

τύπου, με γένια και μακριά μαλλιά, ατόμου που είχε τραύματα από σταύρωση σε περιοχή πλησίον των Ιεροσολύμων.

Αυτό το κάναμε για να αναφέρουμε πού μπορεί να υπεισέλθει ο μη καταστροφικός έλεγχος.

Αλλού που χρησιμοποιούνται, είναι στο πεδίο της ζωγραφικής, για την εκτίμηση διαφόρων πινάκων, η οποία είναι πλέον πολύ διαδεδομένη και μπορεί κανείς να ξεφύγει από διάφορες πλαστές απεικονίσεις.

Τέλος, χρησιμοποιείται ευρέως στην ιατρική. Η ημερίδα μας χωρίζεται στις παρακάτω ενότητες, έχουμε παρουσίαση διαφόρων μεθόδων μη καταστροφικών ελέγχων, ύστερα έχουμε εργαστήρια μη καταστροφικών ελέγχων, μια τρίτη ενότητα είναι οι μη καταστροφικοί έλεγχοι σε σχέση με το πρώτο ISO 9000, μία άλλη ενότητα αρκετά ενδιαφέρουσα και που υστερεί αρκετά στην Ελλάδα είναι η εξειδίκευση και πιστοποίηση προσωπικού για εφαρμογή μη καταστροφικών ελέγχων.

Τέλος, έχουμε και την επίδραση των μη καταστροφικών ελέγχων στη βιομηχανία. Ελπίζουμε ότι ο χρόνος που θα αφιερώσετε παρακολουθώντας την ημερίδα

αυτή, θα βοηθήσει στον ενστερνισμό της σημασίας των μη καταστροφικών ελέγχων, στην παραγωγή, την ασφάλεια βιομηχανικών εγκαταστάσεων, τον έλεγχο περιπλόκων μηχανολογικών συστημάτων και περισσότερο απ' όλα στην προστασία της ανθρώπινης ζωής.

Σε ορισμένα μέρη της ημερίδας, έχουμε επεκταθεί από την κλασική έννοια των μη καταστροφικών ελέγχων, μπαίνοντας σε θέματα που άπτονται αυτών και που αποτελούν σύγχρονη συνέχειά τους.

Ευχαριστώ πολύ.

Πρόεδρος: Ευχαριστώ το συνάδελφο Βαλασαμάκη και θα ήθελα να καλέσω το συνάδελφο Γαλατσάνο, μηχανολόγο μηχανικό, να μας μιλήσει για το δεύτερο θέμα, που αφορά το ραδιογραφικό έλεγχο και εφαρμογές του στην Ελλάδα.

Δεν έχει έρθει ο συνάδελφος, ίσως μας μιλήσει αργότερα, θα κάνουμε μια μετατόπιση στο πρόγραμμα.

Θα ήθελα να καλέσω τότε, το συνάδελφο Κώνστα, επίκουρο καθηγητή στο Ε.Μ.Π. να μας παρουσιάσει την εισήγησή του με θέμα: «Μη καταστροφικοί έλεγχοι με ραδιοϊσότοπα. Τεχνική γ-ραδιογραφίας».

Θέμα: Μη καταστροφικοί έλεγχοι με ραδιοϊσότοπα. Τεχνική γ-ραδιογραφίας.

Εισηγητής: **Α. Π. Κώνστας**, επίκ. καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Η εισήγηση αυτή αποσκοπεί στην εξέταση των δυνατοτήτων των ραδιοϊσοτόπων για διενέργεια μη καταστροφικών ελέγχων με στόχο τη συναγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων σε πρακτικό επίπεδο.

Για την καλύτερη κατανόηση των χρησιμοποιούμενων μεθόδων για τέτοιους ελέγχους προτάσσονται γενικές γνώσεις για τα ραδιενεργά ισότοπα και τις ακτινοβολίες, και σκιαγραφούνται οι θεωρίες που ενδιαφέρουν.

Στη συνέχεια γίνεται μνημόνευση τυπικών περιπτώσεων ελέγχων κατασκευών με ραδιοϊσότοπα, κατά κύριο λόγο υγρασίας και πυκνότητας εδαφών, και των δυνατοτήτων εφαρμογής τους στην Ελλάδα.

Στα πλαίσια αυτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον έλκουν οι ραδιογραφίες που λαμβάνονται με τη βοήθεια ακτίνων γ (γ-ραδιογραφία). Ειδικότερα αναλύεται η ραδιογραφική μέθοδος και επιχειρείται επισκόπηση των διαφόρων θεωρητικών, τεχνικών και οικονομικών παραγόντων που την επηρεάζουν. Η εισήγηση κλείνει με την εξέταση εφαρμογών και των πλεονεκτημάτων

της γ-ραδιογραφίας.

