

8. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

8.1 Είδη εγκαταστάσεων

Η ιδέα κατασκευής και λειτουργίας μίας εγκαταστάσεως για διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων δεν είναι νέα. Πριν ακόμη καθιερωθεί η σχετική νομοθεσία, πολλοί παραγωγοί επικινδύνων αποβλήτων διεθνώς κατασκεύασαν και λειτούργησαν τέτοιες εγκαταστάσεις εντός του ευρύτερου χώρου λειτουργίας των παραγωγικών τους δραστηριοτήτων (*on-site facilities*). Για παράδειγμα, στις ΗΠΑ η Dow Chemical κατασκεύασε στην πόλη Midland του Michigan από το 1954, αποτεφρωτήρα για την θερμική καταστροφή των οργανικών αποβλήτων, τα οποία προέκυπταν από την παραγωγή μίας πλειάδος οργανικών χημικών προϊόντων. Εκατοντάδες παραγωγοί σε όλο τον κόσμο κατασκεύασαν συστήματα προσωρινής αποθηκεύσεως επικινδύνων αποβλήτων, όπως επιφανειακές λίμνες για τοποθέτηση ιλύος, με ή χωρίς μόνωση της βάσεως (LaGrega et al., 2001).

Άλλοι παραγωγοί, μη έχοντες επαρκή έκταση ή μη παράγοντες επαρκή ποσότητα επικινδύνων αποβλήτων, ώστε να δικαιολογείται το κόστος για επί τόπου εγκατάσταση, μετέφεραν τα απόβλητά τους εκτός του δικού τους χώρου, σε ειδικές εγκαταστάσεις για επεξεργασία και διάθεση. Οι εγκαταστάσεις αυτές είναι γνωστές ως *εκτός χώρου εγκαταστάσεις (off-site facilities)*. Για παράδειγμα, πολλοί Έλληνες παραγωγοί επικινδύνων αποβλήτων μεταφέρουν οργανικά απόβλητα σε άλλες Ευρωπαϊκές χώρες (π.χ. Μεγάλη Βρετανία, Βέλγιο) για θερμική καταστροφή.

Η εμπορική εκμετάλλευση εγκαταστάσεων εκτός χώρου (*off-site*) για διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων άρχισε στις βιομηχανικές χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ ήδη από τη δεκαετία του 1960. Πολλές εξ αυτών είναι ακόμη σε λειτουργία, αλλά με σημαντική βελτίωση της υποδομής και του τρόπου λειτουργίας.

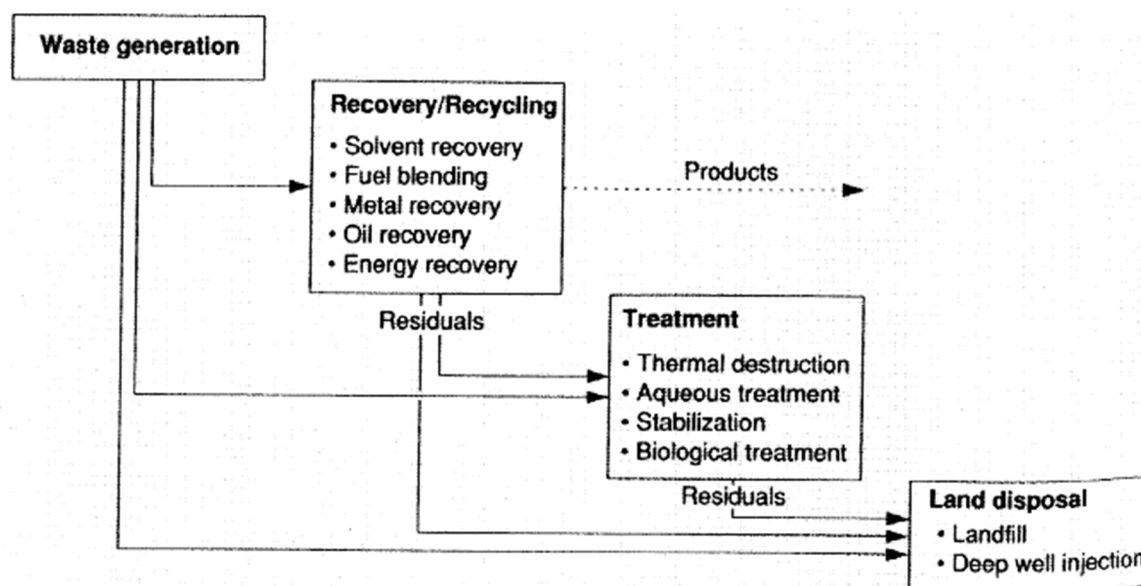
Υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ μίας εμπορικής εγκαταστάσεως *off-site* και μίας ιδιωτικής εγκαταστάσεως *on-site*, όπως, για παράδειγμα, η αντίδραση της τοπικής κοινωνίας για την χωροθέτησή τους. Η αντίδραση είναι πολύ μεγαλύτερη για την μεγάλη εγκατάσταση *off-site*, ίσως διότι δέχεται απόβλητα από πολλές περιοχές και εκτός των ορίων της περιοχής της εγκαταστάσεως. Απεναντίας, η ιδιωτική *on-site* εγκατάσταση δέχεται μόνο τα δικά της απόβλητα, που όμως προέρχονται από μία παραγωγική δραστηριότητα της τοπικής κοινωνίας. Όμως, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις πρέπει να αξιολογηθούν με βάση το είδος και την ποσότητα

των αποβλήτων, καθώς και την χωροθέτηση, τον σχεδιασμό και την λειτουργία της εγκαταστάσεως.

