περιγραφή των μεθόδων δειγματοληψίας αέρα που αποσκοπούν στον προσδιορισμό ραδιενεργών ισοτόπων, ξεκινώντας από την καταγραφή των βασικών παραμέτρων που διαμορφώνουν τη στρατηγική της δειγματοληψίας και εξειδικεύοντας στη συνέχεια στις δειγματοληψίες για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ραδιοϊσοτόπων, είτε ραδιενεργών αερίων, είτε ραδιενεργού αεροζόλ, και μάλιστα για τα ισότοπα που ενδιαφέρουν στα πλαίσια της ΔΕ (^{222}Rn και θυγατρικά του και ^7Be). Τέλος αναφέρονται συνοπτικά οι ανιχνευτικές διατάξεις α- και γ- φασματοσκοπίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ, με έμφαση στον ανιχνευτή γερμανίου XtRa και τη διάταξη Compton Suppression που χρησιμοποιήθηκαν για τις γ-φασματοσκοπικές αναλύσεις.

Στο 3^ο κεφάλαιο, γίνεται θεωρητική ανάλυση των Αδρανειακών Συλλεκτών. Αρχικά περιγράφονται οι βασικές αρχές λειτουργίας τους, ορισμένα στοιχεία της ιστορικής εξέλιξή τους και γίνεται μια αναφορά σε διάφορες εφαρμογές των Αδρανειακών Συλλεκτών που αναφέρονται στη βιβλιογραφία. Στη συνέχεια, εισάγονται μια σειρά μεγεθών που απαιτούνται για τη μελέτη της απόδοσης συλλογής

των Αδρανειακών Συλλεκτών, όπως η διάμετρος Stokes, η Αεροδυναμική διάμετρος, οι αριθμοί Stokes και Reynolds και η διάμετρος αποκοπής.

Το 4^ο κεφάλαιο, αφορά στις δειγματοληψίες με τον ΑΣΔΣ του ΕΠΤ-ΕΜΠ, που διεξήχθησαν στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ. Αρχικά, γίνεται η αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήθηκε, αναφέροντας μάλιστα και αρχικές ιδέες για τη διαμόρφωση αυτής της διαδικασίας, οι οποίες δεν καρποφόρησαν. Στη συνέχεια γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών με τη διαδικασία που υιοθετήθηκε και προτείνεται στα πλαίσια της ΔΕ, μεγάλο τμήμα της οποίας αποτελεί η διαδικασία υπολογισμού της κοκκομετρίας σε κάθε στάδιο του ΑΣΔΣ, για τις διάφορες δειγματοληψίες. Στο τέλος, γίνεται καταγραφή και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τη μέτρηση των δειγμάτων στον ανιχνευτή XtRa και διατυπώνονται ορισμένα βασικά συμπεράσματα που εξάγονται για τη δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ με χρήση της συγκεκριμένης συσκευής,

Αντίστοιχα, το 5^ο κεφάλαιο αφορά τις δειγματοληψίες με το Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Στο παρόν κεφάλαιο εισάγονται ορισμένα στοιχεία θεωρίας που αφορούν τον υπολογισμό της απόδοσης συλλογής, ειδικά για το συγκεκριμένο τύπο αδρανειακό συλλέκτη. Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την εκτέλεση των δειγματοληψιών ενώ, τέλος, γίνεται παράθεση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις μετρήσεις των δειγμάτων για προσδιορισμό της συγκέντρωσης ^7Be και θυγατρικών ραδονίου (^{214}Pb , ^{214}Bi) με μεθόδους γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης, καθώς και την ανίχνευση των θυγατρικών του ραδονίου : ^{218}Po , ^{214}Po και ^{210}Po με τεχνικές α-φασματοσκοπίας.

Στο 6^ο κεφάλαιο γίνεται μια ανακεφαλαίωση των συμπερασμάτων από τις μετρήσεις που διεξήχθησαν και διατυπώνονται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Η ΔΕ ολοκληρώνονται με δύο Παραρτήματα, στο τέλος του παρόντος τεύχους. Το πρώτο αφορά σε μια δειγματοληψία που διεξήχθη στα πλαίσια της ΔΕ με φίλτρο ενεργού άνθρακα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ^{222}Rn στον ατμοσφαιρικό αέρα η οποία δεν τελεσφόρησε, ενώ το δεύτερο αφορά σε κώδικα που αναπτύχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Fortran, για τον υπολογισμό των διαμέτρων αποκοπής σε κάθε στάδιο, για τις δειγματοληψίες με τον ΑΣΔΣ του ΕΠΤ-ΕΜΠ.

2 Προσδιορισμός ραδιενεργών ισοτόπων στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ

2.1 Εισαγωγή στη δειγματοληψία αέρα

2.1.1 Ο σκοπός της δειγματοληψίας αέρα

Η δειγματοληψία αέρα είναι μια διαδικασία που αποσκοπεί στον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρυπαντών στον ατμοσφαιρικό αέρα και μπορεί να διεξαχθεί τόσο σε ανοιχτούς όσο και σε κλειστούς χώρους. Η δειγματοληψία αέρα μπορεί να είναι είτε **ατομική δειγματοληψία** (personal sampling) με φορητές συσκευές που επιτρέπουν τη δειγματοληψία κατά τη διάρκεια μίας μεγάλης περιόδου (π.χ. ενός 24ώρου) και για έκθεση σε πολλούς διαφορετικούς τύπους ρυπαντών σε κλειστούς και ανοιχτούς χώρους, είτε **δειγματοληψία περιοχής** (community air sampling) με σταθερούς δειγματοληπτικούς σταθμούς που χρησιμεύουν για μετρήσεις στη θέση δειγματοληψίας.

Ο σκοπός διεξαγωγής δειγματοληψιών αέρα μπορεί να είναι είτε η προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος είτε η μελέτη μετεωρολογικών και άλλων φαινομένων. Δειγματοληψίες μπορούν να διεξάγονται είτε για υλικά που μπορούν να θεωρηθούν ρυπαντές, όπως SO₂, NO_x κλπ, είτε για ουσίες φυσικής προέλευσης (πχ. αιωρούμενα σωματίδια, θυγατρικά ραδονίου στον αέρα, ⁷Be, κλπ). Για λόγους συντομίας, στη συνέχεια, οτιδήποτε ανιχνεύεται στον αέρα θα αναφέρεται πάντα ως ρυπαντής, έστω κι αν έχει φυσική προέλευση.

Περισσότερα στοιχεία για το δειγματοληψίας αέρα μπορούν να αναζητηθούν στη βιβλιογραφία (ACGIH, 1989; Wilcox, 1955; Ioannidou, 2010, Papandreou 2011).

2.1.2 Διάρκεια δειγματοληψίας

Η δειγματοληψία μπορεί να είναι είτε **στιγμιαία** (“instantaneous” or “grab” sampling) είτε **συνεχής** (“average” or “integrated” sampling). Δεν υπάρχει αυστηρή διαχωριστική γραμμή ανάμεσα στις δύο κατηγορίες, ωστόσο συνηθέστερα ως “grab sampling” αναφέρονται δειγματοληψίες διάρκειας 5-10 λεπτών.

Η διάρκεια της δειγματοληψίας καθορίζεται από τον τύπο της μέτρησης καθώς και το είδος ρυπαντή που ενδιαφέρει. Δειγματοληψίες βραχείας περιόδου μπορούν να χρησιμεύσουν για τη μέτρηση μέγιστων συγκεντρώσεων ρυπαντών με μικρή διάρκεια ζωής, ή σε περίπτωση ατυχημάτων για τον εντοπισμό επικίνδυνων ρυπαντών στο χώρο του ατυχήματος (πχ. ατυχήματα σε πυρηνικούς σταθμούς κλπ), αμέσως μετά από αυτό.

Αντίστοιχα, δειγματοληψίες μέσης περιόδου χρησιμεύουν στη μέτρηση της συνολικής έκθεσης του ανθρώπινου οργανισμού σε ρυπαντές και τα αθροιστικά αποτελέσματα της έκθεσης αυτής, ή στη μελέτη της διακύμανσης της συγκέντρωσης συγκεκριμένων ρυπαντών σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (π.χ. μελέτη της διακύμανσης της συγκέντρωσης του ^7Be στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά την πάροδο ενός έτους).

Η διάρκεια της δειγματοληψίας συναρτάται και από την ποσότητα δείγματος που πρέπει να συλλεχθεί, προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια στην εκτίμηση της συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών ρυπαντών που ενδιαφέρουν.

2.1.3 Ρυθμός δειγματοληψίας

Στον καθορισμό της διάρκειας της δειγματοληψίας, σημαντικό ρόλο παίζει η ποσότητα αέρα που αναρροφάται από την αντλία αναρρόφησης σε δεδομένο χρονικό

διάστημα. Συγκεκριμένα, ορίζεται ως ρυθμός δειγματοληψίας ο όγκος του αναρροφούμενου ρευστού προς τη μονάδα χρόνου της δειγματοληψίας. Καθώς μία δειγματοληψία μπορεί να διεξάγεται σε ποικίλες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας, συνηθίζεται ο ρυθμός δειγματοληψίας να ανάγεται σε κανονικές συνθήκες ($P=1\text{atm}$, $T=20^\circ\text{C}$), οπότε και ο ρυθμός της δειγματοληψίας ταυτίζεται με την παροχή μάζας αέρα της αντλίας με την οποία πραγματοποιείται η δειγματοληψία. Εφεξής, οποτεδήποτε αναφέρεται ο ρυθμός δειγματοληψίας εννοείται η παροχή της αντλίας και το αντίστροφο. Συνηθέστερες μονάδες μέτρησης είναι : m^3/min , m^3/h , SLPM (Standard Liters per minute).

Η ρύθμιση της παροχής της αντλίας με την οποία πραγματοποιείται η δειγματοληψία, είναι κεφαλαιώδους σημασίας. Από τη θεωρία των ρευστών, είναι γνωστό ότι η παροχή συνδέεται με την ταχύτητα της εισόδου του ρευστού στη συσκευή της δειγματοληψίας. Ανάλογα με τον τύπο της δειγματοληψίας, υπάρχουν διαφορετικές απαιτήσεις για την ταχύτητα του ρευστού κατά τη διέλευσή του από τη συσκευή, άρα απαίτηση για διαφορετικές παροχές. Συνήθως η παροχή ρυθμίζεται σε μια συγκεκριμένη τιμή καθ' όλη τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Ωστόσο, λόγω φαινομένων στραγγαλισμού της ροής ή κόπωσης της αντλίας, η παροχή συνήθως μεταβάλλεται εντός ενός εύρους τιμών.

Για τη δειγματοληψία αερίων δειγμάτων δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί για την ταχύτητα του ρευστού κατά την είσοδο στη συσκευή. Αυτό συμβαίνει χάρη στη μεγάλη αντίσταση των αερίων μιγμάτων σε διαχωρισμό από αδρανειακές ή φυγοκεντρικές δυνάμεις.

Αντίθετα, κατά τη δειγματοληψία αεροζόλ, υπάρχουν περιορισμοί κατά την επιλογή της επιθυμητής παροχής - άρα και ταχύτητας - οι οποίοι οφείλονται στον

κίνδυνο ανάπτυξης φαινομένων υποπίεσης στην είσοδο της συσκευής, με αποτέλεσμα την απώλεια δείγματος (ειδικά για μεγάλα σωματίδια). Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι η επιλογή της επιθυμητής παροχής συνδέεται με το μέγεθος των σωματιδίων του αεροζόλ, που πρόκειται να συλλεχθεί. Για μεγαλύτερα σωματίδια επιλέγεται μικρότερη παροχή και το αντίστροφο.

2.1.4 Ακρίβεια δειγματοληψίας

Στις δειγματοληψίες αέρα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ραδιοϊσοτόπων στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ, μας ενδιαφέρει ο συνδυασμός της κατάλληλης παροχής με την απαιτούμενη διάρκεια δειγματοληψίας, ώστε να συλλέξουμε την επιθυμητή ποσότητα δείγματος. Η ποσότητα συλλεχθέντος δείγματος μας ενδιαφέρει, καθώς συνδέεται άμεσα με την ακρίβεια με την οποία θα προσδιορισθεί τελικά ο υπό μελέτη ρυπαντής, στο δείγμα που συλλέγεται..

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να υπενθυμίσουμε ότι στις διάφορες μετρήσεις προκύπτουν δύο τύποι σφαλμάτων. Το **συστηματικό ή σταθερό σφάλμα**, προκύπτει από ατελώς αντιπροσωπευτική δειγματοληψία λόγω πεπερασμένου αριθμού σημείων δειγματοληψίας και πεπερασμένου χρόνου στον οποίο λαμβάνουν χώρα οι δειγματοληψίες αυτές, όπως κι επίσης από ατελείς βαθμονομήσεις των μετρητικών οργάνων ή ατελείς τεχνικές μέτρησης. Το συστηματικό σφάλμα μπορεί να εκτιμηθεί με διενέργεια δειγματοληψίας στο ίδιο σημείο με διαφορετική συσκευή γνωστής ακρίβειας και διαφορετική αρχή λειτουργίας, κατά προτίμηση (MacDonald, 1972). Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει ο συχνός έλεγχος της ακριβούς βαθμονόμησης των μετρητικών οργάνων.

Το **τυχαίο ή πειραματικό σφάλμα** προκύπτει από τυχαίες διακυμάνσεις διαφόρων παραμέτρων κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας. Οι διακυμάνσεις αυτές μπορεί να είναι χρονικές, παράγοντας μεγάλες αποκλίσεις σε δειγματοληψίες διαφορετικής ώρας και διάρκειας ή χωρικές, παράγοντας, αντίστοιχα, μεγάλες αποκλίσεις σε ταυτόχρονες δειγματοληψίες σε διαφορετικά σημεία του ίδιου χώρου. Συγκεκριμένα, τέτοια σφάλματα μπορεί να προκύπτουν από αλλαγές στις συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης του αέρα, την ύπαρξη ανέμων ή άλλων καιρικών φαινομένων (πχ. βροχή) κατά τη διάρκεια μιας δειγματοληψίας, την ύπαρξη πολλαπλών πηγών ρύπανσης ανάλογα με διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες κοκ. Το τυχαίο σφάλμα μπορεί να προκύπτει επίσης από τη στατιστική φύση του μετρούμενου μεγέθους (Σιμόπουλος, 1989).

2.1.5 Κατηγορίες ατμοσφαιρικών ρυπαντών και βασικές μέθοδοι συλλογής

Οι ατμοσφαιρικοί ρυπαντές μπορούν να χωριστούν ανάλογα με τη φύση τους σε αυτούς που απαντώνται σε αέρια μορφή (αέρια ή ατμοί) κι εκείνους που απαντώνται σε σωματιδιακή μορφή.

Οι πρώτοι μπορούν να περιλαμβάνουν ουσίες όπως σουλφίδια του υδρογόνου ή μονοξείδιο του άνθρακα καθώς και αέρια (π.χ. ατμούς μεθανόλης κοκ). Η διάκριση ανάμεσα σε αέρια και ατμούς γίνεται λόγω διαφορετικού τρόπου συλλογής.

Αναφορικά με τις μεθόδους συλλογής, οι αέριοι ρυπαντές ομαδοποιούνται με βάση τη διαλυτότητα και την τάση ατμών, ως εξής:

1. Αέρια και ατμοί που διαλύονται στο νερό, συλλέγονται με υδάτινα μέσα, στα οποία μπορεί να έχει προστεθεί κατάλληλη χημική ουσία που αντιδρά με το ρυπαντή και τον δεσμεύει.

2. Αέρια και ατμοί που δεν είναι υδατοδιαλυτοί αλλά διαλύονται σε, ή αντιδρούν με άλλα μέσα και μπορούν να απορροφηθούν με τα αντίστοιχα διαλύματα.
3. Αέρια και ατμοί που δε διαλύονται ούτε αντιδρούν με άλλες ουσίες, μπορούν να συλλεχθούν με απορροφητές όπως ο ενεργός άνθρακας ή το silica gel.

Οι σωματιδιακοί ρυπαντές χαρακτηρίζονται από το μέγεθος του σωματιδίου και τη φάση στην οποία βρίσκεται (υγρή ή στερεά). Τα στερεά σωματίδια όπως η σκόνη ή το αεροζόλ είναι συνήθως αποτέλεσμα βιομηχανικών διεργασιών και τα μεγέθη τους μπορούν να κυμαίνονται από <math><1\mu\text{m}</math> μέχρι ορατά μεγέθη. Μεγάλη σημασία έχουν για την ανθρώπινη υγεία έχουν τα μικρότερα σε μέγεθος σωματίδια καθότι είναι δυνατόν να εισχωρήσουν σε βάθος στο αναπνευστικό σύστημα. Το όριο μεγέθους για να θεωρηθεί ότι ένα σωματίδιο μπορεί να εισχωρήσει στο αναπνευστικό σύστημα και να εισέλθει στους πνεύμονες τίθεται συνήθως στα 5 μm ή 10 μm (Davies 1991). Το κλάσμα του αεροζόλ που βρίσκεται κάτω από το όριο αυτό αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως PM_5 ή PM_{10} αντίστοιχα.

Οι σωματιδιακοί ρυπαντές μπορούν να συλλεχθούν με διάφορες μεθόδους, κυριότερες από τις οποίες είναι η χρήση τεχνικών φυγοκέντρισης, αδρανειακών μεθόδων, ηλεκτροστατικών δυνάμεων και μέσω φίλτραρίσματος. Οι μέθοδοι συλλογής αεροζόλ με φίλτρα περιγράφονται αναλυτικά στην παράγραφο 2.2.2.4.

2.1.6 Στρατηγική δειγματοληψίας αέρα

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι δεν υπάρχει ένας και μοναδικός τρόπος διεξαγωγής μιας δειγματοληψίας. Αντιθέτως, θα πρέπει κάθε φορά να καταστρώνεται μια στρατηγική που θα οδηγεί στο βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα, απαντώντας σε ορισμένα ερωτήματα.

Τα βασικά ερωτήματα που διαμορφώνουν τη «στρατηγική της δειγματοληψίας» είναι τα εξής:

- *αν θα πρέπει να διεξαχθεί η δειγματοληψία ή όχι* (υπάρχει, δηλαδή πιθανότητα ύπαρξης αυξημένης συγκέντρωσης ρυπαντή στον αέρα ή όχι)
- *σε ποιο μέρος* (κλειστός ή ανοιχτός χώρος, σημεία όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα να εντοπίζεται μέγιστη συγκέντρωση κλπ)
- *για πόση ώρα* (στιγμιαία ή συνεχής),
- *πόσος όγκος αέρα θα πρέπει να συλλεχθεί* (ανάλογα με πόση ποσότητα ρυπαντή εκτιμάμε ότι θα περιέχεται σε αυτόν, την ευαισθησία της αναλυτικής μεθόδου και τα προσδιορισμένα επίπεδα ελέγχου)
- *πόσα δείγματα πρέπει να ληφθούν* (εκτίμηση συστηματικού και τυχαίου σφάλματος)
- *πόσο συχνά θα πρέπει να γίνεται η δειγματοληψία* (υπολογισμός μεγίστων ή μέσου όρου)

2.2 Η φυσική ραδιενέργεια στον αέρα

Η φυσική ραδιενέργεια στον αέρα οφείλεται κυρίως στα ισότοπα του ραδονίου (^{222}Rn και ^{220}Rn), καθώς και τα θυγατρικά τους ραδιενεργά ισότοπα (^{214}Pb , ^{212}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Pb κ.α.). Οι συγκεντρώσεις τους στον αέρα παρουσιάζουν σημαντική κύμανση, οφειλόμενη στη συγκέντρωση στο χώμα των αντίστοιχων ισωτόπων του ραδίου (^{226}Ra , ^{224}Ra), την απόσταση από το έδαφος, το είδος και το πορώδες του χώματος, τη θερμοκρασία και την υγρασία, του αέρα, διάφορα καιρικά φαινόμενα κλπ.

Ένα άλλο φυσικό ραδιενεργό ισότοπο το οποίο ανιχνεύεται στον αέρα είναι το ^7Be . Το ^7Be είναι ισότοπο κοσμικής προέλευσης, παράγεται στην στρατόσφαιρα και την τροπόσφαιρα και μεταφέρεται στο έδαφος λόγω βαρύτητας και λόγω των υγρών κατακρημνίσεων (πχ. βροχή). Το ^7Be δεν έχει ραδιοβιολογική σημασία, αλλά η μελέτη της συγκέντρωσής του στον αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη ατμοσφαιρικών μετακινήσεων. Η συγκέντρωσή του ^7Be στον αέρα κυμαίνεται ανάλογα με τις γεωγραφικές συντεταγμένες, το ύψος, τις μετεωρολογικές συνθήκες, την ηλιακή ακτινοβολία κλπ. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η συγκέντρωση του ^7Be στον αέρα, στην Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, κυμαίνεται περί τα $4\text{-}9\text{ Bq/m}^3$ (Αναγνωστάκης, 2011).

Τέλος, στον αέρα είναι δυνατόν να ανιχνεύονται και ραδιενεργά ισότοπα λόγω αιωρούμενης σκόνης, προερχόμενης από επαναιώρηση από το έδαφος, ηφαιστειακή δραστηριότητα, διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες (πχ. βιομηχανία), δασικές πυρκαγιές κλπ.

2.2.1 Το ραδόνιο (^{222}Rn)

Το ραδόνιο είναι αδρανές ραδιενεργό αέριο και αποτελείται από πολλά ισότοπα, τα κυριότερα των οποίων είναι τα ^{222}Rn (ραδόνιο), ^{220}Rn (θορόνιο) και ^{219}Rn , τα οποία παράγονται από α -διασπάσεις των πατρικών πυρήνων που είναι αντίστοιχα ισότοπα του ραδίου. Το ^{222}Rn έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 3.82 ημέρες και είναι το πιο σημαντικό από τα ισότοπα του ραδονίου. Ακολουθεί το θορόνιο ^{220}Rn με χρόνο υποδιπλασιασμού 55s, ενώ το ^{219}Rn έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 3.96s.

Το ραδόνιο διαφεύγει εύκολα από τον τόπο παραγωγής (έδαφος, οικοδομικά υλικά κλπ) προς τον περιβάλλοντα αέρα όπου διασπάται στα θυγατρικά του, τα οποία

είναι επίσης ραδιενεργά. Τα πιο σημαντικά από τα θυγατρικά του ραδονίου ^{222}Rn είναι ο μόλυβδος ^{214}Pb , το βισμούθιο ^{214}Bi και το πολώνιο ^{218}Po . Τα θυγατρικά αυτά δεν είναι αδρανή αέρια, όπως το ραδόνιο και μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε ατμοσφαιρικά αεροζόλ, όπου μέσω της εισπνοής μπορούν να επικαθίσουν στο πνευμονικό επιθήλιο. Επίσης, το ραδόνιο μπορεί εύκολα να διαλυθεί στο νερό, σε περιοχές με υψηλή συγκέντρωση ραδίου στο υπέδαφος. Αν βρεθεί ωστόσο σε επαφή με την ατμόσφαιρα, μπορεί εύκολα να διαφύγει με αποτέλεσμα οι υψηλές συγκεντρώσεις ραδονίου στο νερό να εντοπίζονται στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα.

Το ραδόνιο είναι υπεύθυνο για το 47% της ετήσιας δόσης που λαμβάνει ο μέσος κάτοικος του πλανήτη (UNSCEAR, 2000). Θεωρείται, παγκοσμίως, ως η δεύτερη σημαντικότερη αιτία καρκίνου του πνεύμονα μετά το κάπνισμα (IARC, 1988). Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η μέτρηση της συγκέντρωσης του ραδονίου κατά την κατασκευή ή επισκευή κτιρίων σε περιοχές με υψηλές τιμές φυσικής ραδιενέργειας. Σύμφωνα με την ευρωπαϊκή νομοθεσία (90/143/Euratom), τα όρια δράσης για τη συγκέντρωση του ραδονίου σε κατοικίες έχουν τεθεί σε 200 Bq/m^3 για νέες κατοικίες και 400 Bq/m^3 για υπάρχουσες.

Τυπική τιμή της ραδιενέργειας του ραδονίου, σε εξωτερικούς χώρους, είναι 2-4 Bq/m^3 . Αντίθετα, σε εσωτερικούς χώρους (πχ. κατοικίες) η συγκέντρωση μπορεί να είναι σημαντικά υψηλότερη. Για κατοικίες στην Ελλάδα η συγκέντρωση του ραδονίου έχει βρεθεί ότι κυμαίνεται από μερικά Bq/m^3 έως τα 490 Bq/m^3 ενώ ο αριθμητικός μέσος είναι 73 Bq/m^3 (UNSCEAR, 2000).

2.2.2 Το ισότοπο κοσμικής προέλευσης ^7Be

Το ^7Be είναι ένα από τα δώδεκα ισότοπα του στοιχείου Βηρυλλίου και είναι αυτό το οποίο κυρίως μελετάται στα πλαίσια της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας. Το ισότοπο ^7Be είναι ραδιενεργό και εκπέμπει φωτόνια ενέργειας 477.59 keV με ποσοστό εκπομπής 10.4%. Έχει σχετικά μικρό χρόνο ημιζωής (53.3 ημέρες). Παράγεται από μια διαδικασία βομβαρδισμού ελαφρών ατμοσφαιρικών πυρήνων όπως ο άνθρακας, το άζωτο και το οξυγόνο, με πρωτόνια και νετρόνια υψηλής ενέργειας (1GeV) που προέρχονται από κοσμικές ακτίνες (Rindi, 1967).

Ο ρυθμός παραγωγής του ^7Be , επομένως, εξαρτάται από την ένταση της κοσμικής ακτινοβολίας και τους παράγοντες που την καθορίζουν, όπως οι ηλιακές κηλίδες και ο ενδεκαετής κύκλος του ήλιου, ο ηλιακός άνεμος, οι μαγνητικές καταιγίδες και οι ηλιακές εκλάμψεις (Δ.Ε. Μ. Σάββα, 2009).

Αμέσως μετά τη διαδικασία του σχηματισμού του στην τροπόσφαιρα, το ^7Be συσχετίζεται με σωματίδια αεροζόλ, διαστάσεων μικρότερων του ενός 1μm (Bondi, 1987) και μέσω αυτών μπορεί να φτάσει στο έδαφος.

Ακριβώς λόγω της συσχέτισής του με τα ατμοσφαιρικά αεροζόλ, το ^7Be θεωρείται ένα αξιόπιστο εργαλείο για τη μελέτη περιβαλλοντικών διεργασιών, όπως η μεταφορά του αεροζόλ, ο χρόνος παραμονής του στην τροπόσφαιρα (Martell, 1970), η ταχύτητα απόθεσης αεροζόλ (Young, 1980) και η παγίδευση αεροζόλ από την υπέργεια χλωρίδα (Bondi, 1984). Επίσης, μελετώντας τη συγκέντρωση του ^7Be , μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την κατακόρυφη κίνηση αερίων μαζών (Lal, 1958), (Gregory, 1996), (Young, 1980).

Η συγκέντρωση του ${}^7\text{Be}$ στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από μετεωρολογικές και ατμοσφαιρικές παραμέτρους, όπως η θερμοκρασία, η ατμοσφαιρική πίεση, η σχετική υγρασία, η βροχόπτωση, η χιονόπτωση και η νέφωση (Δ.Ε. Μ. Σάββα, 2009).

Στο πλαίσιο της παρούσης Διπλωματικής Εργασίας, θα γίνει μελέτη της συγκέντρωσης του ${}^7\text{Be}$ στην ατμόσφαιρα και της κατανομής του σε διαφορετικές αεροδυναμικές διαμέτρους στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ, με χρήση αδρανειακού συλλέκτη διαδοχικών σταδίων (cascade impactor).

2.3 Μέθοδοι δειγματοληψίας για τον εντοπισμό της συγκέντρωσης

ραδιοϊσοτόπων στον αέρα

Όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω, οι μέθοδοι δειγματοληψίας και ανάλυσης θα πρέπει να αντιστοιχούν στα συγκεκριμένα ραδιοϊσότοπα των οποίων η ανίχνευση και ο προσδιορισμός ενδιαφέρει. Μικροί χρόνοι υποδιπλασιασμού (μερικά λεπτά) των ισοτόπων που ενδιαφέρουν (πχ. θυγατρικά ${}^{222}\text{Rn}$) απαιτούν πολύ καλά συντονισμένη διαδικασία συλλογής και φασματοσκοπικής ανάλυσης για να οδηγήσουν σε ασφαλείς μετρήσεις.

Η διαδικασία συλλογής των ραδιενεργών ισοτόπων διαφέρει, ανάλογα με το αν βρίσκονται σε αέρια μορφή, σε μορφή ατμών ή σε σωματιδιακή μορφή (αεροζόλ).

Για τον εντοπισμό της συγκέντρωσης των ισοτόπων που μας ενδιαφέρουν μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στιγμιαία δειγματοληψία (grab sampling) όσο και συνεχής (continuous or integrated sampling). Η πρώτη θα δώσει πληροφορία για τη συγκέντρωση του συγκεκριμένου ισοτόπου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, κυρίως ποιοτικά, στο συγκεκριμένο σημείο που έγινε η δειγματοληψία. Με συνεχή

δειγματοληψία, αντίθετα, μπορούμε να προσδιορίσουμε με ακρίβεια τη συγκέντρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα του ραδιοϊσοτόπου που μας ενδιαφέρει, για τη συγκεκριμένη περιοχή όπου διεξάγεται η δειγματοληψία.

Στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ πραγματοποιήθηκαν τόσο στιγμιαίες δειγματοληψίες με το Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη της Staplex (διάρκειας δύο ωρών), όσο και συνεχείς δειγματοληψίες με τον Αδρανειακό Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων της Staplex (διάρκειας 24 ή 48 ωρών).

Με τη διεξαγωγή σειράς συνεχών δειγματοληψιών, μπορούμε να εκτιμήσουμε διακυμάνσεις και μέγιστα συγκεντρώσεων, αλλά να εκτιμήσουμε και την επίδραση ανέμων ή καιρικών φαινομένων στις συγκεντρώσεις ισοτόπων στην ατμόσφαιρα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κατεξοχήν για επίβλεψη πυρηνικών αντιδραστήρων και των αντίστοιχων μεταποιητικών εγκαταστάσεων, ενώ στην περίπτωση του ^7Be χρησιμεύει και στη μελέτη της κίνησης αέριων μαζών, μετεωρολογικών φαινομένων κλπ.

Σημαντικό στοιχείο στην κατάστροψη της «στρατηγικής» δειγματοληψίας μας θα πρέπει να είναι η σύνδεση ανάμεσα στις δειγματοληπτικές και τις ανιχνευτικές διατάξεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις απαιτείται άμεση μέτρηση των δειγμάτων, πχ. για τα θυγατρικά του ραδονίου, ενώ άλλες φορές αυτό δεν είναι απαραίτητο.

2.3.1 Δειγματοληψία ραδιενεργών αερίων και ατμών

Τα ραδιενεργά αέρια μπορούν να συλλεχθούν με ειδικά φίλτρα ενεργού άνθρακα (cartridges), τα οποία στη συνέχεια τοποθετούνται εντός ανιχνευτή για φασματοσκοπική ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται

ευρέως σε περιβαλλοντικούς ελέγχους για τον έλεγχο της συγκέντρωσης ^{222}Rn , ατμών υδραργύρου και ^{131}I .

Η απορρόφηση μπορεί να είναι αντιστρεπτή ή μη αντιστρεπτή (Das, 2004). Σε περίπτωση που η απορρόφηση είναι αντιστρεπτή, μετά την ανάλυση των φίλτρων και τον προσδιορισμό των αερίων ιχνοστοιχείων το φίλτρο είναι δυνατόν να αναγεννηθεί, με θέρμανση του φίλτρου σε ειδικό κλίβανο σε ορισμένη θερμοκρασία και για ορισμένο χρονικό διάστημα, προκειμένου να επαναχρησιμοποιηθεί. Σημαντικός παράγοντας για την απόδοση των φίλτρων ενεργού άνθρακα, είναι η ύπαρξη προσμίξεων, όπως υδρατμός, η οποία οδηγεί σε διαφορετικές αποδόσεις του φίλτρου για δειγματοληψία σε ανοιχτό και κλειστό χώρο και για διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας – παρόλο που δεν ήταν αυτός ο στόχος της ΔΕ – για τη μελέτη της συγκέντρωσης του ραδονίου στον ατμοσφαιρικό αέρα χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα ενεργού άνθρακα βάρους 100g. Οι μετρήσεις με φίλτρα ενεργού άνθρακα, στο πλαίσιο της εργασίας, αναφέρονται και σχολιάζονται στο Παράρτημα Ι, στο τέλος του παρόντος τεύχους.

Επίσης, μια μέθοδος για τη συλλογή του ^{222}Rn είναι η μέθοδος “Lucas Flask”. Στη συγκεκριμένη μέθοδο εισάγουμε αέρα σ’ ένα δοχείο του οποίου η βάση είναι από γυαλί και η υπόλοιπη επιφάνεια είναι επιχρισμένη με θειούχο ψευδάργυρο (ZnS). Καθώς τα σωματίδια-α, που εκπέμπει το ^{222}Rn , αλληλεπιδρούν με το θειούχο ψευδάργυρο, παράγονται σπινθηρισμοί οι οποίοι μετρώνται τοποθετώντας ένα φωτοπολλαπλασιαστή στη βάση του δοχείου και συνδέοντάς τον με μια μετρητική συσκευή (ACGIH, 1989). Η μέθοδος αυτή δε θα μας απασχολήσει περαιτέρω στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ.

2.3.2 Δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ

Η συγκέντρωση ραδιενεργών σωματιδίων στον αέρα προσδιορίζεται με φίλτρα τα οποία συλλέγουν όλα τα αιωρούμενα σωματίδια (όχι μόνο τα ραδιενεργά) και εν συνεχεία μέτρηση της ραδιενέργειας στα φίλτρα αυτά. Η ακρίβεια της μέτρησης θα πρέπει να προσδιορισθεί για τη δεδομένη πηγή, φίλτρο και γεωμετρία του ανιχνευτή. Τα φίλτρα συσκευάζονται σε συγκεκριμένη γεωμετρία πριν τοποθετηθούν στον ανιχνευτή η οποία θα αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη βαθμονόμηση του ανιχνευτικού συστήματος. Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί για φίλτρα χρησιμοποιούνται μεταλλικές επιφάνειες συλλογής (πχ. από Al) που μας δίνουν το πλεονέκτημα της πολλαπλής χρήσης, δεδομένου ότι καθαρίζονται ενδελεχώς μετά από κάθε χρήση, με τους ίδιους, ωστόσο, περιορισμούς αναφορικά με τη γεωμετρία του δείγματος. Συσκευές όπως οι Αδρανειακοί Συλλέκτες Διαδοχικών Σταδίων (ΑΣΔΣ) επιτρέπουν το διαχωρισμό των σωματιδίων σε διάφορα μεγέθη κατά την διαδικασία της αναρρόφησης. Οι ΑΣΔΣ παρουσιάζονται αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 3.

Το φιλτράρισμα είναι η πιο διαδεδομένη διαδικασία δειγματοληψίας αεροζόλ. Συνδυάζει χαμηλό κόστος και απλότητα στην εκτέλεση. Κατά τις δειγματοληψίες αεροζόλ με φίλτρα, ο αέρας διέρχεται μέσα από το φίλτρο, ενώ τα σωματίδια του αεροζόλ κατακρατούνται πάνω στο φίλτρο.

Τα φίλτρα μπορούν να εξεταστούν για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ατμοσφαιρικών ρυπαντών, είτε άμεσα μετά τη δειγματοληψία είτε να φυλαχτούν καταλαμβάνοντας μικρό όγκο, για μεταγενέστερη ανάλυση. Η επιλογή κατάλληλης αντλίας, μέσου φιλτραρίσματος και μεγέθους του φίλτρου δίνει πολύ μεγάλη ευελιξία τόσο στην ποσότητα δείγματος που τελικά θα συλλεχθεί όσο και στη δειγματοληψία.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την είσοδο ή όχι των σωματιδίων στο συσκευή της δειγματοληψίας μπορούν να είναι το μέγεθος, η αδράνεια των σωματιδίων, η βαρύτητα, η συνεκτικότητα της ροής και οι συνθήκες ανέμου που επικρατούν στην περιοχή δειγματοληψίας. Η ομοιόμορφη κατανομή της ροής είναι ιδιαίτερα επιθυμητή όταν οι αναλύσεις γίνονται απευθείας πάνω στο φίλτρο ή όταν αναλύεται τμήμα μόνο του φίλτρου.

Η ακριβής μέτρηση της ταχύτητας της ροής και της διάρκειας δειγματοληψίας είναι εξίσου σημαντική με τη μέτρηση της ποσότητας δείγματος. Η συγκέντρωση του αεροζόλ προσδιορίζεται ως ο λόγος της ποσότητας δείγματος (αεροζόλ που έχει κατακρατηθεί από τα φίλτρα) προς το συνολικό όγκο αέρα που αναρροφήθηκε.

Η συνολική μάζα του δείγματος που συλλέγεται από το φίλτρο προκύπτει από τη ζύγιση του φίλτρου, πριν και μετά τη δειγματοληψία και ισούται με τη διαφορά μάζας που προκύπτει.

2.3.2.1 Τύποι φίλτρων για τη δειγματοληψία αεροζόλ

Εν γένει, τα φίλτρα που χρησιμοποιούνται έχουν πορώδη διαμόρφωση με μεταβλητές τις εξωτερικές διαστάσεις όπως το πάχος και τη διατομή (κάθετη στη ροή του ρευστού). Διαφέρουν μεταξύ τους σημαντικά στη διαδρομή που ακολουθεί το ρευστό περνώντας μέσα από το φίλτρο, την ταχύτητα της ροής του αέρα μέσα από το φίλτρο και τη χρονική διάρκεια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όλες αυτές οι παράμετροι προσδιορίζονται, σημαντικά, από τη διαμόρφωση του φίλτρου.

Ένας αρκετά παλιός και συνηθισμένος τύπος φίλτρων είναι τα ινώδη φίλτρα (fibrous filter) που αποτελούνται από λεπτά στρώματα κυτταρίνης, γυαλιού, χαλαζία,

αμιάντου ή πλαστικών ινών σε τυχαίο προσανατολισμό πάνω στο επίπεδο της επιφάνειας του φίλτρου.

Ένας άλλος συνηθισμένος τύπος φίλτρου είναι τα κοκκώδη στρώματα (granular bed), αποτελούμενα από κόκκους οι οποίοι στοιβάζονται σε μια καθορισμένη επιφάνεια. Οι κόκκοι από γυαλί ή τηγμένο αλουμίνιο (alundum) συμπιέζονται σε σχήμα δαχτυλιδιού για δειγματοληψία σε μεγάλες θερμοκρασίες (πχ. καμινάδες). Τέτοια λεπτά συμπιεσμένα στρώματα κόκκων χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές και είναι γνωστά ως silver membranes.

Παρά τις διαφορές στην κατασκευή, η διαδρομή που ακολουθεί το ρευστό διερχόμενο από τους παραπάνω τύπους φίλτρων είναι εν γένει παρόμοια.

Τέλος, υπάρχουν τα φίλτρα nuclepore τα οποία περιέχουν διαμπερείς οπές, οι οποίες διαμορφώνονται από την έκθεση λεπτών φύλλων (περίπου 10μm) πολυανθρακικού συνθετικού υλικού σε δέσμες νετρονίων σε πυρηνικούς αντιδραστήρες και η εν συνεχεία χημική χάραξη της διαδρομής των νετρονίων στο φύλλο.

2.3.2.2 Μηχανισμοί συγκράτησης σωματιδίων

Τα φίλτρα συγκρατούν σωματίδια από ένα ρεύμα αέρα με διάφορους μηχανισμούς. Σε αυτούς συμπεριλαμβάνονται η απευθείας ανάσχεση (ή συγκράτηση), η αδρανειακή απόθεση, η απόθεση με διάχυση, η ηλεκτροστατική και βαρυτική έλξη (σχήμα 2.1). Ο μηχανισμός (ένας ή περισσότεροι) που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε περίπτωση, επιλέγεται από την ταχύτητα της ροής, τον τύπο του φίλτρου και τη φύση του αεροζόλ.

Η ανάσχεση (interception) προκύπτει όταν η ακτίνα του σωματιδίου που κινείται σε μια συγκεκριμένη γραμμή ροής του αέριου ρεύματος, είναι μεγαλύτερη από την απόσταση της γραμμής αυτής από την επιφάνεια του φίλτρου. Ο μηχανισμός αυτός έχει νόημα για μεγάλους λόγους μεγέθους σωματιδίου προς μέγεθος οπής φίλτρου.

Η αδρανειακή απόθεση (inertial impaction) προκύπτει όταν τα σωματίδια, στο εσωτερικό του αέριου ρεύματος, τείνουν, λόγω αδράνειας να παραμένουν στην αρχική τους πορεία κι άρα προσκρούουν στην επιφάνεια του φίλτρου. Η συλλογή των σωματιδίων αυτών από το φίλτρο, ευνοείται από υψηλές ταχύτητες ροής που προκαλούν μεγαλύτερα αδρανειακά φαινόμενα και, επίσης, από πυκνή διαμόρφωση του φίλτρου.

Η απόθεση μέσω διάχυσης (diffusion) είναι αρκετά αποτελεσματική για μικρά σωματίδια ($<3\mu\text{m}$) και μικρές ταχύτητες ροής. Τα σωματίδια διαχέονται από τη γραμμή ροής στην επιφάνεια των ινών όπου η συγκέντρωση είναι μηδενική. Όπως αποδεικνύεται, η τετραγωνική ρίζα της μετατόπισης του σωματιδίου από τη γραμμή ροής, άρα και η απόδοση της συλλογής είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους του σωματιδίου.

Οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις (electrostatic attraction) μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά στο φιλτράρισμα, αρκεί είτε το φίλτρο είτε το αεροζόλ, να φέρουν κάποιο στατικό φορτίο. Αξίζει τον κόπο να επισημανθεί ότι αρκετές φορές, το φορτίο αυτό επάγεται στο φίλτρο από τη ροή του αέρα.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η απόδοση των διάφορων μηχανισμών συγκράτησης του αεροζόλ στο φίλτρο είναι συνάρτηση κυρίως, της μετωπικής ταχύτητας και του μεγέθους των σωματιδίων. Ο κατάλληλος συνδυασμός αυτών των δύο παραμέτρων οδηγεί στην επιλογή του τύπου δειγματοληψίας που στηρίζεται στον

ένα ή τον άλλο μηχανισμό. Για παράδειγμα, για μικρές ταχύτητες ροής και μικρά σωματίδια, επιλέγεται τύπος δειγματοληψίας που ευνοεί τον μηχανισμό διάχυσης, ενώ αντίθετα, εάν αυξηθεί η ταχύτητα ροής τότε ενδεχομένως είναι προτιμότερη διαδικασία δειγματοληψίας που ευνοεί την αδρανειακή απόθεση.

Όλοι οι προαναφερθέντες μηχανισμοί τείνουν να σταματούν την κίνηση των σωματιδίων που περιέχονται σ' ένα ρεύμα αέρα, καθώς αυτό το ρεύμα περνάει μέσα από το φίλτρο. Μόλις το σωματίδιο απομακρυνθεί από τη γραμμή ροής και χάσει όλη του την κινητική ενέργεια, υπόκειται σε δυνάμεις προσκόλλησης στο φίλτρο. Αν οι δυνάμεις αυτές είναι μεγαλύτερες από εκείνες που τείνουν να το αποκολλήσουν από το φίλτρο, τότε το σωματίδιο θα μείνει προσκολλημένο στο φίλτρο και θα συλλεχθεί μαζί με αυτό. Αντίθετα, αν οι δυνάμεις αποκόλλησης είναι μεγαλύτερες τότε το σωματίδιο θα επανατεθεί σε κίνηση μαζί με τον αέρα, ωστόσο απαιτείται πολύ υψηλές ταχύτητες ροής για να δημιουργηθούν δυνάμεις ικανές να αποκολλήσουν τα σωματίδια που έχει συγκρατήσει το φίλτρο, υψηλότερες από εκείνες που χρησιμοποιούνται συνήθως στη δειγματοληψία αέρα.

Πέραν, όμως, των όποιων δυνάμεων αποκόλλησης, κάποια σωματίδια είναι δυνατό να μη συλλέγονται λόγω ελαστικής κρούσης με το φίλτρο η οποία δεν επιτρέπει την επικόλληση σε αυτό. Η αύξηση του αριθμού των σωματιδίων που διαπερνούν το φίλτρο καθώς αυξάνεται η ταχύτητα της ροής, αποδίδεται κατά μείζονα λόγο σε αύξηση των ελαστικών κρούσεων με το φίλτρο και μάλιστα, κυρίως ομάδων, παρά μεμονωμένων σωματιδίων (Loffler, 1968).

2.4 Ανιχνευτικές διατάξεις

Η ανίχνευση των ραδιενεργών ισοτόπων στα δείγματα που συλλέγονται, επιτυγχάνεται μέσω της ενεργειακής ταυτοποίησης της ακτινοβολίας που εκπέμπουν.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται οι τεχνικές:

- φασματοσκοπία ακτίνων-α: ανίχνευση σωματιδίων-α χαρακτηριστικής ενέργειας
- φασματοσκοπία ακτίνων-γ: ανίχνευση φωτονίων γ χαρακτηριστικής ενέργειας

Η ακτινοβολία σωματιδίων β δεν ενδείκνυται για ταυτοποίηση καθώς τα σωματίδια αυτά δίνουν συνεχές ενεργειακό φάσμα.

2.4.1 Η γ-φασματοσκοπική ανάλυση

Είναι η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη τεχνική καθώς δεν απαιτεί πρότερη προετοιμασία του δείγματος, παρά μονάχα τη διαμόρφωσή του σε συγκεκριμένη γεωμετρία ώστε να τοποθετηθεί στον ανιχνευτή. Αντίθετα, η φασματοσκοπία-α προϋποθέτει, συνήθως, ραδιοχημική επεξεργασία του δείγματος.

Επιπλέον, τα περισσότερα ραδιοϊσότοπα, που παρουσιάζουν ενδιαφέρον, εκπέμπουν ακτίνες γ κι έτσι μέσω της γ-φασματοσκοπικής ανάλυσης μπορούν να προσδιορισθούν ισότοπα όπως π.χ.: ^{226}Ra , ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{40}K , ^7Be . Η ανίχνευση του ^{222}Rn , το οποίο εκπέμπει α-ακτινοβολία, γίνεται μέσω των θυγατρικών του ^{214}Pb και ^{214}Bi , τα οποία έχουν μικρούς χρόνους ημιζωής (20min και 27min αντίστοιχα).

2.4.2 Ανιχνευτές γερμανίου

Οι ανιχνευτές γερμανίου ανήκουν στην κατηγορία των ημιαγωγών (semiconductor) ανιχνευτών. Η κατηγορία αυτή παίρνει το όνομα της από τα

ημιαγώγιμα υλικά, από τα οποία κατασκευάζονται οι ανιχνευτές. Τέτοια υλικά είναι κυρίως το πυρίτιο και το γερμάνιο.

Στους ανιχνευτές γερμανίου, ο ενεργός όγκος του ανιχνευτή είναι ευαίσθητος σε ιοντίζουσες ακτινοβολίες, κυρίως ακτίνες γ και ακτίνες X. Εφαρμόζοντας ανάστροφη τάση στον ανιχνευτή, δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο στον ενεργό όγκο του ανιχνευτή. Όταν οι ακτίνες γ (φωτόνια) αλληλεπιδρούν με το υλικό του ανιχνευτή (γερμάνιο), δημιουργούν ζεύγη οπών και ηλεκτρονίων που μεταφέρουν φορτίο, ανάλογο της ενέργειας του φωτονίου που προσπίπτει στον ανιχνευτή (σχήμα 3.2). Τα ηλεκτρόνια και οι οπές συλλέγονται και το αντίστοιχο φορτίο μετατρέπεται σε τάση από έναν ενσωματωμένο προενισχυτή μεγάλης ευαισθησίας.

Η ψύξη των ανιχνευτών γερμανίου έχει μεγάλη σημασία. Η ψύξη των ανιχνευτών αποσκοπεί στη σημαντική μείωση της θερμικής παραγωγής ζευγών οπών και ηλεκτρονίων, η οποία δημιουργεί «θόρυβο» υποβάθρου στο σύστημα και πρακτικά καθιστά αδύνατη τη λειτουργία του ανιχνευτή.

Κάθε ανιχνευτής γερμανίου περιγράφεται από πληθώρα χαρακτηριστικών που περιλαμβάνουν υλικά κατασκευής, γεωμετρικά χαρακτηριστικά, υλικό κρυστάτη κοκ. Δύο σημαντικά χαρακτηριστικά για κάθε ανιχνευτή είναι η απόδοση ανίχνευσης και η διακριτική ικανότητα για φωτόνια παραπλήσιων ενεργειών. Για την απόδοση της ανιχνευτικής διάταξης χρησιμοποιείται το μέγεθος απόδοση φωτοκορυφής ή αιχμής (full energy peak efficiency). Το μέγεθος αυτό ορίζεται ως ο λόγος των φωτονίων, συγκεκριμένης ενέργειας, που ανιχνεύονται, έχοντας αποδώσει το σύνολο της ενέργειας τους στον ανιχνευτή, προς το σύνολο των φωτονίων της ίδιας ενέργειας που εκπέμπονται από την πηγή.

Η απόδοση της φωτοκορυφής υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$eff = \frac{area}{time \cdot yield \cdot activity}$$

όπου:

eff: απόδοση φωτοκορυφής για τη συγκεκριμένη ενέργεια

area: καθαρή επιφάνεια της αντίστοιχης φωτοκορυφής στο φάσμα

time: ο χρόνος συλλογής του φάσματος σε sec

yield: το ποσοστό εκπομπής φωτονίων που εκπέμπει η πηγή

activity: η ραδιενέργεια του εξεταζόμενου ισότοπου σε Bq

Στα πλαίσια της παρούσας ΔΕ χρησιμοποιήθηκαν οι παρακάτω ανιχνευτές του Εργαστηρίου Πυρηνικής Τεχνολογίας της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ :

- HPGe (High Purity germanium detector): Ομοαξονικός ανιχνευτής, διαμέτρου 55.3mm και ύψους 65mm με σχετική απόδοση 33.8% για φωτόνια 1332.5 keV και κρυστάτη από Al, ακατάλληλος για φωτόνια χαμηλής ενέργειας. Η διακριτική ικανότητα του ανιχνευτή, όπως εκφράζεται από το FWHM είναι 0.85 keV για φωτόνια ενέργειας 122,06 keV και 1.78 keV για φωτόνια ενέργειας 1332.50keV.
- XiRa (Extra Range Germanium Detector): Αποτελείται από έναν ομοαξονικό ανιχνευτή γερμανίου με παράθυρο κρυστάτη από ανθρακονήματα (carbon fiber). Είναι τύπου GX10021 της εταιρείας Canberra Industries Inc. Έχει διάμετρο 80mm, ύψος 78mm, σχετική απόδοση 104.5% και διακριτική ικανότητα 2.04 keV, για φωτόνια ενέργειας 1332.50keV (FWHM). Ο ανιχνευτής XiRa έχει διακριτική ικανότητα 1.03 keV για φωτόνια ενέργειας 122.06 keV και

2.04 keV για φωτόνια ενέργειας 1332.5 keV. Ο λόγος peak-to-Compton για τα φωτόνια ενέργειας 1332.5 keV είναι 82.2:1.