1. Προλεγόμενα

Τα ραδιενεργά ισότοπα, ή ραδιοϊσότοπα όπως αλλιώς λέγονται, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για πραγματοποίηση ελέγχων χωρίς διατάραξη της υφής των υλικών (διεξαγωγή μη καταστροφικών ελέγχων/non-destructive tests). Τα ραδιοϊσότοπα οφείλουν την προαναφερόμενη ικανότητα στην ακτινοβολία που εκπέμπουν και γι' αυτό συχνά εξομοιώνονται με «πηγές». Στην εισήγηση αυτή, όπου γίνεται -a priori- δεκτό ότι οι εκτελούντες τέτοιους ελέγχους όχι μόνο γνωρίζουν, αλλά και τηρούν τους κανόνες πρόληψης ατυχημάτων που διέπουν το θέμα, γίνεται παρουσίαση μεθόδων μη καταστροφικών ελέγχων των κατασκευών με ραδιοϊσότοπα, ύστερα από υπενθύμιση ορισμένων εννοιών που αφορούν τα ραδιενεργά ισότοπα και τις ακτινοβολίες τους.

Το γεγονός ότι δεν επιχειρείται αναφορά, στο παρακάτω κείμενο, άλλων μη καταστροφικών ελέγχων μεγάλης εφαρμογής (π.χ. με υπερήχους) δεν σημαίνει υποτίμησή τους, απλώς αυτό οφείλεται σε καθαρά θεματολογικούς (και χρονικούς) περιορισμούς. Χαρακτηριστικό της λογικής που ακολουθείται είναι η μετάβαση από το γενικό (γενικότερο) στο μερικό (μερικότερο), μεθοδολογία που επιτρέπει τη συναγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων, τόσο ανά περίπτωση, όσο και συγκεφαλαιωτικά.

2. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Όπως είναι γνωστό, για το άτομο έχουν διατυπωθεί διάφορες θεωρίες, η ανάπτυξη των οποίων, όμως, εκφεύγει των πλαισίων της σημερινής ουζήτησής μας.

Για τους σκοπούς της εισήγησης, το άτομο, η τελευταία μη διαιρετή με χημικές μεθόδους μονάδα της ύλης, λογίζεται ότι συνίσταται από τον πυρήνα και τα περιβάλλοντα τον πυρήνα (πλανητικά) ηλεκτρόνια (σωματίδια μηδαμινής μάζας που φέρουν το στοιχειώδες αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο), τα οποία κινούνται γύρω απ' αυτόν με μεγάλη ταχύτητα επί εντελώς καθορισμένων τροχιών: K, L, M κ.λπ. (Πρότυπο ατόμου κατά Bohr-Rutherford).

Ειδικότερα ο πυρήνας αποτελείται από πρωτόνια (σωματίδια θετικά φορτισμένα και μάζας όπως του πυρήνα του ατόμου του υδρογόνου) και νετρόνια (σωματίδια ουδέτερα παραγλήσιας μάζας μ' εκείνι των πρωτονίων).

Το πρότυπο αυτό, αποσκοπεί μόνο στην απλούστευση της μελέτης του ατόμου. Αντίθετα, σύμφωνα με την κυματομηχανική θίγεται απλώς -βλ. προηγούμενη διευκρίνιση- ότι το άτομο κάθε χημικού στοιχείου συγκροτείται από θετικό πυρήνα, του αρνητικού φορτίου του ηλεκτρονίου κατανεμημένου γύρω από τον πυρήνα ως νέφος (θεωρία De Broglie και Schrödinger).

Κάθε χημικό στοιχείο χαρακτηρίζεται από ατομικό και μαζικό αριθμό. Ο όρος ατομικός αριθμός υποδηλώνει τον αριθμό πρωτονίων του πυρήνα, με τον οποίο καθορίζονται και οι χημικές ιδιότητες του στοιχείου, ε-

νώ ο όρος μαζικός αριθμός οημαίνει το σύνολο των πρωτονίων και νετρονίων του πυρήνα, δεδομένου ότι η μάζα του ατόμου εξαρτάται πρακτικώς από τον πυρήνα, μια και η μάζα των ηλεκτρονίων είναι αμελητέα.

Τα συστατικά του πυρήνα: πρωτόνια και νετρόνια, δηλαδή τα νουκλεόνια, ευρίσκονται εντός αυτού, συνδεδεμένα μεταξύ τους με ανταλλαγή μεσόνιων ή μεταξύ νουκλεονίων.

3. Γενικότητες για τα ραδιοϊσότοπα και τη ραδιενέργεια

Πυρηνικά είδη που έχουν τον αυτό ατομικό αριθμό ονομάζονται ισότοπα, επειδή κατέχουν την ίδια θέση (τον αυτό τόπο) στο περιοδικό σύστημα των στοιχείων.

Σε κάθε ισότοπο, οιοιουδήποτε χημικού στοιχείου, που αιουτελεί ιδιαίτερο πυρηνικό είδος και χαρακτηρίζεται από ζεύγος αριθμών: μαζικού και ατομικού, έχει δοθεί η επωνυμία: νουκλεΐδιο. Η συμπεριφορά των νουκλεΐδιων είναι συνάρτηση της ενεργού διατομής τους. Με τον όρο ενεργός διατομή νοείται η πιθανότητα να συμβεί ένα πυρηνικό φαινόμενο (πυρηνική αντίδραση, σκέδαση κ.λπ.) σε ένα νουκλεΐδιο.