Λόγω της μεγάλης ποικιλίας των συστατικών των επικινδύνων αποβλήτων, υπάρχουν πολλοί τρόποι επεξεργασίας και διαχείρισεως αυτών. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν τουλάχιστον 50 εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες για την ανάκτηση συστατικών και επεξεργασία επικινδύνων αποβλήτων. Όμως, μία συγκεκριμένη εγκατάσταση είναι δυνατόν να λειτουργεί με μία μόνον τεχνολογία ή με συνδυασμό τεχνολογιών, ειδικά εάν δέχεται απόβλητα από πολλούς παραγωγούς. Στην Ελλάδα, στα μέσα της δεκαετίας 1990, το τότε Υπουργείο ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. είχε προτείνει την κατασκευή δύο τέτοιων εγκαταστάσεων, για την επεξεργασία και διάθεση των Ελληνικών επικινδύνων αποβλήτων. Η μία εγκατάσταση θα εχρησιμοποιείτο για τα απόβλητα του Νομού Αττικής και της Νοτίου Ελλάδος και η άλλη για τα απόβλητα του Νομού Θεσσαλονίκης και της Βορείου Ελλάδος. Το σχέδιο αυτό ουδέποτε υλοποιήθηκε.

Στο Σχήμα 8-1 παρουσιάζονται οι σπουδαιότερες κατηγορίες εγκαταστάσεων, οι οποίες χρησιμοποιούνται στη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων:

- **Εγκαταστάσεις ανακτήσεως και ανακυκλώσεως:** Αυτές αποσκοπούν στην ανάκτηση ενέργειας ή υλικών για μεταπώληση, όπως διαλύτες, οξέα, μέταλλα, κ.λπ.
- **Εγκαταστάσεις επεξεργασίας:** Αυτές τροποποιούν τα φυσικά ή/και χημικά χαρακτηριστικά ενός αποβλήτου ή αποδομούν ή καταστρέφουν συστατικά του αποβλήτου, χρησιμοποιώντας φυσικές, χημικές, θερμικές ή βιολογικές διεργασίες.
- **Εγκαταστάσεις διαθέσεως:** Αυτές χρησιμοποιούνται για μόνιμη διάθεση των αποβλήτων στην επιφάνεια του εδάφους ή στο υπέδαφος.



Σχήμα 8-1. Εγκαταστάσεις για ανάκτηση, επεξεργασία και διάθεση επικινδύνων αποβλήτων (Πηγή: LaGrega et al., 2001).

8.2 Εγκαταστάσεις ανακτήσεως

8.2.1 Ανάκτηση διαλυτών

Οι εγκαταστάσεις αυτές διαχωρίζουν και απομακρύνουν ανεπιθύμητες προσμίξεις από απόβλητα διαλυτών και επαναφέρουν τον διαλύτη στην αρχική του ποιότητα ή σε προϊόν χαμηλότερας ποιότητας. Η πρακτική της ανακτήσεως διαλυτών είναι ιδιαίτερος διαδεδομένη για αλογονωμένους διαλύτες (LaGrega et al., 2001).

Οι περισσότερες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν απόσταξη και συνήθως ανακτούν το 75% των χρησιμοποιημένων διαλυτών. Συνήθως παραμένει κάποιο υπόλειμμα, υγρό ή ιλύς, το οποίο απαιτεί διαχείριση ως επικίνδυνο απόβλητο.

8.2.2 Ανάκτηση ορυκτελαίων

Οι εγκαταστάσεις αυτές ανακτούν χρησιμοποιημένα ορυκτέλαια σε ποιότητα ανταγωνίσιμη με τα παρθένα ορυκτέλαια. Συνήθως χρησιμοποιούνται η μέθοδος οξέος-αργίλου και η μέθοδος αποστάξεως. Προτιμάται η απόσταξη, διότι η πρώτη μέθοδος παράγει μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων, τα οποία περιέχουν όξινη ελαιώδη άργιλο (επικίνδυνο απόβλητο) (LaGrega et al., 2001).

8.2.3 Ανάκτηση μετάλλων

Χρησιμοποιούνται πυρομεταλλουργικές και υδρομεταλλουργικές μέθοδοι. Οι πρώτες χρησιμοποιούν υψηλή θερμοκρασία και βασίζονται στη διαφορά των σημείων τήξεως και βρασμού των διαφόρων ενώσεων των μετάλλων. Η υδρομεταλλουργική τεχνολογία χρησιμοποιεί ποικιλία μεθόδων, όπως ανταλλαγή ιόντων, ηλεκτροδιάλυση, αντίστροφη όσμωση, καταβύθιση κ.λπ. Όλα τα συστατικά των αποβλήτων πρέπει να είναι σε διαλελυμένη μορφή (LaGrega et al., 2001).