2.4.2.1 Η ανιχνευτική διάταξη XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εργαστήκαμε κυρίως με τον ανιχνευτή XtRa (σχήμα 2.3), ο οποίος ενδείκνυται για μετρήσεις ^7Be καθώς και θυγατρικών ραδονίου, λόγω της υψηλής του απόδοσης.

Η ανιχνευτική διάταξη XtRa του ΕΠΤ- ΕΜΠ περιλαμβάνει, πέραν του ανιχνευτή γερμανίου, τις παρακάτω συνιστώσες:

- Προενισχυτής (2002CSL, Canberra Industries Inc.)
- Ενισχυτής ύψους παλμών (2026 – coarse gain 20 – fine gain 4.82, Canberra Industries Inc.)
- Διαχωριστής ύψους παλμών (1437, Canberra Industries Inc.)
- Αναλογοψηφιακός μετρατροπέας (2071, Canberra Industries Inc.)
- Πολυκαναλικός αναλυτής (AIM 556A, Canberra Industries Inc.)
- Τροφοδοτικό υψηλής τάσης (3106D, Canberra Industries Inc.)
- Δοχείο υγρού αζώτου 30lt
- Κρυστάτης (2000CSL, Canberra Industries Inc.)
- Ελεγκτής στάθμης αζώτου (1786, Canberra Industries Inc.)
- Θωράκιση front open-split door (767, Canberra Industries Inc.)
- Μονάδα NIM-BIN (2100, Canberra Industries Inc.)

Πέραν του ανιχνευτή, αρκετά σημαντικό ρόλο στην απόδοση της ανιχνευτικής διάταξης παίζει η θωράκιση. Για τον ανιχνευτή XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ χρησιμοποιείται θωράκιση front open-split door με εσωτερική διάμετρο 28cm και ύψος 40.6cm. Η

θωράκιση αποτελείται από διαδοχικά στρώματα υλικών με μειούμενο ατομικό αριθμό που θωρακίζουν τον ανιχνευτή από ακτίνες-Χ που παράγονται κατά την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας της πηγής με το υλικό της θωράκισης εντός αυτής. Συγκεκριμένα υπάρχουν (από μέσα προς τα έξω): στρώμα χαλκού πάχους 1.5mm, στρώμα κασσίτερου πάχους 1mm, στρώμα μολύβδου 100mm και στρώμα ατσαλιού πάχους 9.5mm.

2.4.2.2 Το σύστημα Compton Suppression (CSS) του ΕΠΤ-ΕΜΠ

Πέραν της παραπάνω διάταξης, ο ανιχνευτής XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ διαθέτει μια δεύτερη διάταξη ανάλυσης και επεξεργασίας του σήματος, σκοπός της οποίας είναι η μείωση της υποβάθρου, μέσω της αφαίρεσης από το φάσμα των φωτονίων που αντιστοιχούν σε σκεδάσεις (κυρίως σκεδάσεις Compton). Κατά την αλληλεπίδραση των φωτονίων της πηγής με τον ανιχνευτή, κάποια φωτόνια αποθέτουν το σύνολο της ενέργειάς τους, ενώ άλλα αποθέτουν μέρος αυτής, αλλάζοντας κατεύθυνση. Γι' αυτό το λόγο τοποθετείται γύρω από τον ανιχνευτή, κυλινδρικός ανιχνευτής από ιωδιούχο νάτριο (NaI), εσωτερικής διαμέτρου 195 mm και εξωτερικής διαμέτρου 267 mm. Το σήμα από τον XtRa και από τον ανιχνευτή (NaI), οδηγείται στη μονάδα Coincidence, η οποία δεν επιτρέπει την καταγραφή του σήματος του ανιχνευτή XtRa στην περίπτωση που υπάρχει συγχρόνως σήμα και από τον ανιχνευτή NaI. (που υποδηλώνει σκέδαση Compton). Αποτέλεσμα είναι η μείωση του υποστρώματος.

Η διάταξη αυτή ονομάζεται CSS (Compton Suppression System) και περιλαμβάνει τα παρακάτω ηλεκτρονικά:

- Ενισχυτής ύψους παλμών (2026 – coarse gain 20 – fine gain 4.78, Canberra Industries Inc.)

- Πολυκαναλικός Αναλυτής Multiport II (Canberra Industries Inc.)
- Coincidence gate 2040 (Canberra Industries Inc.)
- Μονάδα NIM-BIN (2100, Canberra Industries Inc.)

Τυπικό φάσμα γ-φασματοσκοπίας για ανίχνευση βηρυλλίου στον CSS φαίνεται στο σχήμα 2.4.

2.4.3 Η α-φασματοσκοπική ανάλυση

Πέρα από τις μετρήσεις στις ανιχνευτικές διατάξεις γ-φασματοσκοπίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ, στα πλαίσια της παρούσας ΔΕ πραγματοποιήθηκαν και μετρήσεις στην διάταξη α-φασματοσκοπίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ, για τον εντοπισμό θυγατρικών του ραδονίου σε δείγμα επί δίσκου συλλογής από ΑΙ, από δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε με τον Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη της Staplex. Η δειγματοληψία αυτή και η σχετική ανάλυση περιγράφονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.

Η α-φασματοσκοπία χρησιμεύει στον προσδιορισμό της συγκέντρωσης σε καθορισμένο δείγμα, ραδιενεργών ισοτόπων που πραγματοποιούν α-διασπάσεις και βρίσκει πολλές εφαρμογές σε πεδία όπως οι ραδιοχημικές αναλύσεις, οι περιβαλλοντικές έρευνες κλπ. Η ευαισθησία της ανάλυσης επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους, σημαντικότερες των οποίων είναι η απόσταση πηγής-ανιχνευτή, η ακτίνα και το πάχος της πηγής (L' Annunziata, 1998)

Αναφορικά με την απόσταση πηγής-ανιχνευτή, για μικρότερες αποστάσεις (~5mm) υπάρχει μεγαλύτερη απόδοση, ενώ αναφορικά με την ακτίνα της πηγής υπάρχει υψηλή απόδοση για ακτίνα πηγής μικρότερη της ακτίνας του ανιχνευτή και χαμηλότερη απόδοση για ακτίνες πηγής μεγαλύτερες της ακτίνας της πηγής. Γι' αυτό

το λόγο, δε θα πρέπει η ακτίνα της πηγής να ξεπερνάει την ακτίνα του ανιχνευτή. Για πηγές διαφόρων μεγεθών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ανιχνευτές διαφορετικής ενεργού περιοχής. Ως ενεργός περιοχή (active area) του ανιχνευτή ορίζεται η (κυκλική) επιφάνεια την οποία «βλέπουν» τα φορτισμένα σωματίδια. Τυπικές τιμές της για διάφορους ανιχνευτές είναι: 300 mm², 450 mm², 600 mm², 900 mm², 1200 mm², 1700 mm² κλπ.

Το πάχος της πηγής επίσης επηρεάζει την ανάλυση και την ευαισθησία της μετρητικής διάταξης, λόγω της αυτό-απορρόφησης της ενέργειας των σωματιδίων-α που εκπέμπονται από την πηγή και επομένως οι πηγές θα πρέπει να είναι ομογενείς και λεπτές προκειμένου να αποφεύγεται η αυτό-απορρόφηση και η σκέδαση των σωματιδίων (Burger et al., 1985).

Μεταξύ της πηγής και του ανιχνευτή πρέπει να επικρατούν συνθήκες κενού, προκειμένου να αποφευχθούν σκεδάσεις σωματιδίων με τα μόρια του αέρα. Γι' αυτό το σκοπό οι α-ανιχνευτές λειτουργούν με τη βοήθεια περιστροφικής αντλίας κενού ώστε να εξασφαλίζονται τέτοιες συνθήκες λειτουργίας. Επίσης, είναι απαραίτητο να διατηρείται καθαρή η επιφάνεια του ανιχνευτή προκειμένου να αποφεύγεται η απορρόφηση των α-σωματιδίων που εκπέμπονται από την πηγή πριν από την είσοδό τους στην ενεργό περιοχή του ανιχνευτή. Τέλος, απότομες αλλαγές στη θερμοκρασία περιβάλλοντος που λειτουργεί ο ανιχνευτής, μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα της απόδοσης της διάταξης και θα πρέπει να αποφεύγονται.

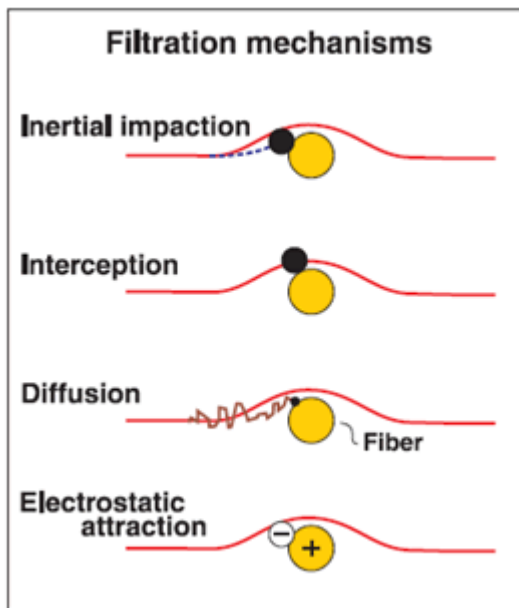
Τυπικό φάσμα της α-φασματοσκοπίας φαίνεται στο σχήμα 2.5.

2.4.3.1 Περιγραφή της διάταξης α-φασματοσκοπίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ

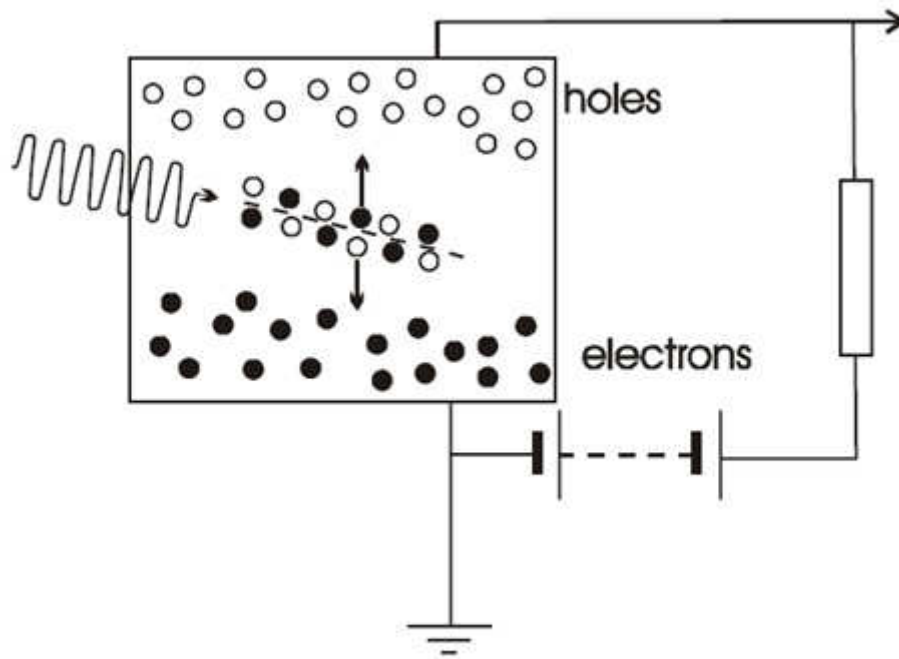
Η διάταξη α-φασματοσκοπίας στο ΕΠΤ-ΕΜΠ αποτελείται από τις παρακάτω συνιστώσες:

- Ανιχνευτής PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon), της εταιρείας Canberra Industries., ενεργού περιοχής 450mm²
- Θάλαμος 804-7, Canberra Industries.
- Προενισχυτής 870D, Canberra Industries.
- Τροφοδοτικό υψηλής τάσης HVPS (+40V), Canberra Industries.
- Ενισχυτής 2015A με ρυθμίσεις coarse-fine 8 x 2.7, Canberra Industries.
- Αναλογοψηφιακός μετατροπέας ADC 8075, Canberra Industries
- MCA series 100, Canberra Industries
- Αντλία κενού (λαδιού) 1400, WELCH

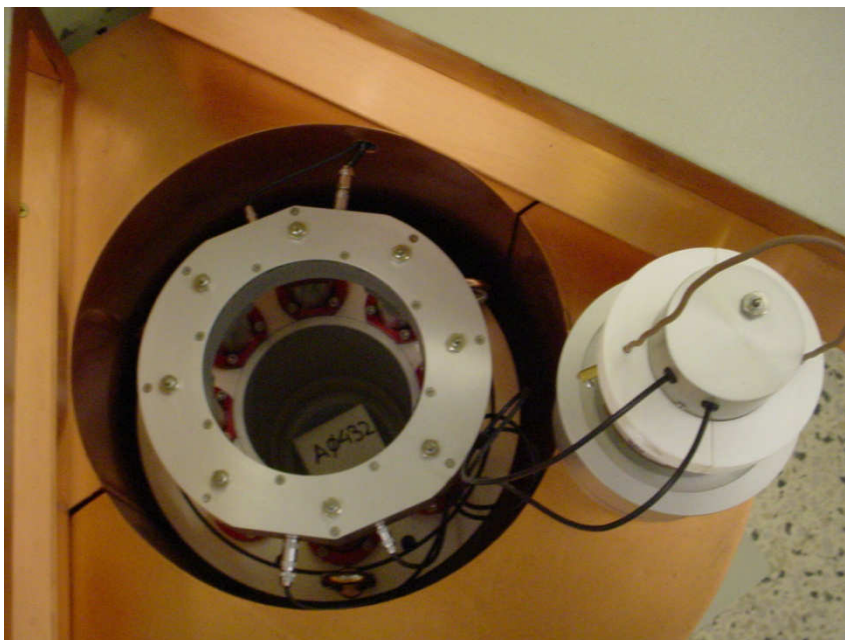
Σχήματα 2ου Κεφαλαίου



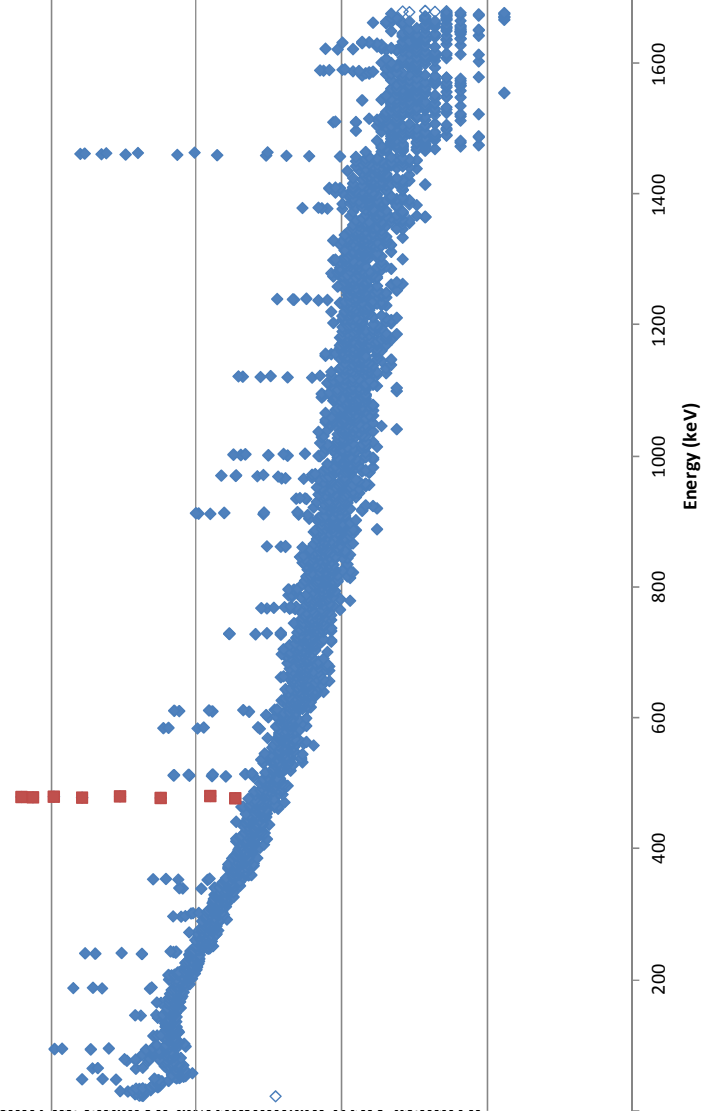
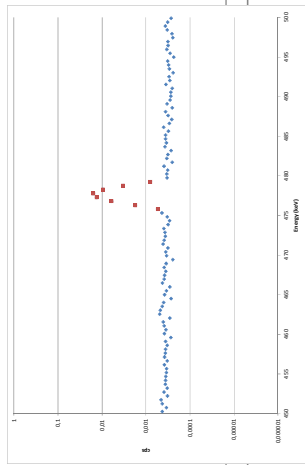
Σχήμα 2-1 Μηχανισμοί φιλτραρίσματος σωματιδίων (αδρανειακή απόθεση, απευθείας ανάσχεση, διάχυση, ηλεκτροστατική έλξη)



Σχήμα 2-2 Δημιουργία οπών κατά την αλληλεπίδραση ακτίνων γ (φωτόνια) με το υλικό του ανιχνευτή (γερμάνιο)

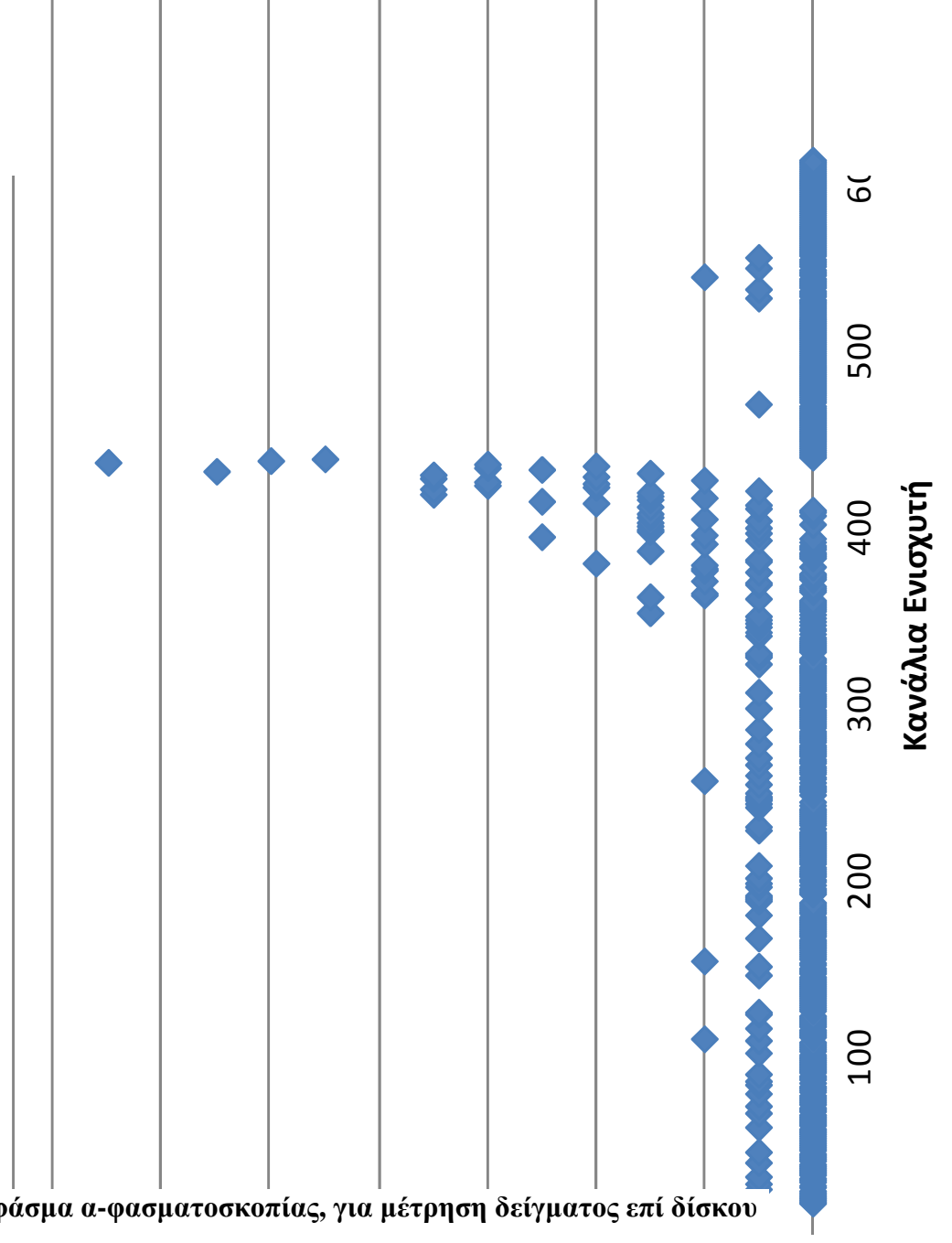


Σχήμα 2-3 Ο ανιχνευτής XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ



Σχήμα 2-4 Τυπικό φάσμα γ-φωτοσυντονισμού (από τον μετρητή φωτοσυντονισμού) της παραχθεί του Be-7

Σχήμα 2-5 Τυπικό φάσμα α-φασματοσκοπίας, για μέτρηση δείγματος επί δίσκου
AI



3 Αδρανειακοί Συλλέκτες Διαδοχικών Σταδίων (Cascade Impactors)

3.1 Εισαγωγή στους Αδρανειακούς Συλλέκτες

Οι αδρανειακοί συλλέκτες (inertial collectors) διαχωρίζουν τα σωματίδια που βρίσκονται μέσα στο αεροζόλ συναρτήσει του μεγέθους τους. Χρησιμοποιούνται τόσο για επιλεκτική δειγματοληψία (δειγματοληψία της συγκέντρωσης σωματιδίων συγκεκριμένης διαμέτρου) αλλά και διαχωρισμό του αεροζόλ σε διαφορετικά μεγέθη, για μελέτη της συγκέντρωσης κατά μάζα, της χημικής σύστασης ή και της ραδιοβιολογικής σημασίας των διάφορων στατικών του αεροζόλ, σε συνάρτηση με το μέγεθος των σωματιδίων που το αποτελούν.

Οι αδρανειακοί συλλέκτες βασίζονται στην αρχή ότι ένα σωματίδιο έχει μεγαλύτερη πυκνότητα από ότι το αέριο μέσα στο οποίο αιωρείται. Κατά συνέπεια, η ορμή (ή η αδράνεια) ενός σωματιδίου είναι μεγαλύτερη από αυτή του αντίστοιχου όγκου αερίου τον οποίο καταλαμβάνει, δεδομένου ότι η ταχύτητα με την οποία κινείται είναι η ταχύτητα ροής του αερίου ρεύματος. Η διαφορά αυτή έχει ως συνέπεια, ένα σωματίδιο μέσα σε ένα ρεύμα αέρα να αποκλίνει λιγότερο, από ότι ο αέρας γύρω του, όταν το αέριο ρεύμα αλλάξει απότομα κατεύθυνση. Τέτοια αλλαγή μπορεί να προκύψει όταν ένα εμπόδιο (πχ. φίλτρο, μεταλλικός δίσκος συλλογής κλπ) τοποθετηθεί κάθετα στη ροή του αεροζόλ. Αν η απόκλιση του σωματιδίου από τη γραμμή ροής στην οποία κινείται είναι μεγάλη, τότε το σωματίδιο θα συγκρουσθεί (impacted) με το εμπόδιο. Μεγαλύτερη στιγμιαία ταχύτητα του σωματιδίου, σημαίνει μεγαλύτερη ορμή, άρα μεγαλύτερη απόκλιση από την αρχική γραμμή ροής και συνεπώς μεγαλύτερη πιθανότητα να «συγκρουσθεί» τελικά το σωματίδιο με το

εμπόδιο. Προκειμένου να αυξηθεί η ταχύτητα του κινούμενου σωματιδίου, το αέριο ρεύμα διέρχεται από οπές (jets) πριν βρεθεί μπροστά στο εμπόδιο.

3.1.1 Γενική περιγραφή των Αδρανειακών Συλλεκτών Διαδοχικών Σταδίων

Οι Αδρανειακοί Συλλέκτες Διαδοχικών Σταδίων (ΑΣΔΣ), (σχήμα 3.1) είναι οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενοι αδρανειακοί συλλέκτες. Το αεροζόλ διαχωρίζεται σε διάφορα μεγέθη, συναρτήσει της διαμέτρου των σωματιδίων που περιέχονται σε αυτό. Τα σωματίδια συλλέγονται σε επιφάνειες συλλογής (φίλτρα, μεταλλικές επιφάνειες επιχρισμένες με λάδι κλπ).

Σε έναν ΑΣΔΣ ο αέρας εισέρχεται από το εμπρόσθιο μέρος της συσκευής, περνάει μέσα από τις οπές του κάθε σταδίου και διαφεύγει στην έξοδο. Οι οπές σε κάθε στάδιο, χρησιμοποιούνται για επιτάχυνση του αέριου ρεύματος, και από τις επιφάνειες συλλογής. Τα διαδοχικά στάδια χρησιμοποιούνται για τη συλλογή σωματιδίων με διαφορετική αεροδυναμική διάμετρο ξεκινώντας από σχετικά μεγάλα σωματίδια και προχωρώντας στα μικρότερα. Η ροή του αέρα πραγματοποιείται από μια αντλία στην οποία εφαρμόζεται η συσκευή.

Σωματίδια μικρότερης διαμέτρου απαιτούν μεγαλύτερη ταχύτητα για να συλληθούν κι αυτό εξασφαλίζεται με περισσότερες και πιο μικρές οπές σε κάθε επίπεδο, ενώ δεν παίζει σημαντικό ρόλο η απόσταση ανάμεσα στις οπές και στις επιφάνειες συλλογής. Σε πολλούς ΑΣΔΣ χρησιμοποιούνται πολλαπλές οπές σε κάθε επίπεδο για να επιτρέψουν τη δειγματοληψία μεγαλύτερου όγκου αέρα.

Η επιφάνεια συλλογής η οποία χρησιμοποιείται, συνήθως επιχρίζεται με λάδι για να αποφεύγεται η επανάκρουση των σωματιδίων σε αυτήν και η επανενσωμάτωσή τους στο αέριο ρεύμα.

3.1.2 Εξέλιξη και τύποι Αδρανειακών Συλλεκτών Διαδοχικών Σταδίων

Ο πρώτος Αδρανειακός Συλλέκτης Διαδοχικών Σταδίων κατασκευάστηκε από τον May, το 1945, για δειγματοληψία χονδρόκοκκου αεροζόλ (May, 1945), με τις διαμέτρους διαχωρισμού του αεροζόλ, να αντιπροσωπεύουν διάφορες περιοχές της αναπνευστικής οδού. Ο ΑΣΔΣ του May αποτελούνταν από τέσσερα στάδια, όπου σε κάθε στάδιο γίνεται στροφή της ροής κατά 90°, ενώ το επίπεδο του κάθε σταδίου είναι κάθετο στο επίπεδο του επόμενου (σχήμα 3.2).

Παραλλαγές του ΑΣΔΣ του May, κατασκευάστηκαν από τον Laskin (Laskin, 1949) για δειγματοληψία σκόνης ουρανίου, από τον Wilcox (Wilcox, 1955), ενώ η πιο διαδεδομένη παραλλαγή του ήταν ο ΑΣΔΣ Casella MkII που κατασκευάστηκε το 1960 (σχήμα 3.3). Αυτή η παραλλαγή τροποποιήθηκε, επίσης, από τους Gussman και Gordon (Gussman, 1966) για δειγματοληψίες σε καπνοδόχους.

Ένας άλλος τύπος ΑΣΔΣ αναπτύχθηκε από τον Brink (Brink, 1958), για δειγματοληψία σωματιδίων από ρεύματα αέρα σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Αποτελούνταν από πέντε στάδια με ένα ακροφύσιο ανά στάδιο, λειτουργούσε σε παροχές από 2.7 l/min έως 3.7 l/min και πετύχαινε διαχωρισμό σε εύρος διαμέτρων από 0.3 έως 3 μm. Για τον ίδιο λόγο (δειγματοληψία βιομηχανικών αεροζόλ) αναπτύχθηκε και ο ΑΣΔΣ Battelle No. 6 (Pilcher, 1955; Mitchell, 1959), ο οποίος διέθετε έξι στάδια, με ένα κυκλικό ακροφύσιο ανά στάδιο και εύρος διαμέτρων από 0.5 μm έως 16 μm.

Ο πρώτος ΑΣΔΣ που σχεδιάστηκε ειδικά για τη δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ ήταν ο δακτυλιοειδής αδρανειακός συλλέκτης που παρουσιάζεται στο (σχήμα 3.4). Ο ΑΣΔΣ αυτός χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ραδιενεργών ισοτόπων, όπως ουράνιο, πλουτώνιο και διάφορα

προϊόντα σχάσης, χωρίς να συλλέγονται θυγατρικά ραδονίου και θορονίου (Hoy, 1956; Kusnetz, 1962). Δειγματοληψίες με το συγκεκριμένο αδρανειακό συλλέκτη πραγματοποιήθηκαν και στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας και παρουσιάζονται αναλυτικά στο Κεφάλαιο 5.

Ένας άλλος, πολύ δημοφιλής τύπος ΑΣΔΣ, είναι ο ΑΣΔΣ Andersen (Andersen cascade impactor) που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.5, ο οποίος αναπτύχθηκε για τη δειγματοληψία μικροοργανισμών στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ (Andersen, 1958). Ο ΑΣΔΣ Andersen ήταν ο πρώτος με πολλαπλές οπές ανά στάδιο. Συγκεκριμένα, διέθετε έξι στάδια, όπου κάθε στάδιο διέθετε περίπου τετρακόσιες οπές, ενώ δίσκοι καλλιέργειας μικροβίων (petri dish) χρησιμοποιούνταν ως δίσκοι συλλογής. Η μικρότερη διάμετρος συλλογής ήταν 1μm για παροχή 1 cfm. Στις αρχές της δεκαετίας του 1970 εισήχθη ο ΑΣΔΣ Andersen MkI, με δύο επιπλέον στάδια και αργότερα και ο MkII με έναν προσυλλέκτη πριν τα δύο πρώτα στάδια (McFarland et al, 1977).

Ο ΑΣΔΣ Andersen συνιστά ακρογωνιαίο λίθο στη διαδικασία εξέλιξης των αδρανειακών συλλεκτών και μέχρι σήμερα αποτελεί αντικείμενο έρευνας και εξέλιξης. Οι διάφορες παραλλαγές του όπως ο ThermoScientific Six-Stage Viable Cascade Impactor ή ο ΑΣΔΣ Andersen Μεγάλου Όγκου χρησιμοποιούνται ευρέως, κυρίως σε ιατρικές εφαρμογές (Marple, 2004).

Για δειγματοληψίες σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις (καπνοδόχους, σωλήνες κλπ) σχεδιάστηκε ο ΑΣΔΣ του Πανεπιστημίου της Ουάσινγκτον (Pilat et al, 1970) που παρουσιάζεται σχήμα 3.6. Ο ΑΣΔΣ αυτός είναι κατασκευασμένος από ανοξείδωτο χάλυβα κι έχει κυλινδρική διαμόρφωση. Η δεύτερη έκδοσή του διέθετε επτά στάδια, όπου το πρώτο διέθετε ένα ακροφύσιο, ενώ μετά το τελευταίο στάδιο υπήρχε

ενσωματωμένο φίλτρο για τη συλλογή των σωματιδίων που διέφυγαν από τα προηγούμενα στάδια.

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει προσπάθεια να κατασκευαστούν συλλέκτες που να φτάνουν έως πολύ μικρές διαμέτρους, σε συνθήκες είτε υψηλής είτε χαμηλής πίεσης. Τέτοιος συλλέκτης είναι ο MOUDI (Micro-orifice uniform deposit impactor) του σχήματος 3.7, ο οποίος στο τελευταίο στάδιο διαθέτει 2000 οπές, διαμέτρου 52 μm και μπορεί να συλλέξει σωματίδια της τάξης των 0.05 μm .

Παράλληλα, σημαντικό ενδιαφέρον παρουσιάζει και η προσπάθεια κατασκευής συλλεκτών που να λειτουργούν σε υψηλές παροχές ($\sim 1 \text{ m}^3/\text{min}$) και να επιτρέπουν, συνεπώς, τη συλλογή μεγάλης ποσότητας δείγματος σε μικρό χρόνο. Ένας τέτοιος ΑΣΔΣ υψηλής παροχής και πολλαπλών σχισμών, ο **Model-236 Cascade Impactor** της **Staplex (σχήμα 3.8)** χρησιμοποιήθηκε και στην παρούσα Διπλωματική Εργασία.

3.1.3 Εφαρμογές ΑΣΔΣ για δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ

Οι ΑΣΔΣ βρίσκουν συχνά εφαρμογή σε δειγματοληψίες ραδιενεργού αεροζόλ. Ενδεικτικά, ΑΣΔΣ έχουν χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του ατμοσφαιρικού αεροζόλ και συγκεκριμένα για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης θυγατρικών του ραδονίου (Papastefanou, 1988), για τη μελέτη της κατανομής ραδιενεργών σωματιδίων στην ιπτάμενη τέφρα (Seames, 2000), για τον προσδιορισμό της κύμανσης του ^7Be στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ (Papastefanou, 2009; Ioannidou, 2010; Winkler, 1998).

Στις μετρήσεις που παρουσιάζονται στη δημοσίευση (Papastefanou, 1988) χρησιμοποιήθηκαν αδρανειακοί συλλέκτες χαμηλής πίεσης (low pressure impactor) καθώς και τυπικοί ΑΣΔΣ Andersen. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ο ΑΣΔΣ υψηλής

παροχής, 6 σταδίων, της Sierra. Ο ΑΣΔΣ αυτός είναι πανομοιότυπος με τον ΑΣΔΣ της Staplex Model-236, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ.

Με τους συλλέκτες αυτούς έγιναν μετρήσεις για την κατανομή κατά μέγεθος των βραχύβιων θυγατρικών του θορονίου και του ραδονίου ^{212}Pb και ^{214}Pb , αντίστοιχα, στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ. Οι δειγματοληψίες για το ^{214}Pb είχαν διάρκεια περίπου 3 ώρες, ενώ για το ^{212}Pb περίπου 30-40 ώρες. Έγιναν επίσης και μετρήσεις για την αντίστοιχη κατανομή του βηρυλλίου ^7Be και των θεικών ενώσεων στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ. Οι διάμετροι αεροζόλ που συλλέχθηκαν κυμαίνονταν από 0.09 μm έως 0.37 μm (μέση τιμή 0.16 μm) για το ^{214}Pb και από 0.07 μm έως 0.19 μm (μέση τιμή 0.13 μm) για το ^{212}Pb .

Αντίστοιχα, στην εργασία των Wayne S. Seames, Jost O.L. Wendt (Seames, 2000) μελετήθηκε η κατανομή των ραδιενεργών σωματιδίων στην ιπτάμενη τέφρα που απελευθερώνεται κατά την καύση γαιανθράκων, σε εργαστηριακή κλίμακα με χρήση κλιβάνου που να προσομοιάζει καυστήρες του εμπορίου. Χρησιμοποιήθηκε ΑΣΔΣ ο οποίος επιτρέπει δειγματοληψία με χαμηλή πίεση και μεγάλη ταχύτητα του αέριου ρεύματος μέσω των οπών του συλλέκτη, για διαχωρισμό σωματιδίων μικρότερων του 1 μm . Ο ΑΣΔΣ αυτός που είναι γνωστός ως ΑΣΔΣ Berner (σχήμα 3.9) αποτελείται από 11 στάδια και διαχωρίζει τα αιωρούμενα σωματίδια στις ακόλουθες διαμέτρους (σε μm): 15.7, 7.33, 3.77, 1.98, 0.973, 0.535, 0.337, 0.168, 0.0926, 0.0636, 0.0324. Λόγω της πληθώρας σωματιδίων στην περιοχή κάτω του 1 μm , κατά την πραγματοποίηση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές διατάξεις. Στην πρώτη, χρησιμοποιείται ένας κυκλώνας (cyclone) για τη συλλογή των μεγαλύτερων σωματιδίων, με συνέπεια να μπορεί να επεκταθεί ο χρόνος δειγματοληψίας (30-120 λεπτά) για τη συλλογή μεγαλύτερου δείγματος για τα στάδια

7-11 (<0.535 μm). Στη δεύτερη διάταξη αφαιρείται ο κυκλώνας και ο ΑΣΔΣ λειτουργεί κανονικά αλλά για μικρότερα διαστήματα δειγματοληψίας (2-6 λεπτά) και μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η συλλογή μετρήσιμης ποσότητας δείγματος για τα μεγαλύτερα μόνο σωματίδια (στάδια 1-7). Η ποσότητα δείγματος τέφρας για τα μικρότερα σωματίδια κυμάνθηκε από 0 έως 0.6 μg ανά στάδιο. Αντίστοιχα για τα μεγαλύτερα κυμάνθηκε από 0.05 έως 4 μg ανά στάδιο.

Στις μετρήσεις της Ιωαννίδου (Ioannidou, 2010) για την κατανομή του ^7Be στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ και τη συσχέτισή του με η συγκέντρωση μεταλλικών ιχνοστοιχείων (Ca, Si, S, Fe, Cu, Pb, Cr, Ni), χρησιμοποιήθηκε ΑΣΔΣ υψηλής παροχής 6 σταδίων (παρόμοιος με τον ΑΣΔΣ της Staplex που διατίθεται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ και ο οποίος παρουσιάζεται σε επόμενο κεφάλαιο). Ως επιφάνειες συλλογής χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα ινών υάλου (glass fiber), με κατάλληλα διαμορφωμένες σχισμές (μεγέθους $14.3 \times 13.7 \text{ cm}^2$) για τα μεγαλύτερα σωματίδια και κανονικά φίλτρα ινών υάλου ($20 \times 25 \text{ cm}^2$) για τα μικρότερα. Οι δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν, είχαν διάρκεια 24 ώρες και συνολικό αναρροφούμενο όγκο 800m^3 για σταθερή παροχή $0.57 \text{ m}^3/\text{min}$ (20 cfm). Οι διάμετροι διαχωρισμού του αεροζόλ προέκυψαν για τον συγκεκριμένο ΑΣΔΣ και την εν λόγω παροχή (σε μm): 10.2, 4.2, 2.1, 1.3, 0.69, 0.39. Οι μετρήσεις έδειξαν ότι το ^7Be συσχετίζεται, κυρίως (σε ποσοστό 80%) με το αεροζόλ στην περιοχή του $1\mu\text{m}$ (0.58 έως $1.22 \mu\text{m}$). Παρόμοια αποτελέσματα προκύπτουν κι από τη μελέτη των Winkler et al (Winkler, 1998) με χρήση του ΑΣΔΣ τύπου Berner.

3.2 Απόδοση συλλογής των Αδρανειακών Συλλεκτών Διαδοχικών

Σταδίων.

3.2.1 Η Αεροδυναμική Διάμετρος

Ο Αδρανειακός Συλλέκτης Διαδοχικών Σταδίων (ΑΣΔΣ) διαχωρίζει το ατμοσφαιρικό αεροζόλ συναρτήσει της διαμέτρου των σωματιδίων που περιέχονται σε αυτό. Προκειμένου να εκτιμηθεί η διάμετρος των σωματιδίων που συλλέγονται – δεδομένου ότι πρόκειται για σωματίδια διαφορετικής πυκνότητας και συνεπώς διαφορετικής ορμής κατά την κίνησή τους μέσα στο αέριο ρεύμα – εισάγονται τα μεγέθη της Διαμέτρου Stokes και της Αεροδυναμικής Διαμέτρου Σωματιδίου.

Η **Διάμετρος Stokes (D_p)** ενός σωματιδίου είναι η διάμετρος σφαίρας της ίδιας πυκνότητας και αεροδυναμικής συμπεριφοράς με το σωματίδιο. Για σωματίδια με σφαιρική διαμόρφωση, η διάμετρος Stokes θα είναι ίδια με τη διάμετρο του σωματιδίου, ενώ τόσο για σφαιρικά σωματίδια όσο και για σωματίδια με ακαθόριστη γεωμετρία η διάμετρος Stokes καθορίζει την οπισθέλκουσα αεροδυναμική δύναμη.

Ως **Ισοδύναμη Αεροδυναμική Διάμετρος Σωματιδίου (D_e)** ορίζεται η διάμετρος σφαίρας, μοναδιαίας πυκνότητας ($\rho_0=1 \text{ g/cm}^3$), η οποία έχει την ίδια αεροδυναμική συμπεριφορά με το σωματίδιο (ίδια ταχύτητα κατά τη μεταφορά στον ατμοσφαιρικό αέρα υπό την επίδραση της βαρύτητας). Εξαρτάται τόσο από την πυκνότητα όσο και από το σχήμα και το μέγεθος του σωματιδίου. Η σχέση μεταξύ των διαστάσεων του πραγματικού σωματιδίου, της διαμέτρου Stokes και της Ισοδύναμης Αεροδυναμικής Διαμέτρου φαίνεται στο σχήμα 3.10.

Ο γενικός τύπος για την ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο είναι:

$$D_a = \left(\frac{\rho C_p}{\rho_0 C_a} \right)^{1/2} D_p \quad (3.1)$$

Όπου:

ρ : πυκνότητα σωματιδίου

ρ_0 : μοναδιαία πυκνότητα

C_a και C_p : παράγοντας ολίσθησης Cunningham για διαμέτρους D_a και D_p αντίστοιχα

D_p : φυσική διάμετρος για σφαιρικά σωματίδια και διάμετρος Stokes για μη σφαιρικά.

Ο παράγοντας ολίσθησης C , είναι εμπειρικός κι αναφέρεται στη μείωση της οπισθέλκουσας δύναμης σε σωματίδια λόγω της «ολίσθησης» των μορίων του αερίου στην επιφάνεια του σωματιδίου. Είναι αρκετά σημαντική παράμετρος για μικρά σωματίδια (<1 μm) για τα οποία ο περιβάλλον αέρας δεν μπορεί να περιγραφεί με εξισώσεις μόνιμης ροής. Ο παράγοντας ολίσθησης είναι συνάρτηση του λόγου μεταξύ της διαμέτρου του σωματιδίου και της ελεύθερης διαδρομής του αιωρούμενου σωματιδίου και δίνεται από την παρακάτω σχέση (Davies, 1945):

$$C_p = 1 + \frac{\lambda}{D_p} \left[2.514 + 0.800 \exp \left(-0.55 \frac{D_p}{\lambda} \right) \right] \quad (3.2)$$

Όπου λ είναι η ελεύθερη διαδρομή του αέρα, που ορίζεται ως η μέση απόσταση που διανύει ένα μόριο του αέρα μεταξύ δύο διαδοχικών κρούσεων με άλλα μόρια (ο αέρας αποτελείται από O_2 και N_2 , ωστόσο στον ορισμό της μέσης ελεύθερης διαδρομής θεωρούμε ότι έχει ενιαία χημική σύσταση). Η ελεύθερη διαδρομή λ του αέρα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\lambda = \frac{\mu}{0,499p(8M/\pi RT)^{1/2}} \quad (3.3)$$

όπου:

p : η πίεση του αερίου σε Pa,

M : το μοριακό βάρος του αέρα,

μ : ιξώδες του αέρα,

R : η σταθερά των αερίων του Boltzman

T : η θερμοκρασία του αέρα.

Σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες ($T=20$ °C, $p=1$ atm) είναι $\lambda=0,066$ μm .

Επίσης, για μεγάλα σωματίδια ($D_p > 5$ μm) είναι $C_p=1$ και για μικρότερα σωματίδια $C_p > 1$.

Η σχέση ανάμεσα στην ισοδύναμη αεροδυναμική διάμετρο και τη διάμετρο Stokes ενός σωματιδίου είναι συνάρτηση του λ και δίνεται προσεγγιστικά από τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Για } D_p \gg \lambda \text{ είναι: } D_a = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}} D_p \quad (3.4)$$

$$\text{Για } D_p \ll \lambda \text{ είναι: } D_a = \frac{\rho}{\rho_0} D_p \quad (3.5)$$

3.2.2 Αριθμοί Stokes και Reynolds

Η απόδοση συλλογής των ΑΣΔΣ είναι συνάρτηση των αριθμών Stokes και Reynolds της ροής μέσα από τη συσκευή. Ο πρώτος εξ' αυτών αναφέρεται στην κίνηση των σωματιδίων εντός του αερίου ρεύματος έμπροσθεν της επιφάνειας συλλογής, ενώ ο δεύτερος περιγράφει τη ροή του αέρα μέσα στη συσκευή, γύρω από τις οπές ή σχισμές.

Ο αριθμός Stokes χρησιμοποιείται στη ρευστοδυναμική για τη μελέτη τη κίνησης σωματιδίου μέσα σε ρευστό το οποίο κινείται γύρω από εμπόδιο τοποθετημένο κάθετα στη ροή. Ορίζεται ως ο λόγος της απόστασης πέδησης του σωματιδίου προς το χαρακτηριστικό μήκος του εμποδίου (Hinds, 1982). Η απόσταση πέδησης του σωματιδίου είναι η απόσταση που διανύει ένα σωματίδιο από τη στιγμή που θα βρεθεί μέσα σε ακίνητο αέρα, μέχρι να σταματήσει. Κατά μία έννοια, ο αριθμός Stokes εκφράζει την αδράνεια ενός σωματιδίου εντός της ροής του αέρα μπροστά από το εμπόδιο.

Στους ΑΣΔΣ, ο αριθμός Stokes είναι ο κυρίαρχος παράγοντας που καθορίζει το εάν ένα σωματίδιο θα σφηνωθεί ή όχι και δίνεται από τον τύπο:

$$St = \frac{\rho D_p^2 C V}{9 \mu W} \quad (3.6)$$

Όπου:

ρ = πυκνότητα σωματιδίου

D_p = διάμετρος Stokes σωματιδίου

C = παράγοντας ολίσθησης Cunningham

V = στιγμιαία ταχύτητα στην οπή

μ = ιξώδες αέρα

W = διάμετρος οπής ή πλάτος σχισμής (για κυκλική και ορθογώνια διαμόρφωση αντίστοιχα).

Ο αριθμός Reynolds, όπως γνωρίζουμε από τη ρευστομηχανική, εκφράζει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις συνεκτικότητας. Είναι αδιάστατη παράμετρος η οποία καθορίζει το είδος της ροής (στρωτή ή τυρβώδης) και δίνεται από τον τύπο (Τσαγγάρης, 2005):

$$Re = \frac{\rho V l}{\mu} \quad (3.7)$$

Όπου ρ η πυκνότητα του ρευστού, V η ταχύτητα της ροής, μ το ιξώδες του ρευστού και l ένα χαρακτηριστικό μήκος.

Ειδικά για τους ΑΣΔΣ όπου ο αέρας διέρχεται μέσα από κυκλικές οπές, ως χαρακτηριστικό μήκος λαμβάνεται η διάμετρος W και ο αριθμός Reynolds δίνεται από τον τύπο:

$$Re = \frac{\rho_{air} V W}{\mu} \quad (3.8)$$

Για ΑΣΔΣ με σχισμές ορθογωνικής διαμόρφωσης ως χαρακτηριστικό μήκος λαμβάνεται η υδραυλική διάμετρος, προσεγγιστικά ίση με $2W$ για σχισμές μεγάλου μήκους, και ο αριθμός Reynolds γράφεται:

$$Re = \frac{2\rho_{air} V W}{\mu} \quad (3.9)$$

Ο αριθμός Reynolds μας ενδιαφέρει διότι καθορίζει το πάχος του οριακού στρώματος που αναπτύσσεται στην περιοχή των οπών (ή σχισμών) όπου η ροή μπορεί να θεωρηθεί οριακά παράλληλη με την επιφάνεια συλλογής.

3.2.3 Καμπύλες απόδοσης και διάμετρος αποκοπής

Η απόδοση συλλογής των ΑΣΔΣ για σωματίδια που περιέχονται στο αεροζόλ, περιγράφεται από καμπύλες απόδοσης συλλογής, όπως στο σχήμα 3.11. Στο σχήμα αυτό έχουμε μια τυπική μορφή των καμπυλών απόδοσης συλλογής σε διάγραμμα αεροδυναμικής διαμέτρου (μm) – απόδοσης συλλογής (%), για έναν ΑΣΔΣ Andersen τεσσάρων σταδίων, για λειτουργία με παροχή 20 cfm ($0.56 \text{ m}^3/\text{min}$) (APTI, 1980).

Κάθε στάδιο αντιστοιχεί σε μια καμπύλη, ξεκινώντας από το τελευταίο στάδιο στα αριστερά και προχωρώντας στα παραπάνω προς τα δεξιά. Η καμπύλη κάθε σταδίου αντιστοιχεί σε ένα εύρος διαμέτρων, ξεκινώντας από μέγιστη απόδοση συλλογής για τη μέγιστη διάμετρο κι ελάχιστη απόδοση συλλογής για την ελάχιστη.

Ως διάμετρος σημείου αποκοπής, ή διάμετρος αποκοπής (cut-off diameter) D_{50} , ορίζεται η διάμετρος που αντιστοιχεί σε απόδοση συλλογής 50%. Η κλίση της καμπύλης στο συγκεκριμένο σημείο όπου η απόδοση συλλογής είναι ίση με 50%, δείχνει πόσο καλά διαχωρίζονται τα μεγέθη των σωματιδίων στο κάθε επίπεδο.

Από τον τύπο (3.6) για τη διάμετρο αποκοπής D_{50} , ο αριθμός Stokes θα είναι:

$$St_{50} = \frac{\rho D_{50}^2 C V}{9 \mu W} \quad (3.10)$$

Ο αριθμός Stokes που αντιστοιχεί στη διάμετρο αποκοπής ονομάζεται κρίσιμος αριθμός Stokes. Από τη σχέση 3.10 βλέπουμε ότι η διάμετρος αποκοπής D_{50} είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του κρίσιμου αριθμού Stokes. Επομένως, κατ' αντιστοιχία με τα διαγράμματα αεροδυναμικής διαμέτρου – απόδοσης συλλογής, μπορούμε να παραστήσουμε τις καμπύλες απόδοσης συλλογής σε διάγραμμα τετραγωνικής ρίζας αριθμού Stokes (\sqrt{Stk}) – απόδοσης συλλογής.