Η ενεργός διατομή εκφράζεται με τη μονάδα επιφάνειας: Barn (1 Barn = 10^{-24} cm²).

Ραδιοϊσότοπα είναι νουκλεΐδια, των οποίων οι πυρήνες των ατόμων τους βρίσκονται σε κατάσταση διεγερσης, δηλαδή ενεργειακώς υψηλότερη.

Το φαινόμενο της ραδιενέργειας συνίσταται στη μετάπτωση των πυρήνων από την ανώτερη αυτή ενεργειακή κατάσταση στη θεμελιώδη κατάσταση (απευθείας ή βαθμηδόν μέσω χαμηλότερων σταθμών ενέργειας) με εκπομπή σωματιδίων (α,β), ακτίνων-γ ή συνδυασμού σωματιδίων και ακτίνων.

Τα σωματίδια α είναι πυρήνες του στοιχείου ηλίου, που εκπέμπονται με μεγάλη ταχύτητα από ορισμένα βαριά ισότοπα, όπως είναι του ραδίου και ουρανίου. Αυτά είναι τα λιγότερο διεισδυτικά σωματίδια και τα λιγότερο σε βιομηχανικές εφαρμογές χρησιμοποιούμενα. Τα σωματίδια β είναι μεγάλης ενέργειας ηλεκτρόνια, εκπεμπόμενα από ραδιοϊσότοπα και -σε πρακτικό επίπεδο- κατέχουν ενδιαμέση θέση μεταξύ σωματιδίων α και ακτίνων -γ. Οι ακτίνες -γ (μεγάλης βιομηχανικής και μη εφαρμογής, κυρίως λόγω της μεγάλης διεισδυτικότητάς τους ικανότητας) είναι της αυτής φύσης, όπως το φως και οι ακτίνες X, δηλαδή ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά μεγαλύτερης συχνότητας (μικρότερου μήκους κύματος) και οι μόνες που προέρχονται από τον πυρήνα, ενώ οι άλλες από τις προαναφερόμενες ακτινοβολίες (όπως π.χ. οι ακτίνες X) προέρχονται από τα πλανητικά ηλεκτρόνια. Η ενέργεια των ακτινοβολιών μετρείται σε MeV (εκατομμύρια ηλεκτρονιοβόλτ). Ένα ηλεκτρονιοβόλτ (eV) είναι η ενέργεια που αποκτά ένα ηλεκτρόνιο (e) κινούμενο μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορά δυναμικού ενός βολτ (V).

$$1 \text{ MeV} = 1.000.000 \text{ eV}$$

$$1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-6} \text{ erg}$$

$$1 \text{ MeV} = 4,45 \times 10^{-20} \text{ Kwh}$$

Χαρακτηριστική ιδιότητα κάθε ραδιενεργού στοιχείου αποτελεί ο χρόνος υποδιπλασιασμού (χρόνος ημίσειας ζωής Half-Life), που αντιπροσωπεύει τον απαιτούμενο χρόνο, προκειμένου δοθείσα ποσότητα του στοιχείου αυτού να διασπασθεί στο μισό της αρχικής. Η δραστικότητα ενός ραδιενεργού στοιχείου μειώνεται εκθετικά, δηλαδή με λογαριθμικό τρόπο. Αυτό σημαίνει ότι ο ρυθμός διάσπασης του ραδιενεργού στοιχείου, δηλαδή ο αριθμός των πυρήνων των ατόμων που διασπώνται στη μονάδα του χρόνου είναι ανάλογος του ολικού αριθμού των πυρήνων που υπάρχουν στην τρέχουσα στιγμή.

Σημειώνεται ότι ο συνθετέστερος τρόπος απόδοσης της επιπλέον ενέργειας ενός πυρήνα είναι με εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ακτίνων -γ), η οποία συχνά λαμβάνει χώρα σε διάφορα στάδια και όχι απευθείας από τη διεγερμένη κατάσταση στη θεμελιώδη, συνοδευόμενη από α ή β εκπομπή ή εκπομπή ηλεκτρονίων εσωτερικής μετατροπής (internal conversion).

Το τελευταίο τούτο φαινόμενο ερμηνεύεται ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο παραγόμενο από τις ακτίνες -γ επί των ηλεκτρονίων των εσωτερικών στοιβάδων του ραδιενεργού ατόμου και κυρίως της στοιβάδας K.

Όλα τα πυρηνικά φαινόμενα φαίνονται να είναι τυχαίου χαρακτήρα (ωστόσο η μελέτη μεγάλου αριθμού τέτοιων φαινομένων δείχνει την ύπαρξη μιας ορισμένης συχνότητας εμφάνισής τους). Μια συνέπεια της τυχαίας φύσης των πυρηνικών φαινομένων είναι ότι, αν ληφθούν δύο διαδοχικές καταγραφές με τον ίδιο μετρητή (που έχει εκτεθεί σε ορισμένη ραδιενεργό πηγή), τα αποτελέσματα πιθανώς διαφέρουν κάπως.