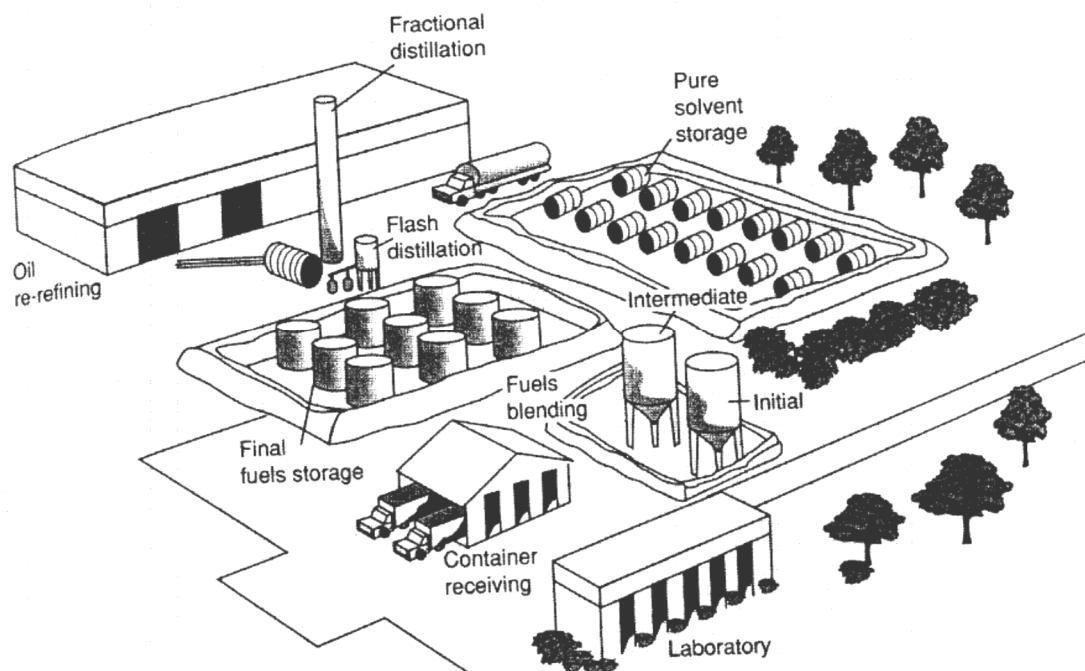
8.2.4 Ανάμιξη καυσίμων

Η παραγωγή καυσίμων από απόβλητα είναι δυνατόν να γίνει με ανάμιξη ελαίων, διαλυτών, προϊόντων πετρελαίου και άνθρακα. Τα απόβλητα συνήθως απαιτούν προεπεξεργασία για την απομάκρυνση ύδατος και ανεπιθυμητών στερεών. Η ανάμιξη καυσίμων είναι μία απλή διεργασία και υπάρχει διεθνώς μεγάλη εμπειρία στην εφαρμογή της (LaGrega et al., 2001).

8.2.5 Ανάκτηση ενέργειας

Για την παραγωγή τσιμεντοκονιάματος και μερικών άλλων βιομηχανικών προϊόντων χρησιμοποιούνται ειδικοί κλίβανοι, στους οποίους, μαζί με το συμβατικό καύσιμο, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και επικίνδυνα απόβλητα. Για παράδειγμα, οι κλίβανοι παραγωγής τσιμεντοκονιάματος λειτουργούν σε θερμοκρασίες 1400 – 1650° C και εφαρμόζουν μεγάλους χρόνους παραμονής, γεγονός που καθιστά δυνατή την καταστροφή μίας πλειάδος επικινδύνων οργανικών ουσιών. Έτσι, το απόβλητο υφίσταται θερμική καταστροφή (εγκατάσταση επεξεργασίας), αλλά και συγχρόνως χρησιμοποιείται ως δευτερεύον καύσιμο με σύγχρονη ανάκτηση ενέργειας (εγκατάσταση ανακτήσεως).

Στο Σχήμα 8-2 παρουσιάζεται μία εγκατάσταση για ανάκτηση διαλυτών και ελαίων (La Grega et al., 2001).



Σχήμα 8-2. Σκαρίφημα εγκατάστασης ανακτήσεως υγρών οργανικών συστατικών επικινδύνων αποβλήτων (Πηγή: LaGrega et al., 2001)

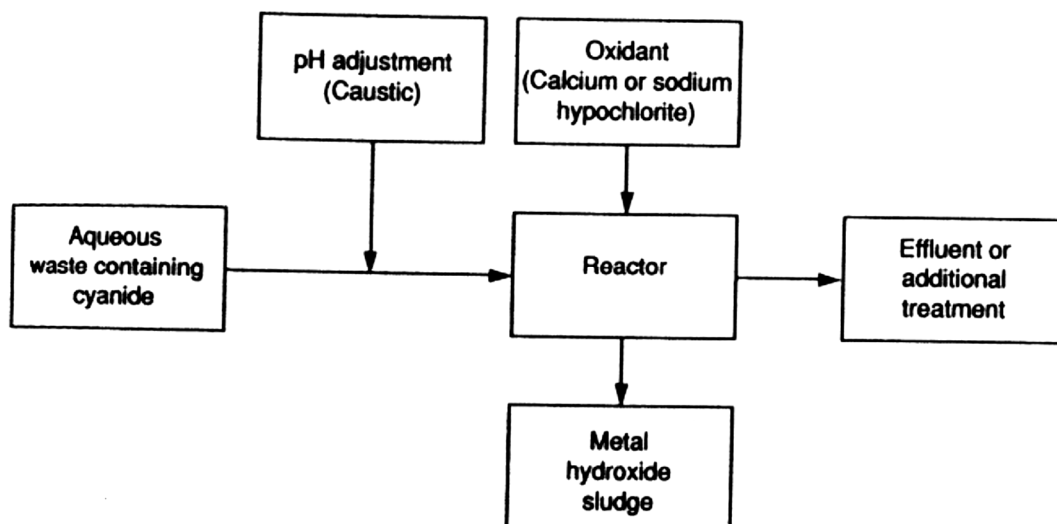
8.3 Εγκαταστάσεις επεξεργασίας

8.3.1 Εγκαταστάσεις θερμικής καταστροφής

Η καύση επικινδύνων αποβλήτων σε υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως με περίσσεια οξυγόνου, καταλήγει σε πλήρη ή μερική καταστροφή των οργανικών συστατικών των αποβλήτων. Εκτός από την καύση σε περίσσεια οξυγόνου, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν και άλλες μορφές θερμικής επεξεργασίας, όπως πυρόλυση και αεριοποίηση. Η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από το είδος των αποβλήτων, τα παραγόμενα προϊόντα και το κόστος (LaGrega et al., 2001).

