

Σαχινίδης Συμεών

Διαχείριση στερεών αποβλήτων

Εναλλακτικά Σενάρια διαχείρισης φωσφογύψου

Εισαγωγή

Η προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη των συστημάτων κατεργασίας και διάθεσης βιομηχανικών αποβλήτων είναι διαφορετική από την προσέγγιση που χρησιμοποιείται για την κατεργασία των αστικών αποβλήτων.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός, ότι τα αστικά απόβλητα παρουσιάζουν γενικά σημαντική ομοιότητα στα φυσικοχημικά και άλλα χαρακτηριστικά τους μεταξύ διαφορετικών περιοχών. Σαν αποτέλεσμα, η καλύτερη προσέγγιση για το σχεδιασμό ενός συστήματος κατεργασίας αστικών αποβλήτων είναι να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά επίδοσης πολλών συστημάτων κατεργασίας, που λειτουργούν ικανοποιητικά, οπότε θα γίνει δυνατό να προκύψει ένα σύνολο βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού, που θα χρησιμοποιηθεί για την καινούργια περίπτωση σχεδιασμού. Δηλ. η έμφαση στην περίπτωση αυτή δίνεται στην ανάλυση των άλλων συστημάτων κατεργασίας, παρά στη θεώρηση του συγκεκριμένου αποβλήτου. Αντίθετα, στην περίπτωση των βιομηχανικών αποβλήτων, λίγες σχετικά βιομηχανίες παρουσιάζουν σημαντικό βαθμό ομοιότητας, όσον αφορά τα παραγόμενα προϊόντα, ή τα δημιουργούμενα απόβλητα. Επομένως, στην περίπτωση αυτή η έμφαση θα δίνεται στο συγκεκριμένο απόβλητο, του οποίου επιζητείται η κατεργασία και το οποίο δημιουργείται από τη συγκεκριμένη βιομηχανία. Αυτό φυσικά δε σημαίνει, ότι δεν θα είναι σημαντική και η ανάλυση της απόδοσης ενός συστήματος κατεργασίας σε μία, περισσότερο ή λιγότερο, παρεμφερή βιομηχανική εγκατάσταση. Απλώς, η έμφαση που δίνεται, θα είναι διαφορετική στην περίπτωση αυτή. Τα βιομηχανικά απόβλητα συνήθως ταξινομούνται σαν υγρά ή στερεά απόβλητα και σαν αέριοι ρύποι, ενώ συχνά υπεύθυνα για τη διαχείριση των τριών αυτών ειδών αποβλήτων θα είναι διαφορετικά τμήματα της βιομηχανικής εγκατάστασης, που τα παράγει. (Ζουμπούλης ,2008)

Σύμφωνα με το ΥΠΕΧΩΔΕ, τα τοξικά και επικίνδυνα απόβλητα (στερεά και λάσπες) που παράγονται στην Ελλάδα ανέρχονται σε 280.000 τόνους το χρόνο. Στις ποσότητες αυτές δεν περιλαμβάνονται όμως απόβλητα που κατά το ΥΠΕΧΩΔΕ "ανακυκλώνονται", χρησιμοποιούνται δηλαδή για το μπάζωμα δρόμων ή ως πρόσθετα σε τσιμέντα. Αν μάλιστα προσθέσει κανείς και απόβλητα που χρήζουν ειδικής προσοχής και διαχείρισης, όπως είναι π.χ. οι σκουριές από την εκμετάλλευση του σιδηρονικελίου (2.000.000 τον/χρόνο), η φωσφογύψος από τις βιομηχανίες λιπασμάτων (1.000.000 τον/χρόνο) και η ιπτάμενη τέφρα από την καύση του λιγνίτη (9.320.000 τον/χρόνο), αλλά και τους 4.500.000 τον/χρόνο οικιακών απορριμμάτων, τότε αναφερόμαστε στη διαχείριση 18-20 εκατ. τόνων στερεών και ημίρρευστων αποβλήτων ετησίως.