Αυτό χαρακτηρίζεται ως στατιστικό σφάλμα του μετρητή, οφειλόμενο στην τυχαία φύση των καταγραφόμενων γεγονότων. Το πιθανό σφάλμα είναι δυνατό να υπολογισθεί θεωρητικά, με τους στατιστικούς νόμους και τη θεωρία των πιθανοτήτων, αλλά από πρακτική άποψη είναι ενδιαφέρον να τονισθεί ότι το μέγεθος του σφάλματος αυτού μειώνεται με την αύξηση του πλήθους των μετρήσεων.

4. Μη καταστροφικοί έλεγχοι κατασκευών με ραδιοϊσότοπα

4.1. Γενικά

Με τη χρήση των ραδιοϊσοτόπων πολλές μέθοδοι κατασκευής, ελέγχου και έρευνας πετυχαίνονται ευκολότερα, ταχύτερα και φθηνότερα και σε ορισμένες περιπτώσεις πραγματοποιούνται άλλες που παλιότερα ήταν αδύνατο να επιχειρηθούν, όπως και από προσωπική εμπειρία συνάγεται. Οι, σε μεγάλη κλίμακα, εφαρμογές των ραδιοϊσοτόπων οφείλονται γενικά στις ποικίλες δυνατότητές τους να ικανοποιούν μερικά ή ολικά πάρα πολλές σύγχρονες απαιτήσεις της επιστήμης και τεχνικής.

Ανάπτυξη όλων των μεθόδων μη καταστροφικών ελέγχων κατασκευών με ραδιοϊσότοπα είναι αδύνατη

στα χρονικά πλαίσια μιας εισήγησης ημερίδας, όπως η τωρινή. Προς αποφυγή, συνεπώς, απλής μόνο μνείας της δυνατότητας τέτοιων ελέγχων, κεντρική θέση στην επιδιωκόμενη πληροφόρηση παίρνουν ο προσδιορισμός της υγρασίας και η εκτίμηση πυκνότητας εδαφών καθώς και η λήψη ραδιογραφιών για τον έλεγχο συγκολλήσεων, οπλισμένου σκυροδέματος κ.λπ. με τη βοήθεια ακτίνων -γ.

Σε όλες τις περιπτώσεις, βασικές μονάδες της διάταξης που απαιτείται για τους ελέγχους αποτελούν η συσκευή ακτινοβολήσης (ραδιενεργός πηγή) και ο μετρητής. Σημειώνεται ιδιαίτερα ότι στον τομέα της πυρηνικής τεχνολογίας, η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών στη συλλογή και επεξεργασία δεδομένων επιτρέπει τη λήψη πολύ αξιόπιστων αποτελεσμάτων σε διεργασίες τεχνικών ελέγχων (για ηλεκτρονικές, μάλιστα, μονάδες που βρίσκονται σε στενή επικοινωνία και συνεργασία με ηλεκτρονικό υπολογιστή αξιοποιούνται και προτυποποιήσεις π.χ. CAMAC/Computer Automated Measurement and Control).

4.2. Χρησιμοποίηση των ραδιοϊσοτόπων στην εδαφομηχανική

4.2.1. Η τοποθέτηση του προβλήματος

Οι εδαφοτεχνικές μελέτες απαιτούν, όπως είναι γνωστό, πλήρη γνώση των μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων του εδάφους. Είναι φυσικό, λοιπόν, διάφοροι ερευνητές να προσπαθούν και στον τομέα της εδαφομηχανικής την αξιοποίηση των ραδιοϊσοτόπων. Ευθύς αμέσως, αναφέρονται δύο τυπικές περιπτώσεις ελέγχων.

4.2.2. Προσδιορισμός υγρασίας εδάφους

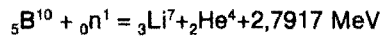
Με ραδιενεργά υλικά είναι εφικτός ο προσδιορισμός υγρασίας εδαφών, βασιζόμενος στη μέτρηση θερμικών νετρονίων. Έτσι, καθιερώθηκαν τεχνικές οι οποίες υπόσχονται πλεονεκτήματα που στερούνται οι παλιότερες μέθοδοι.

Στον προαναφερόμενο προσδιορισμό, ταχέα νετρόνια (fast neutrons), δηλαδή νετρόνια μεγάλης ενέργειας περίπου 1 MeV, εκπέμπονται από κάποια πηγή νετρονίων και συγκροτούνται με ελαφρά άτομα, όπως του υδρογόνου, αποβάλλουν μέρος της ενέργειάς τους και γίνονται θερμικά («βραδέα») νετρόνια, δηλαδή νετρόνια μικρότερης ενέργειας, περίπου 1/40 eV.