8.3.2 Επεξεργασία υγρών αποβλήτων

Με αυτήν την επεξεργασία, τοξικά συστατικά των αποβλήτων απομακρύνονται ή μετατρέπονται σε άλλα ολιγότερο τοξικά. Η επιλογή των διεργασιών εξαρτάται από το είδος των αποβλήτων και τον επιθυμητό βαθμό επεξεργασίας. Το Σχήμα 8-3 παρουσιάζει τις διεργασίες που απαιτούνται για καταστροφή κυανιούχων, που υπάρχουν σε υδατικά απόβλητα.



Σχήμα 8-3. Διάγραμμα ροής για καταστροφή κυανιούχων (Πηγή: LaGrega et al., 2001)

Μία εγκατάσταση ολοκληρωμένης επεξεργασίας υδατικών υγρών αποβλήτων περιλαμβάνει δυνητικά τις εξής διεργασίες:

- Καταστροφή κυανιούχων
- Αναγωγή χρωμίου
- Καταβύθιση μετάλλων
- Ρύθμιση pH
- Διήθηση
- Βιολογική επεξεργασία
- Προσρόφηση σε ενεργό άνθρακα
- Ξήρανση ιλύος

8.3.3 Σταθεροποίηση – στερεοποίηση

Αυτή η μέθοδος επεξεργασίας αποσκοπεί στην μετατροπή των συστατικών των αποβλήτων σε στερεά υλικά εξαιρετικά χαμηλής διαλυτότητας ή στον εγκλωβισμό τους σε στερεά κρυσταλλικά πλέγματα, επίσης χαμηλής διαλυτότητας και υψηλής μηχανικής αντοχής. Αυτό επιτυγχάνεται με ανάμιξη των αποβλήτων με διάφορα υλικά, όπως τσιμεντοκονίαμα, ιπτάμενη τέφρα, υδράσβεστο, κ.λπ. Η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε στερεά απόβλητα και αιωρήματα.

8.4 Εγκαταστάσεις διαθέσεως αποβλήτων

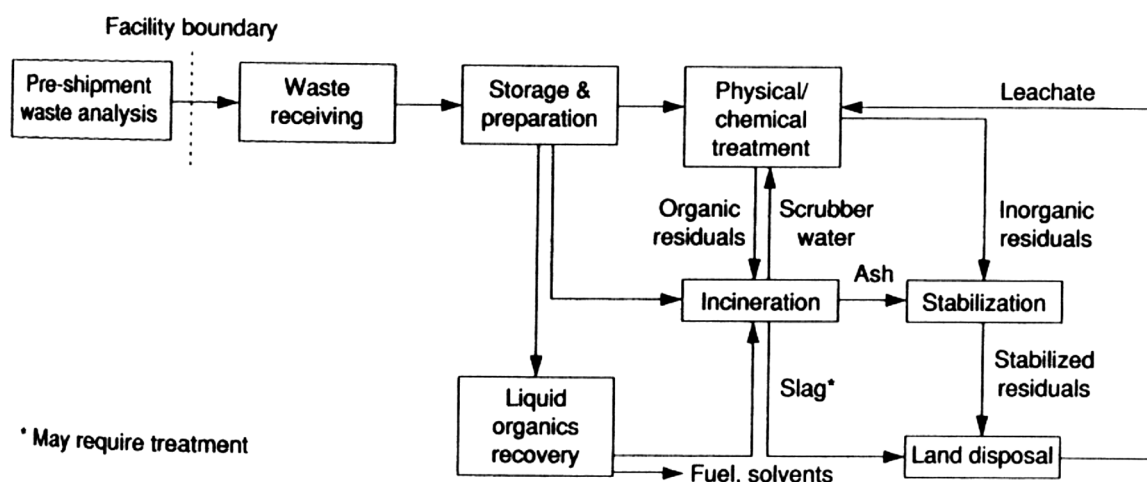
Στις εγκαταστάσεις αυτές υπάγονται οι χώροι ταφής, οι γεωτρήσεις μεγάλου βάθους και οι επιφανειακές λίμνες. Σύμφωνα με την πρόσφατη Ευρωπαϊκή νομοθεσία, ο σχεδιασμός, η κατασκευή και λειτουργία χώρων ταφής επικινδύνων αποβλήτων πρέπει να γίνεται με ειδικές προδιαγραφές, οι οποίες αποσκοπούν στον περιορισμό, αλλά και στην επεξεργασία των εκπομπών. Πριν τη διάθεση του αποβλήτου, ενδέχεται να απαιτείται κάποια προεπεξεργασία, π.χ. στερεοποίηση – σταθεροποίηση. Απαιτείται ακόμη δειγματοληψία και παρακολούθηση του ευρύτερου χώρου ταφής για τυχόν διαφυγή ρύπων, τόσο κατά την περίοδο λειτουργίας όσο και κατά την περίοδο μεταφροντίδος.