Για άπειρη κλίση, προκύπτει ότι όσα σωματίδια έχουν διαμέτρους μεγαλύτερες της διαμέτρου αποκοπής θα συλλεχθούν, ενώ όσα έχουν μικρότερη διάμετρο θα διαφύγουν στο επόμενο επίπεδο.

Ο κρίσιμος αριθμός Stokes εξαρτάται σημαντικά κι από τις αδιάστατες παραμέτρους, S/W και T/W , όπου S είναι η απόσταση ανάμεσα στην έξοδο της οπής και την επιφάνεια συλλογής, T το μήκος του ακροφυσίου και W η διάμετρος της οπής ή πλάτος της σχισμής ανάλογα με τη γεωμετρία του ΑΣΔΣ (σχήμα 3.12). Η

συσχέτιση του αριθμού Stokes με τη γεωμετρία των σταδίων φαίνεται στο σχήμα 3.12.

Η συσχέτιση του κρίσιμου αριθμού Stokes με τη γεωμετρία των σταδίων δεν προκύπτει για όλο το εύρος των τιμών των γεωμετρικών παραμέτρων S , W και T . Αντίθετα, υπάρχουν οριακές τιμές του λόγου S/W κάτω από τις οποίες θα υπάρχει συσχέτιση, ενώ για μεγαλύτερες τιμές, ο κρίσιμος αριθμός Stokes θα είναι ανεξάρτητος του λόγου και πρακτικά σταθερός. Οι οριακές τιμές αυτές είναι $S/W = 1/2$ για σχισμές και $S/W = 1$ για οπές (Marple, 1974). Γι' αυτό το λόγο, στη σχεδίαση των ΑΣΔΣ συνηθίζεται να θεωρούνται κατώτερες τιμές του λόγου S/W , οι εξής: $S/W = 1.5$ για ορθογώνια διαμόρφωση και $S/W = 1$ για κυκλική διαμόρφωση. Για διαφορετικές τιμές του λόγου S/W , ο αριθμός Stokes εξαρτάται στενά από αυτόν.

Τέλος, το μήκος του στομίου (ή ακροφυσίου) δεν επηρεάζει σημαντικά την απόδοση της συσκευής. Επί της ουσίας, αυτό που επηρεάζει την απόδοση είναι η ταχύτητα που αποκτούν τα σωματίδια περνώντας μέσα από το ακροφύσιο, άρα ζητούμενο είναι η επιτάχυνση των σωματιδίων. Για αυτό το λόγο απαιτείται κωνική διαμόρφωση του στομίου και λόγος μήκους στομίου-διαμέτρου $T/W > 1$ (Marple, 1974).

Λύνοντας την εξίσωση 3.10 ως προς $D_{50}^2 C$ και αντικαθιστώντας την ταχύτητα με:

$$V = \frac{4Q}{\pi W^2} \text{ (για κυκλική διαμόρφωση – 3.11)}$$

$$V = \frac{Q}{LW} \text{ (για ορθογωνική διαμόρφωση – 3.12)}$$

προκύπτουν οι παρακάτω εκφράσεις για τη διάμετρο αποκοπής (για κυκλική και ορθογωνική διαμόρφωση αντίστοιχα), συναρτήσεως του κρίσιμου αριθμού Stokes, όπου n ο αριθμός των οπών ή των σχισμών:

$$D_{50}^2 C = \frac{9 \mu \pi n W^3 (St_{50, \text{round}})}{4 \rho Q} \quad (3.13)$$

$$D_{50}^2 C = \frac{9 \mu n L W^2 (St_{50, \text{rect}})}{\rho Q} \quad (3.14)$$

Εάν, αντίστοιχα, αντικατασταθεί η ταχύτητα V με τους τύπους που δίνουν τον αριθμό Reynolds (3.7 και 3.8), εκφράζεται η διάμετρος αποκοπής ως συνάρτηση των αριθμών Stokes και Reynolds για κυκλική και ορθογωνική διαμόρφωση, αντίστοιχα (σχήμα 3.12).

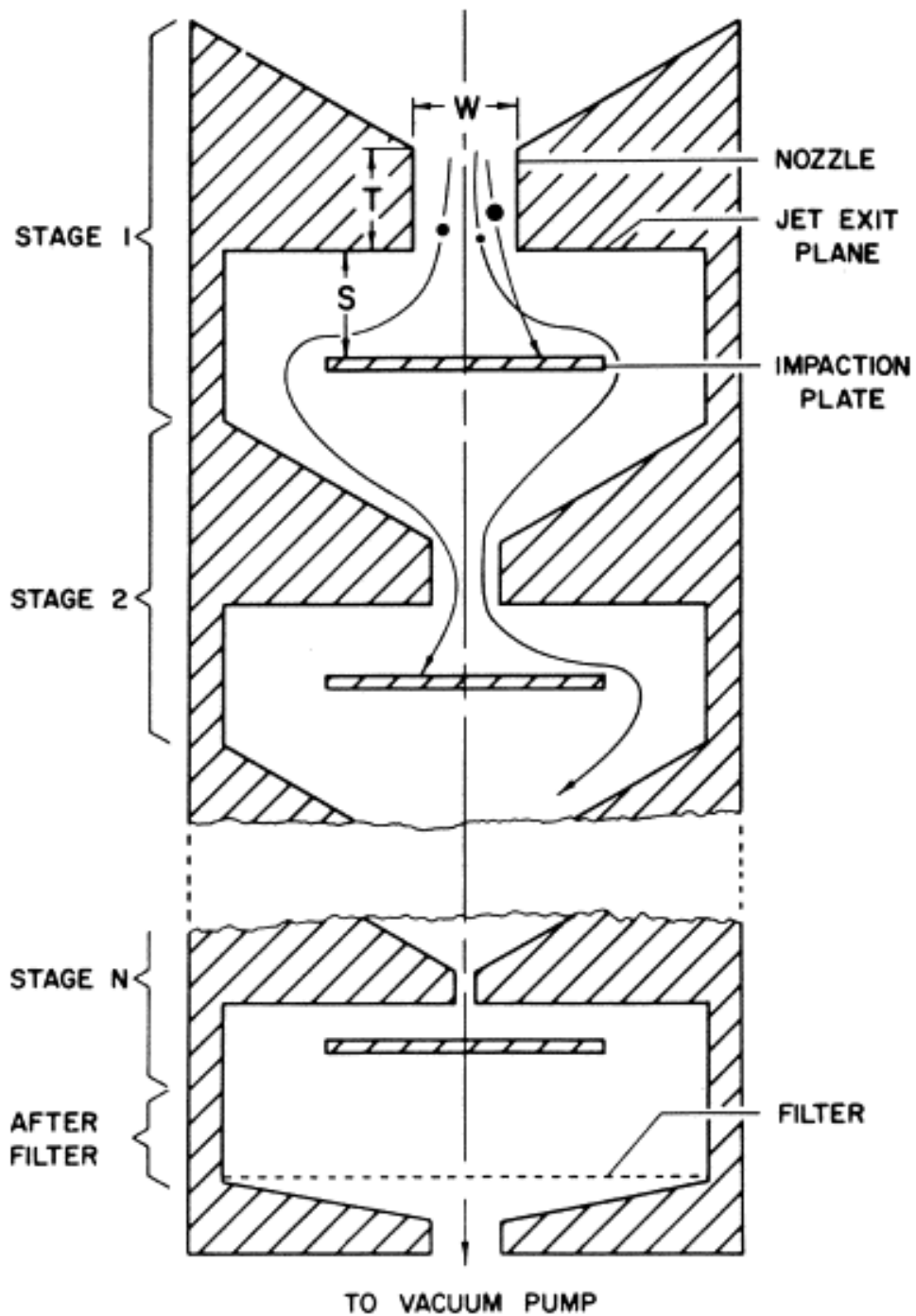
Από το σχήμα φαίνεται ότι για μικρούς αριθμούς Reynolds (<500) η απόδοση συλλογής είναι κακή. Αυτό οφείλεται στη δημιουργία ενός συνεκτικού οριακού στρώματος μεγάλου πάχους γύρω από τη σχισμή. Αντίστοιχα, για μεγάλους αριθμούς Reynolds (πχ. 25000) η κακή απόδοση συλλογής οφείλεται στη δημιουργία πολύ λεπτού οριακού στρώματος γύρω από την περιοχή που αναμένεται η σφήνωση των σωματιδίων, το οποίο επιτρέπει σε σωματίδια που κανονικά θα μεταφέρονταν από το ρευστό στο επόμενο στάδιο, να σφηνώνονται στο σημείο αυτό (Marple, 1975). Οι καταλληλότεροι αριθμοί Reynolds, όπως προκύπτει από το διάγραμμα, είναι $Re=500$ και $Re=3000$ (Marple, 1976). Οι τιμές αυτές προκύπτουν για τιμές του λόγου $S/W=1$ και $S/W=0.5$ για ορθογώνιους και κυκλικούς συλλέκτες αντίστοιχα.

Η εξέταση των αριθμών Stokes και Reynolds είναι αρκετά σημαντική στο πλαίσιο της παρούσας ΔΕ. Ο αριθμός Stokes και ο λόγος S/W καθορίζουν τη μέθοδο υπολογισμού των διαμέτρων αποκοπής και συγκεκριμένα το αν μπορούμε να υπολογίσουμε απευθείας τις διαμέτρους αποκοπής από τη σχέση 3.14. Από την άλλη ο αριθμός Reynolds είναι απαραίτητος προκειμένου να καθορίσουμε την επιθυμητή

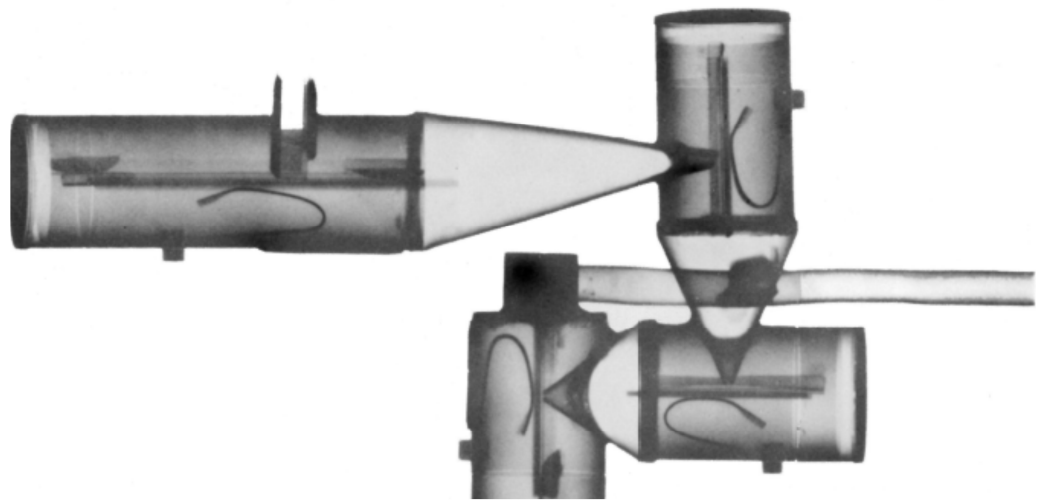
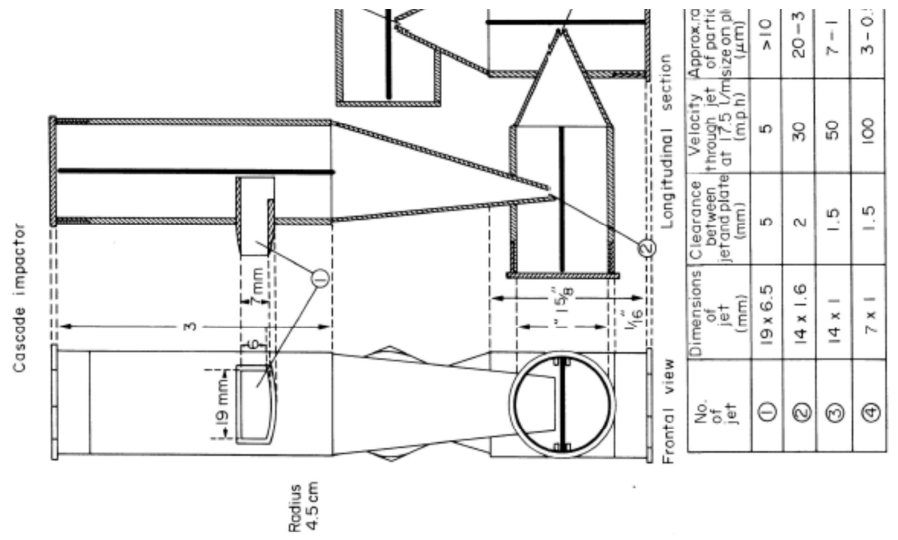
παροχή της αντλίας για ικανοποιητική απόδοση συλλογής, καθώς σχετίζεται με την ταχύτητα του αέρα κατά τη διέλευσή του μέσω του συλλέκτη.

Περισσότερα για τους αριθμούς Stokes και Reynolds αναφέρονται στο Κεφάλαιο 4 όπου αναλύονται και σχολιάζονται οι υπολογισμοί με βάση τα δεδομένα των δειγματοληψιών με τον ΑΣΔΣ της Staplex στο ΕΠΤ – ΕΜΠ και τα αποτελέσματα στα οποία καταλήγουν και χαρακτηρίζουν τις δειγματοληψίες μας.

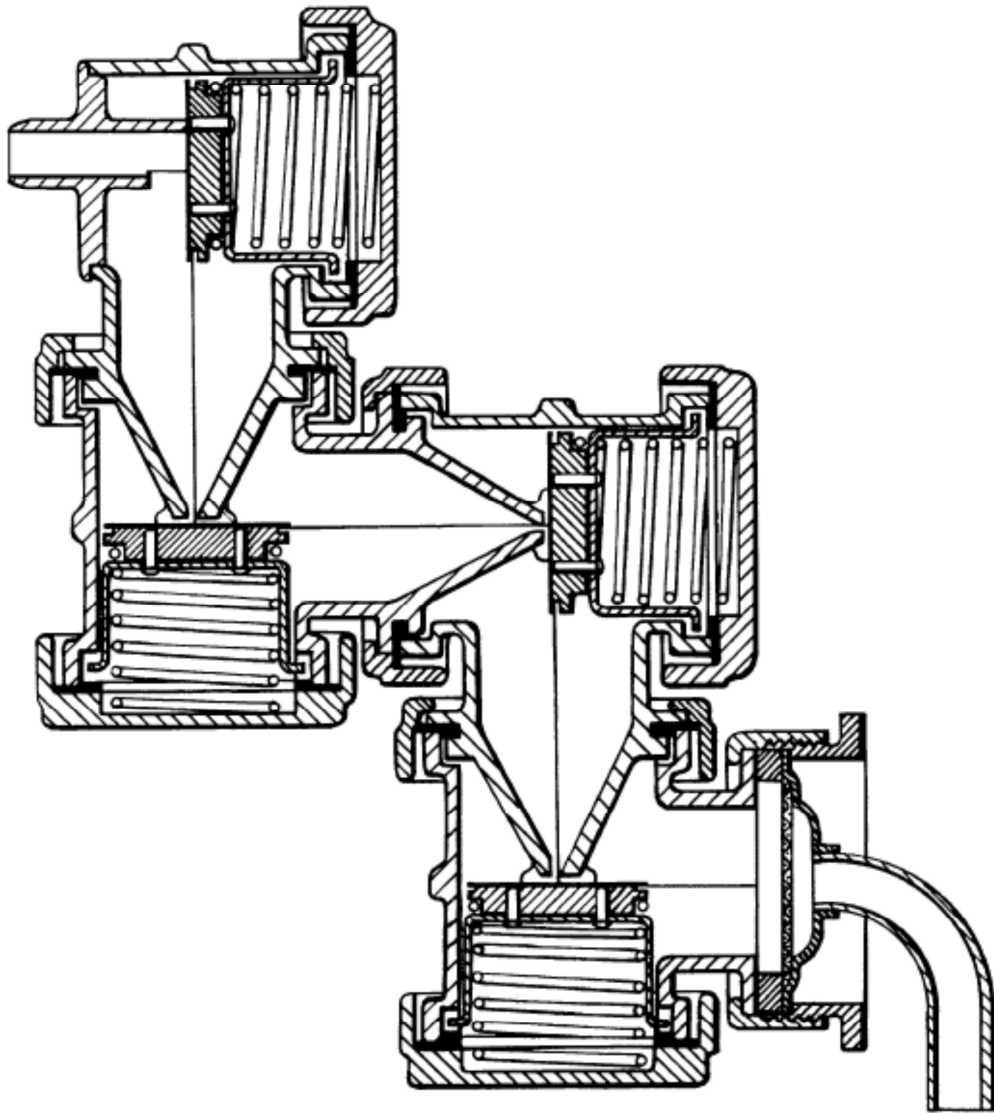
Σχήματα 3ου Κεφαλαίου



Σχήμα 3-1 Τομή Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων

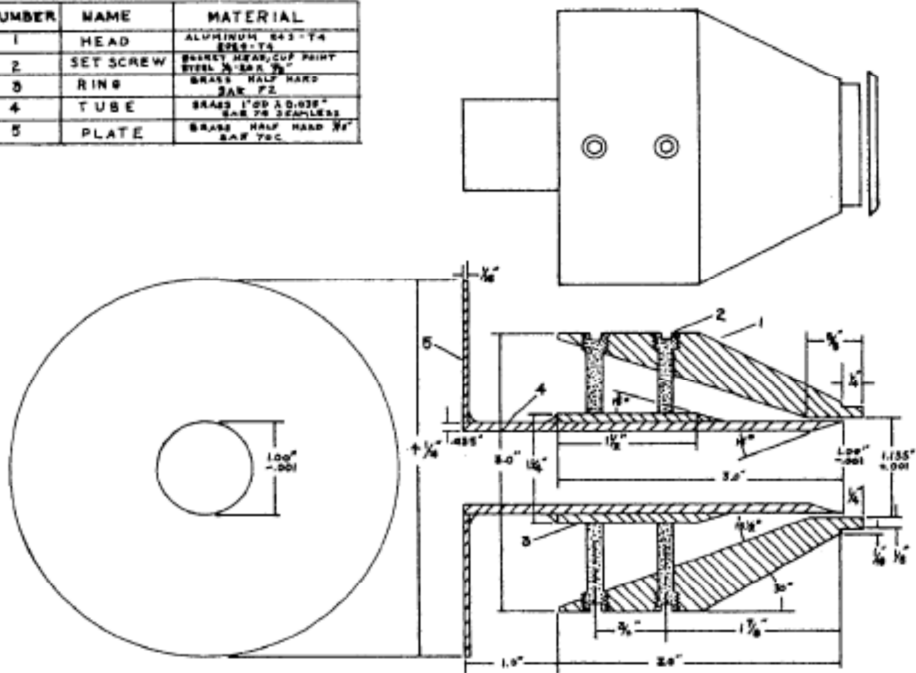


Σχήμα 3-2 Ο αρχικός ΑΣΔΣ του May (1942) - φωτογραφία με χρήση ακτίνων Χ (αριστερά) και σκαρίφημα (δεξιά)

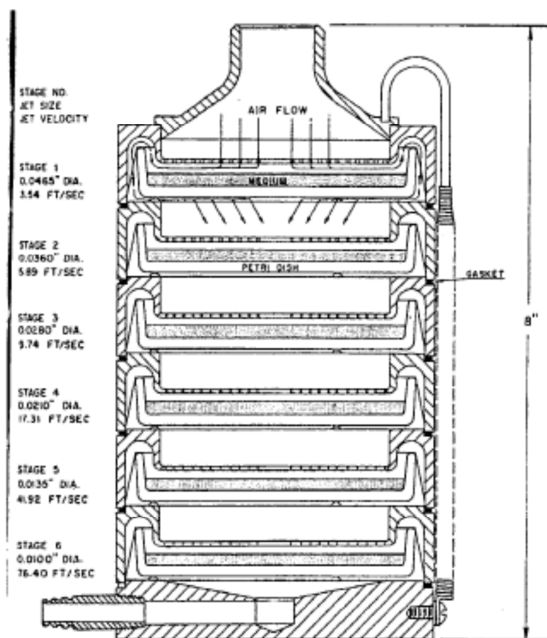


Σχήμα 3-3 Σκαρίφωμα του ΑΣΛΣ Casella Mk.II

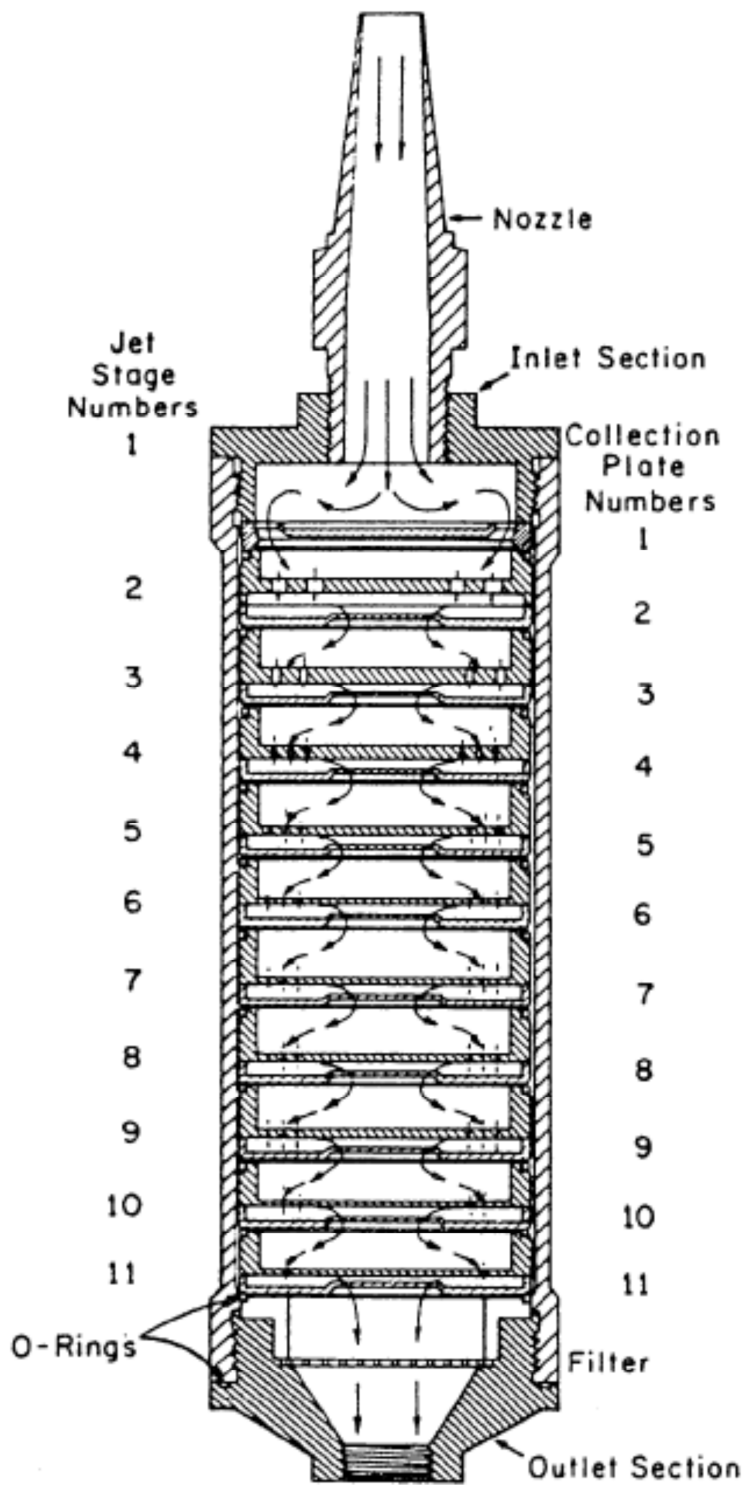
NUMBER	NAME	MATERIAL
1	HEAD	ALUMINUM 64S-T4 826S-T4
2	SET SCREW	BRASS BEAR/CUP POINT STEEL 2-50 X .95"
3	RING	BRASS HALF HARD 3AK .72
4	TUBE	BRASS 1.00 X .032" SAE 70 SEAMLESS
5	PLATE	BRASS HALF HARD #1 SAE 70C



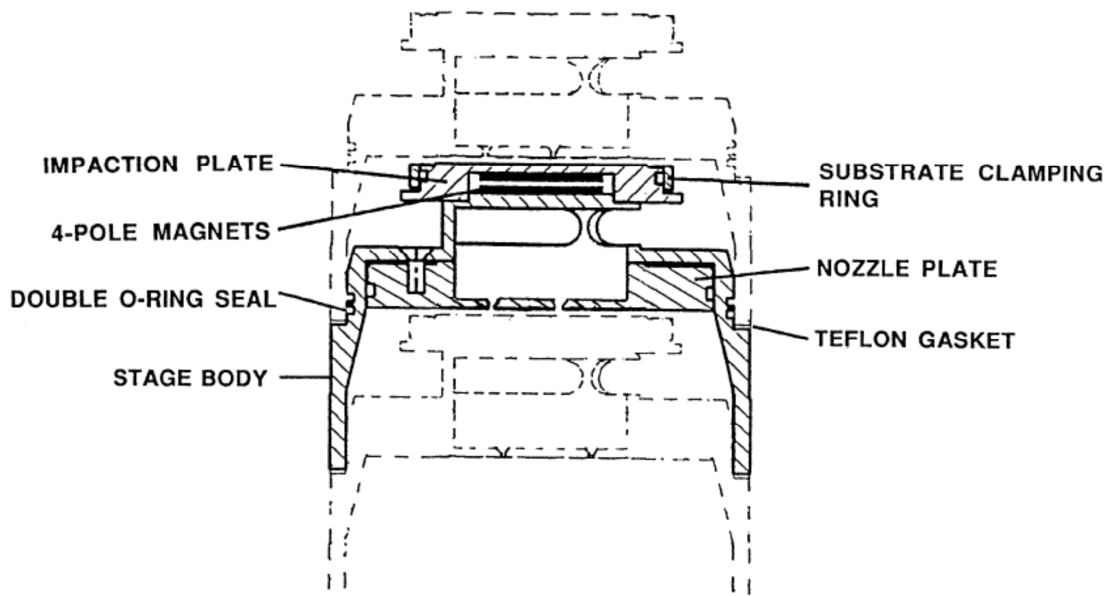
Σχήμα 3-4 Σχέδιο του Δακτυλοειδή Αδρανειακού Συλλέκτη



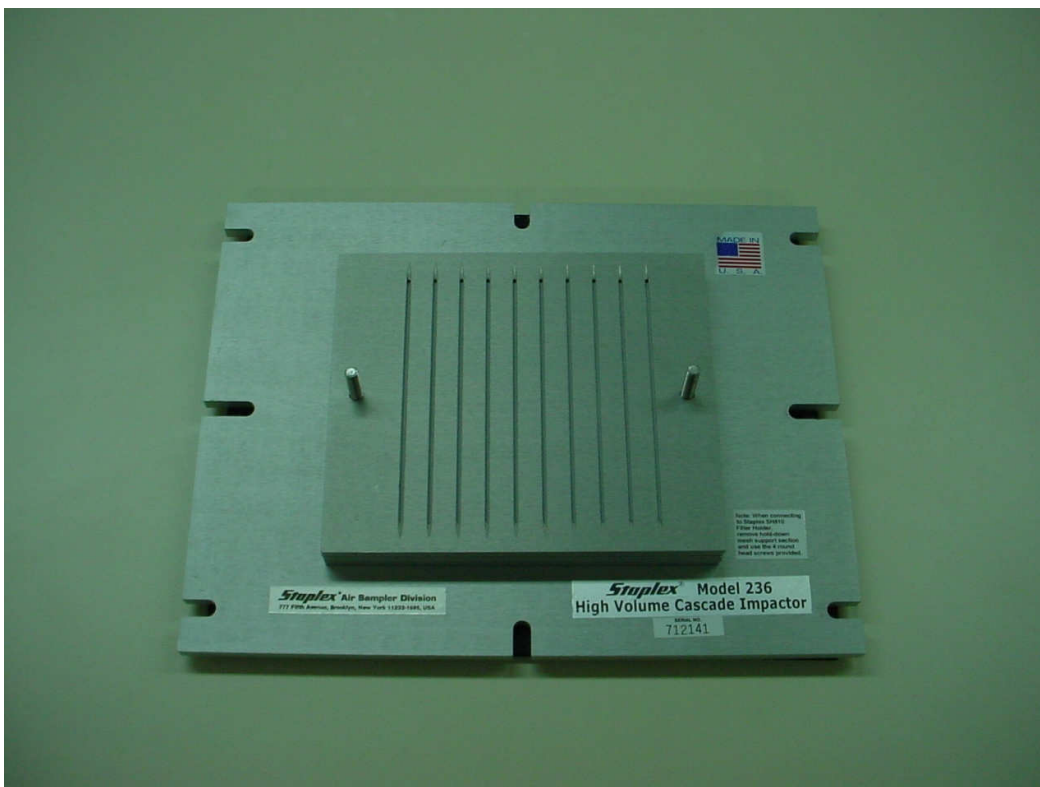
Σχήμα 3-5 Τομή του ΑΣΔΣ Andersen (Andersen Six Stage Viable Cascade Impactor)



Σχήμα 3-6 Τομή του ΑΣΔΣ του Πανεπιστημίου της Ουόσιγγκτον (Pilat cascade impactor)



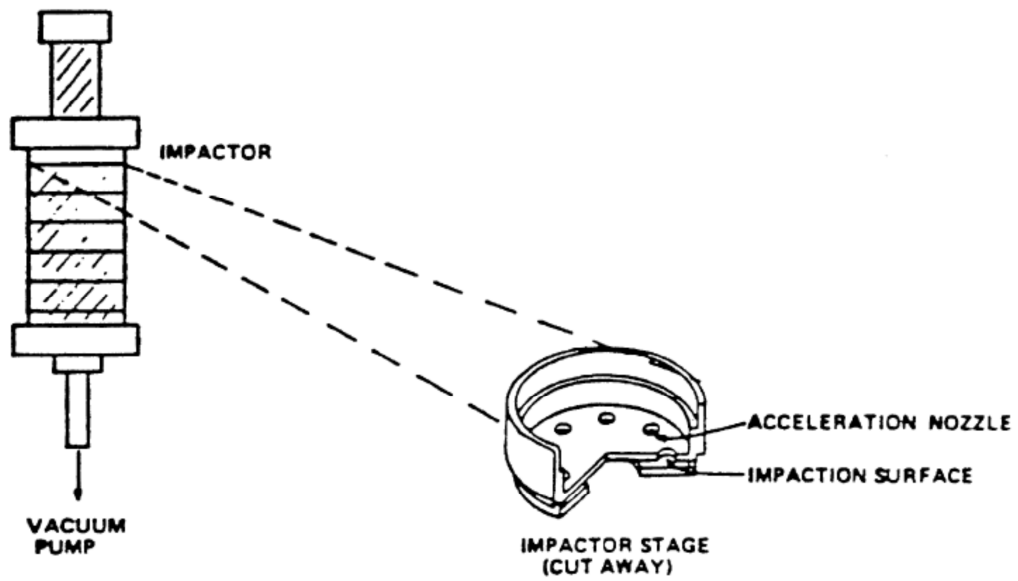
Σχήμα 3-7 Τομή του ΑΣΔΣ Moudi (Micro Orifice Uniform Deposit Impactor)



Σχήμα 3-8 Ο ΑΣΔΣ της Staplex – Model 236 του ΕΠΤ - ΕΜΠ

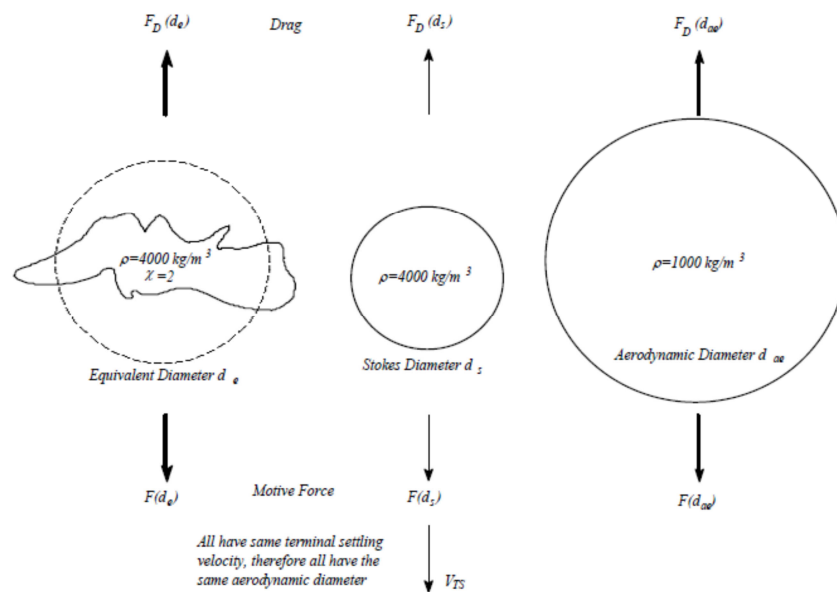


Σχήμα 3-9 ΑΣΔΣ Andersen 8 σταδίων

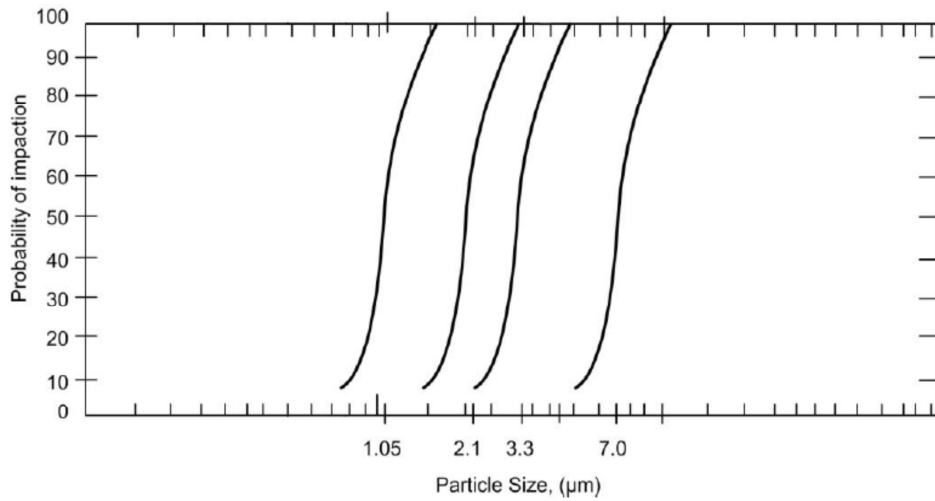


Σχήμα 3-10 ΑΣΔΣ τύπου Berner

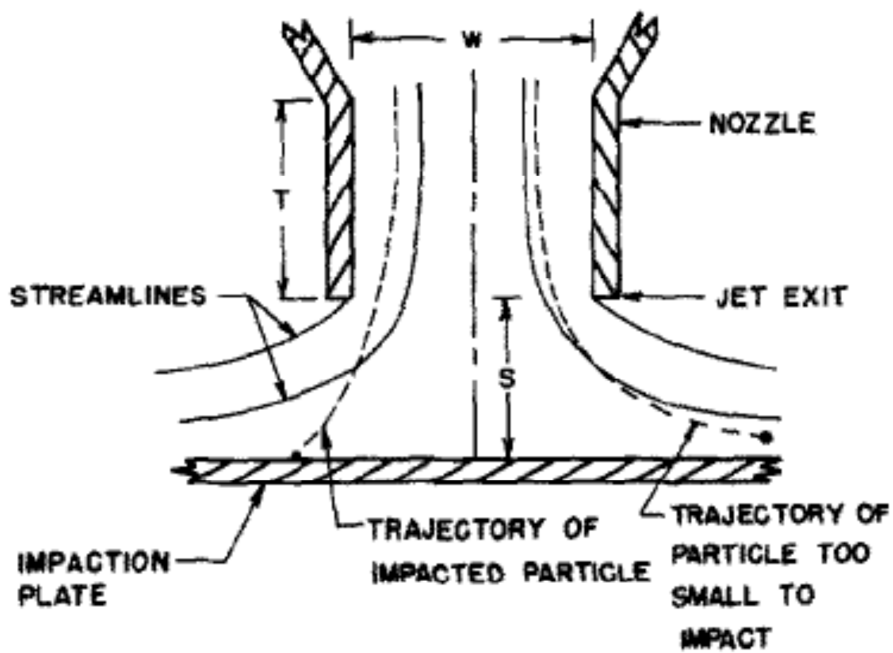
Aerodynamic diameter



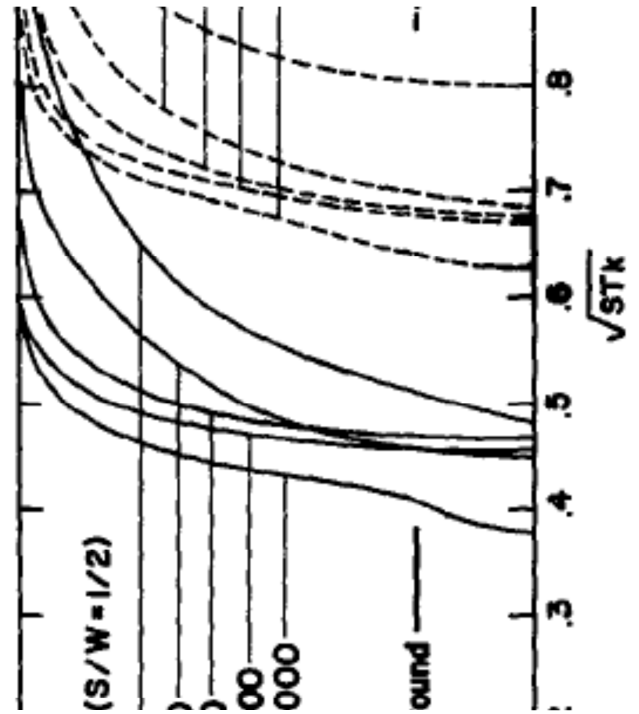
Σχήμα 3-11 Σύγκριση ισοδύναμης διαμέτρου, διαμέτρου Stokes και αεροδυναμικής διαμέτρου



Σχήμα 3-12 Καμπύλες απόδοσης σε διάγραμμα αεροδυναμικής διαμέτρου- απόδοσης συλλογής για ΑΣΔΣ τύπου Andersen, τεσσάρων σταδίων



Σχήμα 3-13 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά σταδίου ΑΣΔΣ



Σχήμα 3-14 Καμπύλες απόδοσης σε διάγραμμα ρίζας Stokes - απόδοσης, για καθορισμένους λόγους S/W

4 Δειγματοληψία ατμοσφαιρικού αεροζόλ στο ΕΠΤ-ΕΜΠ με χρήση του Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων Staplex – Model 236

4.1 Περιγραφή του Αδρανειακού Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων

Στο πλαίσιο της παρούσας (ΔΕ), ετέθη σε λειτουργία και χρησιμοποιήθηκε ο Αδρανειακός Συλλέκτης Διαδοχικών Σταδίων (ΑΣΔΣ) της STAPLEX –Model 236 High Volume Cascade Impactor, που διατίθεται στο Εργαστήριο Πυρηνικής Τεχνολογίας του ΕΜΠ (ΕΠΤ-ΕΜΠ). Πρόκειται για έναν ΑΣΔΣ υψηλής παροχής και πολλαπλών σχισμών, ο οποίος διαθέτει έξι διαφορετικά στάδια διαχωρισμού του ατμοσφαιρικού αεροζόλ (σχήματα 4.1 – 4.2). Όλες οι δειγματοληψίες που έγιναν στα πλαίσια της ΔΕ με τον ΑΣΔΣ της Staplex, πραγματοποιήθηκαν στο δώμα του ΕΠΤ-ΕΜΠ (Κτίριο Κ, Μηχανολόγων Μηχανικών).

Ο ΑΣΔΣ αποτελείται από μια βάση στην οποία στερεώνονται οι έξι διαφορετικές μεταλλικές πλάκες με σχισμές μεταβλητού πλάτους. Ξεκινώντας από την κορυφή προς τη βάση, το πλάτος των σχισμών μειώνεται. Η ίδια η βάση διαθέτει με τη σειρά της σχισμές, πλάτους περίπου ίσου με το πλάτος των σχισμών του δεύτερου σταδίου (σχήμα 4.3). Η βάση προσαρμόζεται στην αντλία, ενώ κάτω από αυτήν, μπορεί προαιρετικά να τοποθετηθεί και φίλτρο συλλογής όσων σωματιδίων δεν έχουν κατακρατηθεί στα προηγούμενα στάδια, δεδομένου ότι εξασφαλίζεται ο μη στραγγαλισμός της ροής μέσω της αντλίας. Το υλικό κατασκευής της συσκευής είναι κράμα ανοδιωμένου αλουμινίου με κατάλληλο φινίρισμα.

Η βάση της συσκευής διαθέτει κοχλίες στους οποίους τοποθετούνται οι μεταλλικές πλάκες κατά τέτοιο τρόπο, ώστε κάτω από τις σχισμές της προηγούμενης

πλάκας να βρίσκεται μεταλλική επιφάνεια (όχι σχισμή) της επόμενης. Οι πλάκες στο οπίσθιο μέρος τους παρουσιάζουν μικρή εσοχή στην περιοχή των σχισμών, τέτοια ώστε να επιτρέπεται στο ρευστό (αέρα) να διέρχεται μέσω της συσκευής και να αλλάζει κατεύθυνση. Οι πλάκες συγκρατούνται στη βάση της συσκευής με πλαστικό περικόχλιο σύσφιξης. Η προσεκτική συναρμολόγηση της συσκευής, δηλαδή η τοποθέτηση των πλακών και των φίλτρων επί της βάσης της συσκευής με τη σωστή σειρά και το σωστό προσανατολισμό, είναι κομβικής σημασίας για τη διεξαγωγή της δειγματοληψίας, καθώς πιθανό σφάλμα συναρμολόγησης μπορεί να οδηγήσει από αστοχία του πειράματος, έως στραγγαλισμό της ροής και υπερθέρμανση της αντλίας.

Οι διαστάσεις του ΑΣΔΣ Staplex - Model 236 παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1. Όπως παρατηρείται, από την κορυφή του συλλέκτη προς τη βάση μειώνεται το πλάτος των σχισμών. Αυτό γίνεται διότι, καθώς διέρχεται ο αέρας μέσα από τη συσκευή, είναι επιθυμητή η επιτάχυνση της ροής σε κάθε στάδιο, έτσι ώστε να συλλέγονται σωματίδια μικρότερης διαμέτρου από το προηγούμενο στάδιο.

4.2 Περιγραφή της διαδικασίας δειγματοληψίας

4.2.1 Προετοιμασία των φίλτρων

Για τη δειγματοληψία με τον ΑΣΔΣ χρησιμοποιήθηκαν κυρίως φίλτρα ιών υάλου 8"x10" (glass fiber F&J Specialty Products – FP810M) όπως αυτά του σχήματος 4.4, τα οποία κόπηκαν σε κατάλληλη γεωμετρία. Εναλλακτικά, χρησιμοποιήθηκαν και φύλλα χαρτού Α4, επίσης κομμένα σε κατάλληλη γεωμετρία.

Κατά την πρώτη προσέγγιση δημιουργίας φίλτρων κατάλληλης γεωμετρίας, τα φίλτρα glass fiber κοπήκαν σε γεωμετρία αντίστοιχη αυτής των μεταλλικών πλακών,

δηλαδή 15.2 cm (W) x 17.8 cm (L), και πάνω στα φίλτρα διαμορφώθηκαν κατάλληλες σχισμές με πλάτος 0.15 cm, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5. Αντίστοιχα, κόπηκαν και τα φύλλα A4. Η κοπή έγινε με κατάλληλο κοπτικό εργαλείο (ξυράφι), έχοντας ως μήτρα την πλάκα του δευτέρου επιπέδου. Σε κάθε φίλτρο έγιναν τρύπες με ειδικό εργαλείο (σγρόμπια) σε κατάλληλη θέση ώστε να εφαρμόζουν στους κοχλίες της βάσης.

Τα φίλτρα αυτά αριθμήθηκαν, ώστε να διακρίνονται μεταξύ τους, ζυγίστηκαν και τοποθετήθηκαν πάνω από κάθε μεταλλική πλάκα, ξεκινώντας από το δεύτερο στάδιο και φτάνοντας ως τη βάση. Οι σχισμές κάθε φίλτρου ευθυγραμμίζονταν με τις σχισμές της μεταλλικής πλάκας που τοποθετήθηκε ακριβώς από κάτω του, ξεκινώντας από τη βάση και προχωρώντας μέχρι την κορυφή.

Η δεύτερη προσέγγιση για τη δημιουργία κατάλληλων φίλτρων δειγματοληψίας στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ, βασίστηκε πάλι στα φίλτρα glass fiber. Στην περίπτωση αυτή όμως κόπηκαν ανεξάρτητες λωρίδες φίλτρου με πλάτος 0.7 cm και μήκος 14 cm. Οι λωρίδες αυτές τοποθετούνται από δέκα σε κάθε στάδιο, ακολουθώντας το ίδιο σκεπτικό που αναπτύχθηκε προηγουμένως (κάτω από τις σχισμές κάθε πλάκας να υπάρχει φίλτρο – βλ. 4.2.3). Η κοπή έγινε με κοπτικό εργαλείο μεγάλων διαστάσεων (σχήματα 4.6 – 4.7).

Από τις δύο διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, καταλληλότερη αποδείχτηκε η μέθοδος κοπής των φίλτρων glass fiber σε λωρίδες, καθότι παρουσίασε καλύτερη επαναληψιμότητα, μικρότερο χρόνο προετοιμασίας και οικονομία, σε σχέση με την πρώτη διαδικασία. Επιπλέον, παρουσίασε πολύ μεγαλύτερη ευκολία κατά τη διαδικασία του ζυγίσματος.

4.2.2 Ζύγιση των φίλτρων

Μετά την κοπή των φίλτρων και πριν την τοποθέτησή τους στον ΑΣΔΣ, ακολουθεί η διαδικασία της ζύγισής τους. Η ζύγιση των φίλτρων με ακρίβεια ενδιαφέρει ιδιαίτερα, καθώς αυτή θα επιτρέψει τον προσδιορισμό της μάζας του αεροζόλ που αποτίθεται στα φίλτρα. Επισημαίνεται ότι η ποσότητα του αεροζόλ που συγκεντρώνεται πάνω στα φίλτρα είναι της τάξης των μερικών δεκάδων µg. Η ζύγιση των φίλτρων γίνεται με τον ζυγό ακριβείας του OHAUS – ANALYTICAL standard που διατίθεται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ και ο οποίος έχει διακριτική ικανότητα 0.0001g.

Για τη ζύγιση των φίλτρων με σχισμές (glass fiber και χαρτί A4) και των λωρίδων glass fiber, ακολουθήθηκε διαφορετική διαδικασία. Για τα φίλτρα με σχισμές χρησιμοποιήθηκε κυλινδρικό δοχείο, εντός του οποίου ζυγίστηκαν, προκειμένου να εξασφαλισθεί η καλύτερη δυνατή ισορροπία του ζυγού. Αντίθετα οι λωρίδες glass fiber ζυγίστηκαν ανά δεκάδα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.8. Μετά τη ζύγιση, τα φίλτρα αποθηκεύονται σε αριθμημένες νάιλον σακούλες, μέχρι την τοποθέτησή τους στον ΑΣΔΣ.

Πρέπει στο σημείο αυτό να επισημανθεί ότι η ζύγιση των φίλτρων glass fiber με σχισμές παρουσίασε προβλήματα, ενώ αντίθετα η ζύγιση λωρίδων glass fiber, αποδείχτηκε πολύ πιο εύκολη και επαναλήψιμη διαδικασία.

4.2.3 Συναρμολόγηση της διάταξης ΑΣΔΣ – Ρύθμιση παροχής της αντλίας

Η συναρμολόγηση της συσκευής πρέπει να γίνει πολύ προσεκτικά, ώστε, αφενός να μην υπάρχει σε κάποιο σημείο στραγγαλισμός της ροής και αφετέρου να μην υπάρχουν γραμμές ροής του αέρα, εντός της συσκευής, οι οποίες να μην διέρχονται μπροστά από φίλτρο. Στην τελευταία περίπτωση θα υπάρχει αεροζόλ το οποίο

αποτίθεται πάνω στις μεταλλικές πλάκες του ΑΣΔΣ, το οποίο δεν θα συλλέγεται. Επίσης, ιδιαίτερη μέριμνα πρέπει να υπάρχει για την τοποθέτηση των φίλτρων ώστε να μην υπάρχει απώλεια υλικού (λόγω σκισίματος ή άλλης φθοράς) η οποία μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια μάζας του φίλτρου και αδυναμία ορθού υπολογισμού της μάζας του αεροζόλ που αποτίθεται στο φίλτρο.

Για την περίπτωση των φίλτρων glass fiber με σχισμές, η διαδικασία της συναρμολόγησης ξεκινάει τοποθετώντας το φίλτρο που αντιστοιχεί στο έκτο στάδιο πάνω στη βάση, με τις σχισμές του ευθυγραμμισμένες με τις σχισμές της βάσης. Στη συνέχεια τοποθετείται η έκτη πλάκα με τις σχισμές της μετατοπισμένες ως προς τις σχισμές του έκτου φίλτρου, ώστε κάτω από τις σχισμές της πλάκας να υπάρχει φίλτρο. Κατ' αυτόν τον τρόπο γίνεται και η τοποθέτηση των υπολοίπων φίλτρων και μεταλλικών πλακών.

Στην περίπτωση των λωρίδων glass fiber, αυτές τοποθετούνται χρησιμοποιώντας την ίδια αρχή (σχήματα 4.9 – 4.11). Στο σημείο αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά την τοποθέτηση των πλακών και περικοχλίων σύσφιξης που συγκρατούν τις πλάκες, ώστε να μην υπάρχει μετακίνηση κάποιας λωρίδας και πιθανή επικάλυψη κάποιας σχισμής.

Τέλος, πολύ σημαντικό είναι να τυλιχθεί η περίμετρος του ΑΣΔΣ και ιδιαίτερα των κατώτερων πλακών, στο σημείο που εφάπτονται με τη βάση, με ταινία τεφλόν, ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα αναρρόφησης αέρα από τα κενά που σχηματίζονται ανάμεσα στις πλάκες, εξαιτίας της τοποθέτησης των λωρίδων φίλτρου.