Επειδή το μοναδικό -σχεδόν- ελαφρό άτομο των περισσότερων εδαφών είναι το υδρογόνο, αυτό αποτελεί το αίτιο του σκεδασμού των νετρονίων.

Τα νετρόνια αυτά, χαμηλής πια ενέργειας (slow neutrons), χάνουν τη διεισδυτική τους ικανότητα και μετά από διαδοχικές συγκρούσεις και ανακλάσεις επιστρέφουν στο θάλαμο ιονισμού της συσκευής προσδιορισμού της υγρασίας. Η αισθητοποίηση κάθε ακτινοβολίας, που υποβλήθηκε σε σκέδαση, γίνεται σε αναλογικό απεριθμητή (μετατροπή ακτίνων σε παλμούς, οι οποίοι με τη βοήθεια ενισχυτού καταγράφονται στο μετρητή). Στην περίπτωση χρησιμοποίησης ως πηγής νετρονίων ραδιο-βηρυλίου (Ra-Be) ο απαιθμητής του οργάνου είναι εφοδιασμένος με τρι-

φθοριούχο βόριο (BF_3). Τα επιστρέφοντα, βραδέα νετρόνια, αντιδρούν με το ισότοπο Β σύμφωνα με την αντίδραση:



Τα παραγόμενα α-σωματίδια (πυρήνες ηλίου: He) στα οποία διανέμεται η εκλυόμενη ενέργεια προκαλούν έντονο ιονισμό (σχηματισμό φορτισμένων σωματιών) και μπορούν, κατ' ακολουθία, να απαριθμηθούν. Η απαρίθμηση αυτή βασίζεται στην επερχόμενη μεταβολή της τάσης στη δίοδο α-σωματιδίων μεταξύ των ηλεκτροδίων του θαλάμου ιονισμού, η οποία προκαλεί ταυτόχρονο ηλεκτρικό ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα. Οι μεταβολές αυτές της τάσης («ώσεις», «ωθήσεις» ή «κρούσεις» / παλμοί-pulses) είναι τόσο μεγαλύτερες, όσο ο αριθμός των παραγομένων (κάθε φορά) ζευγών ιόντων είναι μεγαλύτερος και όσο η ηλεκτροχωρητικότητα του θαλάμου ιονισμού είναι μικρότερη.

Η πιθανότητα της παραπάνω πυρηνικής αντίδρασης εξαρτάται από το συντελεστή: $1/u$ όπου u η ταχύτητα του νετρονίου.

Κατά συνέπεια, αναλογικοί απαριθμητές με ενώσεις βορίου είναι κατάλληλοι για ανίχνευση βραδών νετρονίων (ταχύτητα u νετρονίου μικρή).

Το ποσοστό των καταγεγραμμένων νετρονίων είναι ανάλογο με την ποσότητα των ατόμων υδρογόνου του εδάφους, δηλαδή με το ποσοστό υγρασίας του εδάφους.

Στα εδάφη, το υδρογόνο, εκτός από το νερό, μπορεί να υπάρχει:

(α) στις περιπτώσεις που τα εδάφη περιέχουν οργανικά συστατικά ή

(β) υπό μορφή κρυσταλλικού νερού.

Παραπέρα, από σχετικές έρευνες προκύπτει ότι μ' εξαίρεση λίγων σπανίων στοιχείων (βορίου, σπανίων γαιών, καδμίου) τα χημικά στοιχεία έχουν μικρή διατομή πρόσκρουσης νετρονίων, σε σύγκριση με το υδρογόνο.

Γενικά στη μέθοδο προσδιορισμού υγρασίας εδαφών με νετρόνια χρησιμοποιούνται ως πηγές μίγμα ραδιοβηρυλίου (Ra-Be) ή πολωνίου-βηρυλίου (Po-Be). Σε όλες τις περιπτώσεις η τεχνική του συστήματος έγκειται στη δημιουργία τέτοιας διάταξης που ο μετρητής ν' ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις πλήρους καταμέτρησης των επιστρεφόντων θερμικών νετρονίων (ρύθμιση απόστασης πηγής-μετρητή).

Συνηθέστεροι τύποι συσκευών προσδιορισμού υγρασίας με νετρόνια είναι δύο ειδών: επιφάνειας και βάθους.

Η σκιαγραφούμενη μέθοδος προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- 1) γρήγορος και επιτόπιος προσδιορισμός της υγρασίας εδαφών,
- 2) παρακολούθηση της μεταβολής της υγρασίας χωρίς δειγματοληψίες.

Κριτική ερμηνεία, όσων θίγονται πιο πριν επιτρέπει

να υποστηριχθεί ότι η μέθοδος:

- α) είναι εφαρμόσιμη στα περισσότερα εδάφη
- β) είναι ανεξάρτητη του ποσοστού υγρασίας
- γ) είναι σχετικά ανεξάρτητη των περιεχομένων αλάτων στο έδαφος.