Η διάθεση αποβλήτων σε γεωτρήσεις μεγάλου βάθους εφαρμόζεται για υγρά επικίνδυνα απόβλητα. Ο γεωλογικός σχηματισμός που θα φιλοξενήσει τα απόβλητα πρέπει να ευρίσκεται σε μεγαλύτερο βάθος από τυχόν υδροφορείς, που χρησιμοποιούνται για υδροληψίες και να διαχωρίζεται από αυτούς με αδιαπέρατα γεωλογικά στρώματα. Η κατασκευή των φρεάτων θα πρέπει να επιτρέπει την ανίχνευση τυχόν διαρροών σε ρηχούς υδροφορείς και ρηχούς γεωλογικούς σχηματισμούς (LaGrega et al., 2001).

Οι επιφανειακές λίμνες χρησιμοποιούνται για αποθήκευση υγρών αποβλήτων και ιλύων. Για την ελαχιστοποίηση των εκπομπών, απαιτείται η χρήση μονωτικών υλικών και άλλων μεθόδων προστασίας, που χρησιμοποιούνται σε χώρους ταφής αποβλήτων. Εκτός από την αποθήκευση σε επιφανειακές λίμνες, έχει χρησιμοποιηθεί η διάθεση οργανικών αποβλήτων στο έδαφος, με στόχο την βιολογική τους επεξεργασία (*landfarming*).

8.5 Εγκαταστάσεις για ολοκληρωμένη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων

Στις εν λόγω εγκαταστάσεις υλοποιείται ανάκτηση υλικών και ενέργειας, επεξεργασία, διάθεση και αποθήκευση, όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 8-4.



Σχήμα 8-4. Διάγραμμα ροής για εγκατάσταση ολοκληρωμένης διαχείρισης επικινδύνων αποβλήτων (Πηγή: LaGrega et al., 2001)

Η λειτουργία μίας εγκαταστάσεως επικινδύνων αποβλήτων περιλαμβάνει τα εξής:

- Ανάλυση του αποβλήτου
- Υποδοχή του αποβλήτου
- Αποθήκευση και προετοιμασία του αποβλήτου
- Επεξεργασία του αποβλήτου
- Διαχείριση υπολειμμάτων

8.5.1 Ανάλυση του αποβλήτου

Η κατάρτιση ενός προγράμματος ανάλυσεως του αποβλήτου που μεταφέρεται στην εγκατάσταση αποτελεί ένα κρίσιμο λειτουργικό στοιχείο της εγκατάστασης. Το πρόγραμμα αυτό καθορίζει την μεθοδολογία δειγματοληψίας και ανάλυσεως, την συχνότητά τους και τις παραμέτρους που πρόκειται να προσδιορισθούν. Πριν η εγκατάσταση παρέμβει στο απόβλητο με αποθήκευση, επεξεργασία ή διάθεση, πρέπει να προσδιορίσει το «προφίλ» του αποβλήτου. Γι' αυτό τον σκοπό απαιτείται μία λεπτομερής φυσική και χημική ανάλυση αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. Οι διάφορες εγκαταστάσεις απαιτούν τον χαρακτηρισμό του αποβλήτου από τον παραγωγό του. Δειγματοληψία και ανάλυση του αποβλήτου δύναται να επαναλαμβάνεται μετά την μεταφορά του στην εγκατάσταση. Η ανάλυση του αποβλήτου γίνεται για τους εξής λόγους (LaGrega et al., 2001):

1. Να διαπιστωθεί εάν το απόβλητο είναι κατάλληλο για την συγκεκριμένη εγκατάσταση, όσον αφορά στην άδεια και στην ικανότητά της να διαχειρισθεί το απόβλητο.
2. Να προσδιορισθούν συστατικά του αποβλήτου, τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη μεταχείριση, ώστε να αποφευχθούν ατυχήματα.
3. Να γίνει σωστή επιλογή των μεθόδων επεξεργασίας και διαθέσεως.
4. Να γίνει ο υπολογισμός του κόστους.

8.6 Χημική ασυμβατότητα επικινδύνων αποβλήτων

Τα επικίνδυνα απόβλητα συχνά συλλέγονται και αποθηκεύονται εν αναμονή κάποιας επεξεργασίας και διάθεσης. Για πρακτικούς λόγους, συχνά απαιτείται ανάμιξη διαφόρων ειδών αποβλήτων, ώστε η αποθήκευση να καθίσταται περισσότερο αποτελεσματική. Όμως, ο συνδυασμός και η ανάμιξη των αποβλήτων πρέπει να γίνεται, ώστε να μην δημιουργούνται κίνδυνοι για την υγεία και το περιβάλλον.

Εάν τα απόβλητα δεν είναι συμβατά, ενδέχεται να λάβουν χώραν ανεπιθύμητες αντιδράσεις, όπως πυρκαγιά, έκρηξη, έκλυση θερμότητας και έκλυση επικινδύνων αερίων. Πυρκαγιά προκαλείται μόνον εάν υπάρχει επαρκής ποσότητα καυσίμου, οξειδωτικού και πηγή φλόγας ή σπινθήρα. Στον Πίνακα 8-1 παρουσιάζεται ένας κατάλογος των συνηθεστέρων καυσίμων και οξειδωτικών, τα οποία απαντώνται σε πυρκαγιές και εκρήξεις.