Μετά τη συναρμολόγηση της συσκευής ΑΣΔΣ, αυτή τοποθετείται στην αντλία υψηλής παροχής και γίνεται ρύθμιση της επιθυμητής παροχής της αντλίας. Σε αυτό το σημείο, υπενθυμίζεται ότι η παροχή είναι αντιστρόφως ανάλογη του μεγέθους της

κοκκομετρίας η οποία συλλέγεται σε κάθε επίπεδο, κατά τη δειγματοληψία. Συνεπώς, μεγαλύτερη παροχή οδηγεί σε μικρότερη κοκκομετρία, καθώς επιταχύνεται η ροή του αέρα μέσω των σχισμών του κάθε επιπέδου. Η επιλογή της κατάλληλης παροχής γίνεται με βάση τις συγκεκριμένες ανάγκες τις οποίες εξυπηρετεί η δειγματοληψία (επιθυμητή κοκκομετρία) αλλά και βάσει των συγκεκριμένων προδιαγραφών, τόσο της αντλίας όσο και της συσκευής ΑΣΔΣ, ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα υπερθέρμανσης ή υπερβολικής καταπόνησης της αντλίας.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία χρησιμοποιήθηκε η αντλία μεγάλου όγκου DH-50810E της F&J (σχήματα 4.12 – 4.13), η οποία είναι μόνιμα τοποθετημένη στο δώμα του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Η συσκευή ΑΣΔΣ τοποθετείται στο άνω μέρος της αντλίας, στον ειδικό υποδοχέα, όπου στερεώνεται με κοχλίες και περικόχλια σύσφιξης. Η ρύθμιση της παροχής και του χρόνου της δειγματοληψίας γίνεται μέσω της ειδικής οθόνης (monitor) της μηχανής, με ψηφιακό τρόπο.

Οι δειγματοληψίες που έγιναν στα πλαίσια της ΔΕ έγιναν για υψηλή (>800 SLPM) και μεσαία παροχή (<500 SLPM) και τα συμπεράσματα από τις διαφορετικές μετρήσεις παρουσιάζονται στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου. Σημειώνεται ότι η τιμή της παροχής στην αντλία δίδεται σε Standard Liters Per Minute (SLPM) καθώς το λογισμικό της αντλίας ανάγει την πραγματική παροχή (συναρτήσε των συνθηκών θερμοκρασίας και πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα στην περιοχή που διεξάγεται η δειγματοληψία) σε παροχή για κανονικές συνθήκες ($T=20^{\circ}\text{C}$ και $P=760\text{mmHg}$). Όσον αφορά στη διάρκεια δειγματοληψίας στα πειράματα που έγιναν στα πλαίσια της ΔΕ, ως διάρκεια δειγματοληψίας ορίστηκαν οι 24 και οι 48 ώρες.

4.2.4 Σύλλογή του δείγματος

Μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληψίας ακολουθεί η σύλλογή των στοιχείων της δειγματοληψίας τα οποία καταγράφονται από την αντλία και η απομάκρυνση του ΑΣΔΣ. Τα στοιχεία δειγματοληψίας που καταγράφονται από την αντλία είναι:

- Ημερομηνία και ώρα της έναρξης και της λήξης της δειγματοληψίας
- Συνολικός όγκος δειγματοληψίας (σε standard liters SL)
- Μέση παροχή της δειγματοληψίας (σε SLPM)
- Ανώτατη και κατώτατη τιμή της παροχής της αντλίας
- Ανώτερη και κατώτερη τιμή πίεσης (mmHg) και θερμοκρασίας (°C).

Οι πληροφορίες αυτές είναι απαραίτητες για την περαιτέρω ανάλυση των φίλτρων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Κατά τη διαδικασία αποσυναρμολόγησης του ΑΣΔΣ πρέπει να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στο χειρισμό των φίλτρων προς αποφυγή φθοράς τους (μικροσκισίματα κλπ) από τη μία και απώλειας δείγματος από την άλλη (επαφή με άλλες επιφάνειες, απώλεια δείγματος λόγω βαρύτητας κλπ).

Κατά την απομάκρυνση των διαδοχικών πλακών του ΑΣΔΣ και των φίλτρων από κάθε στάδιο διαπιστώνεται άμεσα και οπτικά ο τρόπος με τον οποίο κατανέμεται το ατμοσφαιρικό αεροζόλ πάνω στα φίλτρα, αλλά και η σημαντική διαφορά στον τρόπο κατανομής του αεροζόλ στα διάφορα στάδια. Όπως διαπιστώνεται, το δείγμα (ατμοσφαιρικό αεροζόλ) δεν κατανέμεται στο σύνολο της επιφάνειας του φίλτρου, αλλά αντίθετα, σχηματίζει γραμμές στην περιοχή του φίλτρου ανάμεσα σε δύο σχισμές (σχήματα 4.14 - 4.19). Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο, λόγω της ύπαρξης συγκεκριμένων γραμμών ροής του αέρα κατά τη διέλευσή του μέσα από τη συσκευή.

Η διαπίστωση συγκέντρωσης δείγματος εκτός αυτών των γραμμών υποδεικνύει σφάλμα κατά τη συναρμολόγηση της συσκευής. Επιπλέον, όπως παρατηρείται, οι γραμμές συγκέντρωσης υλικού παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές ως προς το πλάτος τους αλλά και την ευκρίνειά τους, ανάλογα με το στάδιο. Συγκεκριμένα, από τα υψηλότερα στάδια (μεγαλύτερη κοκκομετρία) στα χαμηλότερα (μικρότερη κοκκομετρία), οι γραμμές αυτές γίνονται πιο στενές και έντονες.

Μετά την απομάκρυνση των φίλτρων από τη συσκευή ΑΣΔΣ, ακολουθεί η ζύγισή τους, προκειμένου να υπολογιστεί η μάζα του δείγματος που έχει συλλεχθεί σε κάθε φίλτρο. Όπως και κατά την προετοιμασία του πειράματος, έτσι και σε αυτό το σημείο, τα φίλτρα με σχισμές (glass fiber και A4) ζυγίστηκαν με διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις λωρίδες glass fiber. Τα μεν πρώτα διπλώθηκαν σε ορθογώνια γεωμετρία ίδια με τη γεωμετρία τοποθέτησής τους στον ανιχνευτή, και συγκρατήθηκαν με μεταλλικό συνδετήρα, ενώ οι λωρίδες ζυγίστηκαν πάλι ανά δεκάδες, ανάλογα με το επίπεδο.

4.2.5 Ανίχνευση ^7Be σε φίλτρα του ΑΣΔΣ

Η ανίχνευση των φίλτρων που συλλέγονται με τον ΑΣΔΣ έγινε με χρήση των διατάξεων ΧiRa και CSS (βλ. Κεφάλαιο 2). Καθώς η απόδοση ανάλυσης εξαρτάται από τη γεωμετρία πηγής ανιχνευτή, τα φίλτρα διπλώθηκαν με τρόπο που να εξασφαλίζει κατά το δυνατόν υψηλή απόδοσης ανίχνευσης. Στα φίλτρα με σχισμές (glass fiber και A4) η γεωμετρία που προέκυψε μετά τη δίπλωσή τους, προσομοιάζει στη γεωμετρία “10” που χρησιμοποιείται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Αντίστοιχα, οι λωρίδες από glass fiber τοποθετήθηκαν και κολλήθηκαν πάνω σε λεπτό χαρτόνι διαστάσεων 6x4cm ανά πεντάδες, σε δύο σειρές, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.20. Για την

καλύτερη τοποθέτηση των φίλτρων πάνω στον ανιχνευτή χρησιμοποιήθηκε μικρή ιδιοκατασκευή από plexi-glass. (σχήμα 4.23).

Σε κάθε περίπτωση τα φίλτρα συσκευάζονται αεροστεγώς σε πλαστικό φάκελο και αριθμούνται. Η κωδικοποίηση της αριθμησής τους έχει τη μορφή ACXXXX όπου τα αρχικά AC υποδηλώνουν δειγματοληψία αέρα (A) με χρήση ΑΣΔΣ (ΑΣΔΣ – Cascade Impactor). Τα τρία ψηφία που ακολουθούν, δίνουν τον αύξοντα αριθμό της δειγματοληψίας και το τελευταίο ψηφίο δίνει τον αριθμό του στάδιο στο οποίο αντιστοιχεί το κάθε φίλτρο. Έτσι, το φίλτρο με κωδικό AC0051 είναι το φίλτρο που αντιστοιχεί στο πρώτο στάδιο από την πέμπτη δειγματοληψία.

Παράλληλα, συμπληρώνονται ειδικές κάρτες που αρχειοθέτησης με όλα τα στοιχεία που αφορούν το φίλτρο και τη δειγματοληψία (ημερομηνία και ώρα έναρξης και λήξης δειγματοληψίας, τοποθεσία, αντλία που χρησιμοποιήθηκε, αναρροφούμενος όγκος, μέση παροχή, πίεση, θερμοκρασία κλπ).

Μετά την ολοκλήρωση της συσκευασίας των φίλτρων και της συμπλήρωσης των στοιχείων δειγματοληψίας στην ειδική κάρτα το φίλτρο είναι έτοιμο να τοποθετηθεί στον ανιχνευτή.

Ο χρόνος παραμονής των φίλτρων στους ανιχνευτές κυμάνθηκε από 1 έως 5 μέρες, ανάλογα με την προσδοκώμενη συγκέντρωση του ^7Be . Για παράδειγμα, για τα φίλτρα των κατώτερων επιπέδων όπου – όπως διαπιστώθηκε – η συγκέντρωση του ^7Be είναι υψηλή, η διάρκεια ανάλυσης ήταν σχετικά μικρή. Στη συνέχεια δίνονται αναλυτικά δεδομένα για τις πραγματοποιηθείσες δειγματοληψίες και τις αναλύσεις των δειγμάτων.

4.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων των δειγματοληψιών που πραγματοποιήθηκαν στο ΕΠΤ-ΕΜΠ με χρήση ΑΣΔΣ

Στο πλαίσιο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με χρήση του ΑΣΔΣ υψηλής παροχής της εταιρείας Staplex, model 236, στο δώμα του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Για όλες τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε η αντλία F&J του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Τα αναλυτικά δεδομένα των δειγματοληψιών αυτών παρουσιάζονται στους πίνακες στο τέλος του παρόντος κεφαλαίου (πίνακες 4.3-4.8).

Για τις δύο πρώτες δειγματοληψίες, αναλύθηκαν ενδεικτικά ορισμένα από τα φίλτρα, προκειμένου να διαπιστωθεί αν τελικά είχε συγκρατηθεί σε αυτά ποσότητα ^7Be που να είναι ανιχνεύσιμη. Συνεπώς, δεν υπάρχουν αναλυτικά δεδομένα ανίχνευσης για τις δύο αυτές δειγματοληψίες. Αντίθετα, για τις δειγματοληψίες με χρήση λωρίδων glass fiber, που είναι και η μέθοδος που τελικά υιοθετήθηκε, υπάρχουν αναλυτικά αποτελέσματα μετρήσεων για κάθε στάδιο, που αφορούν στη διαφορά μάζας των φίλτρων πριν και μετά τη δειγματοληψία, την κοκκομετρία σε κάθε επίπεδο και τη συγκέντρωση του ^7Be αντίστοιχα.

Στη συνέχεια αναλύονται τα αποτελέσματα των δειγματοληψιών :

- δειγματοληψία 3 (30/03/12, 24h, 0,8867m³/min) – πίνακας 4.5
- δειγματοληψία 4 (26/04/12, 48h, 0,827 m³/min) – πίνακας 4.6
- δειγματοληψία 8 (29/08/12, 24h, 0,4968 m³/min) – πίνακας 4.7
- δειγματοληψία 9 (14/01/13, 24h, 0,8926 m³/min) – πίνακας 4.8.

Οι δειγματοληψίες 1 και 2 είναι με φίλτρα glass fiber και χαρτιού A4 αντίστοιχα, με σχισμές, ενώ οι δειγματοληψίες 5, 6, 7 είναι με το Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη της Staplex και παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 5.

Επισημαίνεται ότι η τελευταία δειγματοληψία διεξήχθη σε περίοδο του έτους με έντονα φαινόμενα αιθαλομίχλης. Το αποτέλεσμα ήταν να σχηματισθούν πολύ πιο ευδιάκριτες και έντονες γραμμές από το αεροζόλ που επικάθισε στα φίλτρα, ακόμα και στα υψηλά στάδια (σχήματα 4.24 – 4.29), χωρίς να παρατηρηθεί ωστόσο σημαντική διαφοροποίηση όσον αφορά στη μάζα που επικάθισε στο κάθε φίλτρο, σε σχέση με τις υπόλοιπες δειγματοληψίες.

Για τον υπολογισμό του μεγέθους της κοκκομετρίας που συλλέγεται σε κάθε στάδιο του ΑΣΔΣ έγινε χρήση της σχέσης 3.11, η οποία συνδέει τη διάμετρο αποκοπής D_{50} με την παροχή στην αντλία, όπως αναλύεται στο Κεφάλαιο 3:

$$D_{50}^2 C = \frac{9 \mu n L W^2 (St_{50, rect})}{\rho Q}$$

Για τη σχέση αυτή

- $\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$ (Forsythe, 2003)
- $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$
- $L = 12,32 \text{ cm}$
- $W_1 = 0,39 \text{ cm}, W_2 = 0,15 \text{ cm}, W_3 = 0,09 \text{ cm}, W_4 = 0,045 \text{ cm}, W_5 = 0,025 \text{ cm}, W_6 = 0,014 \text{ cm}$
- $n_1 = 9, n_{2 \rightarrow 6} = 10$
- $St_{50, rect} \cong 0,59$, για $S/W \geq 1,5$

- $C=1$ ($D_{50} \geq 1\mu\text{m}$), $C>1$ ($D_{50} < 1\mu\text{m}$), δίδεται από πίνακες ή από τη σχέση τύπο 3.2 (η ελεύθερη διαδρομή αέρα λ δίνεται από τη σχέση 3.3.)

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, είναι δυνατός ο υπολογισμός των διαμέτρων αποκοπής για κάθε στάδιο, για διαφορετικές τιμές παροχής μάζας αέρα ($\rho \cdot Q$), υπό την προϋπόθεση ότι είναι γνωστός ο κρίσιμος αριθμός Stokes St_{50} στάδιο. Εν προκειμένω, δεν είναι γνωστός ο κρίσιμος αριθμός Stokes St_{50} για κάθε στάδιο, οπότε για να υπολογίσουμε τις διαμέτρους αποκοπής, θα αντιπαραβάλουμε τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε με την ενδεικτική μέτρηση του κατασκευαστή, για την οποία έχουμε τις διαμέτρους αποκοπής.

Ο κατασκευαστής έχει πραγματοποιήσει ενδεικτική μέτρηση με παροχή αναφοράς $Q_0 = 0.56 \text{ m}^3/\text{min}$, για συνθήκες αναφοράς $P_0 = 760 \text{ mmHg}$, $T_0 = 25^\circ\text{C}$ και έχει υπολογίσει την κοκκομετρία σε κάθε στάδιο. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται στον πίνακα 4.8.

Η σχέση 3.11 για τη μέτρηση του κατασκευαστή γράφεται:

$$D_{50_0}^2 C_0 = \frac{9 \mu_0 n L W^2 (St_{50, \text{rect}})}{\rho_0 Q_0} \quad (4.1)$$

Και αντίστοιχα για τις μετρήσεις που γίνονται στα πλαίσια της ΔΕ είναι:

$$D_{50}^2 C = \frac{9 \mu n L W^2 (St_{50, \text{rect}})}{\rho Q} \quad (4.2)$$

Διαιρώντας τις σχέσεις 4.1 και 4.2 κατά μέλη και με δεδομένο ότι οι κατασκευαστικές παράμετροι (n , L , W , St_{50}) παραμένουν σταθερές, προκύπτει η παρακάτω σχέση:

$$\frac{D_{50}^2 C}{D_{50_0}^2 C_0} = \frac{\mu \rho_0 Q_0}{\mu_0 \rho Q} \quad (4.3)$$

Ο λόγος μ/μ_0 θεωρούμε ότι βρίσκεται πολύ κοντά στη μονάδα, καθώς οι συνθήκες της μέτρησής μας δε διαφέρουν σημαντικά από τις συνθήκες αναφοράς, οπότε έχουμε:

$$\frac{D_{50}^2 C}{D_{50_0}^2 C_0} = \frac{\rho_0 Q_0}{\rho Q} \quad (4.4)$$

Επιπλέον, με την παραδοχή ότι ο αέρας είναι τέλειο αέριο, θα ισχύει η καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων:

$$PV=nRT \rightarrow \frac{n}{V} = \frac{P}{RT} \quad (4.5)$$

Καθώς η ένδειξη της παροχής που δίνει η αντλία είναι ανηγμένη σε κανονικές συνθήκες ισχύει:

$$Q_{K\sigma} = \frac{V_{K\sigma}}{\Delta T} = \frac{nR \cdot T_{K\sigma}/P_{K\sigma}}{\Delta T} = \frac{PV}{RT} \cdot \frac{T_{K\sigma}}{P_{K\sigma}} \cdot \frac{R}{\Delta T} = Q \cdot \frac{T_{K\sigma}P}{P_{K\sigma}T} \rightarrow Q = Q_{K\sigma} \cdot \frac{P_{K\sigma}T}{T_{K\sigma}P} \quad (4.6)$$

Από τις εξισώσεις 4.4, 4.5 και 4.6 προκύπτει:

$$\frac{d_{50}^2 C}{d_{50_0}^2 C_0} = \frac{P_0}{P_{K\sigma}} \cdot \frac{T_{K\sigma}}{T_0} \cdot \frac{Q_0}{Q_{K\sigma}} \quad (4.7)$$

$$d_{50}^2 C = d_{50_0}^2 C_0 \cdot \frac{P_0}{P_{K\sigma}} \cdot \frac{T_{K\sigma}}{T_0} \cdot \frac{Q_0}{Q_{K\sigma}} \quad (4.8)$$

Η σχέση (4.8) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της διαμέτρου αποκοπής σε κάθε στάδιο. Ο υπολογισμός αυτό έγινε με χρήση κώδικα Fortran σε περιβάλλον Force 2.0.

Έχοντας τη σχέση 4.8 και τη σχέση 3.2, για τον υπολογισμό του παράγοντα ολίσθησης Cunningham, βρίσκουμε αριθμητικά τις διαμέτρους σε κάθε στάδιο, εφαρμόζοντας επαναληπτική διαδικασία. Για τα υπόλοιπα μεγέθη έχουμε: $P_0=760$ mmHg, $T_0=298$ K, $P_{K\sigma}=760$ mmHg, $Q_0=0,56$ m³/min, $T_{K\sigma} = 293$ K, και Q η παροχή

καθεμιάς από τις δειγματοληψίες που πραγματοποιήθηκαν. Οι τιμές για τη διάμετρο αποκοπής και τον παράγοντα ολίσθησης C , για τη μέτρηση του κατασκευαστή (d_{50} και C_0 , αντίστοιχα) λαμβάνονται για το κάθε στάδιο από τον πίνακα 4.8. Η διαδικασία επίλυσης έγινε με τη μέθοδο των διαδοχικών διχοτομήσεων και ο κώδικας FORTRAN που χρησιμοποιήθηκε παρατίθεται στο Παράρτημα II, στο τέλος της ΔΕ.

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών για τις διαμέτρους αποκοπής σε κάθε δειγματοληψία που έγινε με χρήση λωρίδων glass fiber καταγράφονται στους πίνακες 4.9 - 4.12. Στους πίνακες αυτούς, πέραν των διαμέτρων αποκοπής σε κάθε στάδιο καταγράφονται και τα αποτελέσματα από τη ζύγιση των λωρίδων glass fiber, όπου φαίνεται η αρχική μάζα της δεκάδας λωρίδων, που αντιστοιχεί σε κάθε στάδιο ($m_{\text{πριν}}$), η μάζα μετά τη δειγματοληψία ($m_{\text{μετά}}$) και η μάζας αεροζόλ που συλλέχθηκε (Δm).

4.3.1 Σχολιασμός και παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων

Όπως είναι γνωστό από τη θεωρία, για υψηλούς αριθμούς Reynolds θα έχουμε μεγάλη κλίση της καμπύλης απόδοσης στο σημείο της διαμέτρου αποκοπής και συνεπώς καλύτερο διαχωρισμό των σωματιδίων στα διάφορα στάδια (Marple, 1974). Ωστόσο, για πολύ μεγάλους αριθμούς Reynolds παρατηρείται ανάπτυξη πολύ λεπτού οριακού στρώματος στην περιοχή γύρω από τις σχισμές, το οποίο επιτρέπει σε σωματίδια που πρόκειται να μεταφερθούν στο επόμενο στάδιο, να συλλεχθούν από το προηγούμενο. Η ιδανική περιοχή του αριθμού Reynolds είναι $500 < Re < 3000$ (βλ. παράγραφο 3.2.3).

Προκειμένου να γίνει μία εκτίμηση για την απόδοση συλλογής, υπολογίστηκε ο αριθμός Reynolds για την κάθε μέτρηση. Ο αριθμός Reynolds δίνεται από τον τύπο 3.8 για ορθογωνική διαμόρφωση, οπότε:

$$\text{Re} = \frac{2\rho_{\text{air}} V W}{\mu} = \frac{2\rho Q/LW}{\mu} = \frac{2\rho Q}{\mu L}$$

Όπου: ρ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$, Q $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{sec}}\right]$, μ $\left[\frac{\text{kg}}{\text{msec}}\right]$, L [m]

Στον παραπάνω τύπο, η παροχή αναφέρεται σε κανονικές συνθήκες, οπότε αντίστοιχα θα πάρουμε την πυκνότητα και το ιξώδες του αέρα για κανονικές συνθήκες.

Άρα $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ kg/ms}$

Όπως παρατηρείται, ο αριθμός Reynolds για συλλέκτες με ορθογωνική διαμόρφωση, είναι συνάρτηση της παροχής και του συνολικού μήκους των σχισμών, και κατά συνέπεια είναι σταθερός για όλα τα στάδια και χαρακτηρίζει την εκάστοτε μέτρηση.

Όπως προκύπτει για τις τέσσερις δειγματοληψίες ο αριθμός Reynolds λαμβάνει τις τιμές :

$$\text{Re}_1 = 1371$$

$$\text{Re}_2 = 1279$$

$$\text{Re}_3 = 768$$

$$\text{Re}_4 = 1380$$

δηλαδή, για όλες τις δειγματοληψίες ο αριθμός Reynolds βρίσκεται εντός της ιδανικής περιοχής, οπότε αναμένεται ικανοποιητική απόδοση συλλογής του αεροζόλ για όλες τις δειγματοληψίες.

Με βάση τα παραπάνω, τα δεδομένα από τους πίνακες 4.9 - 4.12, καθώς και τα δεδομένα των δειγματοληψιών (πίνακες 4.2 - 4.7) κατασκευάζονται τα σχήματα 4.30 - 4.35.

Στα σχήματα 4.30 – 4.33 παρατηρείται ότι οι διάμετροι αποκοπής ακολουθούν φθίνουσα κατανομή από το πρώτο προς το τελευταίο στάδιο, κάτι που αναμένεται και θεωρητικά, καθώς η διάμετρος αποκοπής σε κάθε στάδιο είναι ανάλογη του τετραγώνου του πλάτους της σχισμής κάθε επιπέδου (σχέση 3.13). Επιπλέον, στο σχήμα 4.34 παρατηρείται ότι για τις επιμέρους δειγματοληψίες με τον ΑΣΔΣ της Staplex, η διάμετρος αποκοπής σε κάθε στάδιο μειώνεται, καθώς αυξάνεται η παροχή. Αυτό αναμένεται και θεωρητικά από τη σχέση 3.13, όπου φαίνεται ότι η διάμετρος αποκοπής είναι αντιστρόφως ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας της παροχής.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι διάμετροι αποκοπής ανά στάδιο δε συνδέονται με την ποσότητα δείγματος που συλλέγεται, αλλά με την παροχή της αντλίας. Έτσι, λοιπόν, στις δειγματοληψίες 3,4 και 9 με παραπλήσια παροχή, διαπιστώνονται παραπλήσιες διάμετροι αποκοπής στα διάφορα στάδια, ενώ στη δειγματοληψία 8, για σημαντικά χαμηλότερη παροχή, παρατηρούνται μεγαλύτερες τιμές των διαμέτρων αποκοπής σε κάθε στάδιο.

Από την άλλη, όπως είναι φυσικό, η ποσότητα συλλεχθέντος δείγματος σε κάθε επίπεδο είναι συνάρτηση του συνολικού αναρροφούμενου όγκου αέρα, άρα τόσο της παροχής όσο και του χρόνου της δειγματοληψίας. Έτσι, στο σχήμα 4.35, παρατηρείται ότι στη δειγματοληψία 4, με διάρκεια 48 ώρες διαπιστώνεται σχεδόν διπλάσια συλλεχθείσα μάζα σε κάθε στάδιο, σε σχέση με τις δειγματοληψίες 3 και 9, οι οποίες έχουν παραπλήσια παροχή με τη δειγματοληψία 4, αλλά διάρκεια 24 ώρες. Τέλος, στη δειγματοληψία 8 διαπιστώνεται η μικρότερη ποσότητα δείγματος, καθώς αντιστοιχεί σε μικρότερη παροχή και διάρκεια δειγματοληψίας 24 ώρες.

Η κατά μάζα κατανομή του συλλεχθέντος αεροζόλ στα επιμέρους στάδια σχετίζεται με την κοκκομετρία σε κάθε στάδιο (μεγαλύτερα σωματίδια στα πρώτα

στάδια, άρα και μεγαλύτερη μάζα αεροζόλ), αλλά και με στοιχεία τυχαιότητας, όπως η κατακράτηση σκόνης ή η είσοδος ξένων σωμάτων που μπορεί να εμποδίζουν τη ροή του αέρα μέσω των σχισμών της συσκευής σε συγκεκριμένα σημεία, με συνέπεια απώλεια δείγματος, στη λωρίδα φίλτρου που βρίσκεται ακριβώς από κάτω – κάτι το οποίο διαπιστώθηκε και οπτικά κατά τη διάρκεια των δειγματοληψιών. Πρέπει πάντως να επισημανθεί ότι, τόσο η ποσότητα, όσο και η κατανομή της κοκκομετρίας στα διάφορα στάδια εξαρτάται σημαντικά και από τις ιδιαίτερες μετεωρολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας (πχ. άνεμος, βροχή).

4.3.2 γ-φασματοσκοπικές αναλύσεις φίλτρων από τον ΑΣΔΣ

Τα δείγματα που παρήχθησαν από τις δειγματοληψίες με τον αδρανειακό συλλέκτη διαδοχικών σταδίων της Staplex στο ΕΠΤ-ΕΜΠ, αναλύθηκαν για τον προσδιορισμό συγκέντρωσης ραδιενέργειας στις ανιχνευτικές διατάξεις XtRa και CSS του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Από τα ισότοπα φυσικής ραδιενέργειας τα οποία υπό κανονικές συνθήκες συνήθως ανιχνεύονται στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ, επελέγη να μελετηθεί η συγκέντρωση του ισότοπου κοσμικής προέλευσης ^7Be , το οποίο βρίσκεται σε ικανοποιητική συγκέντρωση (μερικά mBq/m^3) στον αέρα και έχει αρκετά υψηλό χρόνο υποδιπλασιασμού (53 ημέρες) ώστε να είναι δυνατή η ανάλυση των φίλτρων που συλλέγονται από όλα τα στάδια του ΑΣΔΣ.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 4.13-4.20 και στα σχήματα 4.36 – 4.39. Για τις δειγματοληψίες 3, 8, 9, σε ορισμένα στάδια η φωτοκορυφή του ^7Be δεν ήταν ανιχνεύσιμη στο φάσμα. Για τα φάσματα αυτά υπολογίζουμε το κατώτερο όριο ανίχνευσης (lower limit of detection – LLD) και την ελάχιστη ανιχνεύσιμη ραδιενέργεια (minimum detectable activity – MDA) (Gilmore, 1995).

Τα κατώτερα όρια ανίχνευσης και η ελάχιστη ανιχνεύσιμη ραδιενέργεια παρουσιάζονται στον πίνακα 4.21. Δείγματα που αντιστοιχούν σε στάδια ανώτερα του σταδίου όπου δεν ανιχνεύθηκε ^7Be , δεν αναλύθηκαν, καθότι δεν αναμένεται να ανιχνευθεί ^7Be ούτε σε αυτά.

4.3.3 Παρατηρήσεις επί των αποτελεσμάτων των μετρήσεων συγκέντρωσης του ^7Be

Στα σχήματα 4.33 – 4.37 παρατίθενται οι τιμές της ραδιενέργειας του ^7Be οι οποίες προσδιορίστηκαν στα φίλτρα του ΑΣΔΣ με τις ανιχνευτικές διατάξεις XtRa και CSS. Στα σχήματα αυτά μπορούν να γίνουν μία σειρά από παρατηρήσεις.

Αρχικά, παρατηρείται ότι η διάταξη CSS δίνει ελαφρώς χαμηλότερη αβεβαιότητα σε σχέση με τη διάταξη XtRa, κάτι που άλλωστε είναι αναμενόμενο, λόγω της μείωσης της ραδιενέργειας υποβάθρου (βλ. παρ. 2.4.2.2).

Εν συνεχεία, παρατηρείται ότι η συγκέντρωση του ^7Be αυξάνεται σημαντικά προς τα χαμηλότερα στάδια (σε διαμέτρους μικρότερες του 1 μm), κάτι που το αναμένεται και θεωρητικά (βλ. 2.1.2.2). Συμπεραίνεται, λοιπόν, ότι η συγκέντρωση του ^7Be , που συλλέγεται σε ένα στάδιο, είναι συνάρτηση της κοκκομετρίας και της ποσότητας του αεροζόλ που συλλέγεται στο στάδιο αυτό, κάτι που εξαρτάται και από την παροχή κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας.

Υψηλότερη παροχή, οδηγεί σε μικρότερη κοκκομετρία στα χαμηλότερα στάδια κι άρα σε μεγαλύτερη συγκέντρωση ^7Be στα στάδια αυτά, κάτι που αποτυπώνεται και πειραματικά κατά τη σύγκριση των δειγματοληψιών 3, 4 και 9 (υψηλής παροχής) με τη δειγματοληψία 8 (μεσαίας παροχής) στα σχήματα 4.36 – 4.39.

Παράλληλα, η συγκέντρωση του ^7Be στο δείγμα σχετίζεται και με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την εποχή, δραστηριότητα του ήλιου κοκ (βλ. 2.1.2.2), οπότε για δειγματοληψίες με ίδια παροχή, αλλά σε διαφορετική χρονική στιγμή μέσα στο έτος, αναμένεται και διαφορετική συγκέντρωση ^7Be στο δείγμα (Papandreou, 2011). Αυτό αποτυπώνεται και πειραματικά στις μετρήσεις μας, καθώς στις δειγματοληψίες 3 και 4 που έχουν διεξαχθεί την άνοιξη (30/03 και 26/04 αντίστοιχα) έχουμε μεγαλύτερη συγκέντρωση σε σχέση με τη δειγματοληψία 9 που έχει διεξαχθεί χειμώνα (14/01), παρόλο που και οι τρεις μετρήσεις έγιναν με παραπλήσια παροχή, γεγονός που είναι συμβατό με την εποχιακή τάση της συγκέντρωσης του ^7Be (Papandreou, 2011; Winkler, 1998). Πρέπει πάντως να επισημανθεί ότι το μικρό πλήθος δειγματοληψιών δεν επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων τέτοιου είδους.

Τα παραπάνω συνοψίζονται στο σχήμα 4.40 (για μετρήσεις με CSS). Το σχήμα 4.40 προκύπτει από τους λόγους της συγκέντρωσης κάθε σταδίου προς τη συνολική συγκέντρωση σε όλα τα στάδια σε κάθε δειγματοληψία. Έτσι, παρατηρείται ότι στα τρία πρώτα στάδια συλλέγεται το 0~5% της συνολικής συγκέντρωσης, στο τέταρτο το 5~12%, στο πέμπτο το 25~35% και στο έκτο το 50~70%. Οι τιμές αυτές βρίσκονται σε συμφωνία με αντίστοιχες μετρήσεις στη βιβλιογραφία (Ioannidou 2010, Papastefanou 2009). Όσο μεγαλώνει η παροχή, τόσο μεγαλύτερο ποσοστό θα συλλέγεται στα πρώτα στάδια κι αντίστροφα, ανάλογα πάντα και με τη συγκέντρωση του ^7Be που υπάρχει στον ατμοσφαιρικό αέρα, λόγω ατμοσφαιρικών και μετεωρολογικών συνθηκών.

Αναφορικά με την αβεβαιότητα των μετρήσεων, παρατηρείται ότι σε όλες τις δειγματοληψίες, η αβεβαιότητα αυξάνει σημαντικά καθώς προχωράμε από τα

κατώτερα στ' ανώτερα στάδια του συλλέκτη, τόσο στη διάταξη του XtRa, όσο και στη διάταξη CSS. Επιπλέον, παρατηρείται ότι η αβεβαιότητα των μετρήσεων σχετίζεται με την ποσότητα συλλεχθέντος αεροζόλ σε κάθε δείγμα. Έτσι λοιπόν, στη δειγματοληψία 4 με υψηλή παροχή και διάρκεια 48 ώρες, παρατηρείται η χαμηλότερη αβεβαιότητα, στις δειγματοληψίες 3 και 9 με υψηλή παροχή και διάρκεια 24 ώρες η αβεβαιότητα είναι παραπλήσια, και υψηλότερη της δειγματοληψίας 4, ενώ στη δειγματοληψία 8, με μεσαία παροχή και διάρκεια 24 ώρες παρουσιάζεται η υψηλότερη αβεβαιότητα απ' όλες τις δειγματοληψίες. Να σημειωθεί εδώ, ωστόσο, ότι η αβεβαιότητα των μετρήσεων είναι πολυπαραγοντικό φαινόμενο και δεν μπορεί να αναχθεί μονοσήμαντα στην ποσότητα συλλεχθέντος δείγματος.

Πέραν των αποτελεσμάτων για τη συγκέντρωση του ^7Be κατ' όγκο αέρα, μπορεί να υπολογισθεί και η συγκέντρωση του ^7Be ανηγμένη στη μάζα συλλεχθέντος αεροζόλ ανά στάδιο, διαιρώντας τη συνολική ραδιενέργεια που ανιχνεύτηκε σε κάθε στάδιο με τη μάζα του αεροζόλ που κατακρατήθηκε, όπως προκύπτει από τη ζύγιση του φίλτρου. Τα αποτελέσματα αυτά παρουσιάζονται στους πίνακες 4.22 - 4.25 και τα σχήματα 4.41 - 4.44. Στα σχήματα αυτά παρατηρούμε, ότι η κατανομή της συγκέντρωσης κατά μάζα του ^7Be σε κάθε στάδιο, ακολουθεί την ίδια μορφή που ακολουθεί και η ραδιενέργεια κατ' όγκο. Αυτό αναμένεται καθώς, αφενός γνωρίζουμε ότι το ^7Be συσχετίζεται με το λεπτόκοκκο αεροζόλ. Άλλωστε, η πιθανότητα συσχέτισης πυρήνων βηρυλλίου με σωματίδια του ατμοσφαιρικού αεροζόλ, αυξάνεται όσο αυξάνεται η ελεύθερη επιφάνεια των σωματιδίων αυτών για συγκεκριμένο όγκο αεροζόλ. Έτσι λοιπόν, στα σωματίδια μικρότερης διαμέτρου, υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα προσκόλλησης πυρήνων ^7Be κι άρα αύξηση της συγκέντρωσης προς τα κατώτερα στάδια του ΑΣΔΣ.

Ωστόσο, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η αντιπαραβολή των δειγματοληψιών 3 και 4, οι οποίες εμφανίζουν παραπλήσιες τιμές συγκέντρωσης κατ' όγκο σε κάθε στάδιο, αλλά εμφανίζουν στατιστικά σημαντικές αποκλίσεις στην αντίστοιχη συγκέντρωση κατά μάζα. Στην 4^η δειγματοληψία συναντάμε σαφώς μεγαλύτερη συγκέντρωση κατά μάζα του ^7Be στα κατώτερα στάδια συγκριτικά με τη δειγματοληψία 3 (σχήματα 4.41 – 4.42), κάτι που υποδηλώνει - αν και δεν είναι εμφανές από την εξέταση μόνο της συγκέντρωσης του ^7Be κατ' όγκο - ότι κατά τις δύο μετρήσεις έχει συλλεχθεί διαφορετικής σύστασης αεροζόλ.

Απ' αυτήν την παρατήρηση, προκύπτει ότι θα ήταν ενδιαφέρον να μελετηθεί συστηματικά με χρήση του ΑΣΔΣ το πώς επηρεάζεται η ανά μάζα συγκέντρωση του ^7Be στα διάφορα στάδια, ανάλογα με την προέλευση του αεροζόλ. Αυτό θα μπορούσε να γίνει, με συστηματικές δειγματοληψίες στην ίδια εποχή του έτους, με ίδιες ατμοσφαιρικές (πίεση και θερμοκρασία) και μετεωρολογικές (πχ. ηλιοφάνεια) συνθήκες - άρα παραπλήσια αναμενόμενη συγκέντρωση ^7Be στο αεροζόλ, σε περιοχές όπου αναμένεται να υπάρχουν διαφορετικές πηγές αεροζόλ (πχ. σε αστικό περιβάλλον με μεγάλο φορτίο κίνησης οχημάτων, σε βιομηχανικές περιοχές και σε απομακρυσμένες υπαίθριες περιοχές). Η αντιπαραβολή αυτή μπορεί να μας δείξει πως επηρεάζεται η κατά μάζα συγκέντρωση του ^7Be (ή άλλων ραδιοϊσοτόπων) σε κάθε στάδιο.

4.4 Συμπεράσματα και προτάσεις

Όπως διαπιστώθηκε, στις μετρήσεις με τον Αδρανειακό Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων σημαντικό ρόλο παίζει η ρύθμιση της παροχής της αντλίας στην οποία

προσαρμόζεται ο συλλέκτης. Η παροχή επηρεάζει την κατανομή της κοκκομετρίας στα διάφορα στάδια λόγω διαφορετικής ταχύτητας της ροής σε κάθε σχισμή, την ακρίβεια της κατανομής της κοκκομετρίας που αντιστοιχεί θεωρητικά σε κάθε στάδιο, μέσω του αριθμού Reynolds (δηλαδή την απόδοση συλλογής της συσκευής για διάφορες αεροδυναμικές διαμέτρους), αλλά και την ποσότητα δείγματος που συλλέγεται σε δεδομένο χρόνο δειγματοληψίας και συνεπώς την αντίστοιχη αβεβαιότητα που προκύπτει κατά την ανίχνευση (και προφανώς τον απαιτούμενο χρόνο δειγματοληψίας για τη συλλογή ικανοποιητικής ποσότητας δείγματος).

Κατά συνέπεια, οι βασικοί ρυθμιστικοί παράγοντες για την εκλογή της κατάλληλης παροχής, είναι η επιθυμητή κοκκομετρία σε κάθε στάδιο, καθώς και η ικανοποιητική συλλεχθείσα ποσότητα δείγματος για μετρήσεις που εξυπηρετούν διάφορες ανάγκες. Υπόψιν βέβαια πρέπει να λαμβάνεται επιπλέον και η επιθυμητή ακρίβεια της κατανομής της κοκκομετρίας (δηλαδή την υψηλή απόδοση συλλογής της συσκευής), οι περιορισμοί για τη διάρκεια δειγματοληψίας.

Με τα δεδομένα των δειγματοληψιών που έγιναν στα πλαίσια της ΔΕ μπορεί να γίνει αντιπαραβολή της υψηλής παροχής ($>0,800\text{m}^3/\text{min}$) με τη μεσαία ($0,300\text{m}^3/\text{min} < Q < 0,500\text{m}^3/\text{min}$), ως προς τα ζητούμενα που αναφέρονται παραπάνω.

Η υψηλή παροχή δίνει μικρότερη κοκκομετρία σε όλα τα στάδια. Επιπλέον, η υψηλή παροχή δίνει μεγαλύτερη ποσότητα δείγματος σε δεδομένο χρόνο δειγματοληψίας (πχ. 24 ώρες) άρα και μεγαλύτερη αξιοπιστία κατά την ανάλυση των δειγμάτων. Δεν πρέπει να παραβλέπεται όμως ότι η υψηλή παροχή καταπονεί περισσότερο την αντλία και μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση της.

Η μεσαία παροχή συνεπάγεται λειτουργία της αντλίας σε χαμηλότερες στροφές, άρα μικρότερη καταπόνηση της, αλλά, από την άλλη, μας δίνει μεγαλύτερες

διαμέτρους αποκοπής στα επιμέρους στάδια. Επιπλέον, για δεδομένο χρόνο δειγματοληψίας, η μεσαία παροχή μας δίνει μικρότερη ποσότητα δείγματος, κάτι που μπορεί να συνεπάγεται αύξηση της αβεβαιότητας κατά την ανίχνευση ή μειωμένη συγκέντρωση των ραδιενεργών ισοτόπων που μας ενδιαφέρουν, σε σύγκριση με δείγματα μεγαλύτερης ποσότητας.

Στην παρούσα Διπλωματική Εργασία έγιναν μετρήσεις του ατμοσφαιρικού αεροζόλ με ΑΣΔΣ με στόχο τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ^7Be . Το ^7Be έχει σχετικά μεγάλο χρόνο ημιζωής (52 ημέρες), κάτι που σημαίνει ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο μικρής διάρκειας δειγματοληψίες με υψηλή παροχή, όσο και μεγάλης διάρκειας δειγματοληψίες με χαμηλότερη παροχή, ώστε να επιτευχθεί καλύτερη εκτίμηση της κατανομής της συγκέντρωσης του ^7Be στην ατμόσφαιρα από τα δείγματα τα οποία συλλέγονται.

Από την άλλη πλευρά, στην περίπτωση που ενδιαφέρει ο προσδιορισμός της κατανομής της συγκέντρωσης ραδιοϊσοτόπων με μικρό χρόνο ημιζωής, ή η άμεση εξαγωγή συμπεράσματος για τη συγκέντρωση ραδιοϊσοτόπων σε συγκεκριμένο χώρο προκειμένου να ληφθούν άμεσα μέτρα (πχ. σε περίπτωση πυρηνικού ατυχήματος) τότε θα πρέπει οπωσδήποτε να γίνει δειγματοληψία υψηλής παροχής, ώστε σε μικρό χρόνο να συλλεχθεί ικανοποιητική ποσότητα δείγματος.

Πίνακες 4^ο κεφαλαίου

Στάδιο	Αριθμός σχισμών	Πλάτος σχισμών W (cm)	Μήκος σχισμών L (cm)	Διαστάσεις μεταλλικής πλάκας (WxL σε cm)	Απόσταση μεταξύ στομίου και επιφάνειας συλλογής S (cm)
1	9	0.39	12.32	15.2 x 17.8	0.34
2	10	0.15	12.32	15.2 x 17.8	0.22
3	10	0.09	12.32	15.2 x 17.8	0.21
4	10	0.045	12.32	15.2 x 17.8	0.21
5	10	0.025	12.32	15.2 x 17.8	0.21
6	10	0.014	12.32	15.2 x 17.8	0.21
Βάση	10	0.17	12.32	23.5 x 30.5	-

Πίνακας 4.1 Πίνακας διαστάσεων ΑΣΔΣ της Model 236 της Staplex

Δειγματοληψία με χρήση φίλτρων glass fiber με σχισμές	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	19/01/12 15:13
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	19/01/12 19:04
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	200.04
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.8654
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0.6664-1.0085
Flow rate ratio (%)	99
Πίεση (mmHg)	704.5-707.2
Θερμοκρασία (°C)	6-10
Η δειγματοληψία διακόπηκε λόγω ψύχους και συνεχίστηκε την επόμενη μέρα	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	20/01/12 10:25
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	20/01/12 16:26
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	303.5
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.8404
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0.6629-0.9956
Flow rate ratio (%)	96
Πίεση (mmHg)	697.9 – 702.5
Θερμοκρασία (°C)	11.7 – 14.8

Πίνακας 4.2 Στοιχεία της δειγματοληψίας 1

Δειγματοληψία με χρήση φίλτρων χαρτιού A4 με σχισμές	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	29/03/12 12:57
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	30/03/12 09:30
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	1037.3
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.8416
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0-1.0197
Flow rate ratio (%)	98
Πίεση (mmHg)	693.6-734
Θερμοκρασία (°C)	13.7-20.5

Πίνακας 4.3 Στοιχεία της δειγματοληψίας 2

Δειγματοληψία με χρήση λωρίδων glass fiber	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	30/03/12 12:13
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	31/03/12 12:13
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	1276.7
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.8867
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0.6907-1.0457
Flow rate ratio (%)	99
Πίεση (mmHg)	694.5-700.6
Θερμοκρασία (°C)	12.6-22.4

Πίνακας 4.4 Στοιχεία της δειγματοληψίας 3

Δειγματοληψία με χρήση λωρίδων glass fiber	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	26/04/12 14:07
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	27/04/12 14:07
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	1199.2
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.833
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0-0.9929
Flow rate ratio (%)	99
Πίεση (mmHg)	698.4-739.2
Θερμοκρασία (°C)	14.8-28.7
Η δειγματοληψία συνεχίστηκε και για δεύτερο 24ωρο	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	30/04/12 12:37
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	01/05/12 12:37
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	1.182
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.821
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0-0.9996
Flow rate ratio (%)	91
Πίεση (mmHg)	696.9 – 734.3
Θερμοκρασία (°C)	19.8 – 29.6

Πίνακας 4.5 Στοιχεία της δειγματοληψίας 4

Δειγματοληψία με χρήση λωρίδων glass fiber	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	29/08/12 13:47
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	30/08/12 13:47
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	714.7
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.4968
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0-0.7437
Flow rate ratio (%)	-
Πίεση (mmHg)	716.7 – 742.3
Θερμοκρασία (°C)	23.5 – 31.6

Πίνακας 4.6 Στοιχεία της δειγματοληψίας 8

Δειγματοληψία με χρήση λωρίδων glass fiber	
Ημερομηνία και ώρα έναρξης δειγματοληψίας	14/01/13 14:51
Ημερομηνία και ώρα λήξης δειγματοληψίας	15/01/13 14:51
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	1285.2
Μέση παροχή (m ³ /min)	0.8926
Διακύμανση παροχής (m ³ /min)	0-1.0451
Flow rate ratio (%)	99
Πίεση (mmHg)	702.8 – 741.8
Θερμοκρασία (°C)	9.6 – 18.2

Πίνακας 4.7 Στοιχεία της δειγματοληψίας της 9

Στάδιο ΑΣΔΣ	Διάμετρος D50₀ (μm)	Παράγοντας ολίσθησης C₀	Παροχή Q₀ (m³/min)
1	10.2	1.0163	0.56
2	4.2	1.0395	0.56
3	2.1	1.0790	0.56
4	1.4	1.1185	0.56
5	0.73	1.2275	0.56
6	0.41	1.4089	0.56

Πίνακας 4.8 Διάμετροι αποκοπής και αριθμός Cunningham για τον ΑΣΔΣ Model 236 της STAPLEX για την εργοστασιακή μέτρηση (Q₀ = 0.56 m³/min, P₀ = 760 mmHg, T₀ = 25°C)

Στάδιο ΑΣΔΣ	$m_{\text{πριν}}$ (g) (± 0.00005)	$m_{\text{μετά}}$ (g) (± 0.00005)	Δm (g) (± 0.00007)	D50(μm)	α/α δείγματος
1	1.1757	1.1827	0.0070	8.02	AC0031
2	1.1755	1.185	0.0095	3.29	AC0032
3	1.2153	1.2205	0.0052	1.64	AC0033
4	1.2003	1.2049	0.0046	1.09	AC0034
5	1.2056	1.2102	0.0046	0.63	AC0035
6	1.1983	1.2049	0.0066	0.31	AC0036

Πίνακας 4.9 Διάμετροι αποκοπής και μάζα αεροζόλ στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ για την 3 δειγματοληψία (30/03/12)

Στάδιο ΑΣΔΣ	$m_{\text{πριν}}$ (g) (± 0.00005)	$m_{\text{μετά}}$ (g) (± 0.00005)	Δm (g) (± 0.00007)	D50(μm)	α/α δείγματος
1	1.0501	1.0681	0.018	8.31	AC0041
2	1.0423	1.0592	0.0169	3.41	AC0042
3	1.0703	1.0806	0.0103	1.70	AC0043
4	1.0521	1.0602	0.0081	1.13	AC0044
5	1.071	1.0781	0.0071	0.58	AC0045
6	1.0682	1.0705	0.0083	0.32	AC0046

Πίνακας 4.10 Διάμετροι αποκοπής και μάζα αεροζόλ στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ για την 4 δειγματοληψία (26/04/12)

Στάδιο ΑΣΔΣ	$m_{\text{πριν}}$ (g) (± 0.00005)	$m_{\text{μετά}}$ (g) (± 0.00005)	Δm (g) (± 0.00007)	D50(μm)	α/α δείγματος
1	1.1827	1.1847	0.0020	10.74	AC0081
2	1.1083	1.1114	0.0031	4.43	AC0082
3	1.0637	1.0656	0.0019	2.22	AC0083
4	1.1026	1.1043	0.0017	1.48	AC0084
5	1.2054	1.2067	0.0013	0.77	AC0085
6	1.1557	1.1577	0.0020	0.43	AC0086

Πίνακας 4.11 Διάμετροι αποκοπής και μάζα αεροζόλ στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ για την 8 δειγματοληψία (29/08/12)

Στάδιο ΑΣΔΣ	$m_{\text{πριν}}$ (g) (± 0.00005)	$m_{\text{μετά}}$ (g) (± 0.00005)	Δm (g) (± 0.00007)	D50(μm)	α/α δείγματος
1	1.1784	1.1824	0.0040	7.98	AC0091
2	1.1929	1.1997	0.0068	3.28	AC0092
3	1.8410	1.8446	0.0036	1.63	AC0093
4	1.1628	1.1652	0.0024	1.09	AC0094
5	1.1811	1.1840	0.0029	0.56	AC0095
6	1.1828	1.1884	0.0056	0.24	AC0096

Πίνακας 4.12 Διάμετροι αποκοπής και μάζα αεροζόλ για τα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ για την 9 δειγματοληψία (14/01/13)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0031a	8.02	–	–	>LLD
AC0032a	3.29	500000	3.93E-05	108.1
AC0033a	1.64	495540	9.42E-05	45.0
AC0034a	1.09	257221	2.84E-04	21.2
AC0035a	0.63	93727	1.38E-03	10.1
AC0036a	0.31	171116	1.92E-03	4.5
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			3.72E-03	

Πίνακας 4.13 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 3 (ανιχνευτής XtRa)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0031b	8.02	–	–	>LLD
AC0032b	3.29	500000	3.68E-05	70.1
AC0033b	1.64	474120	9.04E-05	28.7
AC0034b	1.09	256554	2.83E-04	13.3
AC0035b	0.63	93000	1.06E-03	7.2
AC0036b	0.31	172020	1.88E-03	3.4
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			3.36E-03	