Τέλος, με τα ραδιοϊσότοπα για τον προσδιορισμό της υγρασίας αίρεται το μειονέκτημα απώλειας ποσοστού υγρασίας (όπως συμβαίνει με την κλασική μέθοδο στη διάρκεια μεταφοράς δειγμάτων).

4.2.3. Προσδιορισμός πυκνότητας εδάφους

Ο προσδιορισμός πυκνότητας εδαφών απαιτεί κατάλληλες ακτινοβολίες. Ως τέτοιες νοούνται οι ηλεκτρομαγνητικής φύσης ακτινοβολίες και κυρίως οι ακτίνες -γ.

Οι μέθοδοι προσδιορισμού πυκνότητας εδαφών συνίσταται στη μέτρηση των «επιστρεφουσών» ακτίνων-γ (βλ. στη συνέχεια σχετική διευκρίνιση). Οι ακτίνες προέρχονται από κατάλληλες πηγές (π.χ. καϊσίου-137). Όπως και στην περίπτωση προσδιορισμού υγρασίας, οι έλεγχοι πυκνότητας εδαφών με ραδιοϊσότοπα είναι δύο τύπων: επιφανειακών και σε βάθος μετρήσεων.

Διευκρινίζεται ότι η απαρίθμηση των ακτίνων -γ βασίζεται στον ιονισμό που προκαλείται στον θάλαμο ιονισμού του απαριθμητή από τα δευτερογενή ηλεκτρόνια που εμφανίζονται κατά την αλληλεπίδραση μεταξύ ύλης και φωτονίων ακτινοβολίας -γ. Οι, από τον ιονισμό αυτό, κρούσεις παλμοί (pulses) ενισχύονται από κατάλληλο ενισχυτή (amplifier) και καταγράφονται στην ηλεκτρονική διάταξη κλιμακώσεως (scaler) της συσκευής ελέγχου της πυκνότητας. Ο προσδιορισμός πυκνότητας εδαφών με ραδιοϊσότοπα πλεονεκτεί (των συμβατικών μεθόδων) επειδή πετυχαίνεται επιτόπιος έλεγχος χωρίς καταστροφή της κατασκευής π.χ. έργων οδοποιίας, αρδευτικών έργων κ.λπ.

4.3. Τεχνική γ-ραδιογραφίας

4.3.1. γ-ραδιογραφία

Ραδιογραφία ονομάζεται η απεικόνιση του εσωτερικού διαφόρων αντικειμένων, επί ευαίσθητων φωτογραφικών πλακών με τη βοήθεια διεισδυτικών ακτίνων, για τη διαπίστωση τυχόν ελαττωμάτων, που πολλές φορές είναι αδύνατο να διαπιστωθούν με άλλες μεθόδους.

Για βιομηχανικούς σκοπούς (και κλινικές διαγνώσεις) είναι σε μεγάλη κλίμακα εφαρμόσιμη η γ-ραδιογραφία. Ωστόσο, σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιείται η με νετρόνια τεχνική, δεδομένου ότι η απορρόφηση των νετρονίων δεν είναι συνάρτηση της πυκνότητας του εξεταζόμενου υλικού, αλλά άλλων παραγόντων, όπως της ενεργού διατομής κ.λπ. Παροχή, όμως, παραπέρα διευκρινίσεων για τη μέθοδο αυτή εκφεύγει των πλαισίων της εισήγησης. Η γ-ραδιογραφία βασίζεται στη διαφορετική απορρόφηση της ακτινοβολίας γ (που παρέχουν πηγές όπως το κοβάλτιο -60 ή το καϊσίο -137 κ.λπ.) από τα διάφορα τμήματα των υπό έλεγχο υλικών/κατασκευών.

Η απορρόφηση αυτή είναι συνάρτηση του πάχους και της πυκνότητας του σώματος. Έτσι, τα παχιά τμήματα των υπό εξέταση αντικειμένων παρουσιάζονται πάνω στη φωτογραφική πλάκα ως περιοχές λιγότερο σκοτεινές από εκείνες που δημιουργούν τα τμήματα μικρότερου πάχους. Για παράδειγμα, τυχόν υπάρχουσα φυσαλίδα αέρα στο εσωτερικό χυτού αντικειμένου θα εμφανισθεί στη ραδιογραφία ως σκοτεινή κηλίδα.

Η μεταβίβαση της ακτινοβολίας -γ στην ύλη (δοκίμια, ελάσματα, μηχανήματα κ.λπ.) εξαρτώμενη όχι μόνο από την ένταση των ακτίνων -γ, αλλά και από τη φύση του υλικού, υπακούει στο γνωστό λογαριθμικό νόμο (Lambert και Beer): $I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x}$

Όπου I_0 : η ένταση της προσπίπτουσας δέσμης ακτίνων -γ πάνω στην ύλη

I_x : η ένταση της δέσμης που περνά υλικό πάχους x

e : η βάση των νεπερείων λογαρίθμων

μ : γραμμικός συντελεστής απορρόφησης, εξαρτώμενος από τη φύση του υλικού και της ενέργειας της ακτινοβολίας.