Πίνακας 8-1. Ενδεικτικά κοινά συστατικά πυρκαγιών και εκρήξεων
(Πηγή: Watts, 1997)

	Υγρά	Στερεά	Αέρια
Καύσιμα	Πετρέλαιο	Προϊόντα ξύλου	Ακετυλένιο
	Διαλύτες	Πλαστικά	Προπάνιο
			Βουτάνιο
Οξειδωτικά	Υπεροξείδιο υδρογόνου	Υπεροξείδια μετάλλων	Οξυγόνο
	Νιτρικό οξύ	Νιτρικό αμμώνιο	Χλώριο
	Υπερχλωρικό οξύ	Νιτρικό νάτριο	Φθόριο

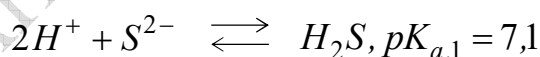
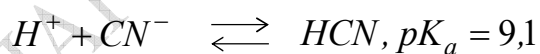
Σύμφωνα με τον Πίνακα 8-1, το οξυγόνο δεν είναι το μόνο οξειδωτικό σε πυρκαγιές. Είναι δυνατόν να λάβουν χώραν και «χημικές πυρκαγιές» μέσω διαφόρων αντιδράσεων οξειδοαναγωγής. Πυρκαγιές προκαλούνται από ασυμβατότητα αποβλήτων, όπως από ανάμιξη υδροθείου και

υποχλωριώδους ασβεστίου. Η εν λόγω αντίδραση οξειδοαναγωγής είναι ισχυρώς εξώθερμη και δύναται να προκαλέσει χημική πυρκαγιά (Watts, 1997).

Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ πυρκαγιάς και εκρήξεως είναι ότι η έκρηξη μεταδίδεται πολύ ταχύτερα από την πυρκαγιά. Η έκρηξη συνοδεύεται από πολύ μεγάλη έκλυση ενέργειας σε μικρό χρονικό διάστημα και μικρό χώρο. Στη διαχείριση επικινδύνων αποβλήτων, εκρήξεις χωρούν όταν εύφλεκτα μίγματα αναφλέγονται σε περιορισμένο χώρο, π.χ. βαγόνι σιδηροδρόμου κατά την μεταφορά ή αποθήκευση. Μετά την ανάφλεξη, το μέτωπο της φλόγας μετακινείται και απομακρύνεται από την πηγή της φλόγας. Η καταστροφή που προκαλείται από την έκρηξη σχετίζεται με την πίεση που συνοδεύει το μέτωπο της φλόγας.

Χημική ασυμβατότητα προέρχεται και από την θερμότητα που εκλύεται κατά την ανάμιξη δύο μη συμβατών διαλυμάτων. Σε ιδανικές συνθήκες, όπως στην ανάμιξη απείρως αραιών διαλυμάτων οξέων και βάσεων, η μεταβολή της ενθαλπίας είναι μηδέν: $\Delta H_{\text{αναμίξεως}} = 0$. Όμως, τα πυκνά διαλύματα οξέων και βάσεων δεν συμπεριφέρονται ιδανικά και τυχόν αναμίξεις οξέων και βάσεων ή αραιώσεις πυκνών οξέων με νερό συνοδεύονται από έκλυση θερμότητας. Η ποσότητα της εκλυόμενης θερμότητας είναι συνάρτηση της συγκεντρώσεως των διαλυμάτων που αναμιγνύονται και δύναται να είναι πολύ σημαντική. Για παράδειγμα, ανάμιξη ίσων όγκων πυκνού H_2SO_4 (96%) και ύδατος προκαλεί έκλυση ποσότητας θερμότητας, ικανής να προκαλέσει βρασμό του προκύπτοντος μίγματος.

Η έκλυση τοξικών αερίων συνήθως οφείλεται στην ανάμιξη οξέος (HCl , H_2SO_4) με διάλυμα άλατος ασθενούς οξέος. Δύο τυπικά παραδείγματα είναι η παραγωγή HCN και H_2S :



Αμφότερα είναι εξαιρετικά τοξικά πτητικά οξέα, μεταφερόμενα από υδατικά διαλύματα στην ατμόσφαιρα.

Τα ανωτέρω παραδείγματα (χημική πυρκαγιά, έκλυση θερμότητας, χημική έκρηξη και παραγωγή τοξικών αερίων) αναφέρονται στις συχνότερες περιπτώσεις χημικής ασυμβατότητας. Η χημική ασυμβατότητα δύναται να προβλεφθεί με βάση την χημεία και την θερμοδυναμική, αλλά συνήθως χρησιμοποιούνται πίνακες ή διαγράμματα, που αναφέρονται στις

συχνότερες περιπτώσεις αυτής. Στο Σχήμα 8-5 παρουσιάζεται ένα διάγραμμα (α)συμβατότητας για την αποθήκευση επικινδύνων αποβλήτων.

Παράδειγμα

Σε χώρο αποθηκεύσεως επικινδύνων αποβλήτων προγραμματίζεται η ανάμιξη αποβλήτων H_2SO_4 και τριχλωροαιθενίου. Να προβλέψετε εάν θα προκληθούν προβλήματα ασυμβατότητας από την εν λόγω ανάμιξη.

Λύση

Σύμφωνα με το Σχήμα 8-5, ανάμειξη θειϊκού οξέος με αλογονωμένες οργανικές ενώσεις προκαλεί έκλυση τοξικού αερίου και παραγωγή θερμότητας. Άρα η σχεδιαζόμενη ανάμειξη δεν είναι συμβατή.