Πίνακας 4.14 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 3 (ανιχνευτής CSS)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0041a	8.31	425465	2.19E-05	112.2
AC0042a	3.41	172911	5.77E-05	67.4
AC0043a	1.70	169210	1.61E-04	24.4
AC0044a	1.13	257418	3.99E-04	8.6
AC0045a	0.58	341784	1.14E-03	3.0
AC0046a	0.32	259491	1.86E-03	2.4
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			3.64E-03	

Πίνακας 4.15 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 4 (ανιχνευτής XtRa)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0041b	8.31	426677	3.46E-05	42.9
AC0042b	3.41	173390	5.91E-05	41.3
AC0043b	1.70	169687	1.50E-04	16.5
AC0044b	1.13	258145	3.93E-04	6.0
AC0045b	0.58	342778	1.14E-03	2.4
AC0046b	0.32	260237	1.84E-03	2.0
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			3.62E-03	

Πίνακας 4.16 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 4 (ανιχνευτής CSS)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0081	10.74	250282	-	>LLD
AC0082	4.43	-	-	>LLD
AC0083	2.22	-	-	>LLD
AC0084	1.48	172944	-	>LLD
AC0085	0.77	242548	3.50E-04	31.5
AC0086	0.43	288709	9.56E-04	11.0
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			1.306E-03	

Πίνακας 4.17 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 8 (ανιχνευτής XtRa)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0081	10.74	250957	-	>LLD
AC0082	4.43	-	-	>LLD
AC0083	2.22	-	-	>LLD
AC0084	1.48	173604	1.01E-04	78,4
AC0085	0.77	342778	3.91E-04	17,5
AC0086	0.43	260237	9.35E-04	7,4
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			1.427E-03	

Πίνακας 4.18 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 8 (ανιχνευτής CSS)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0091	7.98	-	-	>LLD
AC0092	3.28	-	-	>LLD
AC0093	1.63	168214	5.96E-05	120.3
AC0094	1.09	252130	1.53E-04	38.6
AC0095	0.56	86210	5.11E-04	20.2
AC0096	0.24	249904	1.11E-03	6.0
Συνολική συγκέντρωση ⁷Be σε όλα τα στάδια			1.834E-03	

Πίνακας 4.19 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 9 (ανιχνευτής XtRa)

α/α φάσματος	Διάμετρος αποκοπής (μm)	Διάρκεια ανάλυσης (sec)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0091	7.98	-	-	>LLD
AC0092	3.28	-	-	>LLD
AC0093	1.63	168214	-	>LLD
AC0094	1.09	252836	1.59E-04	23.1
AC0095	0.56	86371	4.71E-04	13.9
AC0096	0.24	250556	1.10E-03	4.3
Συνολική συγκέντρωση Be-7 σε όλα τα στάδια			1.730E-03	

Πίνακας 4.20 Ραδιενέργεια του ⁷Be στα διάφορα στάδια του ΑΣΔΣ κατά τη δειγματοληψία 9 (ανιχνευτής CSS)

Φάσμα	Ανιχνευτική διάταξη	Κατώτερο όριο ανίχνευσης (counts)	Ελάχιστη ανιχνεύσιμη ραδιενέργεια MDA($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$)	Χρόνος ανίχνευσης (sec)	Παροχή (m^3/min)
AC0032a	XtRa	294	42	500000	0.8867
AC0032b	CSS	180	26	500000	0.8867
AC0084a	XtRa	173	129	172944	0.4968
AC0084b	CSS	108	80	173604	0.4968
AC0093a	XtRa	169	24	168213	0.8926
AC0093b	CSS	173	25	168872	0.8926

Πίνακας 4.21 Κατώτερα όρια ανίχνευσης (LLD) και ελάχιστη ανιχνεύσιμη ραδιενέργεια (MDA)

⁷Be για τα δείγματα που συλλέχθηκαν κατά τις δειγματοληψίες 3,8,9

α/α φάσματος	$\Delta m(\text{g}) (\pm 0.00007)$	Ραδιενέργεια (Bq/g)	Αβεβαιότητα (%)
AC0031b	0.0070	0	10
AC0032b	0.0095	4.95	70.1
AC0033b	0.0052	22.19	28.7
AC0034b	0.0046	78.54	13.4
AC0035b	0.0046	294.20	7.4
AC0036b	0.0066	363.67	3.6

Πίνακας 4.22 Συγκέντρωση κατά μάζα ⁷Be (μετρήσεις στη διάταξη CSS)

α/α φάσματος	$\Delta m(\text{g}) (\pm 0,00007)$	Ραδιενέργεια (Bq/g)	Αβεβαιότητα (%)
AC0041b	0.018	4,58	42,9
AC0042b	0.0169	8,33	41,3
AC0043b	0.0103	34,68	16,5
AC0044b	0.0081	115,53	6,1
AC0045b	0.0071	382,33	2,6
AC0046b	0.0083	527,88	2,2

Πίνακας 4.23 Συγκέντρωση κατά μάζα ⁷Be (μετρήσεις στη διάταξη CSS)

α/α φάσματος	Δm(g) (±0,00007)	Ραδιενέργεια (Bq/g)	Αβεβαιότητα (%)
AC0081b	0.0020	-	3,5
AC0082b	0.0031	-	2,3
AC0083b	0.0019	-	3,7
AC0084b	0.0017	42,46	78,1
AC0085b	0.0013	214,96	18,8
AC0086b	0.0020	334,12	7,8

Πίνακας 4.24 Συγκέντρωση κατά μάζα ⁷Be (μετρήσεις στη διάταξη CSS)

α/α φάσματος	Δm(g) (±0,00007)	Ραδιενέργεια (Bq/g)	Αβεβαιότητα (%)
AC0091b	0.0040	-	1,8
AC0092b	0.0068	-	1
AC0093b	0.0036	-	1,9
AC0094b	0.0024	85,14	23,2
AC0095b	0.0029	208,73	14,2
AC0096b	0.0056	352,45	4,2

Πίνακας 4.25 Συγκέντρωση κατά μάζα Be-7 (μετρήσεις στη διάταξη CSS)

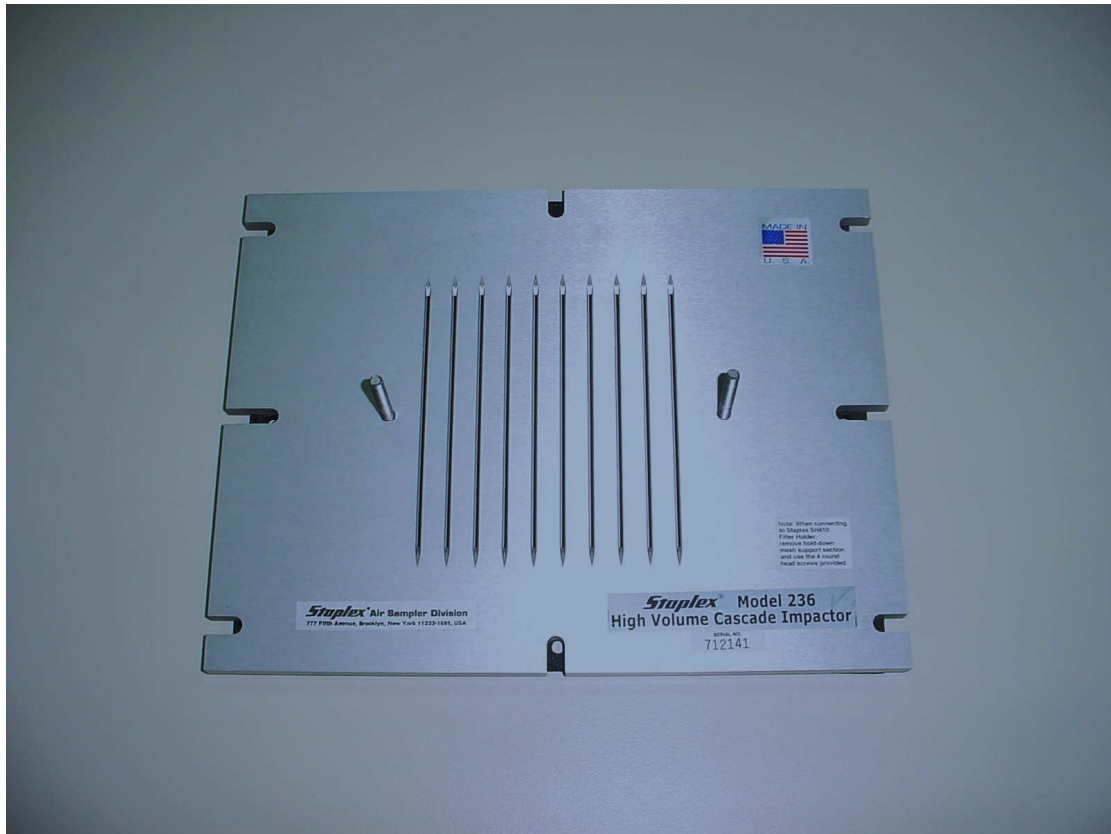
Σχήματα 4^ο Κεφαλαίου



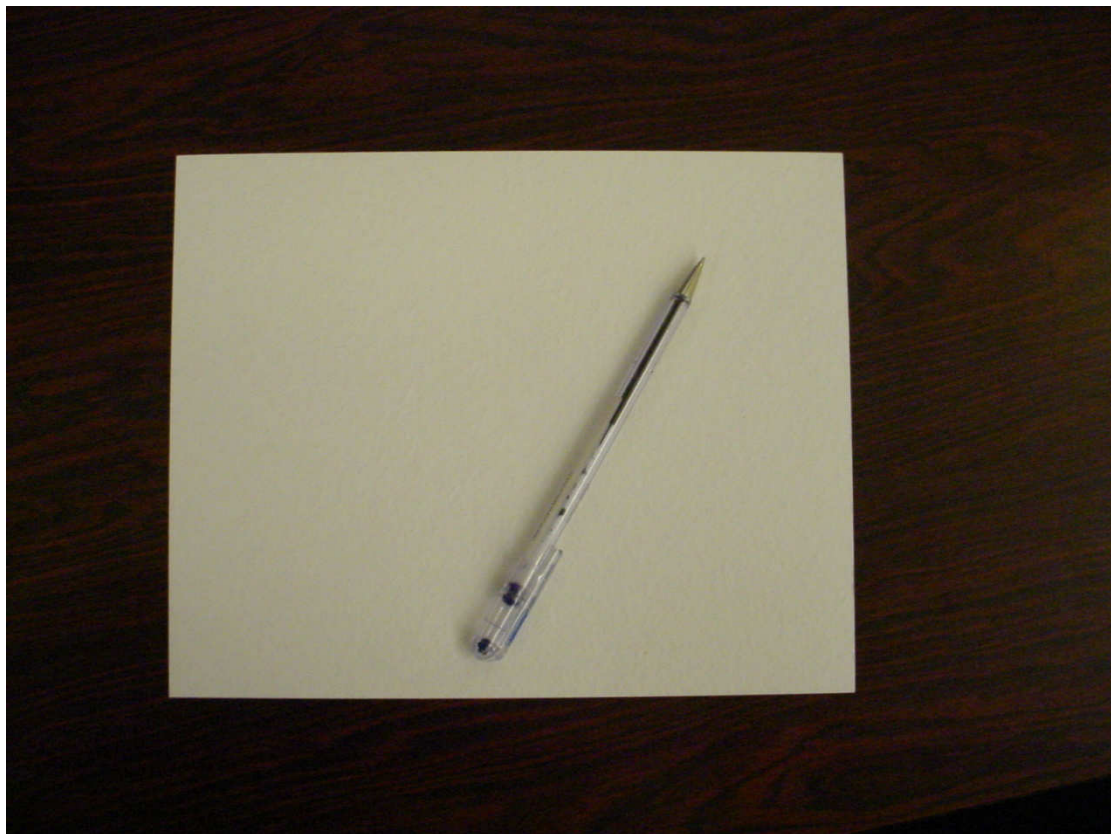
Σχήμα 4-1 Ο ΑΣΔΣ Model 236 High Volume Cascade Impactor της Staplex



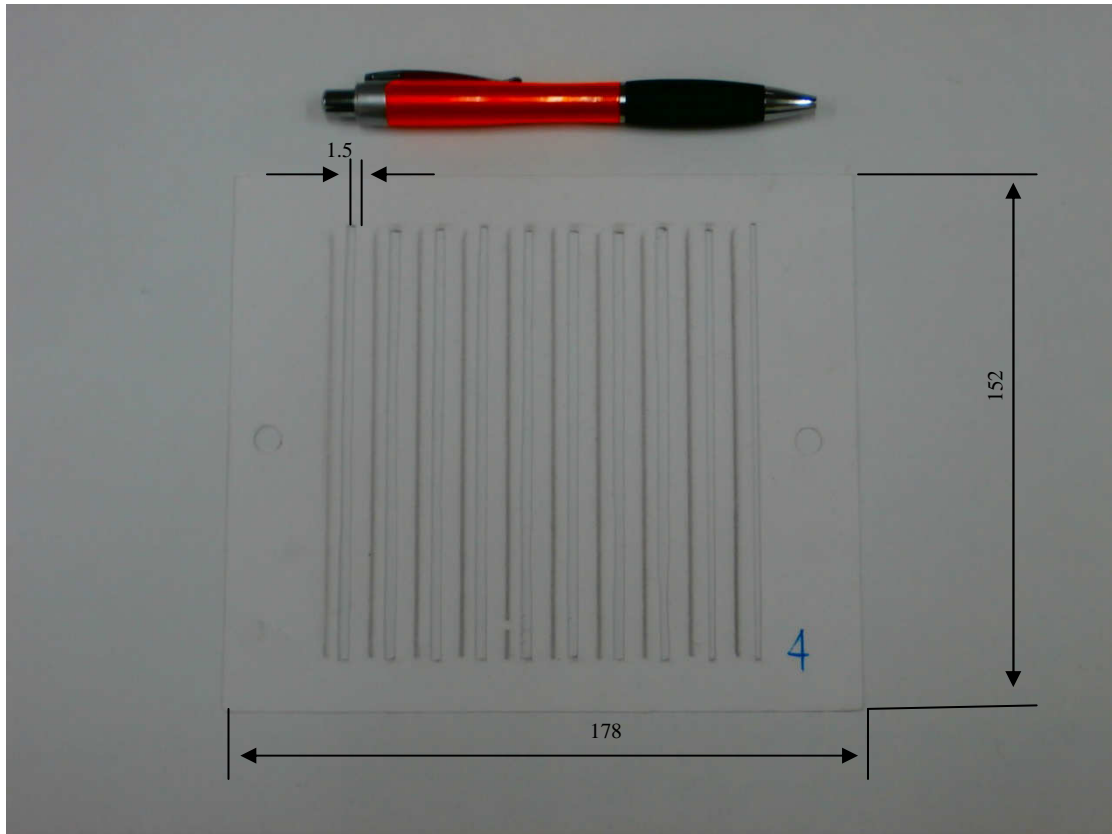
Σχήμα 4-2 Τα έξι στάδια διαχωρισμού του αεροζόλ του ΑΣΔΣ της Staplex



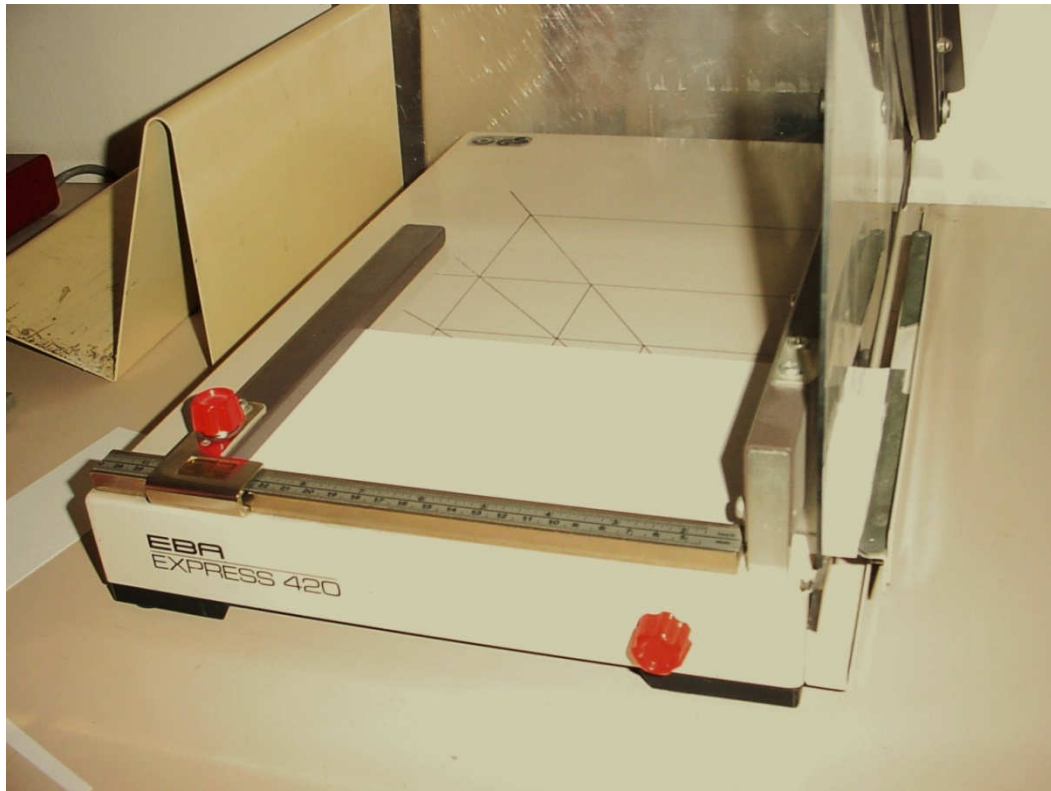
Σχήμα 4-3 Η βάση του ΑΣΔΣ



Σχήμα 4-4 Φίλτρο ινών υάλου (glass fiber) γεωμετρίας 8"x10"



Σχήμα 4-5 Φίλτρο ιών υάλου (glass fiber) με κατάλληλες σχισμές για δειγματοληψία με τον ΑΣΔΣ Staplex Model 236.



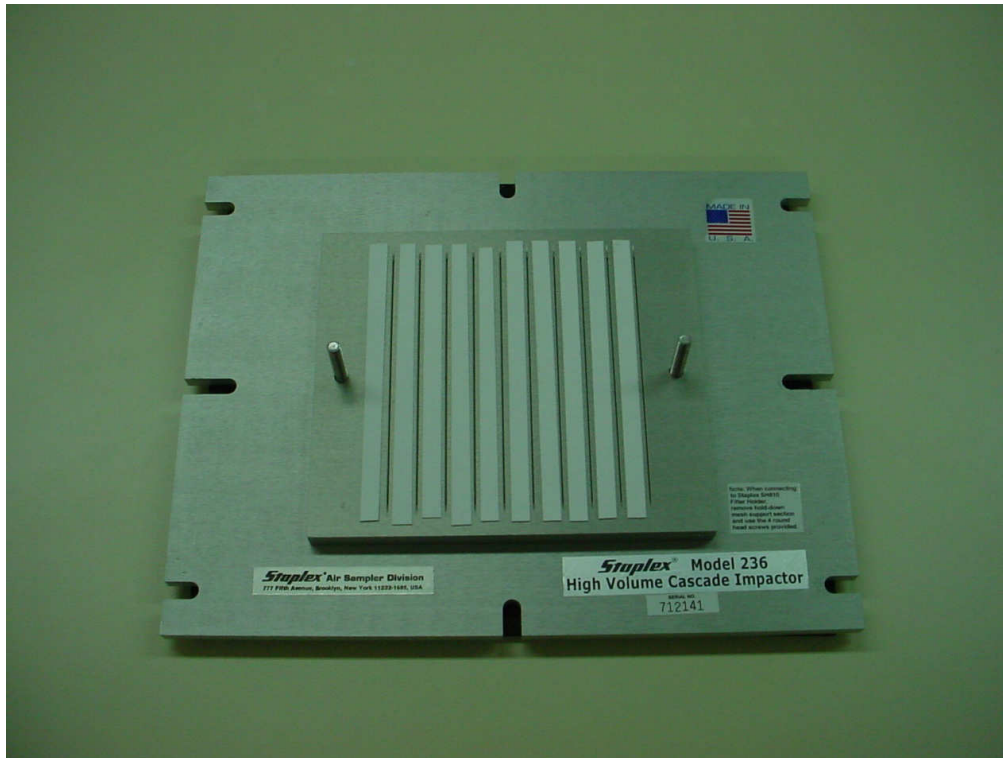
Σχήμα 4-6 Κοπή λωρίδων glass fiber στο ΕΠΤ-ΕΜΠ



Σχήμα 4-7 Κοπή λωρίδων glass fiber στο ΕΠΤ-ΕΜΠ



Σχήμα 4-8 Ζύγιση ανά δεκάδα των λωρίδων glass fiber στο ζυγό ακριβείας του ΕΠΤ-ΕΜΠ



Σχήμα 4-9 Τοποθέτηση λωρίδων glass fiber στα επιμέρους στάδια του ΑΣΔΣ



Σχήμα 4-10 Τοποθέτηση λωρίδων glass fiber στο 1ο στάδιο του ΑΣΔΣ



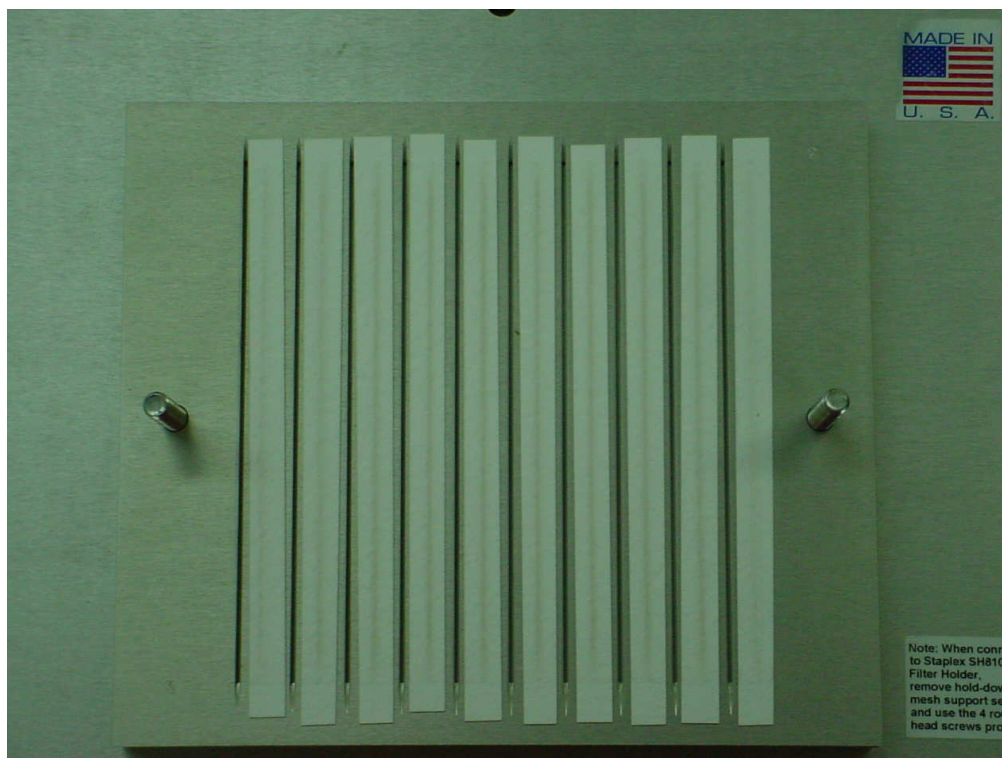
Σχήμα 4-11 Ο ΑΣΔΣ συναρμολογημένος (από τις σχισμές του 1ου σταδίου διακρίνεται φίλτρο)



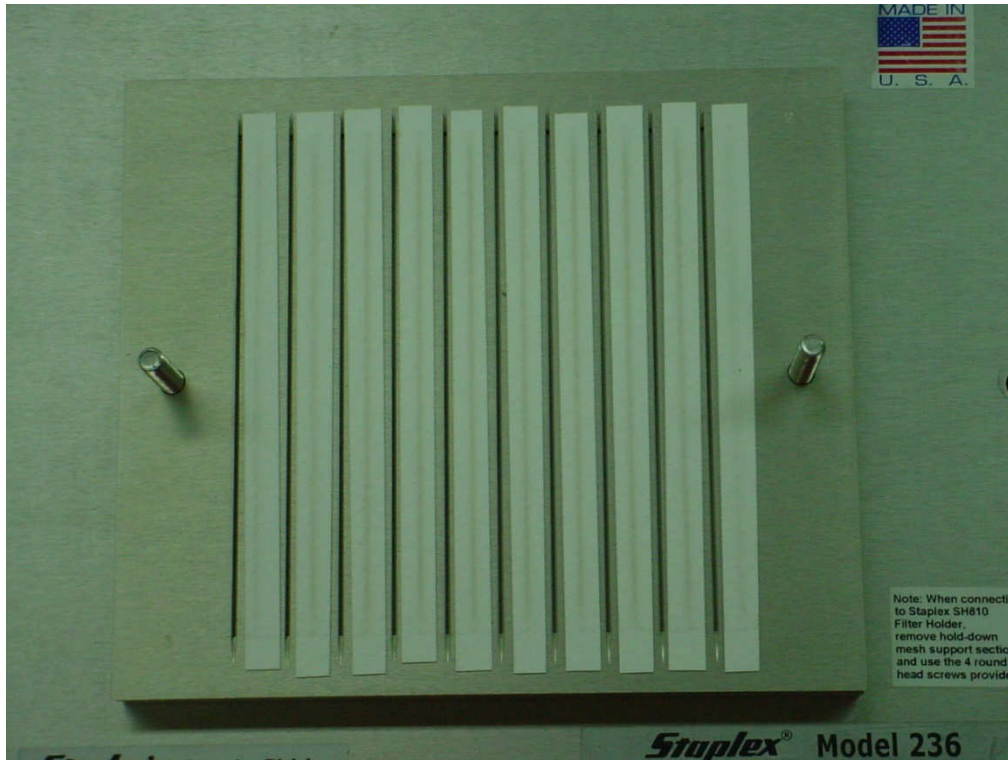
Σχήμα 4-12 Τοποθέτηση του ΑΣΔΣ στην αντλία DH-50810E της F&J



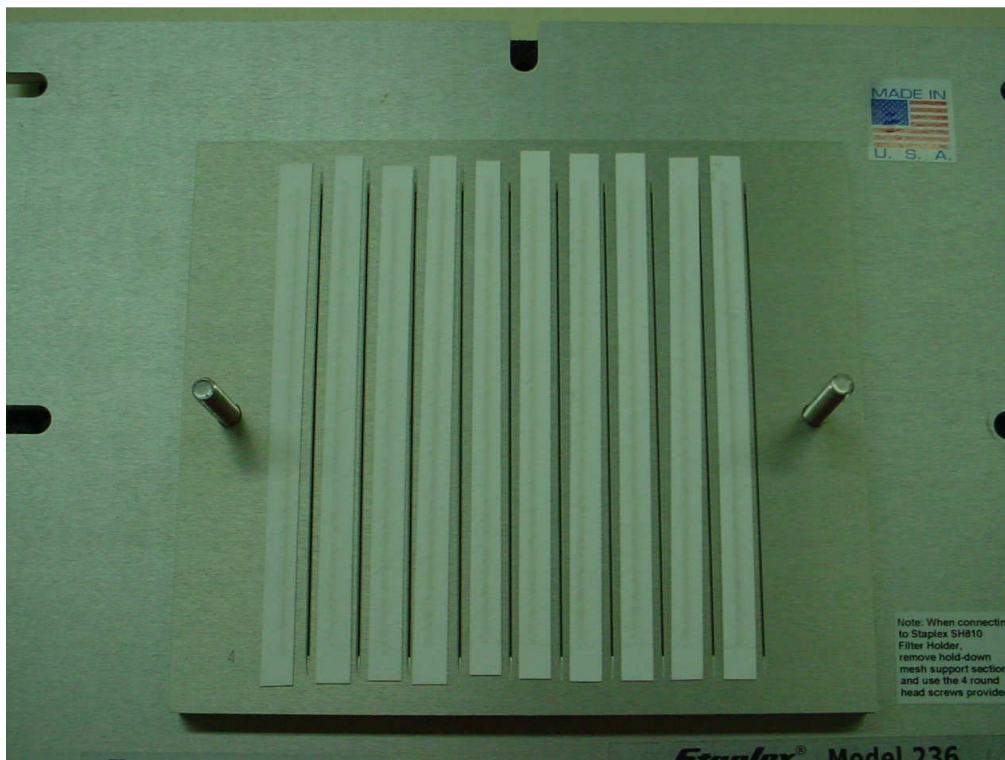
Σχήμα 4-13 Ο ΑΣΛΣ προσαρμοσμένος στην αντλία DH-50810E της F&J του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Τα στάδια είναι τυλιγμένα με ταινία τεφλόν προκειμένου να αποφευχθεί αναρρόφηση αέρα από τα πλάγια.



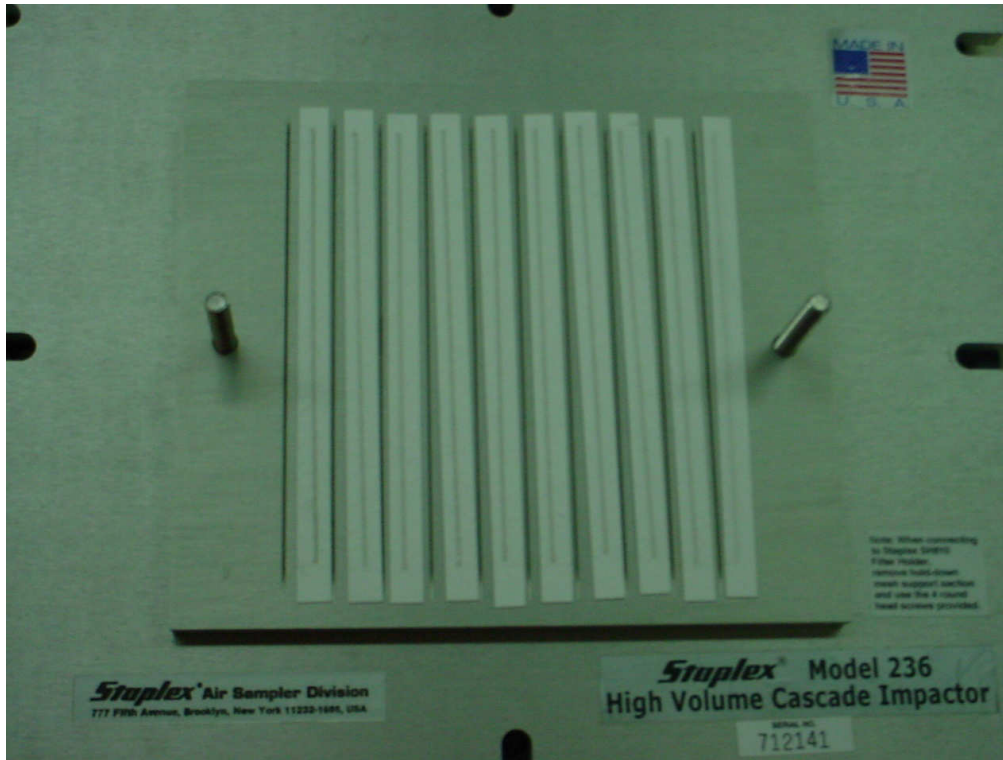
Σχήμα 4-14 Δείγμα επί του 1ου σταδίου, στη δειγματοληψία 8



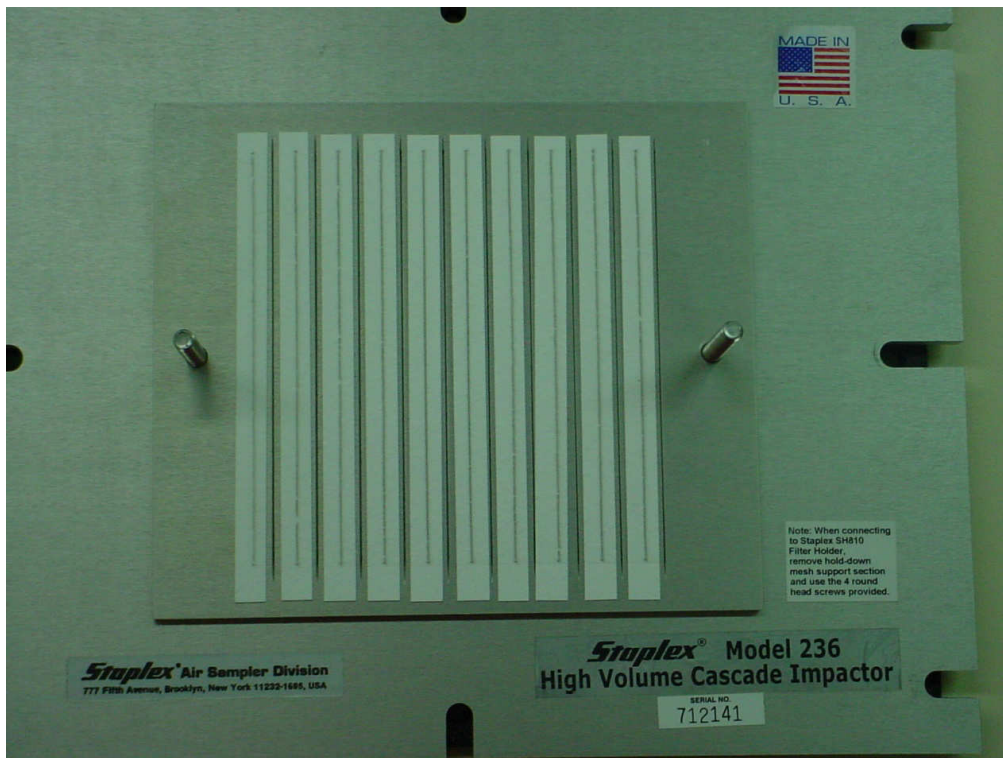
Σχήμα 4-15 Δείγμα επί του 2ου σταδίου, στη δειγματοληψία 8



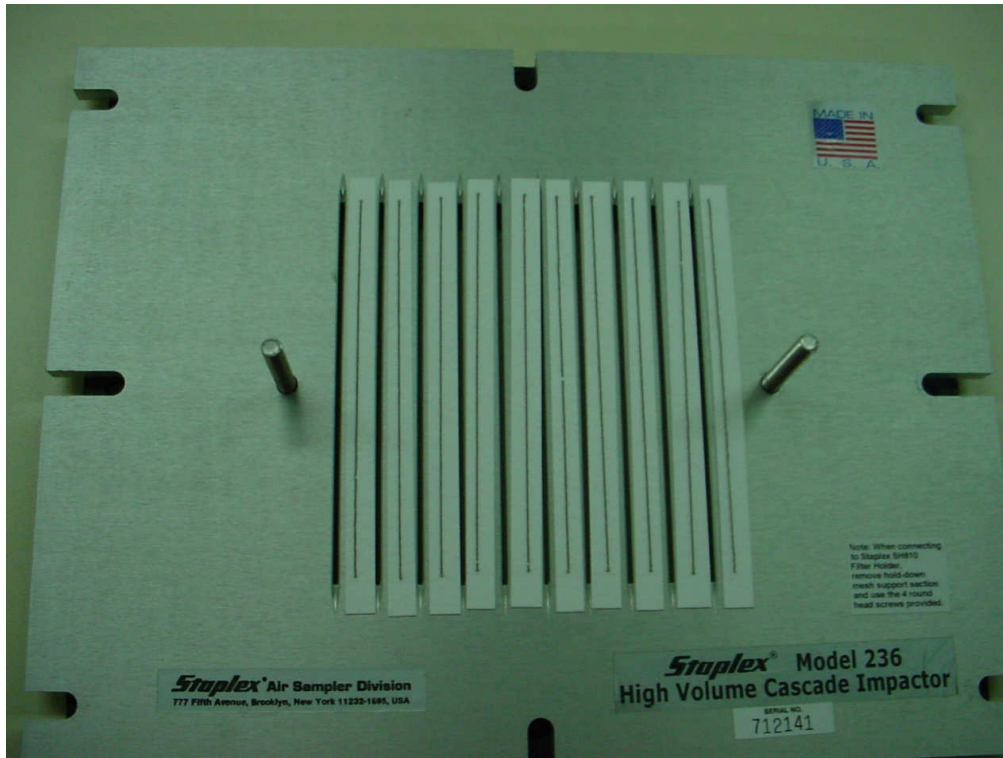
Σχήμα 4-16 Δείγμα επί του 3ου σταδίου, στη δειγματοληψία 8



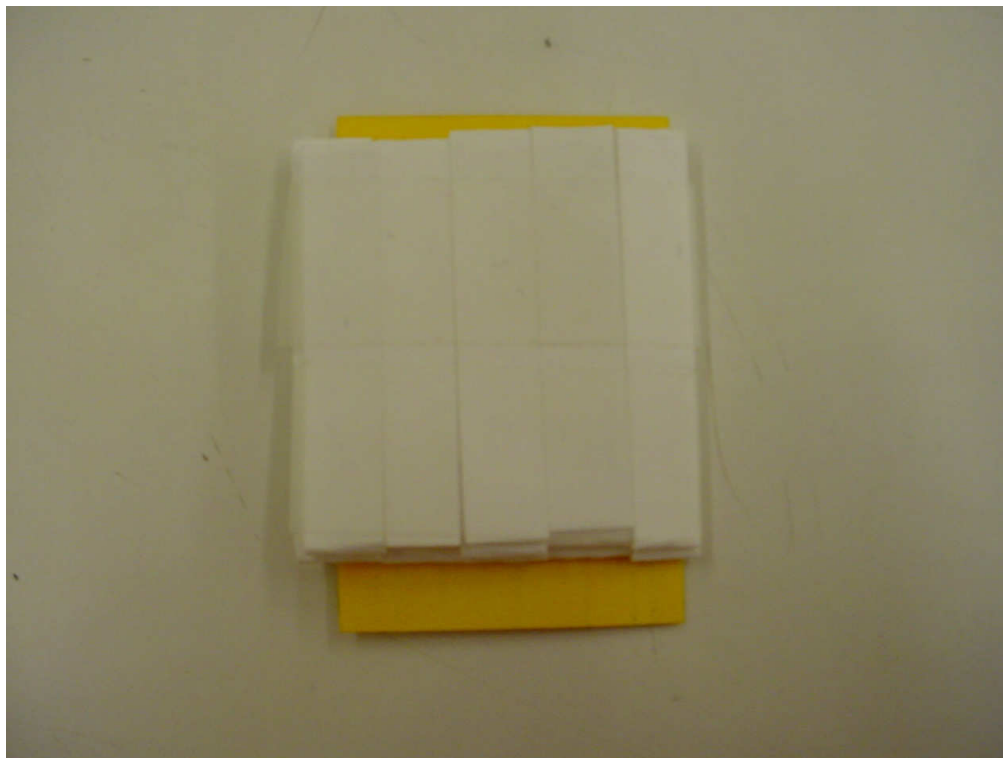
Σχήμα 4-17 Δείγμα επί του 4ου σταδίου, στη δειγματοληψία 8



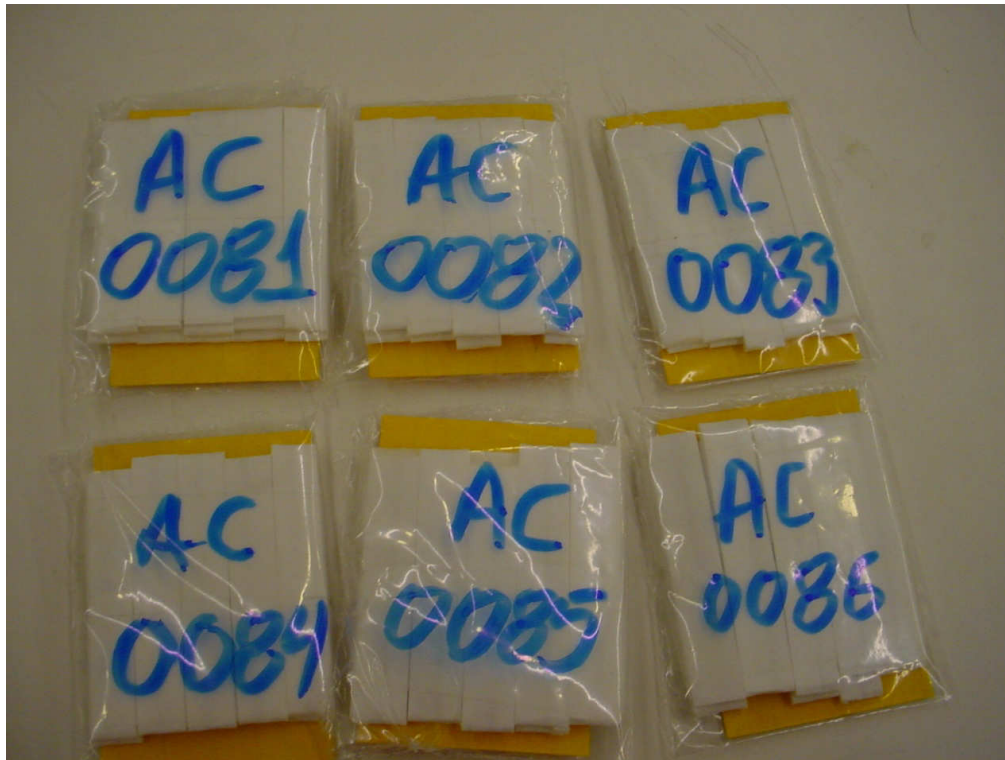
Σχήμα 4-18 Δείγμα επί του 5ου σταδίου, στη δειγματοληψία 8



Σχήμα 4-19 Δείγμα επί του βου σταδίου, στη δειγματοληψία 8



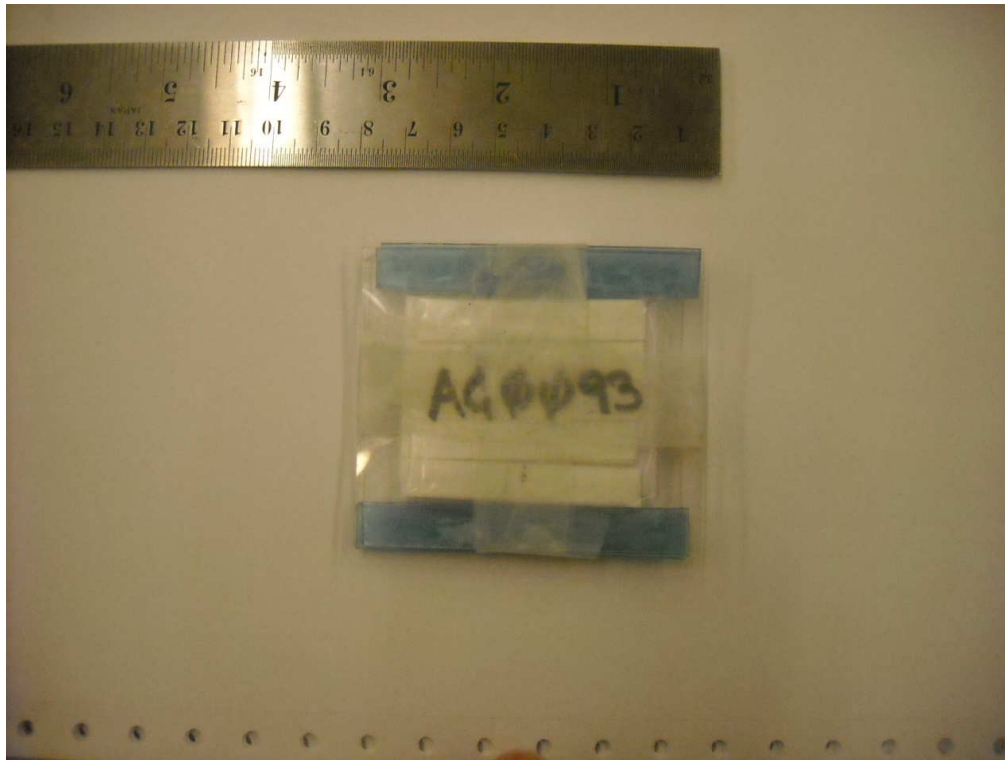
Σχήμα 4-20 Οι λωρίδες glass fiber διπλωμένες σε κατάλληλη γεωμετρία και κολλημένες με σελοτέιπ σε χαρτόνι 4x6cm



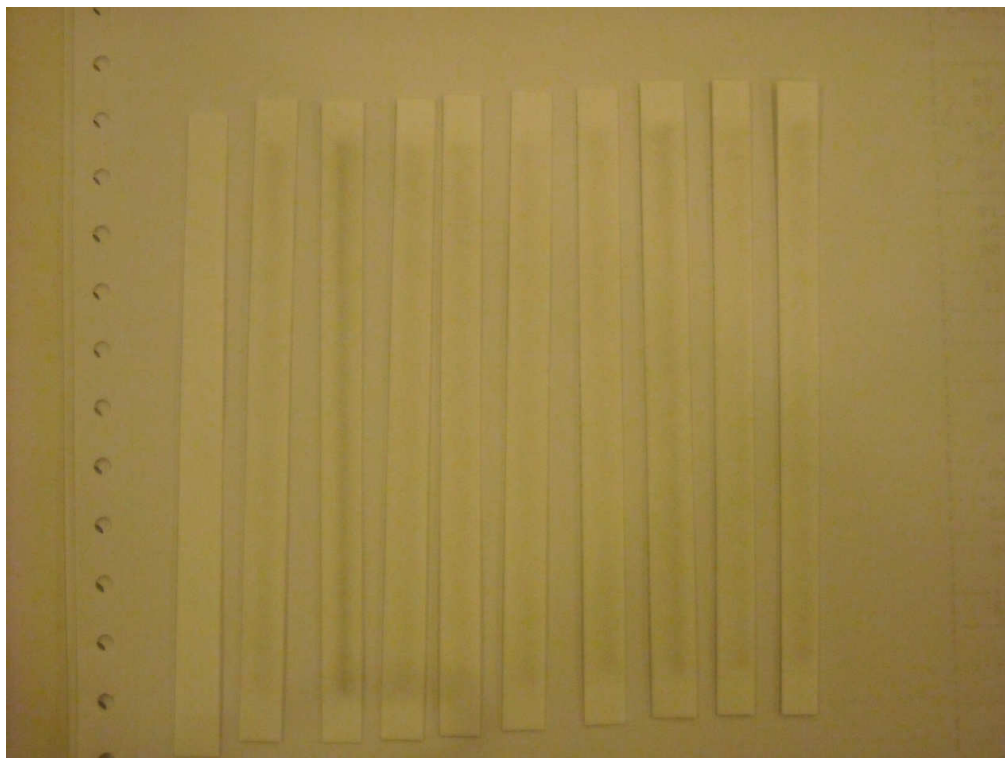
Σχήμα 4-21 Τα έξι δείγματα της δειγματοληψίας 8 συσκευασμένα, προς ανίχνευση



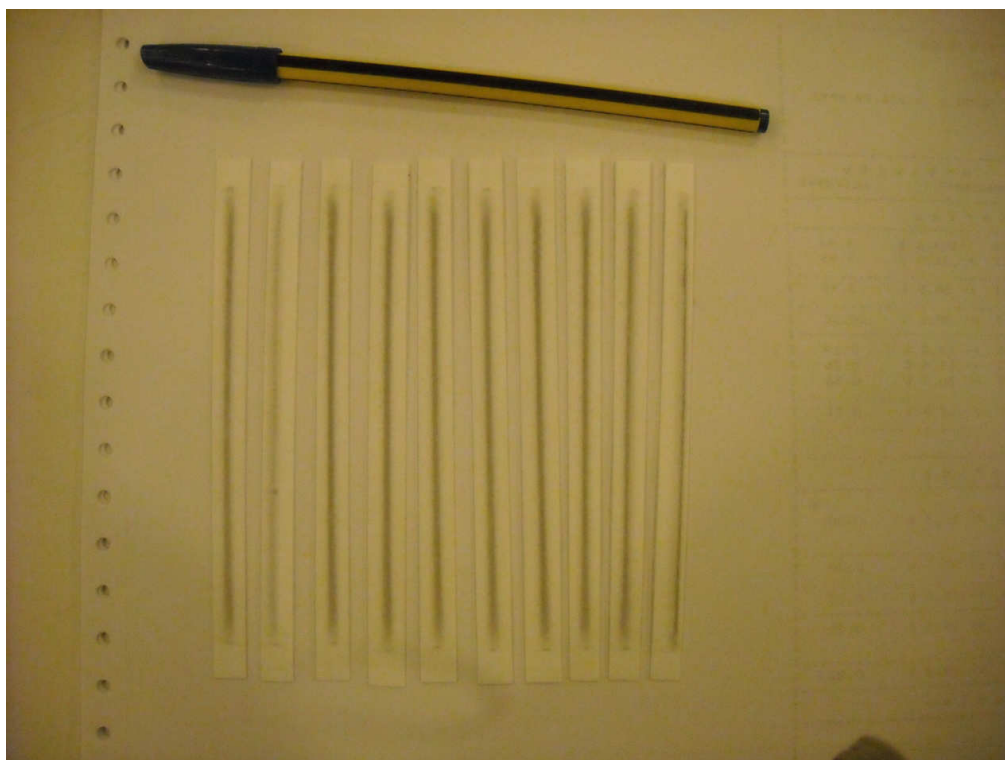
Σχήμα 4-22 Τα έξι δείγματα της δειγματοληψίας 9, προς ανίχνευση



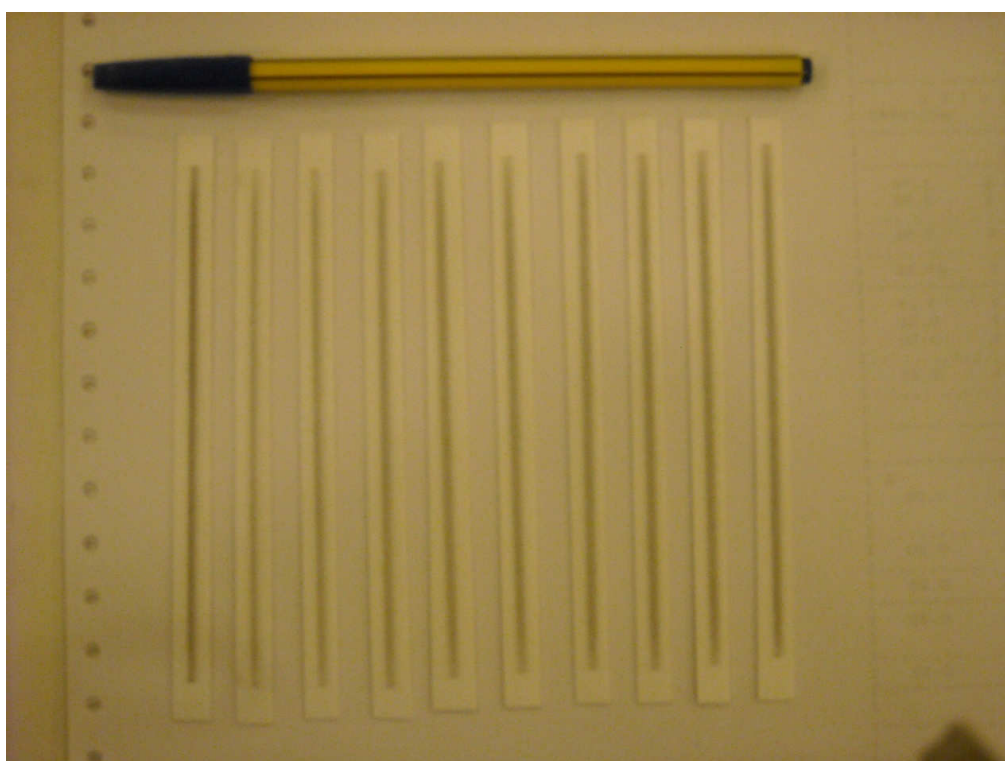
Σχήμα 4-23 Ιδιοκατασκευή από πλέξι-γκλας για την τοποθέτηση στον ανιχνευτή