Ο υπολογισμός του χρόνου έκθεσης γίνεται λαμβανομένων υπόψη ορισμένων παραγόντων [συγκεκριμένα: α) απόσταση πηγής-φιλμ β) ισχύς/είδος ραδιοϊσοτόπου γ) πυκνότητα φιλμ δ) συντελεστής φιλμ ε) πυκνότητα/πάχος-υλικό π.χ. χάλυβα].

Μερικές κατάλληλες για πρακτικούς σκοπούς και συνεπώς συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες πηγές είναι του θουλίου, ιριδίου, καισίου και κοβαλτίου. Λέγοντας, εδώ, κατάλληλες πηγές εννοούμε το είδος τους, λεπτομερέστερα το είδος των ακτίνων τους από ενεργειακή άποψη.

Αναλυτικότερα η ενέργεια της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας - γ από τις παραπάνω πηγές αυξάνει βαθμιαία από την ακτινοβολία του θουλίου μέχρι την ακτινοβολία του κοβαλτίου -60, συνεπώς και η ικανότητα διείσδυσής της σε μεγαλύτερα βάθη.

4.3.2. Τεχνικο-οικονομικοί ραδιογραφικοί παράγοντες

Μερικά των χαρακτηριστικών των ραδιοϊσοτόπων που επεμβαίνουν ως τεχνικο-οικονομικοί ραδιογραφικοί παράγοντες και επηρεάζουν τη χρήση τους στον τομέα της ραδιογραφίας είναι:

- 1) Η ενέργεια της γ-ακτινοβολίας, εκφραζόμενη συνήθως σε MeV.
- 2) Ο χρόνος υποδιπλασιασμού (Half-Life).
- 3) Η «δραστηριότητα» (Out-put) ανά Curie, δηλαδή η ένταση της γ-ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα Curie, εκφραζόμενη σε Röntgen ανά ώρα σε απόσταση ενός μέτρου από την πηγή.
- 4) Η ειδική ραδιενέργεια, δηλαδή ο αριθμός των διασπασμένων πυρήνων ανά μονάδα χρόνου και βάρους, υπολογιζόμενη σε Curies ανά γραμμάριο ισοτόπου.
- 5) Το κόστος ανά Curie.

4.3.3. Εφαρμογές και πλεονεκτήματα της γ-ραδιογραφίας

Οι εφαρμογές της γ-ραδιογραφίας είναι πολλές. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι η μέθοδος μπορεί να ε-

φαρμοσθεί για τον έλεγχο οπλισμένου σκυροδέματος, χυτών αντικειμένων, συγκολλήσεων, εκρηκτικών βλημάτων, λεβήτων υψηλής πίεσης, σωληνώσεων, υδραυλικών βαλβίδων, μεταλλικών ελασμάτων κ.λπ.

Οι ραδιογραφικοί έλεγχοι υπόσχονται ποικίλα πλεονεκτήματα, επειδή:

- α) αποφεύγονται οι δειγματοληψίες,
- β) απαιτούνται μικρά σχετικά χρονικά διαστήματα για τη λήψη ραδιογραφιών και
- γ) πετυχαίνεται (σε κατάλληλη φωτογραφική πλάκα) «αποκάλυψη» του εσωτερικού του εξεταζόμενου αντικειμένου.

Τέλος, το γεγονός ότι η ραδιογραφική συσκευή έχει μικρό βάρος σε συνδυασμό με τη δυνατότητα εύκολης μεταφοράς και την ανεξαρτησία της από πηγή ηλεκτρικής, θερμικής ή άλλης μορφής ενέργειας προσδίδει στο ραδιογραφικό έλεγχο ιδιαίτερη αξία, όπως είναι ευνόητο.

5. Συμπεράσματα

Με δεδομένο ότι η ακρίβεια μεταξύ κλασικών και με ραδιοϊσότοπα μεθόδων (π.χ. μέθοδος της άμμου-έλεγχος με ακτίνες -γ της συμπυκνώσεως οδών), όπως από μελέτες προκύπτει, κυμαίνεται σε +2%, η ενίσχυση της τάσης για περισσότερη εφαρμογή στην Ελλάδα των μη καταστροφικών ελέγχων με ραδιοϊσότοπα έχει μεγάλη πρακτική σημασία, όπως συνάγεται από την ανάπτυξη που προηγήθηκε.

Αν - επίσης - ληφθούν υπόψη διάφορες, κατά κάποιο τρόπο παραδοσιακές, δραστηριότητες (π.χ. ναυπηγοεπισκευαστικές εργασίες) τότε ευσταθεί να υπογραμμισθεί ιδιαίτερα ο ρόλος της γ-ραδιογραφίας λόγω των τεχνικο-οικονομικών της πλεονεκτημάτων.