8.7 Αποθήκευση επικινδύνων αποβλήτων

Μετά την εκφόρτωση, τα απόβλητα μεταφέρονται σε αποθηκευτικούς χώρους για τους εξής λόγους:

- Για ασφαλή αποθήκευση των αποβλήτων, μέχρι την τροφοδοσία τους σε συστήματα επεξεργασίας.
- Για ασφαλή αποθήκευση των αποβλήτων, όταν κάποια συστήματα επεξεργασίας έχουν υποστεί βλάβη και δεν λειτουργούν.
- Για διευκόλυνση της αναμείξεως των αποβλήτων, πριν την μόνιμη αποθήκευση, την επεξεργασία τους ή την διάθεσή τους.

Μία προφανώς σημαντική παράμετρος ασφαλείας είναι η αποτροπή και προστασία από πυρκαγιά. Γι' αυτό, η αποθήκευση κάποιων ειδών επικινδύνων αποβλήτων απαιτεί την τοποθέτηση αυτομάτου συναγερμού και κρουινών ύδατος. Η εγκατάσταση πρέπει να διαθέτει επαρκή ποσότητα ύδατος για την απόσβεση της πυρκαγιάς και σύστημα συλλογής της επιφανειακής απορροής της προερχομένης από την απόσβεση.

Η ασφαλής αποθήκευση απαιτεί συμβατότητα προς δύο κατευθύνσεις:

- Συμβατότητα του αποβλήτου με το δοχείο στο οποίο περιέχεται. Για παράδειγμα, πολλοί οργανικοί διαλύτες δεν είναι συμβατοί με πλαστικά δοχεία. Ομοίως, όξινα απόβλητα δεν είναι συμβατά με μεταλλικά δοχεία.
- Συμβατότητα του αποβλήτου με άλλα συναποθηκευόμενα απόβλητα. Για παράδειγμα, απόβλητα κυανίου πρέπει να τοποθετούνται μακριά από όξινα απόβλητα.

Για την αποφυγή ατυχημάτων, τα μη συμβατά απόβλητα θα πρέπει να διαχωρίζονται και να αποθηκεύονται σε χωριστές περιοχές της εγκατάστασης. Σε διαφορετική περίπτωση, η δημιουργία διαρροών θα είχε εν δυνάμει ως αποτέλεσμα την μείξη μη συμβατών αποβλήτων και την πρόκληση ανεπιθύμητων χημικών αντιδράσεων. Τέτοιες αντιδράσεις είναι δυνατόν να δημιουργούν ακραίες πιέσεις και συνθήκες πυρκαγιάς ή εκρήξεως ή ακόμη να παράγουν προϊόντα υψηλής τοξικότητας.

Τα δοχεία ή περιέκτες (*containers*) αποτελούν ένα από τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα συστήματα αποθήκευσης επικινδύνων αποβλήτων. Είναι κινητά και ευκολόχρηστα και στο εσωτερικό τους κάποιο υλικό αποθηκεύεται, μεταφέρεται, υφίσταται επεξεργασία, διατίθεται ή υφίσταται άλλου είδους μεταχείριση. Ο ορισμός αυτός είναι ευρύς, για να συμπεριλάβει όλα τα είδη των φορητών συσκευών, τα οποία δύνανται να χρησιμοποιηθούν για την διαχείριση των επικινδύνων αποβλήτων. Ένα δοχείο αποβλήτων δύναται να είναι ένα βαρέλι από χάλυβα ή πλαστικό, ένα βαγόνι σιδηροδρόμου, ένας μικρός κουβάς ή ένας δοκιμαστικός σωλήνας.

Σύμφωνα με την Αμερικανική Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος (EPA, 1999), τα δοχεία επικινδύνων αποβλήτων πρέπει να κατασκευάζονται ή να είναι εσωτερικά επικαλυμμένα με υλικά, τα οποία είναι συμβατά με το απόβλητο. Στους χώρους αποθήκευσης κατασκευάζεται, συνήθως, και ένα δευτεροβάθμιο σύστημα περιορισμού (*secondary containment system*), το οποίο αποτελεί μία δεύτερη γραμμή άμυνας, σε περίπτωση που το πρωτοβάθμιο σύστημα (δοχείο) αστοχήσει. Αυτό συνήθως αποτελείται από σκυρόδεμα και είναι εφοδιασμένο με σύστημα συλλογής υγρών, για την αντιμετώπιση διαρροών. Εάν δεν υπάρχουν ελεύθερα υγρά στα δοχεία των αποβλήτων, δεν απαιτείται δευτεροβάθμιο σύστημα περιορισμού. Απαιτείται, όμως, κλίση της βάσεως για να απομακρύνονται τυχόν όμβρια ύδατα και υπερυψωμένη βάση, για να αποφεύγεται επαφή των περιεκτών με τυχόν συσσωρευμένα υγρά.

Για τον σχεδιασμό ενός δευτεροβαθμίου συστήματος περιορισμού, υπάρχουν διάφορες προδιαγραφές (EPA, 1999):

- Η βάση πρέπει να είναι απηλλαγμένη από ρωγμές και να είναι επαρκώς αδιαπέρατη, ώστε να συγκρατεί υγρά και όμβρια ύδατα.
- Η βάση πρέπει να είναι κεκλιμένη, ώστε να διευκολύνει την αποστράγγιση και την απομάκρυνση των υγρών.
- Το δευτεροβάθμιο σύστημα περιορισμού πρέπει να έχει την ικανότητα να συγκρατεί τουλάχιστον 10% του όγκου των

περιεκτών ή 100% του όγκου του μεγαλύτερου περιέκτη, όποιος από τους δύο είναι μεγαλύτερος. Ο περιορισμός αυτός δεν εφαρμόζεται, εάν δεν υπάρχουν ελεύθερα υγρά στους περιέκτες.