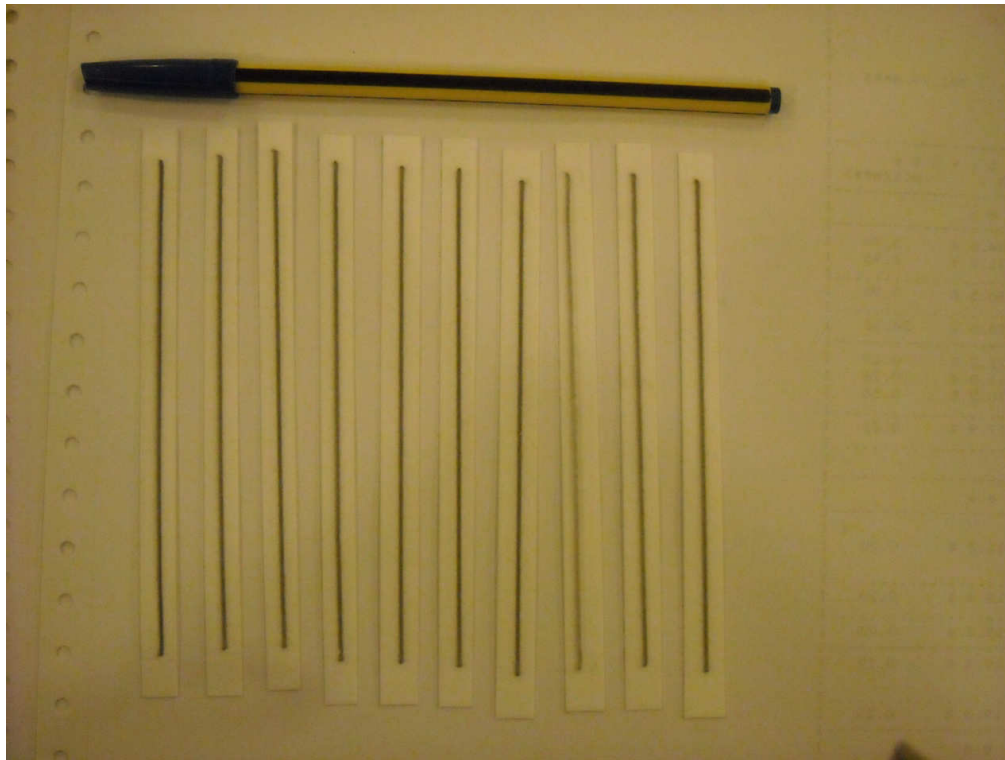
Σχήμα 4-24 Δείγμα 1ου σταδίου στη δειγματοληψία 9 (για αιθαλομίχλη)



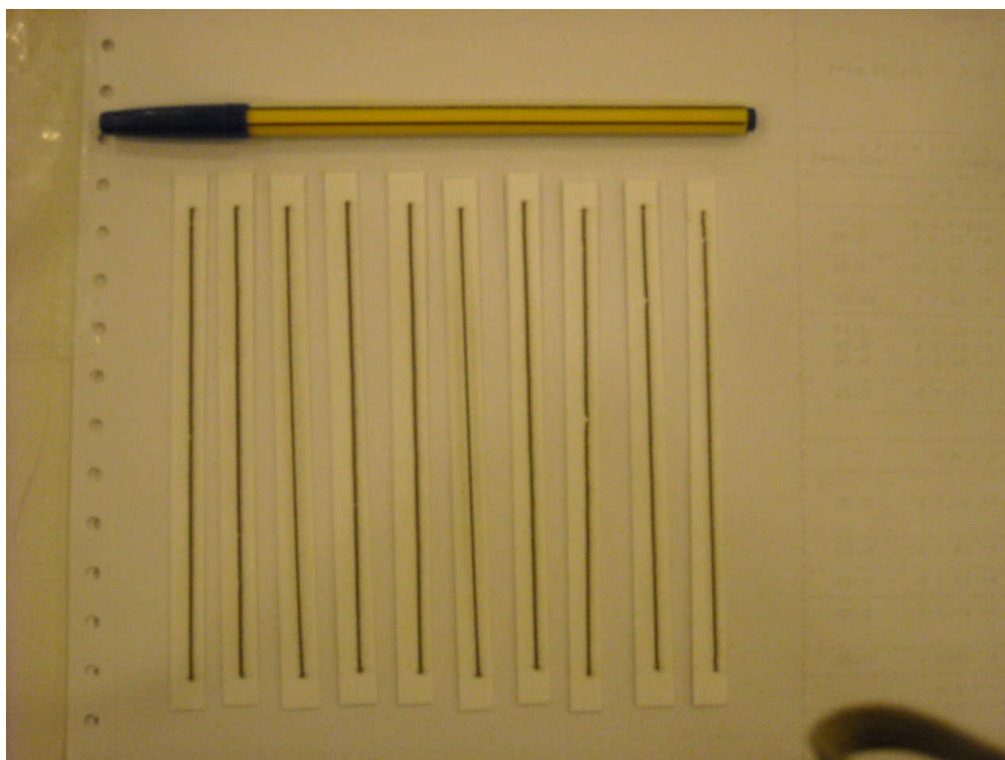
Σχήμα 4-25 Δείγμα 2ου σταδίου στη δειγματοληψία 9 (για αιθαλομίχλη)



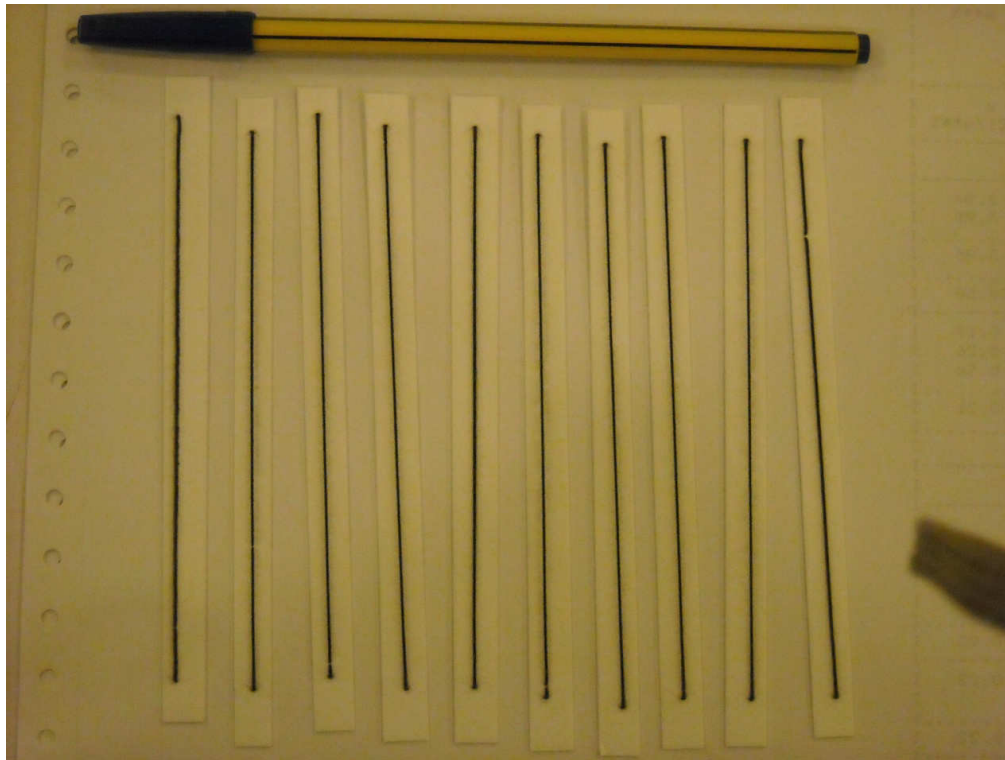
Σχήμα 4-26 Δείγμα 3ου σταδίου στη δειγματοληψία 9 (για αιθαλομίχλη)



Σχήμα 4-27 Δείγμα 4ου σταδίου στη δειγματοληψία 9 (για αιθαλομίχλη)

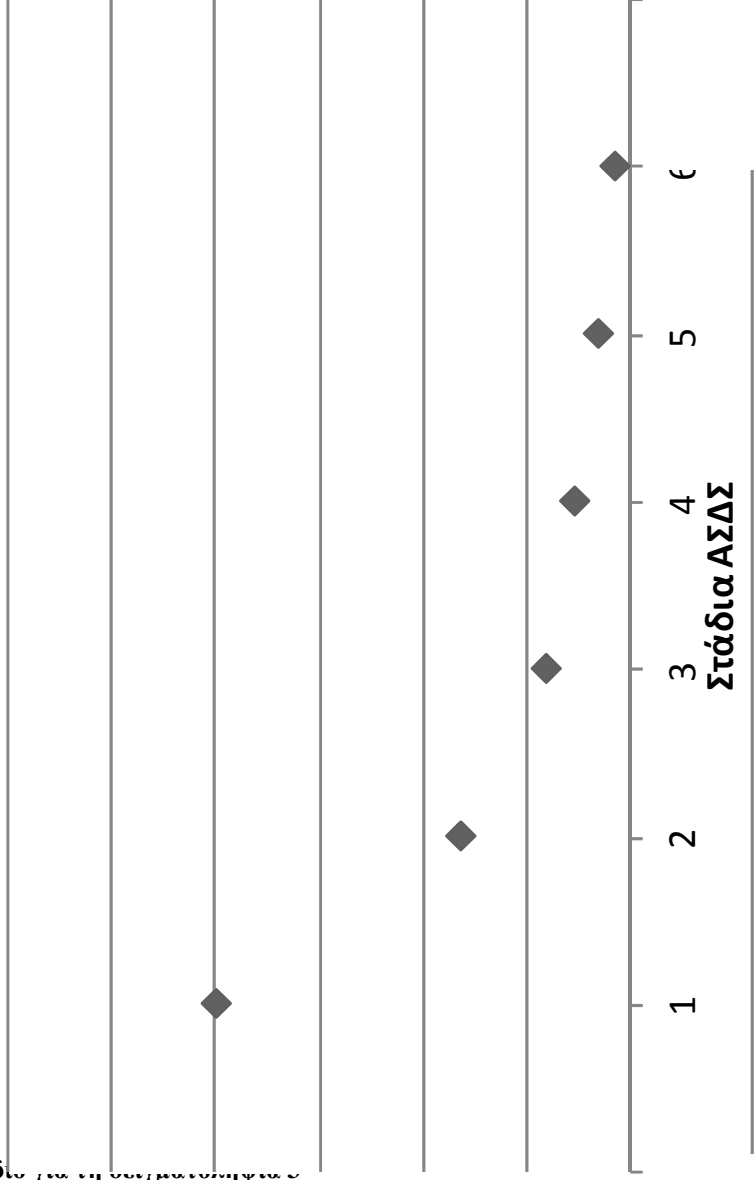


Σχήμα 4-28 Δείγμα 5ου σταδίου στη δειγματοληψία 9 (για αιθαλομίχλη)



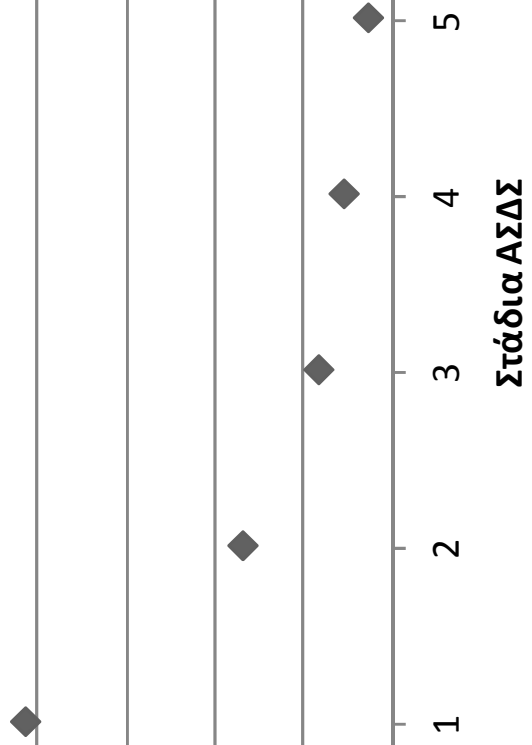
Σχήμα 4-29 Δείγμα 6ου σταδίου στη δειγματοληψία 9 (για αιθαλομίχλη)

Δειγματοληψία 3



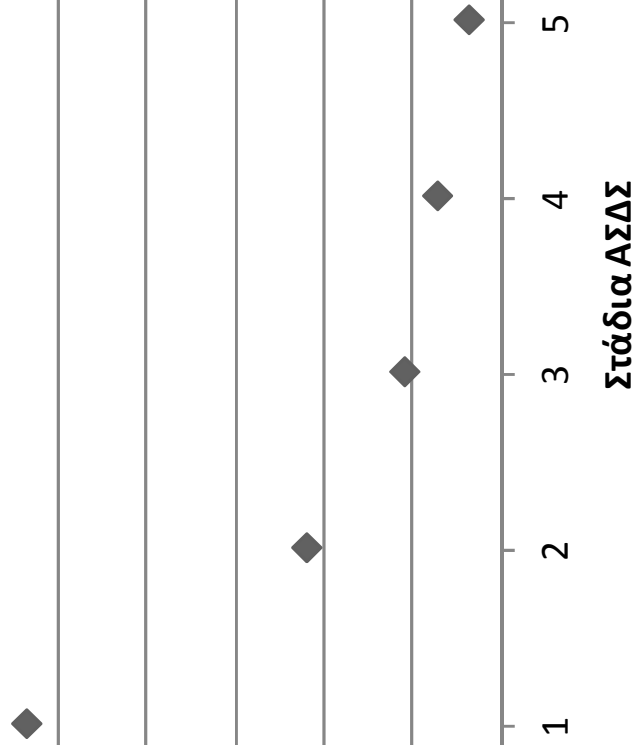
Σχήμα 4-30 Κοκκομετρία σε κάθε στάδιο για τη δειγματοληψία 3

Δειγματοληψία 4



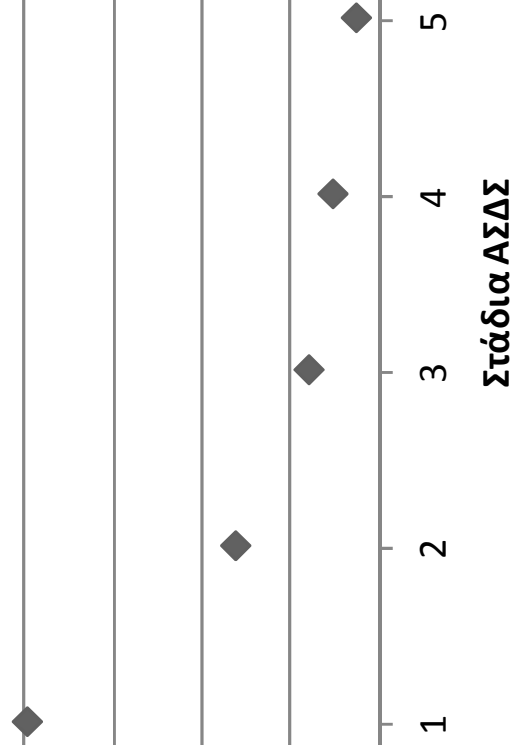
Σχήμα 4-21 Κοκκομετρία σε κάθε στάδιο της δειγματοληψίας 4

Δειγματοληψία 8

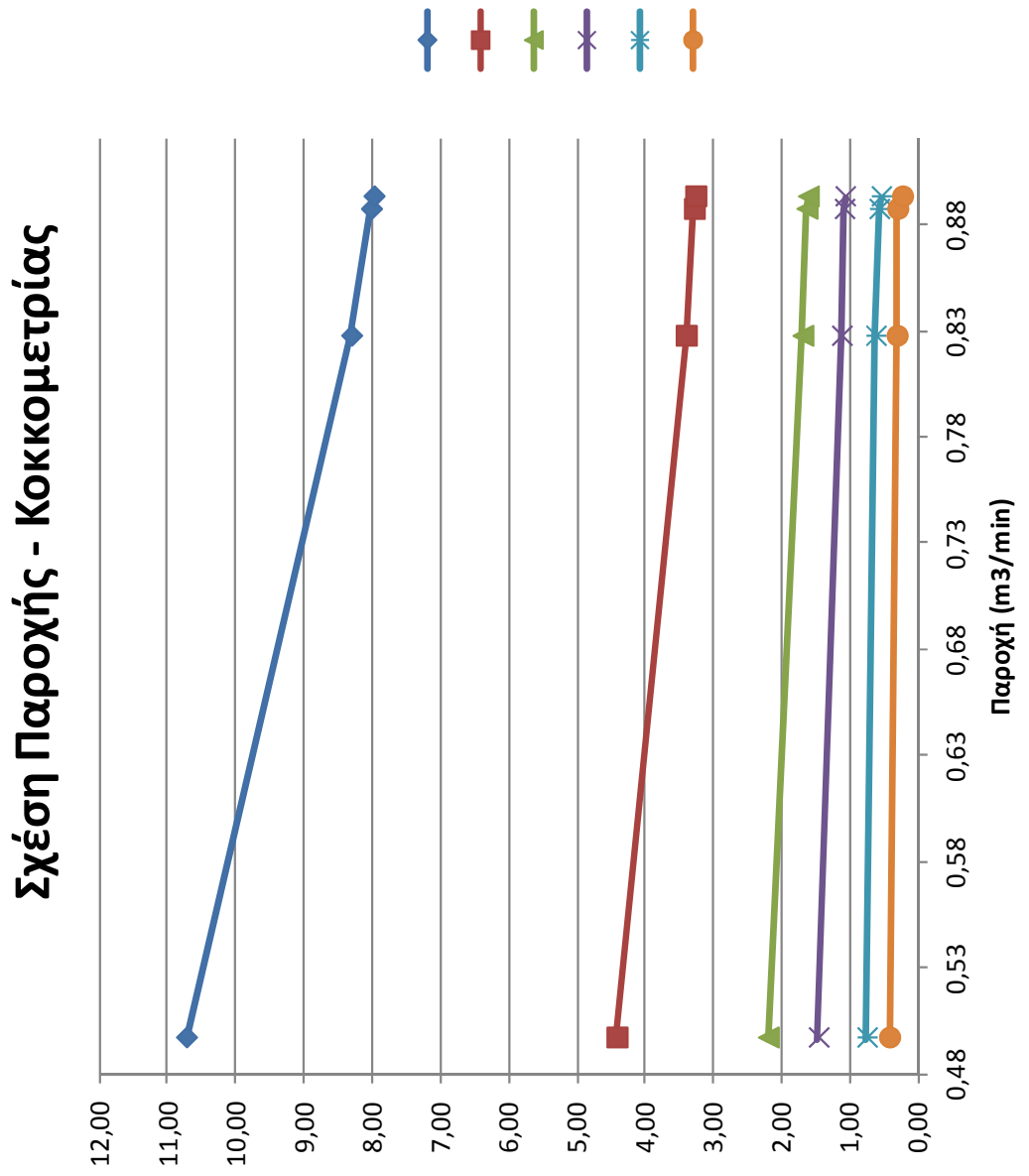


Σχήμα 4-32 Κοκκομετρία σε κάθε στάδιο για τη δειγματοληψία 8

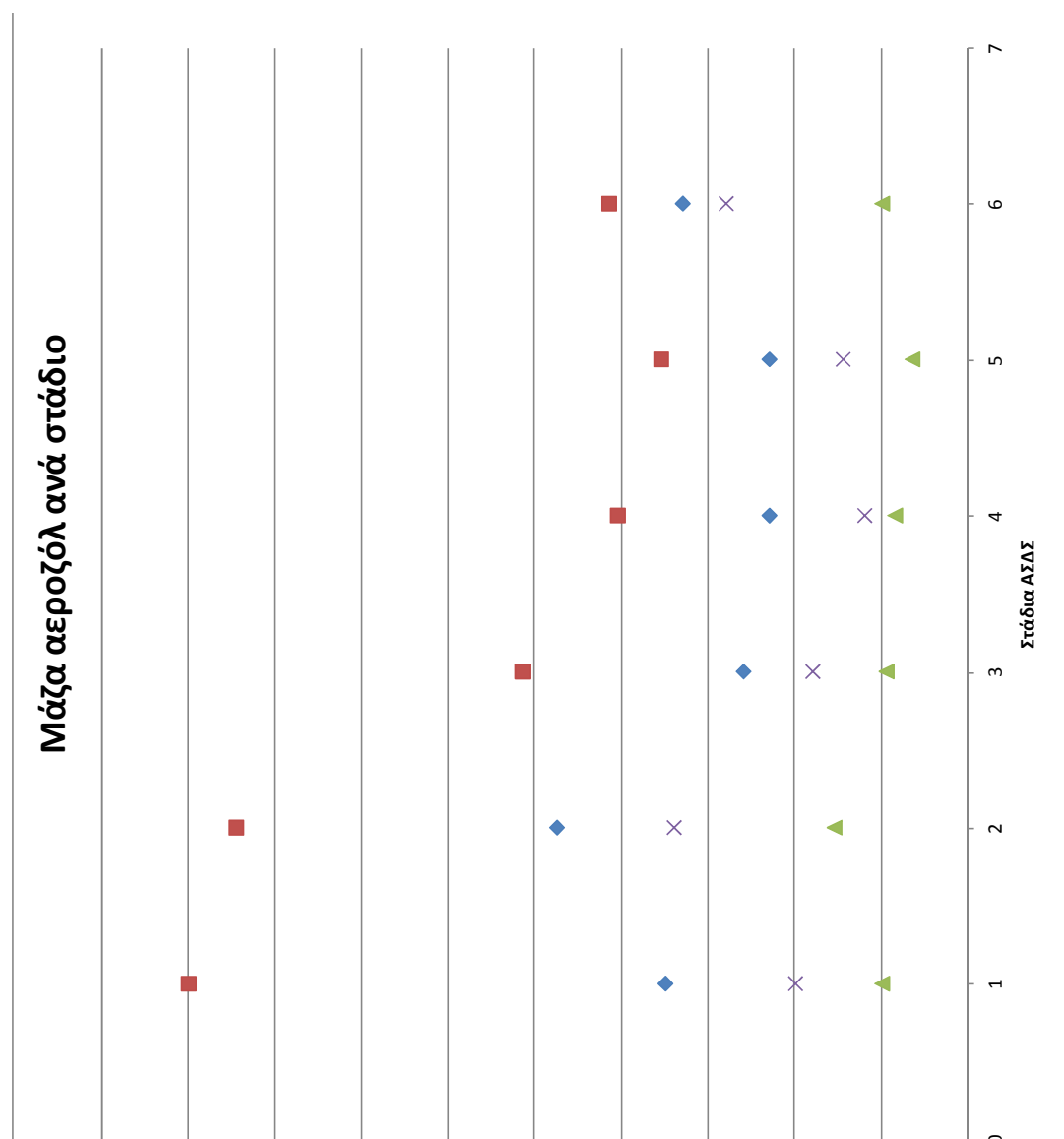
Δειγματοληψία 9



Σχήμα 4-33 Κοκκομετρία σε κάθε στάδιο της δειγματοληψίας

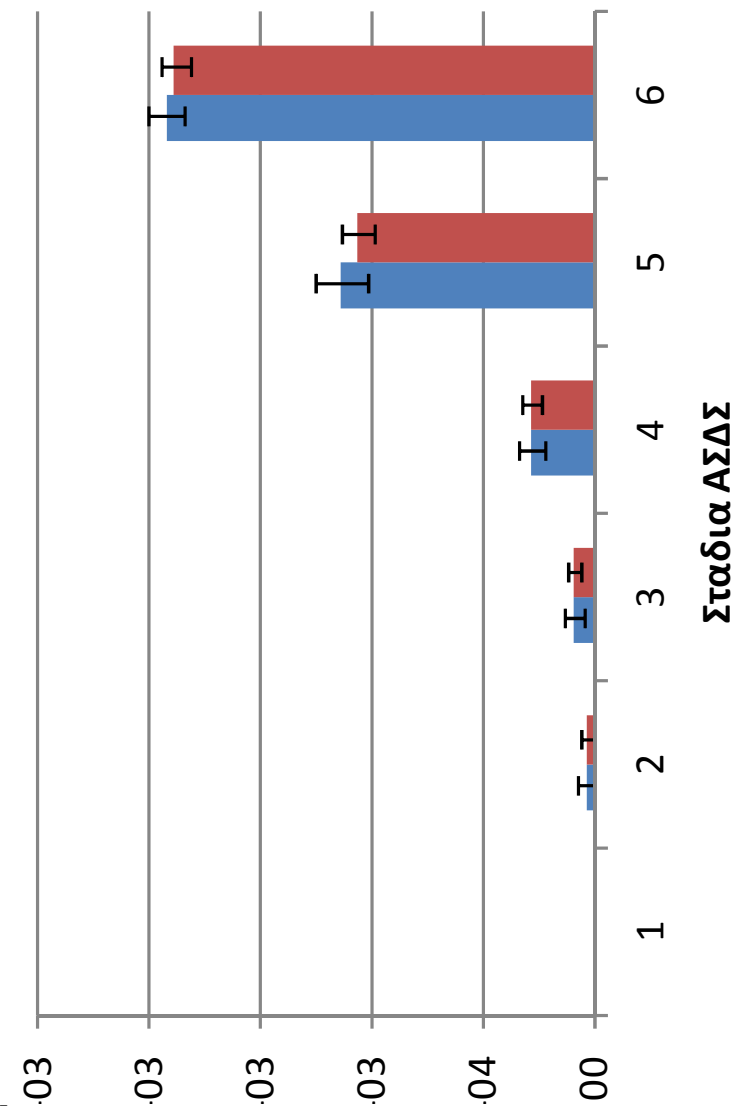


Σχήμα 4-34 Συσχέτιση παροχής - κοκκομετρίας με τα δεδομένα των δειγματοληψιών 3,4,8,9)



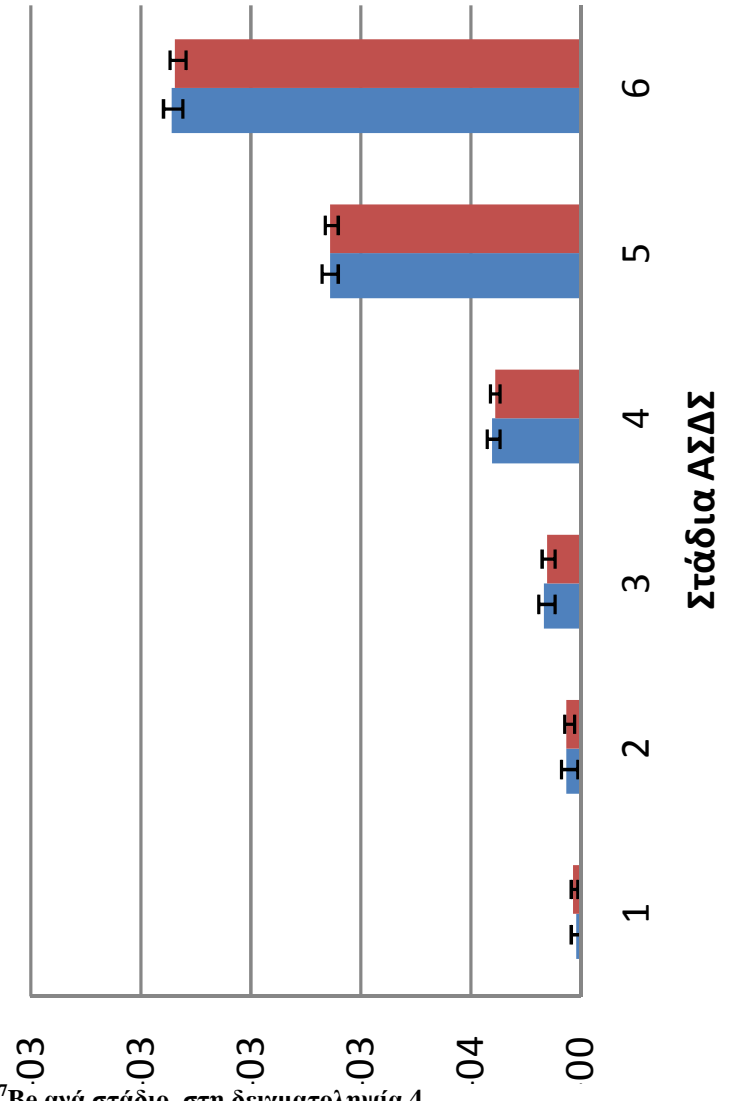
Σχήμα 4-35 Μάζα αεροζόλ σε κάθε στάδιο για τις δειγματοληψίες 3,4,8,9

Δειγματοληψία 3



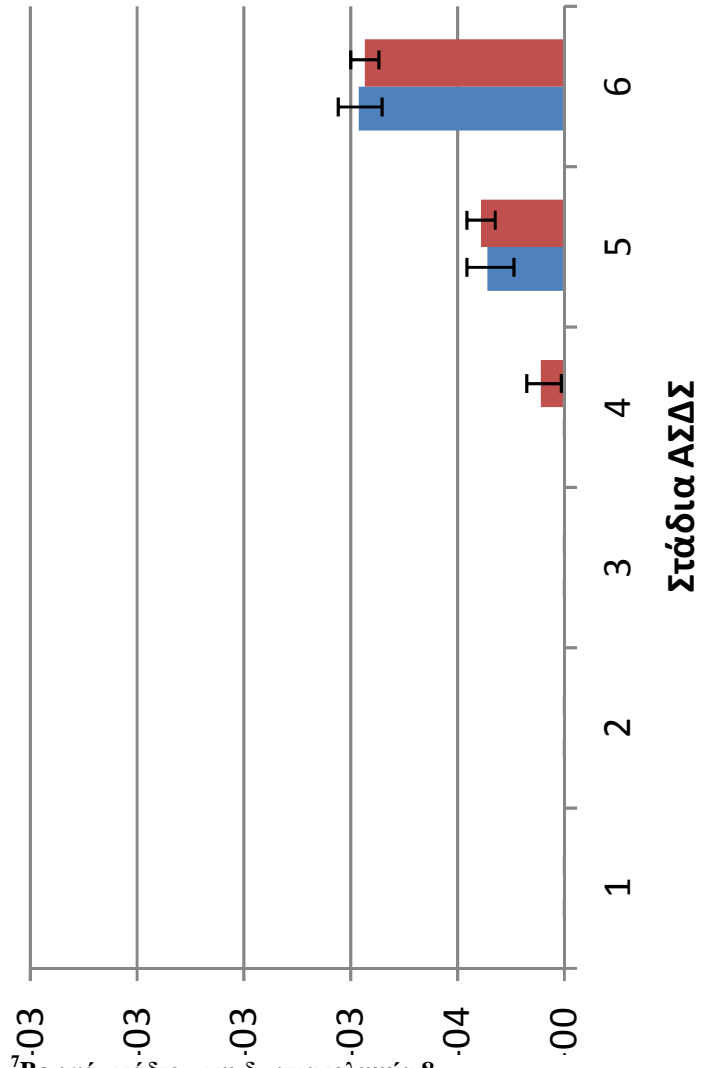
Σχήμα 4-36 Συγκέντρωση κατ' όγκο του ^7Be ανά στάδιο, στη δειγματοληψία 3

Δειγματοληψία 4



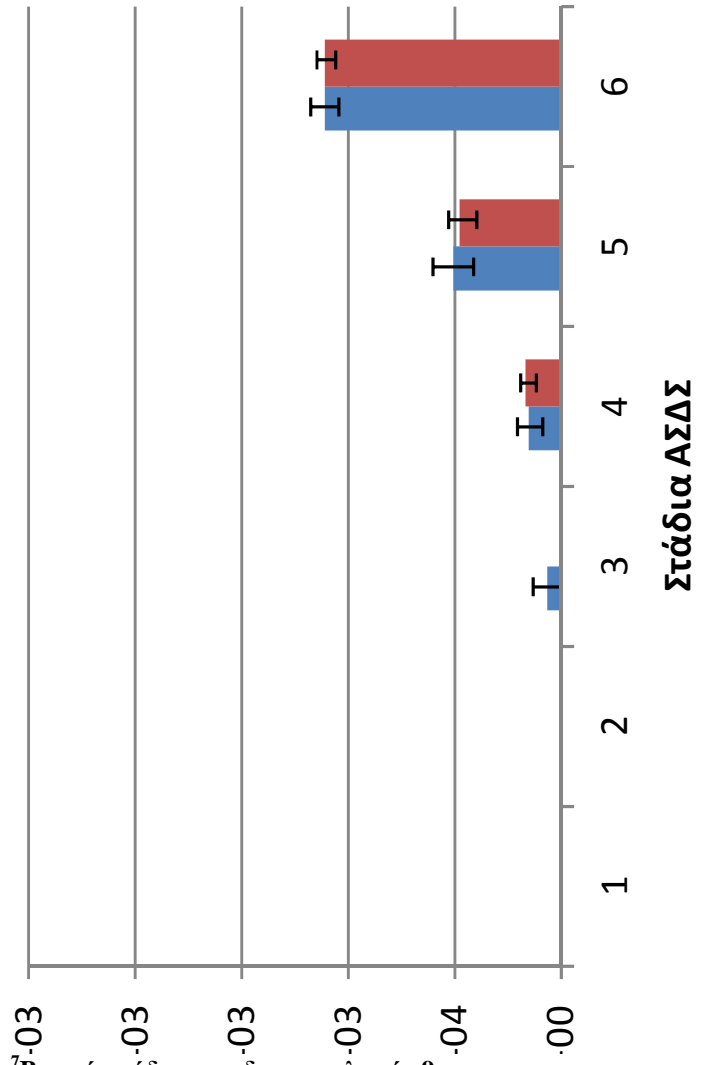
Σχήμα 4-37 Συγκέντρωση κατ' όγκο του ⁷Be ανά στάδιο, στη δειγματοληψία 4

Δειγματοληψία 8

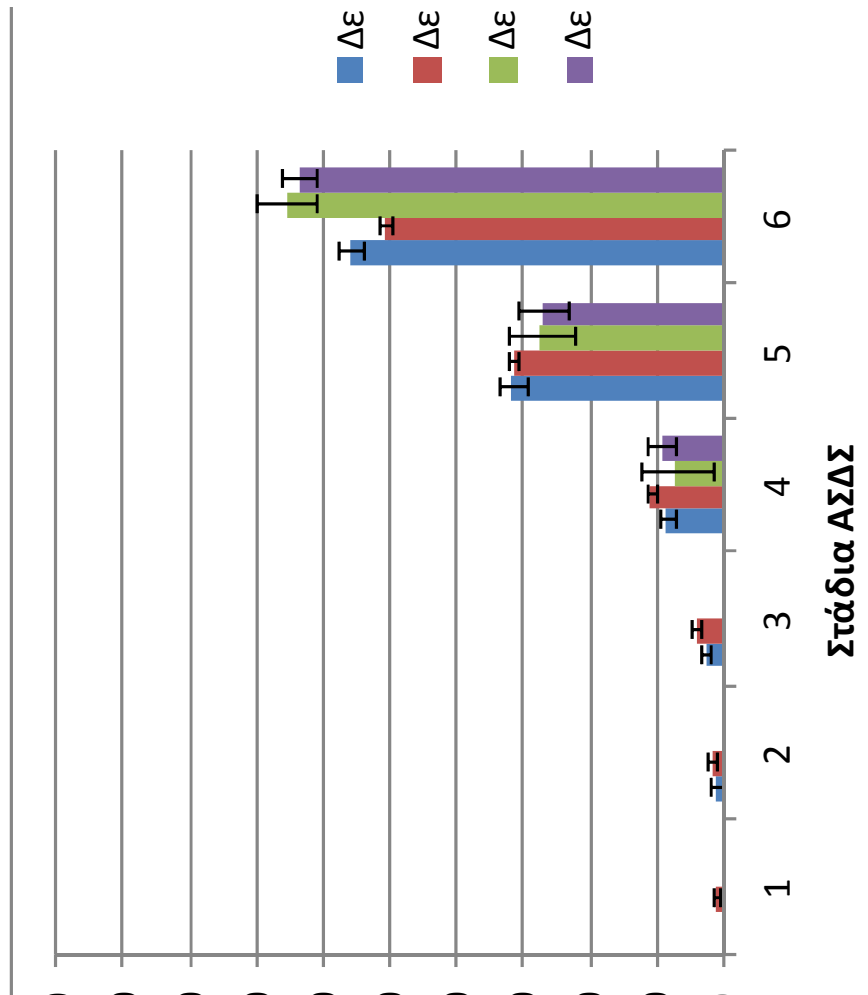


Σχήμα 4-38 Συγκέντρωση κατ' όγκο του ^7Be ανά στάδιο, στη δειγματοληψία 8

Δειγματοληψία 9

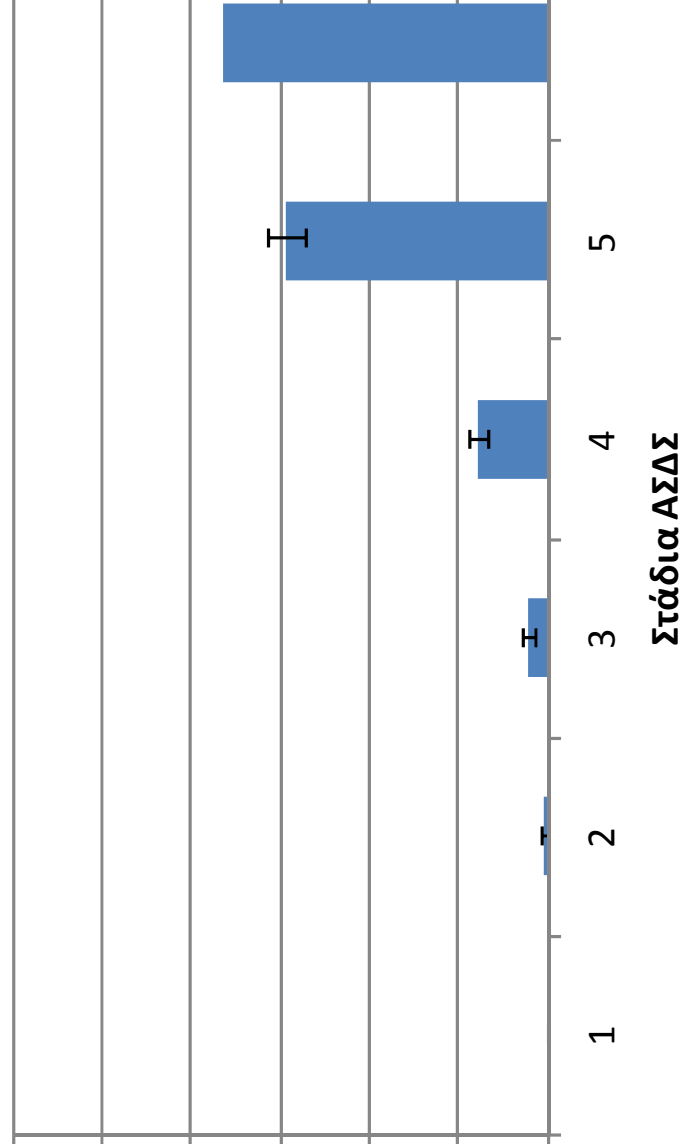


Σχήμα 4-39 Συγκέντρωση κατ' όγκο του ^7Be ανά στάδιο, στη δειγματοληψία 9



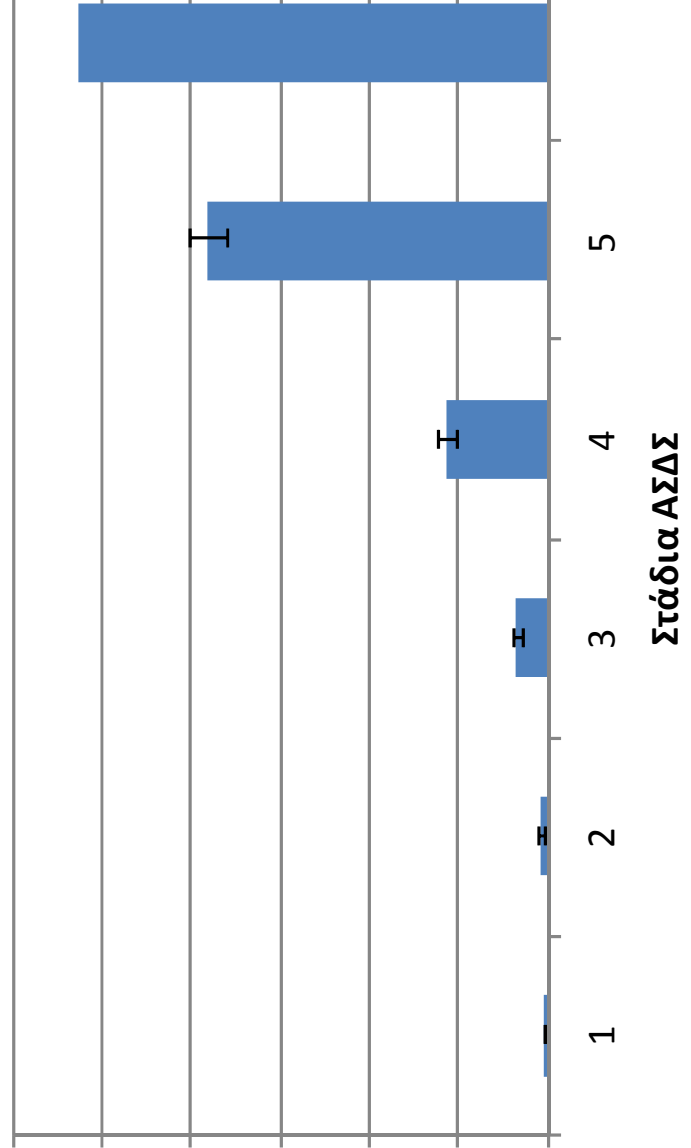
Σχήμα 4-40 Συγκεντρωτικό διάγραμμα των μετρήσεων στη γ-φασματοσκοπία (CSS) των επιμέρους δειγματοληψιών

Δειγματοληψία 3



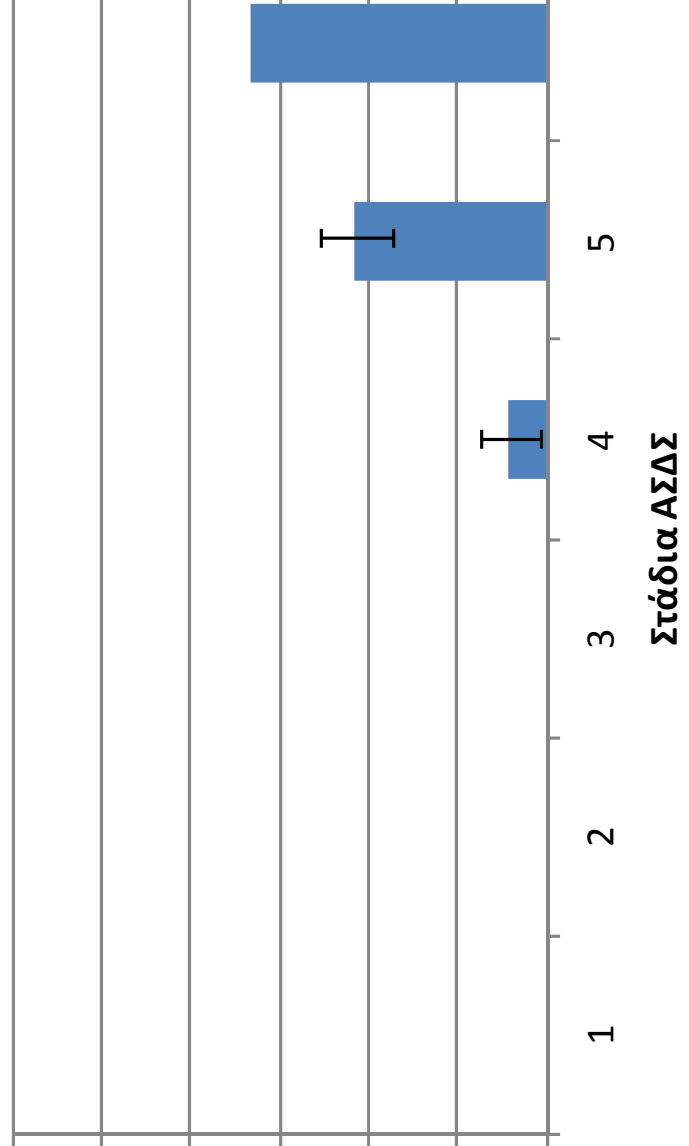
Σχήμα 4-41 Συγκέντρωση κατά μάζα του ${}^7\text{Be}$, ανά στάδιο στη δειγματοληψία 3 (CSS)

Δειγματοληψία 4



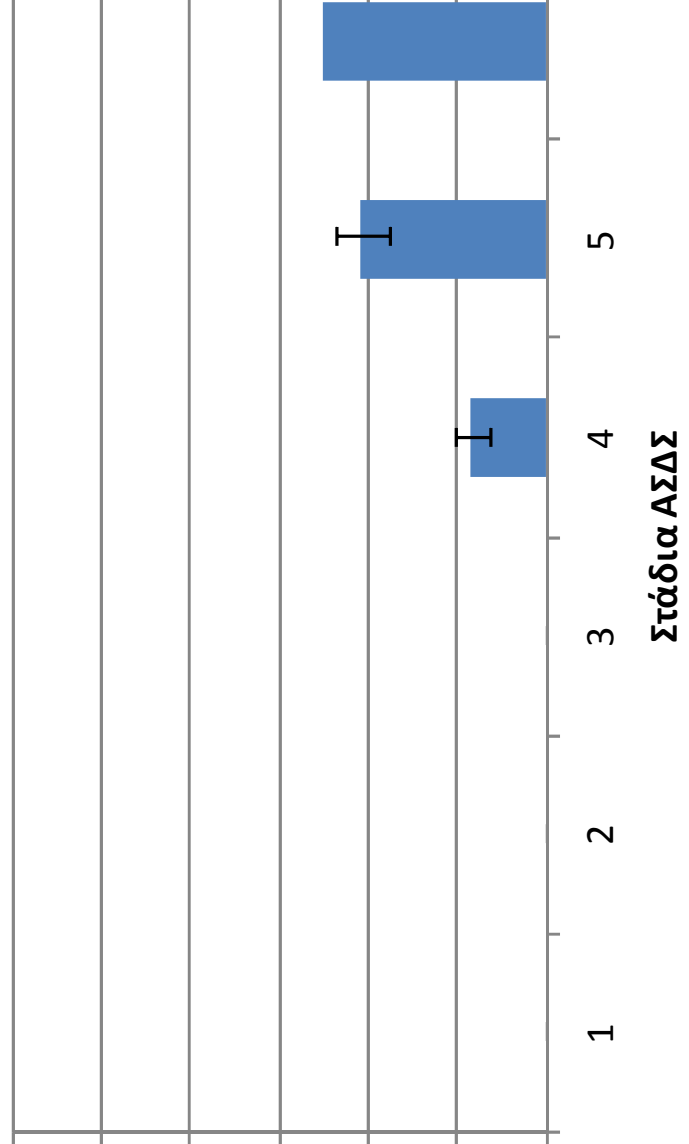
Σχήμα 4-42 Συγκέντρωση κατά μάζα του ^7Be , ανά στάδιο στη δειγματοληψία 4 (CSS)

Δειγματοληψία 8



Σχήμα 4-43 Συγκέντρωση κατά μάζα του ${}^7\text{Be}$, ανά στάδιο στη δειγματοληψία 8 (CSS)

Δειγματοληψία 9



Σχήμα 4-44 Συγκέντρωση κατά μάζα του ^7Be ανά στάδιο, στη δειγματοληψία 9 (CSS)

5 Δειγματοληψία ατμοσφαιρικού αεροζόλ με Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη (Annular Kinetic Impactor)

Στα πλαίσια της ΔΕ ετέθη σε λειτουργία και χρησιμοποιήθηκε για δειγματοληψίες ατμοσφαιρικού αεροζόλ και ο Δακτυλιοειδής Αδρανειακός Συλλέκτης (ΔΑΣ) της Staplex, ο οποίος παρουσιάζεται στα σχήματα 5.1 & 5.2.

Ο συλλέκτης αυτός παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 3 (παρ. 3.1.2) και βρίσκει εφαρμογές σε δειγματοληψίες ραδιενεργού αεροζόλ, όπου στόχος είναι η συλλογή των μεγάλων σωματιδίων (πχ. σκόνη πλουτωνίου), χωρίς να συλλέγονται τα πολύ μικρά σωματίδια που μπορεί να συσχετίζονται με θυγατρικά του ραδονίου, θορονίου κλπ. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται το υπόστρωμα της μέτρησης των ραδιοϊσοτόπων που μας ενδιαφέρουν και βελτιώνεται το κατώτερο επίπεδο ανίχνευσης.

Στις δειγματοληψίες οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της ΔΕ, έγινε χρήση της φορητής αντλίας αναρρόφησης Staplex TFIA-2 S/N 22862N (σχήμα 5.3), ενώ η διάρκειά τους κυμάνθηκε από 20 λεπτά έως 2 ώρες. Οι δειγματοληψίες έγιναν στο δώμα του ΕΠΤ-ΕΜΠ, όπως ακριβώς και οι δειγματοληψίες με χρήση του ΑΣΔΣ Staplex Model 236. Σε σύγκριση με τις τελευταίες, οι δειγματοληψίες με το Staplex ΔΑΣ είναι πιο σύντομες. Αυτό οφείλεται, αφενός στο γεγονός ότι η αντλία Staplex TFIA-2 S/N 22862N δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλης διάρκειας δειγματοληψίες, λόγω κινδύνου υπερθέρμανσης και αφετέρου στη μείωση που παρουσιάζει η απόδοση συλλογής του ΔΑΣ για μεγάλους χρόνους δειγματοληψιών.