6. Βιβλιογραφία

1. Lawrence E. Bryant-Paul McIntire: «Nondestructive Testing Hand-book», Second Edition. Vol Three-Radiography and Radiation Testing. Ed. American Society for Nondestructive Testing.
2. Π.Α. Ασημακόπουλος: «Πυρηνική Φυσική» Τομ. II, Εκδ. Επτάλοφος Α.Β.Ε.Ε. (1984).
3. Α. Π. Κώνστας: Τα Ραδιοϊσότοπα και η Εφαρμογή των εις Έργα Πολιτικού Μηχανικού, Δελτίον του Εργαστηρίου Δημοσίων Έργων, 1,149.
4. P.E. Carlton: The Application of Radioisotopes to the Measurement of Soil Moisture Content and Density. Paper, No 57-NESC-17, presented at the 2nd Nuclear Engineering and Science Conference, Philadelphia, Pennsylvania.
5. A.E.C.I.: Radioisotope Applications Handbook, Atomic Energy of Canada Limited. Technical Bulletins RP. 1 and 3.

Πρόεδρος: Σας ευχαριστώ πάρα πολύ, τώρα θέλω να καλέσω τον κύριο Γαλατσάνο, μηχανολόγο μηχανικό, να μας μιλήσει για το: «Ραδιογραφικό έλεγχο και τις εφαρμογές του στην Ελλάδα».

Θέλω να σας πω ακόμα, ότι υπάρχει μια ειδική σελίδα, στις σημειώσεις που πήρατε, που συμπληρώνεται για τις ερωτήσεις και τις παρεμβάσεις.

Όποιος συνάδελφος έχει να κάνει κάποια παρέμβαση για αργότερα, συγκεκριμένα στο τέλος της τρίτης συ-

νεδρίασης το μεσημέρι, καθώς επίσης και το βράδυ, να συμπληρώσει αυτή τη σελίδα και ας την αφήσει στη γραμματεία έξω, να τις μαζέψουμε όλες μαζί και μια μικρή περίληψη της ερώτησης και της παρέμβασης που θέλει να κάνει.

Θέμα: Ραδιογραφικός έλεγχος και οι εφαρμογές του στην Ελλάδα.

Εισηγητής: **Χ. Γαλατσάνος, ΜΜ.**

1. Εισαγωγή

Ο ραδιογραφικός έλεγχος αποτελεί μια από τις κυριότερες μεθόδους Μ.Κ.Ε. με ευρύτερη εφαρμογή. Χρησιμοποιούνται ακτίνες Χ ή γ για να παραχθεί ραδιογραφία από το ελεγχόμενο αντικείμενο. Επί της ραδιογραφίας αποτυπώνονται μεταβολές πάχους του αντικειμένου, ασυνέχειες (εσωτερικές και εξωτερικές) ή άλλες μεταβολές της δομής του υλικού.

Πλεονεκτήματα από τη χρήση ραδιογραφικού ελέγχου:

- α. Χρησιμοποιείται με πολλά υλικά σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους Μ.Κ.Ε.
- β. Η ραδιογραφία δίνει άμεση οπτική εικόνα, ερμηνεύεται εύκολα και διατηρείται ως αρχείο.
- γ. Αποκαλύπτει εσωτερικά σφάλματα.

Μειονεκτήματα από τη χρήση ραδιογραφικού ελέγχου:

- α. Δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί με αντικείμενα πολύπλοκου σχήματος.
- β. Απαιτείται πρόσβαση και από τις δύο πλευρές του ελεγχόμενου αντικειμένου.
- γ. Απαιτούνται αυστηρές διαδικασίες εργασίας για λόγους ακτινοπροστασίας.
- δ. Αναλόγως του είδους και του προσανατολισμού του

σφάλματος υπάρχει κίνδυνος μη εντοπισμού.

Η ραδιογραφία είναι φωτογραφικό αρχείο το οποίο παράγεται όταν ακτινοβολία Χ ή γ διαπεράσει αντικείμενο και προσπέσει επί φιλμ.

Όταν το φιλμ εκτεθεί σε ακτινοβολία Χ ή γ επί της επίστρωσης του φιλμ παράγεται το αφανές είδωλο. Οι εκτεθειμένες περιοχές του φιλμ σκουραίνουν όταν το φιλμ εμβαπτισθεί σε μπάνια κατεργασίας.

2. Ακτινοβολία Χ ή γ

Η απαιτούμενη ακτινοβολία παράγεται από μηχανές ακτίνων Χ από 50 έως 400 ΚΥ (περίπου) ή από ισότοπα Ir-192 και Co-60 (συνήθως).

2.1. Πλεονεκτήματα χρήσεως ακτινοβολίας - γ

- α. Εύκολη εργοταξιακή χρήση διότι δεν απαιτούν σύστημα ψύξης και ηλεκτρική ενέργεια.
- β. Ορισμένα ισότοπα έχουν ακτινοβολία πολύ υψηλής ενέργειας που επιτρέπει τη ραδιογράφιση υλικών μεγάλου πάχους.
- γ. Παράγονται πηγές μικρών διαστάσεων, το οποίο επιτρέπει τη χρήση μικρών αποστάσεων πηγής-φιλμ.