- Η είσοδος ομβρίων υδάτων στον χώρο αποθηκείσεως πρέπει να παρεμποδίζεται.
- Οποιοδήποτε απόβλητο που έχει διαρρεύσει στο δευτεροβάθμιο σύστημα περιορισμού πρέπει να απομακρύνεται ταχέως, για να αποφεύγεται η υπερχειλίση.

Παράδειγμα (από LaGrega et al., 2001)

Τα κατωτέρω απόβλητα αποθηκεύονται σε δοχεία σε μία κοινή περιοχή μίας εγκαταστάσεως επεξεργασίας επικινδύνων αποβλήτων. (1) Τι θα συμβεί σε περίπτωση πυρκαγιάς, για τον έλεγχο της οποίας χρησιμοποιείται πυροσβεστική αντλία ύδατος υψηλής πίεσεως; (2) Για να υπάρχει ασφαλής αποθήκευση, πόσες χωριστές περιοχές αποθηκείσεως απαιτούνται;

Απόβλητα:

- A- Υγρό απόβλητο από παρασκευή χάλυβα
- B- Υγρό από επιμετάλλωση περιέχον κυανιούχα
- Γ- Ιλύς από επιμετάλλωση περιέχουσα κάδμιο
- Δ- Απολυπαντικό από επιμετάλλωση
- E- Ιλύς από χρώματα – βαφείο μετάλλων
- Z- Ιλύς αποστακτήρα από παραγωγό φαινολικών ενώσεων
- H- Εργαστηριακά απόβλητα πανεπιστημίου
- Θ- Ληγμένα φυτοφάρμακα
- I- Έδαφος ρυπασμένο με καύσιμο diesel
- K- Αλκαλικά καθαριστικά
- Λ- Απόβλητο περιέχον νάτριο
- M- Ιλύς με As από παραγωγό κτηνιατρικών φαρμάκων
- N- Απόβλητα από καθαρισμό βαρελιών και δεξαμενών

Λύση

Η ανωτέρω περιγραφή δεν χαρακτηρίζει τα απόβλητα επαρκώς, για να σχεδιασθεί η αποθήκευσή τους. Για παράδειγμα, το απόβλητο N δύναται

να περιέχει οξέα, βάσεις, διαλύτες και ιλύ από χρώματα και βαφές. Τα εργαστηριακά απόβλητα (H) δύνανται να περιέχουν ευρύτατη ποικιλία υλικών. Περισσότερες πληροφορίες συνήθως λαμβάνονται από τα αντίστοιχα μητρώα παραλαβής των αποβλήτων από την εγκατάσταση.

Για τη λύση του προβλήματος αυτού και με βάση το Σχήμα 8-5, θεωρούμε ότι τα απόβλητα περιέχουν τα δραστικά συστατικά, που παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί:

Απόβλητο	Δραστική ομάδα Σχήματος 8-5	Όνομα δραστικού συστατικού
A	2, 24	Οξειδωτικά ανόργανα οξέα, τοξικά μέταλλα
B	11	Κυανιούχα
Γ	24	Τοξικά μέταλλα
Δ	17	Αλογονωμένα οργανικά
E	16	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
Z	31	Φαινόλες – κρεσόλες
H	16	Αρωματικοί υδρογονάνθρακες
Θ	32	Οργανοφωσφορικά
I	29	Κεκορεσμένοι υδρογονάνθρακες
K	10	Καυστικά απόβλητα
Λ	107	Ουσίες που αντιδρούν με H ₂ O
M	24	Τοξικά μέταλλα
N	10	Καυστικά απόβλητα

Εάν χρησιμοποιηθεί πυροσβεστική αντλία ύδατος υψηλής πίεσης για τον έλεγχο πυρκαγιάς, είναι δυνατόν να συμβούν τα εξής (Σχήμα 8-5):

1. Ανατροπή δοχείων με οξέα και CN⁻ και πιθανή παραγωγή HCN.
2. Εάν υπάρχει διαρροή στα δοχεία, μεταλλικό Na ενδέχεται να αντιδράσει βίαια με H₂O, ελευθερώνοντας εύφλεκτο H₂.
3. Βίαιη αντίδραση αλκαλικών και όξινων αποβλήτων.
4. Απελευθέρωση μη αλογονωμένων διαλυτών σχηματίζει πιθανόν εκρηκτικό μίγμα με τον αέρα.
5. Χλωριωμένοι αρωματικοί υδρογονάνθρακες με οξέα σχηματίζουν τοξικά αέρια.

Προτείνονται τέσσερις (4) χωριστοί χώροι αποθηκείωσης:

Χώρος	Απόβλητα
1	Α, Γ, Μ
2	Β, Κ, Ν
3	Δ, Ε, Ζ, Η, Θ, Ι
4	Λ

8.8 Βιβλιογραφία

Environmental Protection Agency – EPA.
www.epa.gov/wastes/hazard/tsd/index.htm (πρόσβαση 1999).

LaGrega, M.D., Buckingham, P.L., Evans, J.C. Hazardous Waste Management, 2nd Edition. McGraw-Hill (2001).

Watts, R.J. Hazardous Wastes: Sources, Pathways, Receptors. Wiley (1997).

ΑΠΑΙΤΟΥΕΤΑΙ Η ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