Ο ΔΑΣ της Staplex, χρησιμοποιείται κυρίως για δειγματοληψία μεγάλων ραδιενεργών σωματιδίων (πχ. προϊόντα σχάσης πλουτωνίου), σε υψηλές παροχές ($1 \text{ m}^3/\text{min}$), σε βιομηχανικές μονάδες, πυρηνικούς σταθμούς, ορυχεία, αποθήκες, εργαστήρια κοκ. Σε αντίθεση ωστόσο με τους ΑΣΔΣ που δύνανται να διαχωρίσουν το

ραδιενεργό αεροζόλ σε μειούμενες αεροδυναμικές διαμέτρους, ο ΔΑΣ κατακρατά σωματίδια μεγαλύτερα μιας διαμέτρου, ενώ σωματίδια μικρότερης διαμέτρου απ' αυτήν θα διαφεύγουν. Η διάμετρος αυτή θα είναι συνάρτηση του ρυθμού δειγματοληψίας.

5.1 Αρχή λειτουργίας του ΔΑΣ της Staplex

Ο μηχανισμός συλλογής ατμοσφαιρικού αεροζόλ του ΔΑΣ της Staplex είναι ο μηχανισμός αδρανειακής απόθεσης (σχήμα 5.4). Η αδρανειακή απόθεση προκύπτει όταν ένα σωματίδιο που κινείται εντός αερίου ρεύματος, κατά την αλλαγή κατεύθυνσης της ροής του ρεύματος μπροστά από ένα εμπόδιο, δεν μπορεί να ακολουθήσει τη ροή και προσκρούει στο εμπόδιο (βλ. παρ. 2.2.2.4).

Στο ΔΑΣ της Staplex, ο αέρας εισέρχεται από τις δώδεκα δακτυλιοειδείς οπές διαμέτρου 0.95 cm στη μεγάλη διατομή της συσκευής (σχήμα 5.2), πραγματοποιεί στροφή 180° στην κορυφή της συσκευής, εμπροσθεν του δίσκου συλλογής από αλουμίνιο (Al) και εξέρχεται από τον κεντρικό σωλήνα, διαμέτρου 2.2 cm όπου είναι προσαρμοσμένη η αντλία αναρροφήσεως. Τα σωματίδια εκείνα που δεν μπορούν να ακολουθήσουν τη στροφή της ροής ανάντι του δίσκου συλλογής αποτίθενται σε αυτόν. Έτσι δημιουργείται ένας δακτύλιος από σωματίδια διαφόρων διαμέτρων πάνω στο δίσκο συλλογής (σχήμα 5.5). Προκειμένου να αυξηθεί η απόδοσή του δίσκου συλλογής για συλλογή ατμοσφαιρικού αιωρήματος, αυτός επιχρίζεται με κατάλληλη κολλώδη ουσία (λάδι σιλικόνης, βαζελίνη ή άλλο υλικό). Μεγάλοι χρόνοι δειγματοληψίας (>2 ώρες) έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης συλλογής

του ΔΑΣ λόγω ελαστικών κρούσεων σωματιδίων του ατμοσφαιρικού αεροζόλ με σωματίδια που έχουν ήδη σφηνωθεί στο δίσκο συλλογής και επαναιώρησής τους.

5.1.1 Απόδοση συλλογής του ΔΑΣ.

5.1.1.1 Το πείραμα των J. E. HOY και J. J. CROLEY

Οι J. E. HOY και J. J. CROLEY (HOY, 1957) το 1957 σχεδίασαν ένα πείραμα προκειμένου να εκτιμήσουν τη σχετική απόδοση συλλογής του ΔΑΣ σε ατμοσφαιρικό αέρα που έχει ρυπανθεί από πλουτόνιο, προϊόντα σχάσης και θυγατρικά ραδονίου. Η απόδοση του ΔΑΣ εκτιμήθηκε συνδέοντας δύο συσκευές εν σειρά. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η απόδοση συλλογής δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Απόδοση} = 1 - \frac{B}{A}$$

Όπου:

A = ραδιενέργεια στον πρώτο δίσκο συλλογής

B = ραδιενέργεια στο δεύτερο δίσκο συλλογής

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι ο υπολογισμός της απόδοσης δεν απαιτεί γνώση της συγκέντρωσης των ρυπαντών στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίστοιχα, αμελούνται οι παράμετροι ανίχνευσης (γεωμετρία ή απόδοση ανιχνευτή) στην περίπτωση που χρησιμοποιείται η ίδια συσκευή ανίχνευσης. Η απόδοση του ΔΑΣ όπως εκτιμήθηκε για τους διάφορους ρυπαντές καταγράφεται στον πίνακα 5.1.

Κατά την εκτέλεση του πειράματος βρέθηκε επίσης ότι:

- Η απόδοση συλλογής ήταν σταθερή για χρόνους δειγματοληψιών έως 20 min (για το πλουτόνιο ή μέση απόδοση έπεσε από 95%, σε δεκάλεπτη δειγματοληψία, σε 75% σε 24ωρη δειγματοληψία).
- Η μείωση του ρυθμού κρούσεων λόγω αυτοαπορρόφησης της α-ακτινοβολίας στην επικολλητική ουσία (λάδι Dow Corning 200) βρέθηκε ίση με 55.4% με τυπική απόκλιση 19%. Αντίθετα, η αντίστοιχη μείωση για τη β-ακτινοβολία στο λάδι ήταν 5% με τυπική απόκλιση 3.3%.
- Αναφορικά με τα μεγέθη των σωματιδίων που συλλέχτηκαν από τη συσκευή, το 89% των ραδιενεργών σωματιδίων βρέθηκε να είναι διαμέτρου μεγαλύτερης του 1μm και το 11% μικρότερης, ενώ το 52% βρέθηκε να είναι διαμέτρου 1-5μm.

5.1.1.2 Το πείραμα του G. W. C. Tait

Ο G. W. C. Tait το 1956 (Tait, 1956) πραγματοποίησε ένα αντίστοιχο πείραμα, για να υπολογίσει την απόδοση συλλογής του ΔΑΣ για πλουτόνιο και θυγατρικά ραδονίου. Στο πείραμα του Tait, χρησιμοποιήθηκαν δύο δειγματοληπτικές διατάξεις για παράλληλη ταυτόχρονη λειτουργία. Στην πρώτη διάταξη, για τη συλλογή του αεροζόλ έγινε χρήση του ΔΑΣ κι ενός φίλτρου μετά απ' αυτόν. Στη δεύτερη έγινε χρήση μονάχα του φίλτρου. Η παροχή ρυθμίστηκε ίση με 700 l/min και για τις δύο διατάξεις. Στη διάταξη με το ΔΑΣ και το φίλτρο σε σειρά, έγινε χρήση δύο αντλιών σε σειρά προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα στραγγαλισμού και κόπωσης της αντλίας.

Η ανάλυση των δειγμάτων έγινε σε ανιχνευτή σπινθηρισμών γνωστής απόδοσης. Η απόδοση συλλογής του ΔΑΣ εκτιμήθηκε από τη διαφορά μεταξύ της ραδιενέργειας

που είχε συλλεχθεί στο φίλτρο που είχε τοποθετηθεί παράλληλα στο ΔΑΣ και σε αυτήν που είχε συλλεχθεί στο φίλτρο σε σειρά με το ΔΑΣ.

Επίσης, έγιναν μετρήσεις για την απόδοση συλλογής του ΔΑΣ για διάφορες κλάσεις διαμέτρων σωματιδίων με χρήση ΑΣΔΣ προ και μετά του ΔΑΣ. Βρέθηκε ότι η διάμετρος για την οποία τα μισά σωματίδια διαφεύγουν του δίσκου συλλογής είναι περίπου 0.5 μm για παροχή 700 l/min.

Οι διάφορες μετρήσεις έγιναν σε περιοχές όπου αναμενόταν ρύπανση από πλουτώνιο με σκοπό τη συλλογή αιωρούμενης σκόνης πλουτωνίου, αλλά και σε περιοχές όπου δεν αναμενόταν κάτι τέτοιο και βασική πηγή α-ακτινοβολίας ήταν τα θυγατρικά ραδονίου (συμπεριλαμβανομένων δωματίων με καλό αερισμό αλλά και υπογείων με κακό αερισμό, για διάφορες συγκεντρώσεις θυγατρικών ραδονίου). Στην πρώτη περίπτωση, τα δείγματα τοποθετήθηκαν στον ανιχνευτή μετά το πέρας 24 ωρών, ενώ στη δεύτερη περίπτωση η καθυστέρηση ανάμεσα στη συλλογή των δειγμάτων και στην τοποθέτησή τους στον ανιχνευτή ήταν από 13 - 33 λεπτά.

Με το πέρας των μετρήσεων βρέθηκε ότι ο ΔΑΣ παρουσιάζει υψηλή απόδοση συλλογής ~90% για σκόνες και αιωρήματα προερχόμενα από συνηθισμένες τεχνικές δραστηριότητες και μόλις 10% για προϊόντα θυγατρικών ραδονίου.

5.2 Μετρήσεις με το Staplex ΔΑΣ στο ΕΠΤ-ΕΜΠ

5.2.1 Περιγραφή της διαδικασίας

Η προετοιμασία του ΔΑΣ είναι μια σαφώς απλούστερη και σύντομη διαδικασία σε σχέση με την προετοιμασία του ΑΣΔΣ. Καταρχήν, ο δίσκος συλλογής από ΑΙ, ο οποίος έχει πάχος 1 mm και διάμετρο 3cm καθαρίζεται προσεκτικά με νερό και χαρτί

ώστε να απομακρυνθούν τα ίχνη από σκόνη. Ο δίσκος αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές δειγματοληψίες, υπό την προϋπόθεση ότι καθαρίζεται προσεκτικά κάθε φορά μετά τη δειγματοληψία και δεν υφίσταται φθορά και εκδορές στην επιφάνειά του. Αφού καθαριστεί ο δίσκος, επιχρίζεται με λάδι σιλικόνης, το οποίο κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του δίσκου.

Στην συνέχεια τοποθετείται εντός της ιδιοκατασκευής από plexi-glass (καπάκι) (σχήμα 5.6) η οποία εφαρμόζει στην κορυφή της συσκευής. Το καπάκι είναι κυλινδρικής διαμόρφωσης με διάμετρο 5 cm και ύψος 2.67 cm. Στη μια βάση του έχει εσοχή διαμέτρου 3.5 cm και βάθους 0.65 cm, με την οποία εφαρμόζει στη συσκευή.

Η βάση από plexi-glass εξασφαλίζει ότι ο δίσκος από Al στη θέση του ακόμα και όταν διακόπτεται η παροχή της αντλίας. Πρέπει στο σημείο αυτό να επισημανθεί ότι ο κατασκευαστής του δειγματολήπτη προβλέπει ότι ο δίσκος Al διατηρείται στη θέση του από την υποπίεση που δημιουργείται κατά την αναρρόφηση της αντλίας. Στο σημείο, τέλος, που εφάπτεται η βάση της ιδιοκατασκευής με την κορυφή του ΔΑΣ, τοποθετείται ταινία τεφλόν για την αποφυγή αναρρόφησης αέρα από το συγκεκριμένο σημείο λόγω ανεπαρκούς στεγάνωσης ανάμεσα στο καπάκι και τη συσκευή.

Εναλλακτικά μπορεί να μη χρησιμοποιηθεί το καπάκι από plexi-glass. Στην περίπτωση αυτή, τίθεται σε λειτουργία η αντλία και εφαρμόζεται απευθείας ο δίσκος συλλογής στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής, κάτι που προϋποθέτει και προσεκτική απομάκρυνσή του κατά την παύση λειτουργίας της αντλίας. Όσο η αντλία αναρρόφησης λειτουργεί ο δίσκος συλλογής θα μένει κολλημένος, λόγω υποπίεσης, στη συσκευή (σχήμα 5.8).

Πέραν του δίσκου συλλογής, η προετοιμασία της μέτρησης περιλαμβάνει την απαραίτητη εφαρμογή του ΔΑΣ στη φορητή αντλία αναρροφήσεως. Η

χρησιμοποιούμενη αντλία είναι η Staplex TFIA-2 S/N 22862N (σχήμα 5.3). Η συσκευή εφαρμόζει στην αντλία με τη βοήθεια των δύο δακτυλίων σύσφιξης (σχήμα 5.9), διαμέτρου 4'' (10.16 cm). Αφού έχει εφαρμοσθεί η συσκευή στην αντλία, μπορεί να ξεκινήσει η δειγματοληψία. Η παροχή της αντλίας ρυθμίζεται χειροκίνητα. Η παροχή της αντλίας προκύπτει από την ένδειξη του ροόμετρου της αντλίας (σχήμα 5.10) σε συνδυασμό με κατάλληλο γράφημα βαθμονόμησης της.

Με δεδομένη την παροχή της αντλίας, μπορεί να γίνει εκτίμηση της ταχύτητας εισροής του αέρα από τις δακτυλιοειδείς οπές, αλλά και της ταχύτητας εκροής του στο σωλήνα αναρρόφησης, υποθέτοντας ομοιόμορφη ροή.

Μετά το πέρας της δειγματοληψίας κι εφόσον ενδιαφέρει ο προσδιορισμό της συγκέντρωσης θυγατρικών του ραδονίου, είναι κεφαλαιώδους σημασίας η άμεση μεταφορά του δίσκου συλλογής από το σημείο της δειγματοληψίας στον ανιχνευτή, κάτι που απαιτεί συντονισμένη συνεργασία και άμεση εκκίνηση των ανιχνευτικών διατάξεων.

5.3 Αναλύσεις του ΔΑΣ στη διάταξη γ-φασματοσκοπίας

Τα δείγματα που ελήφθησαν στα πλαίσια της ΔΕ με τον ΔΑΣ, οδηγήθηκαν για γ-φασματοσκοπική ανάλυση στον ανιχνευτή γερμανίου XtRa (με διάταξη CSS) του ΕΠΤ-ΕΜΠ, για προσδιορισμό της συγκέντρωσης ^7Be , καθώς και θυγατρικών ραδονίου (^{214}Pb και ^{214}Bi). Τα δεδομένα των δειγματοληψιών αυτών παρουσιάζονται στον πίνακα 5.2, όπου:

- $Q_{\text{ενδ}}$: είναι η ένδειξη της παροχής που δίνεται από την αντλία

- $Q_{\text{διορθ}}$: είναι η παροχή όπως προκύπτει από την καμπύλη βαθμονόμησης της αντλίας (βλ. 5.2.1)
- Καθυστέρηση: Ο χρόνος ανάμεσα στη συλλογή του δείγματος και στην εκκίνηση της ανίχνευσης

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της ραδιενέργειας του ${}^7\text{Be}$ πραγματοποιήθηκε με χρήση των ανιχνευτικών διατάξεων XtRa και CSS όπου η βαθμονόμηση απόδοσης έγινε με τεχνικές προσομοίωσης Monte Carlo (κώδικας PENELOPE). Πιο συγκεκριμένα η απόδοση ανίχνευσης των φωτονίων του ${}^7\text{Be}$ εκτιμήθηκε ίση με $0.126378 \pm 2,7\%$ (1 σ).

Από τα θυγατρικά του ραδονίου, αυτά που ανιχνεύονται είναι ο ${}^{214}\text{Pb}$ που έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 26.8 λεπτά και εκπέμπει δύο φωτόνια ενεργειών 295.22 keV και 351.99 keV και το ${}^{214}\text{Bi}$, που έχει χρόνο υποδιπλασιασμού 19.8 λεπτά και εκπέμπει τρία φωτόνια ενεργειών 609.32 keV, 1120.28 keV και 1765.40 keV. Το ισότοπο του ${}^{214}\text{Pb}$ προκύπτει από α -διάσπαση του πολωνίου ${}^{218}\text{Po}$, ενώ το ${}^{214}\text{Bi}$ προέρχεται από β -διάσπαση του μολύβδου ${}^{214}\text{Pb}$.

Για τις ενέργειες των φωτονίων που εκπέμπουν τα θυγατρικά του ραδονίου ${}^{214}\text{Pb}$ και ${}^{214}\text{Bi}$, έγινε αντίστοιχη βαθμονόμηση όπως στην περίπτωση του ${}^7\text{Be}$. Συγκεκριμένα η απόδοση ανίχνευσης των φωτονίων του ${}^{214}\text{Pb}$, εκτιμήθηκε $0.17959 \pm 2.11\%$ (1 σ) για τα φωτόνια ενέργειας 295.22 keV και $0.15749 \pm 2.13\%$ (1 σ) για τα φωτόνια ενέργειας 351.99 keV. Αντίστοιχα για τα φωτόνια του ${}^{214}\text{Bi}$, η απόδοση εκτιμήθηκε ίση με $0.10673 \pm 2.21\%$ (1 σ) για τα φωτόνια ενέργειας 609.22 keV, $0.06985 \pm 2.16\%$ (1 σ) για τα φωτόνια ενέργειας 1120 keV και $0.051267 \pm 2.1\%$ (1 σ) για τα φωτόνια ενέργειας 1764 keV.

5.3.1 Αποτελέσματα αναλύσεων για προσδιορισμό του ^7Be

Από τις δύο δειγματοληψίες που έγιναν ελήφθησαν: για την πρώτη τα φάσματα AC0061a και AC0061b (για τη διάταξη XtRa και τη διάταξη CSS αντίστοιχα), και για τη δεύτερη τα φάσματα AC0071a και AC0071b για μικρό χρόνο ανάλυσης (ανάλυση για θυγατρικά ραδονίου), και τα φάσματα AC0071c και AC0071d για μεγάλο χρόνο ανάλυσης (ανάλυση για ^7Be). Για λόγους ευκολίας χρησιμοποιήθηκε η ίδια κωδικοποίηση των φασμάτων που χρησιμοποιήθηκε και για τις μετρήσεις με τον ΑΣΔΣ (βλ. Κεφάλαιο 4).

Τα αποτελέσματα των αναλύσεων παρουσιάζονται στους πίνακες 5.6 – 5.7. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προκύπτει πως η συγκέντρωση του ^7Be είναι μια τάξη μεγέθους χαμηλότερη απ' αυτήν που ανιχνεύεται στις δειγματοληψίες με τον ΑΣΔΣ, για διαμέτρους αποκοπής $< 1 \mu\text{m}$ (στα στάδια 4, 5, 6), αλλά και στις μετρήσεις που γίνονται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ με χρήση φίλτρων, χωρίς ΑΣΔΣ ή ΔΑΣ.

Ενδεικτικά, οι τιμές της συγκέντρωσης του ^7Be για μετρήσεις με τον ΑΣΔΣ ήταν $\sim 3\text{-}4 \text{ mBq/m}^3$, ενώ για τις μετρήσεις με το ΔΑΣ ήταν $\sim 0.4 - 0.8 \text{ mBq/m}^3$. Οι χαμηλές συγκεντρώσεις έχουν ως συνέπεια υψηλές αβεβαιότητες, σε σχέση με τις αντίστοιχες μετρήσεις με τον ΑΣΔΣ, στα κατώτερα στάδια.

5.3.2 Αποτελέσματα αναλύσεων για προσδιορισμό θυγατρικών ραδονίου

Κατά τις αναλύσεις για προσδιορισμό της συγκέντρωσης θυγατρικών ραδονίου, λαμβάνονται υπόψη μόνο το φάσμα που λαμβάνονται από τη διάταξη XtRa. Καθώς τα θυγατρικά του ραδονίου εκπέμπουν κατά τη διάσπασή τους περισσότερα του ενός φωτονίου, η πιθανότητα απόρριψης φωτονίων από το σύστημα Compton Suppression

είναι υψηλή. Ως αποτέλεσμα, οι τιμές της ραδιενέργειάς τους που εκτιμώνται από το σύστημα CSS είναι χαμηλότερες από αυτές που εκτιμώνται από το σύστημα XiRa.

Η ανάλυση για προσδιορισμό των θυγατρικών του ραδονίου έγινε με μικρή διάρκεια (~ 2 ώρες). Τα αποτελέσματα των σχετικών αναλύσεων παρατίθενται στους πίνακες 5.7 – 5.8.

Από τα αποτελέσματα των αναλύσεων διαπιστώνεται ότι η συγκέντρωση των θυγατρικών του ραδονίου που ανιχνεύονται στο δείγμα είναι δύο τάξεις μεγέθους χαμηλότερη της συγκέντρωσης που φυσιολογικά αναμένεται στον ατμοσφαιρικό αέρα και είναι της τάξης των μερικών Bq/m³. Προκύπτει, επομένως, το συμπέρασμα ότι η αρχική εκτίμηση για πολύ χαμηλή απόδοση συλλογής θυγατρικών του ραδονίου με τον ΔΑΣ της Staplex επιβεβαιώνεται.

Τα αναλυτικά αποτελέσματα των αναλύσεων στη γ - φασματοσκοπία παρουσιάζονται στους πίνακες 5.7-5.10.

5.4 Μετρήσεις σε διάταξη α-φασματοσκοπικής ανάλυσης

5.4.1 Περιγραφή του πειράματος

Η διάταξη α-φασματοσκοπίας του ΕΠΤ-ΕΜΠ περιγράφεται στο Κεφάλαιο 2 (παρ. 2.3.3). Για τις μετρήσεις στην α-φασματοσκοπία διεξήχθη δειγματοληψία στην ταράτσα του ΕΠΤ-ΕΜΠ, με τα παρακάτω δεδομένα:

- Ημερομηνία: 30/08/12
- Διάρκεια: 1hr (13:05 – 14:05)
- Χρόνος μεταφοράς στον ανιχνευτή: 101 sec

- Παροχή: 1m³/h

Για την προετοιμασία της δειγματοληψίας, τη μέτρηση και τη συλλογή τους δείγματος ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω.

5.4.2 Μετρήσεις στην α-φασματοσκοπία

5.4.2.1 Βαθμονόμηση του ανιχνευτή

Αρχικά έγινε βαθμονόμηση της ανιχνευτικής διάταξης χρησιμοποιώντας πρότυπη πηγή, κατασκευασμένη με τη μέθοδο της ηλεκτραπόθεσης. Η πηγή περιέχει ²⁴¹Am (ενέργεια α-σωματιδίων 5485.56 keV), πλουτόνιο ^{239/240}Pu (ενέργεια α-σωματιδίων 5156.59 keV) και ²⁴⁴Cm (ενέργεια α-σωματιδίων 5804,82 keV). Η πηγή μετρήθηκε για διάστημα είκοσι λεπτών (1200sec) και έδωσε το φάσμα του σχήματος 5.11.

Κάθε κορυφή θα αντιστοιχεί στη χαρακτηριστική ενέργεια των α-σωματιδίων που εκπέμπονται, ξεκινώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά, από το ^{239/240}Pu, το ²⁴¹Am και το ²⁴⁴Cm. Συσχετίζοντας τον αριθμό του καναλιού όπου εμφανίζεται η κορυφή, με τη χαρακτηριστική ενέργεια των α-σωματιδίων, λαμβάνεται (με γραμμική παρεμβολή) η συνάρτηση ενεργειακής βαθμονόμησης:

$$E=9.3908 \times \text{Channel} + 3613.6 \quad (\text{σχέση } 5.4.1)$$

5.4.2.2 Μέτρηση υποστρώματος

Έχοντας πραγματοποιήσει τη βαθμονόμηση της ανιχνευτικής διάταξης, το επόμενο βήμα είναι η μέτρηση του υποστρώματος. Το πλακίδιο από Al τοποθετείται στον ανιχνευτή αφού πρώτα έχει καθαρισθεί ενδελεχώς, προκειμένου να μην υπάρχουν υπολείμματα λαδιού ή υπολείμματα δείγματος από προηγούμενες

μετρήσεις. Η μέτρηση του υποστρώματος πραγματοποιείται πριν από τη δειγματοληψία και είναι κρίσιμη, προκειμένου να γνωρίζουμε αν η συγκέντρωση ραδιενέργειας που προκύπτει από τη μέτρηση, οφείλεται στο δείγμα, το δίσκο συλλογής ή κάποιον άλλο εξωτερικό παράγοντα (πχ. υλικό ανιχνευτή).

Από τη μέτρηση του υποστρώματος, για χρονικό διάστημα δύο ωρών (7200sec) λαμβάνεται το φάσμα του σχήματος 5.12, από το οποίο διαπιστώνεται ότι η ραδιενέργεια του υποστρώματος είναι αμελητέα.

5.4.2.3 Μέτρηση δείγματος

Αφού έχει γίνει η βαθμονόμηση και τη μέτρηση του υποστρώματος, μπορεί να ακολουθήσει η ανάλυση του δείγματος (πλακιδίου από Al) που προκύπτει κατά τη δειγματοληψία. Καθώς τα θυγατρικά του ραδονίου που προσδιορίζονται είναι βραχύβια, η μεταφορά του δείγματος στον ανιχνευτή πρέπει να γίνει με ταχύτητα. Επιπλέον, η χρονική διάρκεια της μέτρησης δεν έχει νόημα είναι μεγάλης διάρκειας. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται σε δύο ώρες (7200sec). Το φάσμα που προκύπτει παρατίθεται στο σχήμα 5.13.

5.4.3 Ερμηνεία και αξιολόγηση των μετρήσεων

Στο φάσμα του σχήματος 5.13 παρατηρείται ότι δεν εμφανίζονται α -κορυφές με σαφή τρόπο. Αυτό οφείλεται στις σκεδάσεις που υφίστανται τα α -σωματίδια του δείγματος με τα μόρια του λαδιού με το οποίο είναι επιχρισμένος ο δίσκος συλλογής. Αποτέλεσμα αυτών των σκεδάσεων είναι τα α -σωματίδια του δείγματός μας να μην καταφέρνουν να εναποθέσουν όλη την ενέργειά τους στον ανιχνευτή και συνεπώς να παράγεται η μορφή του φάσματος που φαίνεται παραπάνω. Το φάσμα αυτό αποτελεί

τυπική μορφή φάσματος α-φασματοσκοπίας, για πηγή χαμηλής ποιότητας, δεδομένης της μικρής διεισδυτικότητας των α-σωματιδίων.

Η μέτρηση του δείγματος στον α-ανιχνευτή γίνεται με στόχο τον εντοπισμό των θυγατρικών του ραδονίου. Το ραδόνιο ανήκει στη ραδιενεργό σειρά του ^{226}Ra (σχήμα 5.14). Τα θυγατρικά του ραδονίου ^{222}Rn που πραγματοποιούν α-διασπάσεις και δύναται να ανιχνευθούν, είναι τα ισότοπα του πολωνίου ^{218}Po , ^{214}Po και ^{210}Po . Η ενέργεια των α-σωματιδίων που εκπέμπονται από τα ισότοπα του πολωνίου φαίνεται στον πίνακα 5.9.

Το ^{214}Po έχει πολύ μικρό χρόνο ημιζωής, ωστόσο επειδή προκύπτει από τη β-διάσπαση του βισμούθιου ^{214}Bi με χρόνο ημιζωής 19,7 λεπτά, θα είναι ανιχνεύσιμο για περίπου δύο ώρες.

Από το δοθέν φάσμα, προκύπτει ότι η υψηλότερη κορυφή βρίσκεται στο κανάλι 435. Από τη συνάρτηση ενεργειακής βαθμονόμησης (τύπος 5.4.1) προκύπτει:

$$E=9,3908 \times 435 + 3613,6 = 7698,6 \text{ keV}$$

Από τον πίνακα 5.9, επαληθεύεται ότι η κορυφή αυτή αντιστοιχεί στην ενέργεια της α-διάσπασης του ^{214}Po . Πιθανόν, στο φάσμα να υπάρχουν και οι ενέργειες που αντιστοιχούν στα υπόλοιπα ισότοπα του πολωνίου, ωστόσο δε διακρίνονται οι αντίστοιχες κορυφές, από το συνεχές φάσμα.

Για να προσδιορίσουμε τη συγκέντρωση της ραδιενέργειας θυγατρικών του ραδονίου στο δείγμα θα έπρεπε να είναι γνωστή η απόδοση του ανιχνευτή, κάτι που δεν αποτελεί αντικείμενο της παρούσας εργασίας. Άλλωστε, τέτοιου είδους βαθμονόμηση για το είδος της πηγής σωματιδίων-α που αναλύεται είναι μία διαδικασία που έχει αρκετές δυσκολίες, ή είναι και αδύνατη. Πάντως πρέπει να επισημανθεί ότι και η ίδια η μορφή του φάσματος δε μας το επιτρέπει.

5.5 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις

Οι μετρήσεις με το ΔΑΣ της Staplex που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας Δ. Ε. μας δείχνουν ότι η χρήση του συγκεκριμένου συλλέκτη, ενδείκνυται για ποιοτική καταγραφή αποτελεσμάτων και όχι για ενδελεχή ανάλυση της συγκέντρωσης ραδιοϊσοτόπων στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ. Από τη θεωρία μάλιστα είναι γνωστό ότι η απόδοση συλλογής του ΔΑΣ είναι μεγάλη για αεροζόλ μεγάλης διαμέτρου (πχ. σκόνες πλουτωνίου - βλ. 5.1.1).

Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι ο ΔΑΣ μας χρησιμεύει, κυρίως, στο να διαπιστώσουμε ποιοτικά, κάνοντας σύντομες δειγματοληψίες, εάν η συγκέντρωση κάποιου ραδιενεργού ρυπαντή που βρίσκεται σε μορφή σκόνης (πχ. πλουτώνιο, ουράνιο) κυμαίνεται σε επίπεδα άνω ενός ορίου επικινδυνότητας (πχ. σε εργοστάσια επεξεργασίας πυρηνικού καυσίμου για εντοπισμό διαρροής).

Για τη συγκεκριμένη χρήση, το γεγονός ότι δε συλλέγονται θυγατρικά ραδονίου, που πιθανά να ανιχνεύονταν στο δείγμα σε σημαντική ποσότητα, είναι θετικό, καθώς αυτό επιτρέπει καλύτερη εικόνα για την πηγή της ρύπανσης και μάλιστα πολύ σύντομα μετά τη δειγματοληψία.

Πίνακες 5^{οο} κεφαλαίου

Ρυπαντής	Αριθμός Δειγμάτων	Μέση Απόδοση	Τυπική Απόκλιση
Πλουτόνιο	15	93.4%	6.5
Προϊόντα σχάσης	18	91.8%	10
Θυγατρικά Ραδονίου	89	1.7%	1.2

Πίνακας 5.1 Απόδοση συλλογής του ΔΑΣ για διάφορους ρυπαντές (Hoy & Croley, 1957)

α/α δειγματοληψίας	Ημ/νι α	Ωρα έναρξης	Ωρα λήξης	Qενδ (m ³ /min)	Qπραγμ (m ³ /min)	Καθυστέρηση (sec)
Δειγματοληψία 6	21/06/12	14:37	15:37	1.15	1.02	125
Δειγματοληψία 7	13/07/12	12:13	14:13	1.05	0.95	112

Πίνακας 5.2 Δειγματοληψίες με το ΔΑΣ του ΕΠΤ-ΕΜΠ, επί δίσκου ΑΙ, για μετρήσεις στη γ-φασματοσκοπία

α/α φάσματος	Ανιχνευτική διάταξη	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
AC0061a	XtRa	8.72E-04	91.7
AC0061b	CSS	6.44E-04	70.8

Πίνακας 5.3 Μετρήσεις για ⁷Be, για τη δειγματοληψία 6 στον ανιχνευτή XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ (με διάταξη CSS)

α/α φάσματος	Ανιχνευτική διάταξη	Ραδιενέργεια XtRa (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα XtRa (%)
AC0071c	XtRa	5.26E-04	82.9
AC0071d	CSS	4.30E-04	62.9

Πίνακας 5.4 Μετρήσεις για ⁷Be, για τη δειγματοληψία 7 στον ανιχνευτή XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ (με διάταξη CSS)

T _{ανίχνευσης} : 7412 sec, α/α φάσματος: AC0071a				
Ισότοπο	Ενέργεια φωτονίου (keV)	Ρυθμός Καταμέτρησης (cpm)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
²¹⁴ Pb	295.22	1.6	6.80E-03	29.8
	351.99	3.29	8.24E-03	14.5
²¹⁴ Bi	609.32	4.04	1.21E-02	11.2
	1120.28	1.01	1.40E-02	28.3
	1765.4	Δεν ανιχνεύεται		

Πίνακας 5.5 Μετρήσεις για θυγατρικά ραδονίου, για τη δειγματοληψία 7, στην ανιχνευτική διάταξη XtRa του ΕΠΤ-ΕΜΠ

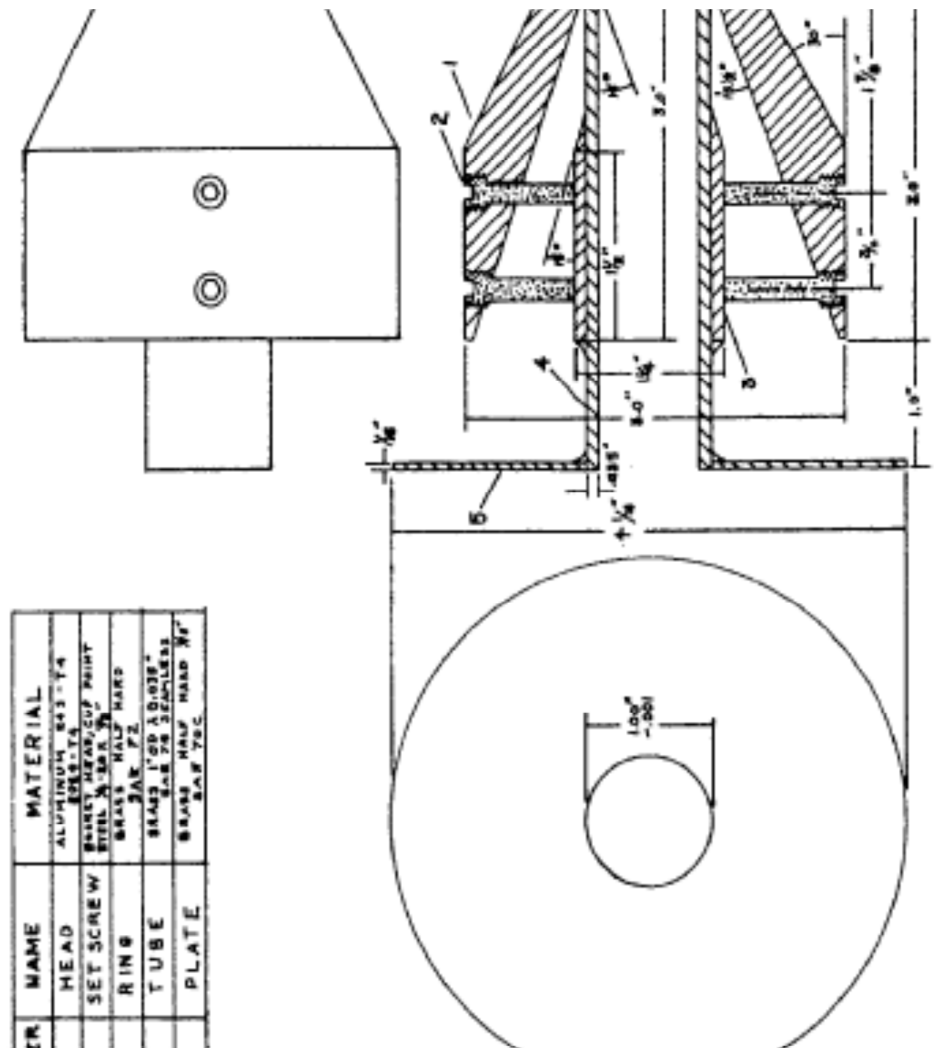
T _{ανίχνευσης} : 7438 sec, α/α φάσματος: AC0071b				
Ισότοπο	Ενέργεια φωτονίου (keV)	Ρυθμός Καταμέτρησης (cpm)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
²¹⁴ Pb	295.22	1.49	1.14E-03	22.7
	351.99	3.19	1.26E-03	11.1
²¹⁴ Bi	609.32	1.79	5.66E-02	16.1
	1120.28	5.63	5.47E-02	26.2
	1765.4	1.06	9.72E-04	16.9

Πίνακας 5.6 Μετρήσεις για θυγατρικά ραδονίου, για τη δειγματοληψία 7, στην ανιχνευτική διάταξη CSS του ΕΠΤ-ΕΜΠ

Ισότοπο	Χρόνος ημιζωής	Ενέργεια α-σωματιδίων
²¹⁸ Po	3.1 min	6062 keV
²¹⁴ Po	164.3 μsec	7686.82 keV
²¹⁰ Po	138 days	5304 keV

Πίνακας 5.7 Ισότοπα Πολωνίου (Po)

Σχήματα 5^{οο} κεφαλαίου



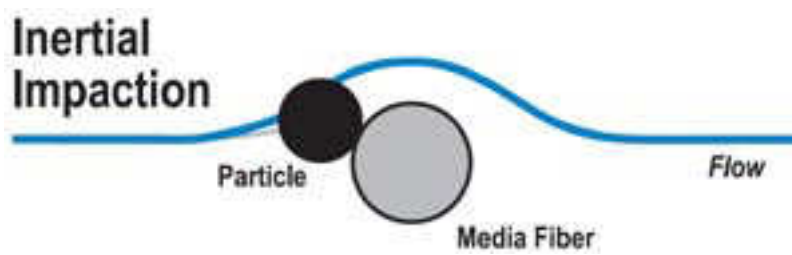
Σχήμα 5-1 Σκαρίφωμα του ΔΑΣ της Starplex που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα των Hoy & Croley



Σχήμα 5-2 Ο ΔΑΣ της Staplex του ΕΠΤ-ΕΜΠ



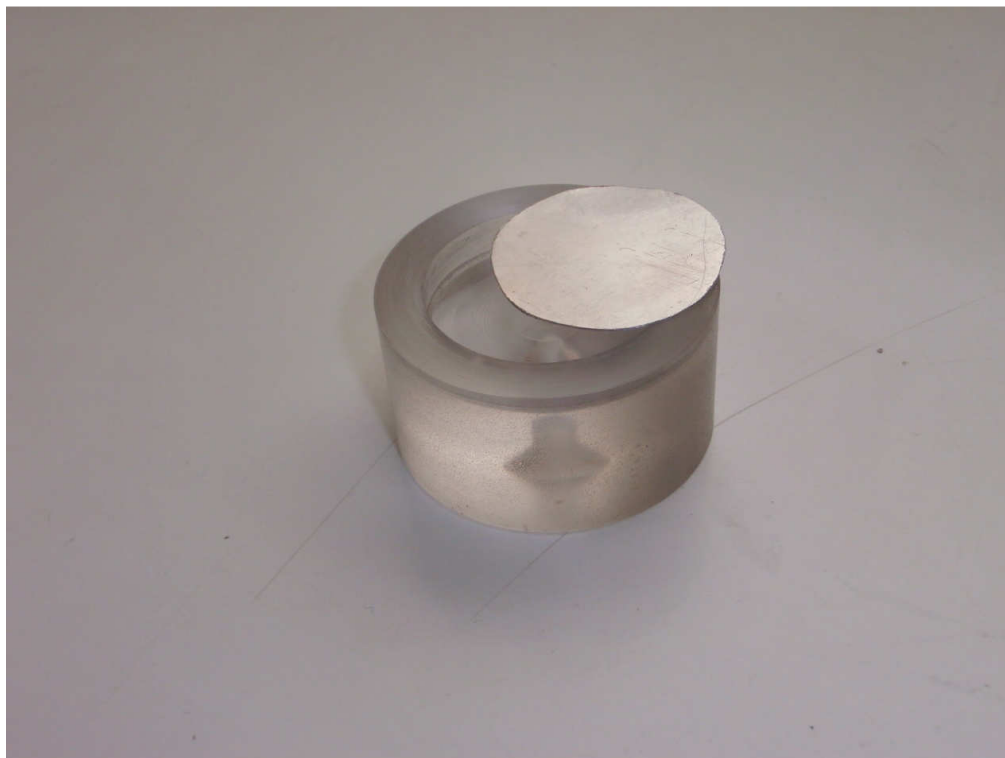
Σχήμα 5-3 Η φορητή αντλία της Staplex TFIA-2/22862N, του ΕΠΤ-ΕΜΠ



Σχήμα 5-4 Μηχανισμός αδρανειακής απόθεσης



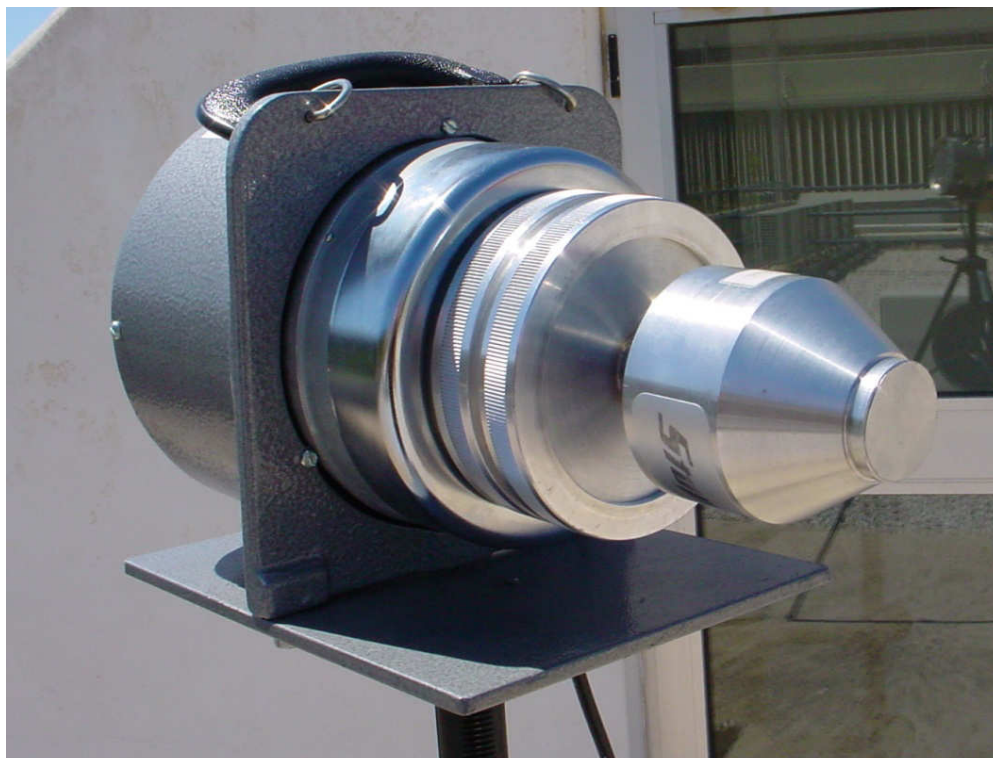
Σχήμα 5-5 Δίσκος συλλογής από Al, με δακτυλιοειδή γεωμετρία δείγματος



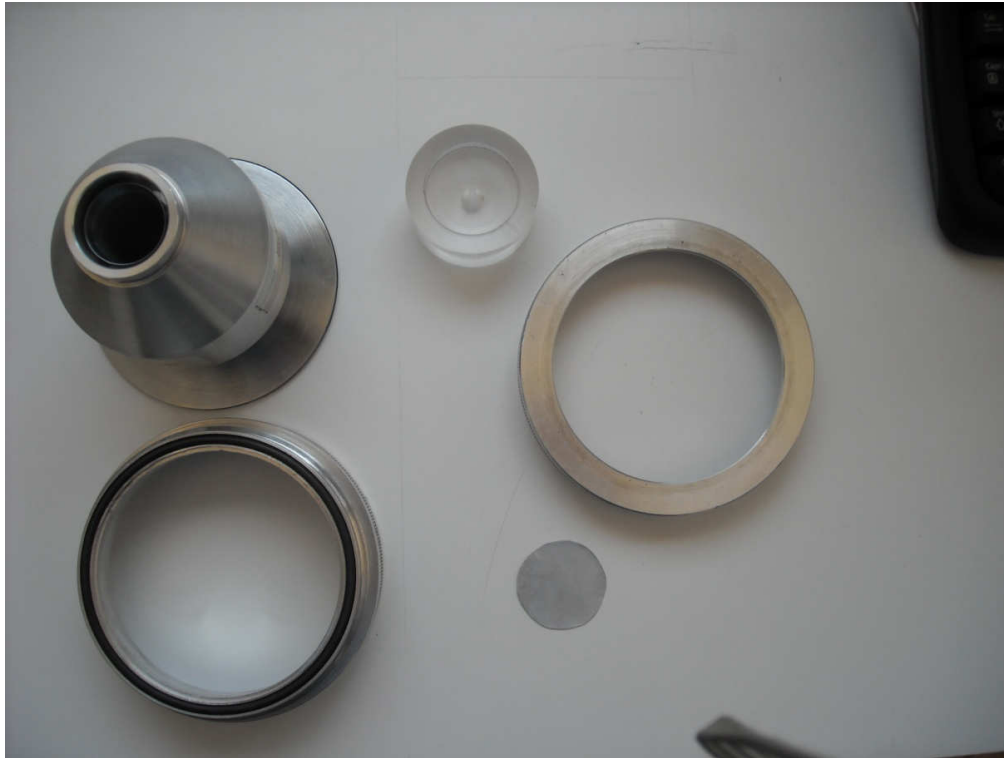
Σχήμα 5-6 Καπάκι από plexi glass μαζί με το δίσκο από Al



Σχήμα 5-7 Ο ΔΑΣ προσαρμοσμένος στην αντλία



Σχήμα 5-8 Δειγματοληψία δίχως τη χρήση καπακιού

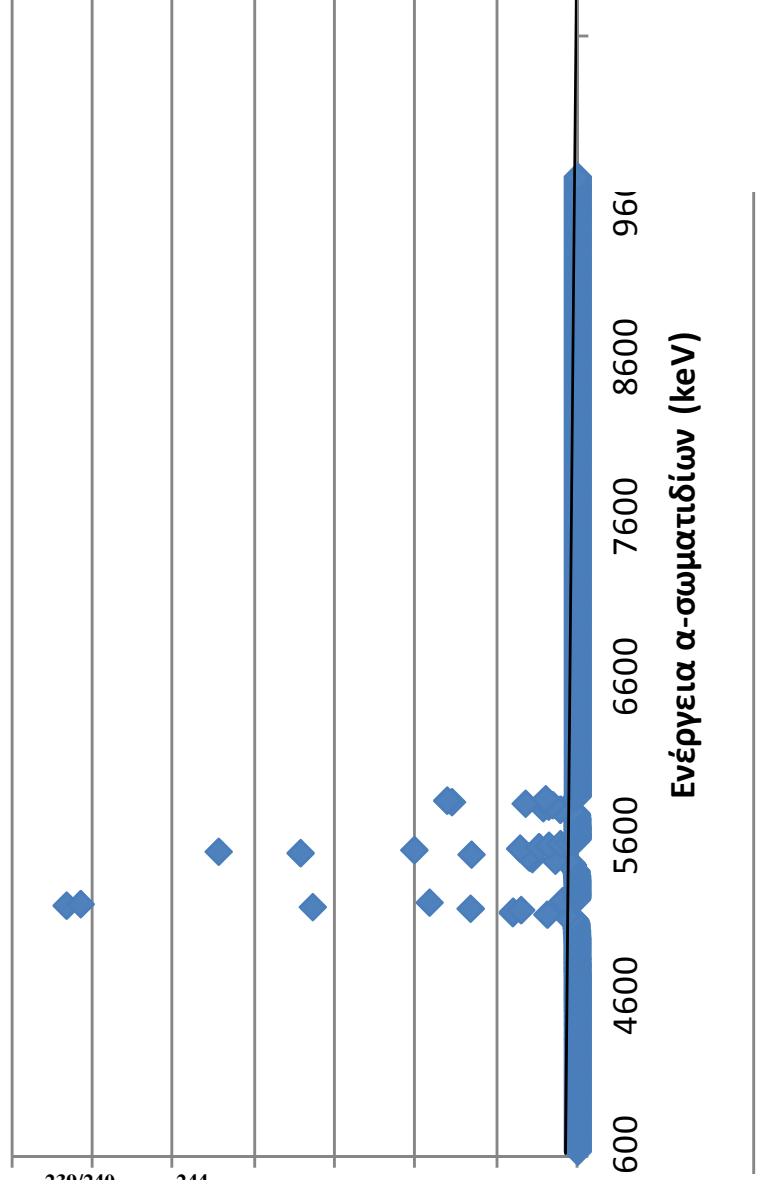


Σχήμα 5-9 ΔΑΣ του ΕΠΤ-ΕΜΠ, καπάκι, δίσκος συλλογής και δίσκος σύσφιξης



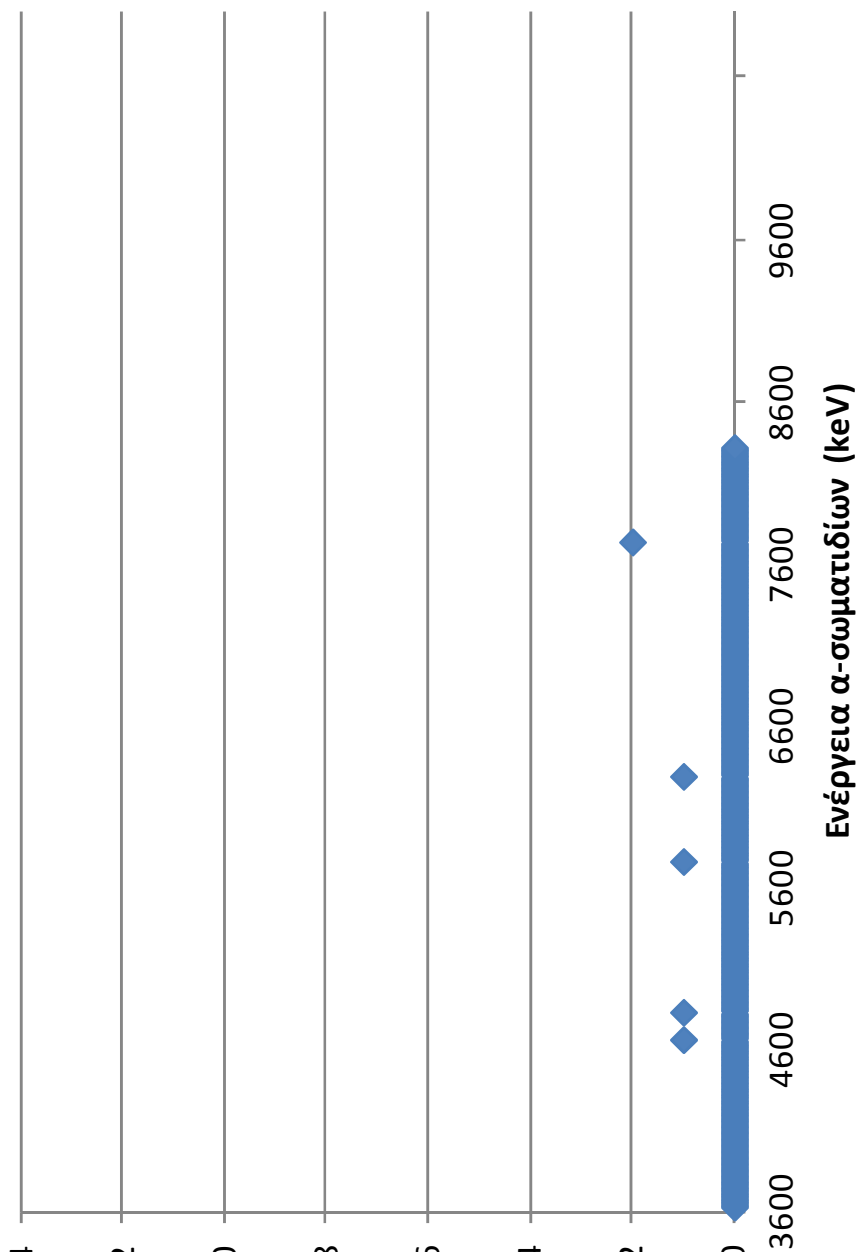
Σχήμα 5-10 Ένδειξη παροχής στο οπίσθιο μέρος της αντλίας

Φάσμα Πηγής



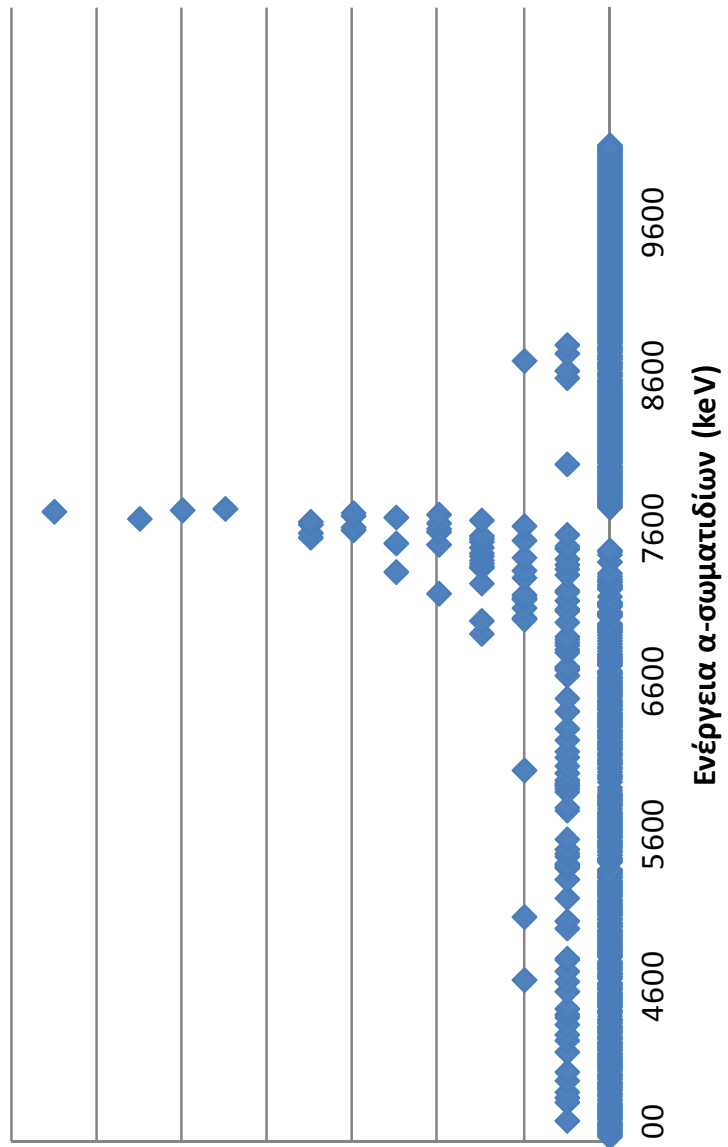
Σχήμα 5-11 Φάσμα πηγής από ^{241}Am , $^{239/240}\text{Pu}$, ^{244}Cm

Μέτρηση Υποστρώματος



Σχήμα 5-12 Μέτρηση υποστρώματος δίσκου Al

Φάσμα δείγματος ΔΑΣ



Σχήμα 5-13 Φάσμα δείγματος επί δίσκου Al, στην α-φασματοσκοπία

6 Συμπεράσματα της ΔΕ και μελλοντικά βήματα

6.1 Συμπεράσματα από τις μετρήσεις με τον ΑΣΔΣ και το ΔΑΣ στο

ΕΠΤ - ΕΜΠ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται μια σύνοψη της ΔΕ, με έμφαση στα βασικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις μετρήσεις με τον Αδρανειακό Συλλέκτη Διαδοχικών Σταδίων και το Δακτυλιοειδή Αδρανειακό Συλλέκτη του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Εν συνεχεία, διατυπώνονται προτάσεις για μελλοντικές εργασίες.

Βασικός στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να τεθούν σε λειτουργία οι παραπάνω δύο συλλέκτες, καθώς και να παγιωθεί μιας διαδικασίας δειγματοληψίας με χρήση των συλλεκτών, για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης ραδιενεργών ιχνοστοιχείων στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ. Η εργασία εστίασε στον προσδιορισμό των ισοτόπων φυσικής ραδιενέργειας ^7Be και των θυγατρικών του ραδονίου, τα οποία ανιχνεύονται συνεχώς στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ. Εξυπακούεται ότι οι τεχνικές που αναπτύχθηκαν μπορούν πολύ εύκολα να εφαρμοσθούν για την ανίχνευση και τον προσδιορισμό και τεχνητών ραδιενεργών ισοτόπων στον αέρα σε περίπτωση πυρηνικού ή ραδιολογικού ατυχήματος. Οι συσκευές αυτές δεν είχαν τεθεί σε χρήση παλαιότερα στο ΕΠΤ-ΕΜΠ κι έτσι η εξεύρεση της βέλτιστης δυνατής διαδικασίας για την εκτέλεση δειγματοληψιών με τους δύο αυτούς συλλέκτες, έγινε με βάση τη βιβλιογραφία, τους διαθέσιμους πόρους, τη δοκιμή και το σφάλμα.

Η διαδικασία που παγιώθηκε για τις δειγματοληψίες με τον ΑΣΔΣ του ΕΠΤ-ΕΜΠ περιλαμβάνει τη χρησιμοποίηση λωρίδων από φίλτρα glass-fiber 80"x10", τα οποία διατίθενται στο ΕΠΤ-ΕΜΠ. Οι λωρίδες, οι οποίες έχουν μήκους 14 cm και

πλάτους 0.7 cm, ζυγίζονται ανά δεκάδα (μια δεκάδα αντιστοιχεί σε κάθε στάδιο του ΑΣΔΣ) και τοποθετούνται με προσοχή στα διάφορα στάδια του συλλέκτη. Η φασματοσκοπική ανάλυση των λωρίδων glass-fiber γίνεται με συσκευασία τους σε κατάλληλη γεωμετρία η οποία προτείνεται. Η διαδικασία αυτή προκρίθηκε σε σχέση με άλλες γεωμετρίες φίλτρων που δοκιμάστηκαν, κυρίως λόγω του μικρότερου χρόνου προετοιμασίας, της ευκολίας στη ζύγιση και την επίτευξη κατάλληλης γεωμετρίας για την ανίχνευση καθώς και τη μεγαλύτερη οικονομία σε φίλτρα.

Για τις δειγματοληψίες έγινε χρήση της αντλίας DH-50810E της F&J, που είναι μόνιμα τοποθετημένη στο δώμα του ΕΠΤ-ΕΜΠ. Με χρήση της συγκεκριμένης αντλίας και δειγματοληψίες με μεγάλη (> 800 SLPM) και μεσαία (~ 500 SLPM) παροχή, παρατηρήθηκε ότι επιτυγχάνονται μέσα στον ΑΣΔΣ τιμές του αριθμού Reynolds από 768 έως 1380, που κινούνται εντός των ιδανικών ορίων (500 – 3000) για ικανοποιητική απόδοση συλλογής του συλλέκτη. Παράλληλα, για τις δειγματοληψίες αυτές βρέθηκε ότι οι διάμετροι αποκοπής κυμαίνονται από 7.98 μm έως 10.74 μm στο πρώτο στάδιο και από 0.24 μm έως 0.43 μm στο τελευταίο (έκτο) στάδιο.

Για τις μετρήσεις συγκέντρωσης ^7Be στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ με χρήση του ΑΣΔΣ, παρατηρήθηκε ότι παίζει σημαντικό ρόλο η ρύθμιση της παροχής της αντλίας αναρρόφησης αέρα. Γενικά, το ^7Be αναμένεται να ανιχνεύεται κυρίως στα κατώτερα στάδια της συσκευής (τάξη μεγέθους διαμέτρου σωματιδίων < 1 μm). Παρατηρήθηκε, λοιπόν, ότι για τη μεγαλύτερη παροχή (> 800 SLPM) έχουμε μικρότερη κοκκομετρία σε κάθε στάδιο, άρα και στα κατώτερα στάδια, κι επομένως αυξημένη συγκέντρωση του ^7Be στα στάδια αυτά, οπότε η μεγαλύτερη παροχή είναι προτιμότερη της μεσαίας (~500 SLPM).

Από τις αναλύσεις στη γ-φασματοσκοπία, παρατηρήθηκε ότι η συνολική συγκέντρωση του ^7Be για τις μετρήσεις μας (αθροιστικά σε όλα τα στάδια του ΑΣΔΣ) κυμαίνεται περί τα 3.62 mBq/m^3 κάτι που είναι απολύτως συμβατό με προηγούμενες μετρήσεις που έχουν γίνει στο ΕΠΤ-ΕΜΠ, με χρήση φίλτρων για συλλογή του συνόλου του ατμοσφαιρικού αεροζόλ. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι στα τρία πρώτα στάδια του συλλέκτη συλλέγεται το 0~5% της συνολικής συγκέντρωσης ^7Be στο τέταρτο το 5~12%, στο πέμπτο το 25~35% και στο έκτο το 50~70%, κάτι που επιβεβαιώνει τις αρχικές μας εκτιμήσεις. Όσον αφορά στην αβεβαιότητα των μετρήσεων, αυτή κυμαίνεται ανάλογα με το στάδιο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο τελευταίο στάδιο, όπου εμφανίζεται η υψηλότερη τιμή συγκέντρωσης του ^7Be , η αβεβαιότητα (1σ) κυμάνθηκε από 2.4% έως 11% (για τη διάταξη XtRa) και από 2.0% έως 7.4% (για τη διάταξη CSS). Αντίστοιχα, στο υψηλότερο στάδιο η αβεβαιότητα κυμάνθηκε από 31.5% έως 120.3% (στη διάταξη XtRa) κι από 23.1% έως 78.4% (στη διάταξη CSS). Συνολικά, παρατηρήθηκε ότι οι μετρήσεις με χρήση της διάταξης CSS δίνουν μικρότερη αβεβαιότητα σε σύγκριση με τη διάταξη XtRA. Παρατηρήθηκε, επιπλέον, ότι η αβεβαιότητα, αφενός αυξάνει καθώς προχωράμε από τα κατώτερα στα ανώτερα στάδια κι αφετέρου είναι συνάρτηση της ποσότητας αεροζόλ που έχει συλλεχθεί, η οποία φυσικά εξαρτάται και από τη διάρκεια δειγματοληψίας.

Με ζύγιση των λωρίδων glass-fiber, πριν και μετά τη δειγματοληψία, εκτιμάται η συλλεχθείσα μάζα αεροζόλ σε κάθε στάδιο και μπορεί πλέον να εκτιμηθεί η συγκέντρωση ^7Be ανά μονάδα μάζας αεροζόλ, σε κάθε στάδιο. Η συλλεχθείσα μάζα ανά στάδιο κυμάνθηκε από 0.0013 g έως 0.018 g. Εν προκειμένω, φαίνεται ότι η συγκέντρωση του ^7Be ανά μάζα συλλεχθέντος αεροζόλ αυξάνεται από τα πρώτα προς

τα τελευταία στάδια, κατ' αντιστοιχία της συγκέντρωσης του ^7Be κατ' όγκο ατμοσφαιρικού αέρα, κυμαινόμενη από μη ανιχνεύσιμη ως 47.6 Bq/g στα τρία πρώτα στάδια και από 591.54 Bq/g έως 1025.74 Bq/g στα τρία τελευταία (για αναλύσεις στη διάταξη CSS).

Αναφορικά με τον ΔΑΣ, η διαδικασία που παγιώθηκε για δειγματοληψίες περιλαμβάνει τη χρήση αλουμινένιου δίσκου διαμέτρου 3 cm και πάχους 1 mm. Ο δίσκος αυτός τοποθετείται εντός ιδιοκατασκευής από plexi glass (καπάκι), κυλινδρικής διαμόρφωσης. Ο δίσκος Al πρέπει να επιχρίζεται με λάδι σιλικόνης σε όλη του την επιφάνεια και να καθαρίζεται μετά το τέλος της δειγματοληψίας και της ανίχνευσης κι συνεπώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλο αριθμό δειγματοληψιών. Η χρήση του καπακιού δεν είναι απαραίτητη, καθώς ο δίσκος μένει κολλημένος στο εμπρόσθιο μέρος της συσκευής, όση ώρα διεξάγεται η δειγματοληψία, λόγω υποπίεσης, απαιτώντας, ωστόσο, μεγαλύτερη προσοχή κατά την τοποθέτηση του στη συσκευή μετά την εκκίνηση της αντλίας και την απομάκρυνσή του απ' αυτήν κατά τον τερματισμό της λειτουργίας της αντλίας.

Για τις δειγματοληψίες με το ΔΑΣ, παρατηρήθηκε ότι οδηγούν σε συγκέντρωση ^7Be μια τάξη μεγέθους χαμηλότερη, σε σύγκριση με την αναμενόμενη ή με αυτή που προκύπτει από τις δειγματοληψίες με τον ΑΣΔΣ. Αντίστοιχα η αβεβαιότητα κυμάνθηκε από 82,9% έως 91,7% στη διάταξη XtRa και 62,9% έως 70,8% στη διάταξη CSS. Αυτό είναι αναμενόμενο, καθότι ο ΔΑΣ δεν ενδείκνυται για δειγματοληψία λεπτόκοκκου αεροζόλ.

Παράλληλα, διαπιστώθηκε ότι στον δίσκο Al ανιχνεύονται θυγατρικά του ραδονίου, ωστόσο σε συγκέντρωση πολύ χαμηλότερη από την πραγματική (τάξη μεγέθους μερικών mBq/m^3 σε αντιδιαστολή με μερικά Bq/m^3 που είναι η

αναμενόμενη). Παρόλα αυτά, η υψηλή αβεβαιότητα των μετρήσεων, σημαίνει πως τα αποτελέσματα που προέκυψαν δεν μπορούν να θεωρηθούν αντιπροσωπευτικά της πραγματικής συγκέντρωσης του ^7Be και των θυγατρικών του ραδονίου, στο δείγμα μας. Οι παρατηρήσεις αυτές επιβεβαιώνουν την αρχική εκτίμηση που προκύπτει με βάση τη βιβλιογραφία, ότι η συγκεκριμένη συσκευή ενδείκνυται για την ανίχνευση ραδιενεργών ισοτόπων στο χονδρόκοκκο (coarse) αεροζόλ όπως πχ. ουράνιο, σκόνες πλουτωνίου κλπ.

Συμπερασματικά, ο ΑΣΔΣ ενδείκνυται για πιο ενδεδειγμένες αναλύσεις του ατμοσφαιρικού αεροζόλ και τη μελέτη της κατανομής της συγκέντρωσης διάφορων ραδιοϊσοτόπων, στα διάφορα μεγέθη σωματιδίων του αεροζόλ. Αντίθετα ο ΔΑΣ, ενδείκνυται για ποιοτικές μετρήσεις, οι οποίες αποσκοπούν κυρίως στον άμεσο προσδιορισμό της ύπαρξης ή όχι συγκεκριμένων ραδιοϊσοτόπων (πχ. ουράνιο ή πλουτόνιο) στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ. Γι' αυτό το λόγο δεν ενδείκνυται για μετρήσεις συγκέντρωσης ^7Be ή θυγατρικών του ραδονίου στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα Δ.Ε. οδήγησε στην παγίωση συγκεκριμένης διαδικασίας για δειγματοληψία ραδιενεργού αεροζόλ με χρήση των δύο συσκευών αυτών, η οποία οδηγεί σε αξιόλογα αποτελέσματα. Η εργασία αυτή θα μπορούσε να συνεχιστεί στο μέλλον με δειγματοληψίες σε διαφορετικές περιοχές παροχών, από μικρές (< 500 SLPM) έως πολύ υψηλές παροχές (> 1000 SLPM). Δειγματοληψίες σε διαφορετικές περιοχές παροχών, οδηγούν σε διαφορετική κοκκομετρία κι άρα μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της συσχέτισης διαφόρων ραδιοϊσοτόπων με διαφορετικά μεγέθη αιωρούμενων σωματιδίων.

Επίσης θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν οι δύο συλλέκτες για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης διαφορετικών ραδιοϊσοτόπων, καθώς και σε πληθώρα κλιματολογικών κι ατμοσφαιρικών συνθηκών, σε αστικό αλλά και υπαίθριο περιβάλλον με χρήση φορητής αντλίας, στην οποία μπορεί να τοποθετηθεί ο ΑΣΔΣ με χρήση κατάλληλου υποδοχέα.

Παράλληλα, ο ΑΣΔΣ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για δειγματοληψίες στην ίδια γεωγραφική περιοχή άλλα σε διαφορετικά σημεία και σε διαδοχικές μέρες, όπου αναμένεται η ίδια συγκέντρωση κάποιου ραδιοϊσοτόπου (πχ. ^7Be) στην ατμόσφαιρα. Η μελέτη της συγκέντρωσης του ^7Be στο ατμοσφαιρικό αεροζόλ, κατ' αυτόν τον τρόπο, μπορεί να δώσει πληροφορία για την προέλευση του αεροζόλ και την ύπαρξη διαφόρων πηγών αεροζόλ, οφειλόμενων σε ανθρώπινες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, σκόνη από επιφανειακό έδαφος αναμένεται να έχει πολύ υψηλότερη συγκέντρωση ^7Be από σκόνη που προέρχεται από βιομηχανικές διεργασίες

Από την άλλη, οι δύο συλλέκτες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για δειγματοληψίες σε κλειστούς χώρους, είτε για φυσιολογικές είτε για έκτακτες συνθήκες. Στην περίπτωση αυτή, ο ΑΣΔΣ θα έπρεπε να προσαρμοσθεί σε φορητή αντλία δειγματοληψίας, κάτι το οποίο είναι δυνατόν με χρήση κατάλληλου υποδοχέα.

Τέλος, θα μπορούσε να διερευνηθεί η κοκκομετρία του αεροζόλ που συλλέγεται σε κάθε στάδιο στον ΑΣΔΣ ή στο δίσκο συλλογής του ΔΑΣ, με χρήση τεχνικών μικροσκοπίας. Τα αποτελέσματα μιας τέτοιας έρευνας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συγκριθούν οι τιμές της διαμέτρου αποκοπής που προσδιορίστηκαν με τη χρήση αριθμητικής μεθόδου στο πλαίσιο της παρούσας Δ.Ε.

Βιβλιογραφία

1. ACGIH, “*Air Sampling Instruments*”, 7th edition, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, Ohio (1989)
2. Andersen A.A., “*New Sampler for the Collection, Sizing and Enumeration of Viable Airborne Particles*”, *Journal of Bacteriology*, Vol.76, 471-484 (1958)
3. Air Pollution Training Institute, “*Course 435, Atmospheric Sampling*”, Environmental Protection Agency, (1980)
4. Bondietti E.A., Hoffman F.O., Larsen I.L., “*Air-to-vegetation transfer rates of natural sub-micron aerosols*”, *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 1, (1984)
5. Bondietti E.A., Papastefanou C., Rangarajan., “*Aerodynamic Size with Ambient Aerosols*”, *ASC Symposium Series 331*, Washington DC, 377-397 (1987)
6. Brink J.A., “*Cascade Impactor for Adiabatic Measurements*”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol.50, 645-648 (1958)
7. Burger P., de Backer K. and Schoenmaeckers W., 2nd. International Symposium on Optical and Electro-Optical Science and Engineering. Nov. 25-29 and Dec. 2-6, 1985, Cannes, France
8. Davies C.N., “*Definitive equations for the fluid resistance of spheres*”, *Proceedings of the Physical Society*, London, vol.57, pt.4, 259-270 (1945)
9. Forsythe, W.E., “*Smithsonian Physical Tables (9th Revised Edition)*”, Knovel, (2003).
10. Gilmore G., Hemingway J., “*Practical Gamma Ray Spectrometry*” John Wiley & Sons, Chichester (1995)
11. Gregory J.C., “*Atmospheric radioactive isotopes at orbital altitudes*”, *Radiation Measurements*, Vol. 26, No. 6, 841-850, (1996)
12. Gussman R.A. and Gordon D., “*Notes on the Modification and Use of a Cascade Impactor for Sampling in Ducts*”, *Journal of American Industrial Hygiene Association*, Vol.27, 252-255, (1966)
13. Hinds W.C., “*Aerosol Technology*”, John Wiley & Sons, (1982)
14. Hoy J.E. and Croley J.J., “*Annular Kinetic Impactor*”, E.I. du Pont de Nemours and Co. Report – Atomic Energy Division, Savannah River Plant, (1957)

15. Ioannidou A., "Activity size distribution of ^{7}Be in association with trace metals, in the urban area of the city of Thessaloniki, Greece, Atmospheric Environment, Vol. 45, 1286 – 1290, 2010
16. Kusnetz H.L., "*Inertial Collectors in Air Sampling Instruments, 2nd Edition*", ACGIH, Cincinnati, Ohio (1962)
17. L' Annunziata M.F., "*Handbook of Radioactivity Analysis*", Academic Press, San Diego, 1998
18. Lal D. & Peters D., "*On the production of radioisotopes in the atmosphere by cosmic radiation and their application to meteorology*", Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics, Vol.12, 306-328 (1958)
19. Laskin S., "*Measurement of Particle Size, in Pharmacology and Toxicology of Uranium Compounds*", edited by C. Voegtlin, and H.C. Hodge, McGraw Hill Book Co., New York (1949)
20. Löffler F., "*The Adhesion of Dust Particles to Fibrous and Particulate Surfaces*", Staub 28-29 (1968)
21. MacDonald J.R., "*Are the Data Worth Owning*" Science 176 (4042):1377 (1972)
22. Marple V.A. and Liu B.Y.H., "*On fluid flow and aerosol impaction in inertial impactors*", Journal of Colloid and Interface Science, Vol.53, 31-34 (1975)
23. Marple V.A. and Willeke K., "*Impactor Design*", Atmospheric Environment, Vol. 10, 891-896 (1976)
24. Marple V.A., "*History of Cascade Impactors – The first 110 years*", Aerosol Science and technology, Vol.38, 247-292 (2004)
25. Marple V.A., and Liu B.Y.H., "*Characteristics of laminar jet impactors*", Environmental Science and Technology, Vol.8, 648-654 (1974)
26. Martell E.A., "*Transport Patterns and Residence Times for Atmospheric Trace Constituents vs Altitude*", Radionuclides in the Environment, Advanced Chemical Series, Series 93, 138-157, American Chemical Society, Washington DC, (1970)
27. May K. R., "*The cascade impactor: an instrument for sampling coarse aerosols*", Journal of Scientific Instruments, Vol. 22, 187-195 (1945)
28. McFarland A.R, Wedding J.B., and Cermack J.E., "*Wind Tunnel Evaluation of a Modified Andersen Impactor and an All Weather Sampler Inlet*", Atmospheric Environment, Vol. 11, 535-539 (1977)

29. Mitchell R.I., and Pilcher J.M., "Improved Cascade Impactor for Measuring Aerosol Particles Sizes in Air Pollutants, Commercial Aerosols and Cigarette Smoke, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Vol. 51, 1039-1042, (1959)
30. Papandreou S.M.A., Savva M.I., Karfopoulos K.L., Karangelos D. J., Anagnostakis M.J., Simopoulos S.E., "*Monitoring of ⁷Be atmospheric activity concentrations using short-term measurements*", *Nuclear Technology and Radiological Protection*, Vol. 26, 101-109 (2011)
31. Papastefanou & Bondietti, "*Radon Daughter Aerosols in Ambient Air*", *The Science of the Total Environment*, 69-82 (1988)
32. Papastefanou C., "*Beryllium-7 Aerosols in Ambient Air*", *Aerosol and Air Quality Research*, Vol. 9, No. 2, 187-197, (2009)
33. Pilat M.J., Ensor D.S., and Bosch J.C., "*Source Test Cascade Impactor*", *Atmospheric Environment*, Vol. 4, 671-679 (1970)
34. Pilcher J.M., Mitchell R.I. and Thomas R.E., "The Cascade Impactor for Particle-Size Analysis of Aerosols", *Proceedings of the 42nd Annual Meeting of the Chemical Specialties Manufacturers Association*, (1955)
35. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P., "*Numerical Recipes in Fortran, The Art of Scientific Computing*", 2nd Edition, Cambridge University Press, New York (1992)
36. Rindi A. and Charalambous S., "*Airborne radioactivity produced at high-energy accelerators*", *Nuclear Instruments and Methods*, Vol. 47, 227-232 (1967)
37. Seames W.S. and Wendt J.O.L., "*The Partitioning of Radionuclides during Coal Combustion*", *Advances in Environmental Research*, Vol.4, 45-58 (2000)
38. Tait G.W.C., "*Determining Concentration of Airborne Plutonium Dust*", *Nucleonics*, Vol.14, 53-55 (1956)
39. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee of the Ionizing Radiation: "*Sources and Effects of Ionizing Radiation*", United Nations, New York, 2000
40. Wilcox J.D., "*A Sampling Technique for Small Air-Borne Particulates*", *A.M.A. Archives of Industrial Health*, Vol.11, 422-424 (1955)
41. Winkler R., Dietl F., Frank G., Tschiesch J., "*Temporal Variation of ⁷Be and ²¹⁰Pb size distribution in ambient aerosol*" *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 6, 983-991 (1998)

42. Young & Silker, "Aerosol deposition velocities on the Pacific and Atlantic oceans, calculated from ^7Be measurements", Earth and Planetary Science Letters 50 (1980), 92-104
43. Μ. Αναγνωστάκης, "Σημειώσεις Ραδιοπεριβαλλοντικής Ανάλυσης και Προστασίας", ΕΜΠ (2011)
44. Σάββα Μ., "Βαθμονόμηση ανιχνευτικής διάταξης γερμανίου για τον προσδιορισμό του ισότοπου ^7Be στα ατμοσφαιρικά αερολύματα με χρήση τεχνικών προσομοίωσης Monte Carlo", Διπλωματική Εργασία (2009)
45. Σιμόπουλος Σ., "Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών 2^η έκδοση", ΕΜΠ (1989)
46. Τσαγγάρης Σ., "Μηχανική των Ρευστών", Συμμεών, (2005)
47. Das H.A., "Sampling of gaseous trace constituents from air on active carbon", Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Vol. 260, No.1, 189-192, (2004)

Παράρτημα Ι: Δειγματοληψία με χρήση φίλτρου ενεργού άνθρακα

Στο πλαίσιο της παρούσας Δ.Ε. διεξήχθη μια δειγματοληψία με φίλτρο ενεργού άνθρακα 100g (cartridge) – σχήμα Π1 – για τον εντοπισμό της συγκέντρωσης ραδονίου στην ατμόσφαιρα. Το φίλτρο που χρησιμοποιήθηκε είναι το TE3.1 08 x 16, της F&J Specialty Products, Inc. Στη δειγματοληψία αυτή, έγινε χρήση της αντλίας DH-50810E της F&J, η οποία είναι μόνιμα τοποθετημένη στο δώμα του ΕΠΤ – ΕΜΠ, κτίριο Κ, σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών.



0-1 Φίλτρο ενεργού άνθρακα

Τα φίλτρα ενεργού άνθρακα χρησιμοποιούνται ευρέως για τη συλλογή αέριων συστατικών σε επίπεδο ίχνους, όπως το ραδόνιο ^{222}Rn , το ιώδιο ^{131}I και οι ατμοί

υδραργύρου. Η διαδικασία συλλογής του δείγματος μπορεί να είναι είτε αντιστρεπτή είτε μη αντιστρεπτή (Das, 2004).

Προτού εκτελέσουμε τη δειγματοληψία, τοποθετήσαμε ένα φίλτρο ενεργού άνθρακα στον ανιχνευτή γερμανίου HPGe του ΕΠΤ – ΕΜΠ. Ο ανιχνευτής αυτός περιγράφεται στον Κεφάλαιο 2. Οι συνιστώσες της ανιχνευτικής διάταξης είναι οι παρακάτω:

- Τροφοδοτικό υψηλής τάσης (3106 – 3kV), Canberra Industries, Inc.
- Ενισχυτής υψηλής τάσης 20 -20 (30 x 4,9), Canberra Industries, Inc.
- Αναλογοψηφιακός μετατροπέας ADC 8701, Canberra Industries, Inc.
- Πολυκαναλικός αναλυτής AIM556A, Canberra Industries, Inc.

Η διαδικασία αυτή έχει ως στόχο τον προσδιορισμό της ραδιενέργειας υποβάθρου του φίλτρου, προκειμένου να είναι σαφές εάν η ραδιενέργεια που ανιχνεύεται κατά την ανάλυση του φίλτρου μετά τη δειγματοληψία, αντιστοιχεί σε ραδιενέργεια του δείγματος ή σε ραδιενέργεια που προϋπήρχε στο φίλτρο. Για τις αναλύσεις, τόσο του κενού φίλτρου, όσο και του δείγματος, χρησιμοποιήθηκε η βαθμονόμηση απόδοσης της γεωμετρία 5. Η γεωμετρία αυτή αντιστοιχεί σε κυλινδρική διαμόρφωση του δείγματος με διάμετρο $D = 69 \text{ mm}$ και ύψος $H = 22 \text{ mm}$. Το δείγμα φίλτρου ενεργού άνθρακα έχει διάμετρο $D = 82 \text{ mm}$ και ύψος $H = 26 \text{ mm}$. Η γεωμετρία 5 δε συμπίπτει με τη γεωμετρία του φίλτρου, αλλά είναι η εγγύτερη διαθέσιμη, ώστε να πάρουμε μια πρώτη εκτίμηση του πραγματικού αποτελέσματος. Επισημαίνουμε ότι η προσέγγιση αυτή είναι αρκετά χονδρική, και τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να αξιολογηθούν μόνο ποιοτικά.

Μετά την ανάλυση του κενού φίλτρου, προχωρήσαμε στη διενέργεια της δειγματοληψίας με τα ακόλουθα στοιχεία.

Έναρξη Δειγματοληψίας	21/06/2012 – 12:21
Λήξη Δειγματοληψίας	22/06/2012 – 12:21
Μέση Παροχή (m ³ /min)	0.695
Παροχή (m ³ /min)	0 – 0.878
Συνολικός αναρροφούμενος όγκος (m ³)	1000.8
Πίεση (mmHg)	698.8 – 730.5
Θερμοκρασία (°C)	16 – 35.5

0.1 Δεδομένα δειγματοληψίας με χρήση φίλτρου ενεργού άνθρακα

Μετά τη συλλογή του δείγματος από την αντλία, αυτό τοποθετήθηκε για ανάλυση στον ανιχνευτή HPGe του ΕΠΤ – ΕΜΠ. Η άμεση μεταφορά του δείγματος στον ανιχνευτή είναι πάρα πολύ σημαντική δεδομένου του μικρού χρόνου υποδιπλασιασμού των θυγατρικών του ραδονίου.

Η ανάλυση έγινε χωρίζοντας το συνολικό χρόνο δειγματοληψίας σε δύο και παίρνοντας αναλυτικά δεδομένα για κάθε δίωρο. Αυτό έγινε προκειμένου να εντοπίσουμε εάν η συγκέντρωση των θυγατρικών του ραδονίου παραμένει σταθερή κατά τη διάρκεια της ανάλυσης, κάτι που μας δείχνει ότι έχουμε όντως συλλέξει ραδόνιο στο δείγμα μας και όχι μόνο τα θυγατρικά του.

Συγκεκριμένα, πήραμε τα φάσματα για τα πρώτα τρία δίωρα της ανάλυσης, ως επαρκές δείγμα για το αν παραμένει σταθερή ή όχι η συγκέντρωση των θυγατρικών του ραδονίου. Τα θυγατρικά του ραδονίου που χρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες της συλλογής ή όχι του ραδονίου στο δείγμα μας, αλλά και της αντιπαραβολής με τη ραδιενέργεια υποβάθρου του φίλτρου, είναι ο μόλυβδος ²¹⁴Pb, το βισμούθιο ²¹⁴Bi. Τα

αποτελέσματα των αναλύσεων για τα τρία πρώτα δώρα, καθώς και για τη ραδιενέργεια υποβάθρου του φίλτρου, παρουσιάζονται στους πίνακες I2 – I5.

Ισότοπο	Χαρ/κη ενέργεια φωτονίου (keV)	Ραδιενέργεια (Bq/m³)	Αβεβαιότητα (%)
Pb-214	295.22	7.98E-01	16.5
	351.99	8.59E-01	8.1
Bi-214	609.32	9.54E-01	7.1
	1120.28	1.30E+00	19.5
	1764.51	2.11E+00	10.3

0.2 Ανάλυση στον HPGe για το πρώτο δώρο

Ισότοπο	Χαρ/κη ενέργεια φωτονίου (keV)	Ραδιενέργεια (Bq/m³)	Αβεβαιότητα (%)
Pb-214	295.22	8.41E+00	20.5
	351.99	1.01E+01	9.7
Bi-214	609.32	1.68E+01	6.6
	1120.28	1.76E+01	19.6
	1764.51	2.23E+01	15.1

0.3 Ανάλυση στον HPGe για το πρώτο δώρο

Ισότοπο	Χαρ/κη ενέργεια φωτονίου (keV)	Ραδιενέργεια (Bq/m³)	Αβεβαιότητα (%)
Pb-214	295.22	ND	-
	351.99	7.87E-01	81.9
Bi-214	609.32	2.28E+00	27.8
	1120.28	ND	-
	1764.51	3.01E+00	76.6

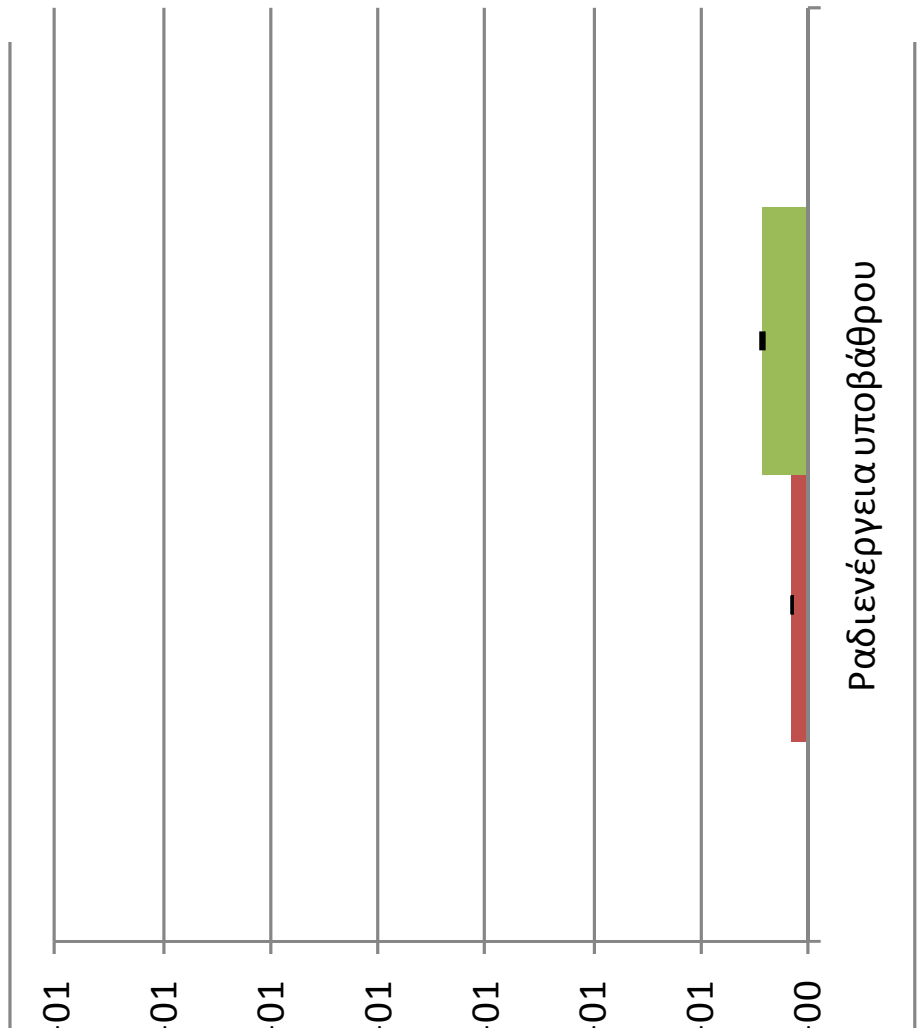
0.4 Ανάλυση στον HPGe για το δεύτερο δώρο

Ισότοπο	Χαρ/κη ενέργεια φωτονίου (keV)	Ραδιενέργεια (Bq/m ³)	Αβεβαιότητα (%)
Pb-214	295.22	ND	ND
	351.99	ND	ND
Bi-214	609.32	6.10E-01	101.5
	1120.28	ND	ND
	1764.51	ND	ND

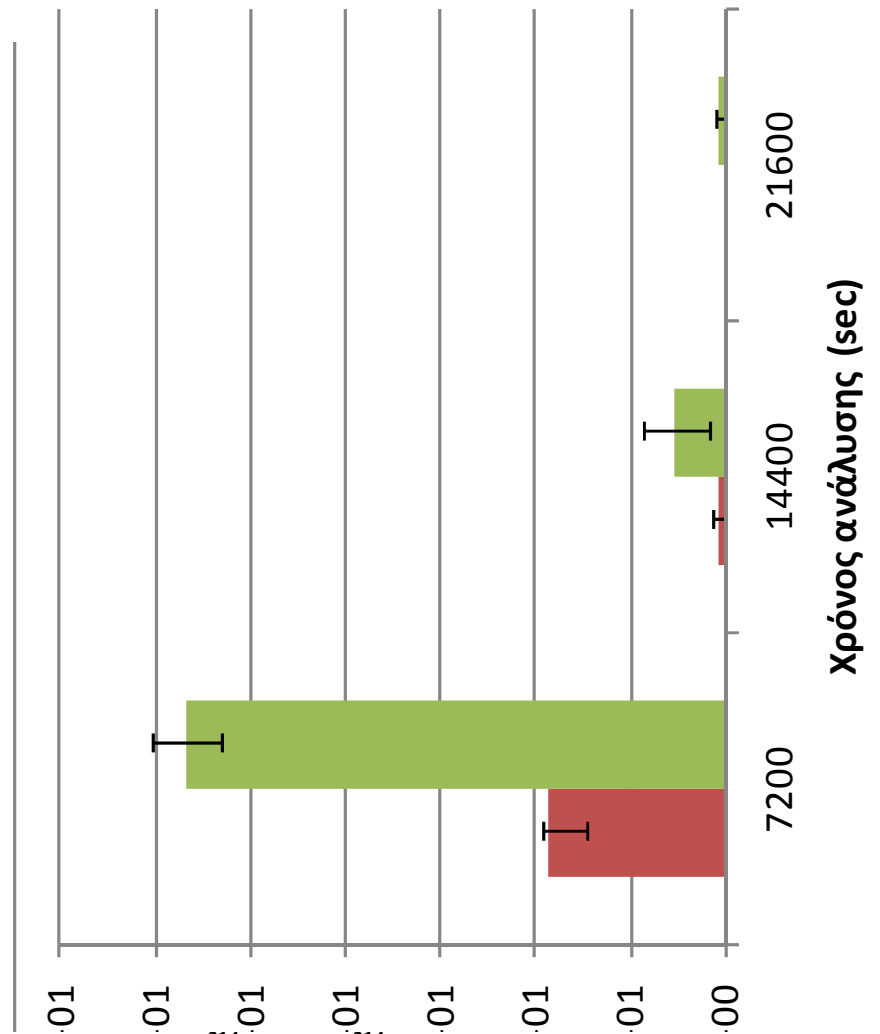
0.5 Ανάλυση στον HPGe για το τρίτο δίκωρο

Από τους πίνακες αυτούς και τα σχήματα I2 – I3, παρατηρούμε ότι η συγκέντρωση του μολύβδου ²¹⁴Pb και του ²¹⁴Bi στο πρώτο δίκωρο είναι κατά πολύ αυξημένες σε σχέση με το υπόβαθρο του φίλτρου, κάτι που καταδεικνύει την ύπαρξή τους στο δείγμα μας. Ωστόσο, στα δύο επόμενα δίκωρα παρατηρείται δραματική μείωση της συγκέντρωσής τους, στο βαθμό που ο μολύβδος δεν ανιχνεύεται καν στο τρίτο δίκωρο. Απ' αυτό συμπεραίνουμε ότι η υψηλή συγκέντρωση των θυγατρικών του ραδονίου στο πρώτο δίκωρο, οφείλεται σε κατακράτησή τους από το φίλτρο, ενώ η μείωσή της κατά μια τάξη μεγέθους, στο επόμενο δίκωρο, μας δείχνει ότι, αντίθετα, δεν έχουμε συγκρατήσει ραδόνιο στο δείγμα μας καθώς κάτι τέτοιο θα σήμαινε ότι η συγκέντρωση των θυγατρικών του ραδονίου θα παρέμενε σταθερή λόγω της παραγωγής τους από διασπάσεις του ραδονίου που θα είχε συλλεχθεί.

0-2 Ραδιενέργεια υποβάθρου φίλτρου



0-3 Μεταβολή της συγκέντρωσης του ^{214}Pb και ^{214}Bi συναρτήσει του χρόνου
 ανάλυσης του δείγματος στον HPGe



Παράρτημα II : Αριθμητικός υπολογισμός της διαμέτρου αποκοπής

Για τον υπολογισμό των διαμέτρων αποκοπής στο Κεφάλαιο 4 (παρ. 4.3.1) χρησιμοποιήσαμε κώδικα Fortran 90, γραμμένο σε περιβάλλον Force 2.0. Ο κώδικας αυτός μας είναι απαραίτητος καθώς η συσχέτιση της διαμέτρου αποκοπής με τον παράγοντα ολίσθησης Cunningham (Κεφάλαιο 3), σχηματίζει εξίσωση η οποία δεν μπορεί να λυθεί αναλυτικά.

Συγκεκριμένα, οι δύο σχέσεις για τον υπολογισμό της διαμέτρου αποκοπής και του παράγοντα ολίσθησης (σχέσεις 4.8 και 3.2) είναι οι εξής:

$$C_p = 1 + \frac{\lambda}{D_p} \left[2.514 + 0.800 \exp \left(-0.55 \frac{D_p}{\lambda} \right) \right] \quad (3.2)$$

$$d_{50}^2 C = d_{500}^2 C_0 \cdot \frac{P_0}{P_{ΚΣ}} \cdot \frac{T_{ΚΣ}}{T_0} \cdot \frac{Q_0}{Q_{ΚΣ}} \quad (4.8)$$

Για τον υπολογισμό των διαμέτρων αποκοπής αντικαθιστούμε στη σχέση 3.2 τη διάμετρο Stokes D_p με d_{50} και το C_p με C .

Συγκεκριμένα, θέτουμε το δεξί μέρος της εξίσωσης 4.8 ίσο με A , αντικαθιστούμε το C από την εξίσωση 3.2. και παίρνουμε την παρακάτω εξίσωση:

$$d_{50}^2 \left(1 + \frac{\lambda}{d_{50}} \left[2.514 + 0.800 \exp \left(-0.55 \frac{d_{50}}{\lambda} \right) \right] \right) = A$$

Φέρνουμε το A στο αριστερό μέλος και φτιάχνουμε λοιπόν τη συνάρτηση $F(d)$:

$$F(d) = d_{50}^2 + d_{50} \lambda \left[2.514 + 0.800 \exp \left(-0.55 \frac{d_{50}}{\lambda} \right) \right] - A$$

Η συνάρτηση αυτή είναι αποκλειστικά συνάρτηση της διαμέτρου αποκοπής, καθώς για κάθε υπολογισμό το A προκύπτει από τα δεδομένα της εκάστοτε δειγματοληψίας μας και τις μετρήσεις του κατασκευαστή, ενώ για την ελεύθερη διαδρομή αέρα λ , θα είναι $\lambda = 0.066 \mu\text{m}$ (βλ. Κεφάλαιο 3).

Η εξίσωση $F(d) = 0$ είναι που μας ενδιαφέρει να λυθεί και η οποία δεν μπορεί να λυθεί αναλυτικά. Για τη λύση της συγκεκριμένης εξίσωσης, χρησιμοποιούμε επαναληπτική διαδικασία με τη μέθοδο των διαδοχικών διχοτομήσεων (Press, 1992). Ο κώδικας που σχεδιάστηκε για την εκτέλεση της επαναληπτικής διαδικασίας περιγράφεται στο Διάγραμμα Ροής, στο τέλος του Παραρτήματος.

Θεωρούμε δύο οριακές τιμές για τη διάμετρο αποκοπής, d_{\min} και d_{\max} και υπολογίζουμε τα $F(d_{\min})$ και $F(d_{\max})$ αντίστοιχα. Αν μια απ' αυτές είναι μηδενική, τότε έχουμε βρει τη λύση. Αν καμία απ' αυτές δεν είναι μηδενική, αλλά έχουν το ίδιο πρόσημο, τότε δεν υπάρχει λύση στο διάστημα. Αν έχουν αντίθετο πρόσημο, τότε υπολογίζουμε τη μέση τιμή $F(d_{\text{mid}})$. Αν αυτή είναι μηδενική, τότε έχουμε βρει τη λύση. Εάν όχι, τότε ανάλογα αν αυτή έχει αντίθετο πρόσημο με την $F(d_{\min})$ ή την $F(d_{\max})$, παίρνει τη θέση της $F(d_{\max})$ ή της $F(d_{\min})$ αντίστοιχα και ακολουθούμε την ίδια διαδικασία. Το κριτήριο σύγκλισης τίθεται $\varepsilon = 0,001$ και θέτουμε κάθε φορά τον επιθυμητό αριθμό επαναλήψεων. Με την εκτέλεση του κώδικα, βρέθηκε ότι ο κατάλληλος αριθμός επαναλήψεων είναι ~15 επαναλήψεις.

Ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε παρατίθεται παρακάτω:

```
PROGRAM Epanalitpiki Methodos
```

```
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
```

```
PARAMETER (DIMENSION D1(KDIM),D2(KDIM),F1(KDIM),F2(KDIM))
```

```
METER (KDIM=1001)
```

```
WRITE (*,*) "Doste tin timi tis parametrou Po se mmHg"
```

```
READ(*,*) Po
```

```
WRITE(*,*) "Doste tin timi tis parametrou Tks se Kelvin"
```

```
READ(*,*) Tks
```

```

Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou Q0 se m3/min "
Read(*,*) Q0
Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou Pks se mmHg "
Read(*,*) Pks
Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou To se Kelvin"
Read(*,*) To
Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou Qks se m3/min"
Read(*,*) Qks
Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou D50o"
Read(*,*) D50o
Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou C0"
Read(*,*) C0
Write(*,*) "Doste tin timi tis parametrou Lamda"
Read(*,*) W
Write(*,*) " Doste ton arithmo ton megiston epanalipseon"
Read(*,*) maxiter
Write(*,*) "Doste tis akraies ektimiseis"
READ(*,*) dmin, dmax
epsilon=0.001d0
A = (Po*Tks*Q0*C0*(D50o*D50o))/(Pks*To*Qks)
Fmin = dmin*dmin+dmin*W*(2.514+0.8*exp(-0.55*dmin/W)) - A
Fmax = dmax*dmax+dmax*W*(2.514+0.8*exp(-0.55*dmax/W)) - A
IF (Fmin.EQ.0) THEN
    WRITE(*,*) "H lysi vrethike, d=", dmin

```

```

STOP
ELSE IF (Fmax.EQ.0) THEN
    WRITE(*,*) dmax
    STOP
ELSE IF (Fmin*Fmax.GT.0) THEN
    WRITE(*,*) "Den yparxei lysi sto diastima"
    STOP
END IF
i=0
DO WHILE ((ABS(dmin-dmax).GT.epsilon).AND.(i.LT.maxiter))
    WRITE(*,*) "."
    i=i+1
    D1(i)=dmin
    D2(i)=dmax
    F1(i)=Fmin
    F2(i)=Fmax
    dmid=0.5d0*(dmin+dmax)
    Fmid = dmid*dmid+dmid*W*(2.514+0.8*exp(-0.55*dmid/W)) - A
    IF (Fmid.EQ.0) THEN
        WRITE (*,*) dmid
    ELSE IF ((Fmid*Fmin).LT.0) THEN
        dmax=dmid
        Fmax=Fmid
    ELSE

```

```

        dmin=dmid
        Fmin=Fmid

    END IF

ENDDO

    ilast=i

100 OPEN(1,FILE='results.TXT')

    Do i=1,ilast

        WRITE(1,*) i , D1(i), D2(i), F1(i), F2(i)

    enddo

    Close (1)

END

FUNCTION F(d,W,A)

    F= d*d+d*W*(2.514+0.8*exp(-0.55*d/W)) - A

    WRITE (*,*) d,w,A

END FUNCTION

```

Ένα ενδεικτικό output (Input: P0=760 mmHg, Tks=20 °C, Q0=0,56 m³/min, Pks=760 mmHg, T0=25 °C, Qks=0,8926 m³/min, D50,0=10,2 μm, C0=1,0163, λ=0,066 μm) του εν λόγω κώδικα είναι το παρακάτω:

```

1 0. 10. -53.4206875 48.2385525
2 5. 10. -27.5910675 48.2385525
3 5. 7.5 -27.5910675 4.07374251
4 6.25 7.5 -13.3211625 4.07374251
5 6.875 7.5 -5.01433499 4.07374251
6 7.1875 7.5 -0.567952487 4.07374251

```

7 7.1875 7.34375 -0.567952487 1.72848095
8 7.1875 7.265625 -0.567952487 0.574160716
9 7.1875 7.2265625 -0.567952487 0.00157823596
10 7.20703125 7.2265625 -0.283568595 0.00157823596
11 7.21679688 7.2265625 -0.141090547 0.00157823596
12 7.22167969 7.2265625 -0.0697799974 0.00157823596
13 7.22412109 7.2265625 -0.0341068412 0.00157823596
14 7.2253418 7.2265625 -0.0162657927 0.00157823596

Η πρώτη στήλη δίνει τον αύξοντα αριθμό επαναλήψεων, οι δύο επόμενες στήλες, αντιστοιχούν σε λύσεις της $F(d) = 0$ μέχρι συγκλίσεως, ενώ οι δύο τελευταίες στήλες αντιστοιχούν στις τιμές της $F(d)$ για τις ακραίες τιμές d_{\min} , d_{\max} .