Κυρίως θέμα

Η διαχείριση των αποβλήτων και η αποκατάσταση μιας ρυπασμένης περιοχής συνήθως διαρκεί αρκετά μεγάλη χρονική περίοδο και περιλαμβάνει, σε αρκετές περιπτώσεις, εφαρμογή περισσότερων από μιας τεχνολογιών. Συνεπώς, η τελική επιλογή των εναλλακτικών τεχνολογιών γίνεται με βάση τα κύρια και τα συμπληρωματικά χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας. Ένα κύριο χαρακτηριστικό μιας τεχνολογίας διαχείρισης είναι αυτό, το οποίο αποκόπτει τις κυριότερες οδούς μεταφοράς των ρυπαντών από τη ρυπασμένη περιοχή προς το περιβάλλον. Ένα συμπληρωματικό χαρακτηριστικό είναι συνήθως αυτό, το οποίο βοηθά, σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό, τη δράση του κύριου χαρακτηριστικού για την επίτευξη του αντικειμενικού στόχου. Για παράδειγμα, ένα κύριο χαρακτηριστικό μιας τεχνολογίας διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων, που στοχεύει στην προστασία του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα, περιλαμβάνει την κατασκευή ενός προστατευτικού ενεργού τοιχίου, το οποίο αποτρέπει την μεταφορά των εκχυλισμάτων προς τα υπόγεια ύδατα. Ένα συμπληρωματικό χαρακτηριστικό μπορεί να περιλαμβάνει τη διάνοιξη γεωτρήσεων ή την κατασκευή μιας τάφρου συλλογής, ώστε τα παραγόμενα εκχυλίσματα να συλλέγονται και επεξεργάζονται. Τα κύρια και συμπληρωματικά χαρακτηριστικά της κάθε εναλλακτικής τεχνολογίας πρέπει να εξετάζονται ταυτόχρονα, ώστε να μπορεί να αξιολογηθεί συνολικά η κάθε τεχνολογία διαχείρισης. Σε

αρκετές περιπτώσεις, οι εναλλακτικές τεχνολογίες που επιλέγονται διέπονται από εντελώς διαφορετική φιλοσοφία. Έτσι, θεωρείται πολύ φυσιολογικό να επιλεγούν τεχνολογίες, οι οποίες στοχεύουν στην αποτελεσματικότητα τους.

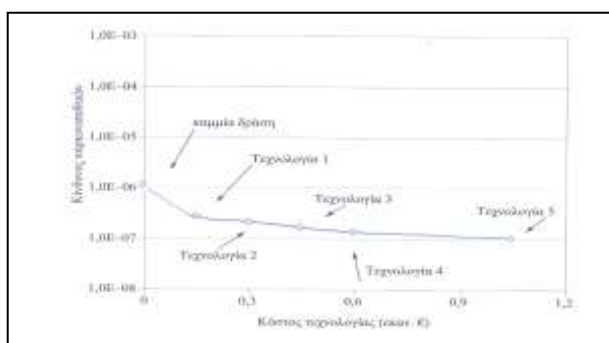
Η εφαρμογή τεχνολογιών διαχείρισης, έχει ως στόχο την εξάλειψη της επικινδυνότητας, η οποία προκαλείται από τους ρυπαντές που περιέχονται στα επικίνδυνα απόβλητα. Η εφαρμοσιμότητα μιας τεχνολογίας εξαρτάται, σε αρκετές περιπτώσεις, από την ανάλυση διαφόρων υποθετικών σεναρίων, τα οποία αναφέρονται στην περιβαλλοντική κατάσταση της περιοχής διάθεσης στο μέλλον, λαμβάνοντας υπόψη τα σημερινά δεδομένα. Τέτοια σενάρια σχετίζονται με αλλαγή των χρήσεων γης μιας περιοχής, όπως επίσης και με πιθανή αλλαγή των περιβαλλοντικών συνθηκών ή τη μεταβολή των ευαίσθητων πληθυσμιακών ομάδων. Η απόφαση που προκύπτει, με βάση τα σενάρια αυτά, δεν μπορεί να επηρεάζεται μόνο από οικονομικούς λόγους, γιατί όπως άριστα γνωρίζουμε, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθούν στην αρχή τεχνολογίες πρόληψης της ρύπανσης παρά στο μέλλον τεχνολογίες διαχείρισης των αποβλήτων. Για το λόγο αυτό, η εφαρμοσιμότητα μιας τεχνολογίας συνήθως εξαρτάται από τις απαντήσεις που δίδονται σε μια σειρά ερωτημάτων, όπως:

1. Ποια είναι η αξιοπιστία των δεδομένων παρακολούθησης της περιβαλλοντικής κατάστασης της περιοχής, ώστε να προβλεφθεί η ανάγκη εφαρμογής, σε κάποια μελλοντική στιγμή, επιπρόσθετων μέτρων προστασίας;
2. Ποιο εκτιμάτε ότι θα είναι το κόστος των επιπρόσθετων μέτρων αποκατάστασης, τα οποία θα θεωρηθούν αναγκαία σε μια μελλοντική χρονική στιγμή;
3. Θα υπάρχουν οι απαραίτητοι χρηματικοί πόροι στο μέλλον για την υλοποίηση σχεδίων εκτάκτων αναγκών.

Ως παράδειγμα αναφέρεται η εφαρμογή τεχνολογίας, η οποία περιλαμβάνει εκσκαφή ρυπασμένων εδαφών με σκοπό τη μεταφορά τους σε άλλη περιοχή ώστε να υποβληθούν σε επεξεργασία. Οι επιπτώσεις που προκαλούνται στις πληθυσμιακές ομάδες, στην περιοχή των εργασιών, εξαιτίας της εξάτμισης πτητικών συστατικών, της μεταφοράς σκόνης και από άλλες εκπομπές, πρόκειται να διαρκέσουν για όλη τη διάρκεια των εργασιών, έστω και αν αυτή είναι 15 χρόνια. Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις, εκτός από τον

προσδιορισμό των επιπτώσεων σε ανθρώπους και περιβάλλον, περιλαμβάνουν τόσο θέματα ασφάλειας των εργαζομένων, όσο και το χρονικό πλαίσιο σύμφωνα με το οποίο η εφαρμοζόμενη τεχνολογία θα επιτύχει τους αντικειμενικούς της στόχους.

Η βαρύτητα που αποδίδεται στο κόστος των εναλλακτικών τεχνολογιών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για τη διαχείριση των επικίνδυνων αποβλήτων, εξαρτάται συνήθως από το φορέα, ο οποίος έχει αναλάβει την εφαρμογή των τεχνολογιών αυτών. Όπως γνωρίζουμε, οι περισσότεροι φορείς θεωρούν ότι το κόστος είναι ο σημαντικότερος παράγοντας, κατά τη διαδικασία επιλογής μιας μεθόδου διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων. Οι μηχανικοί αναγνωρίζουν ότι, εάν το κόστος δεν αποτελεί παράγοντα επιλογής μιας τεχνολογίας, τότε πρακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η βέλτιστη τεχνολογία διαχείρισης των επικίνδυνων αποβλήτων, ώστε να εξαλειφθούν όλες οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Συνεπώς, πρέπει να γνωρίζουμε ότι το κόστος είναι πάντοτε ο σημαντικότερος παράγοντας, ο οποίος αξιολογείται κατά το τελικό στάδιο της επιλογής μιας τεχνολογίας διαχείρισης αποβλήτων. Η σύγκριση των εναλλακτικών μεθόδων ως προς το κόστος, πιθανόν να προκαλέσει ανατροπή της απόφασης επιλογής μιας τεχνολογίας σε σχέση με τα υπόλοιπα κριτήρια, όπως η μακροχρόνια αξιοπιστία της τεχνολογίας και η αποτελεσματικότητα. Ένας συνηθισμένος τρόπος για να εκτιμήσετε το κόστος διάφορων εναλλακτικών τεχνολογιών διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων, είναι να το συγκρίνετε με το βαθμό μείωσης της επικινδυνότητας, που επιτυγχάνεται μετά την εφαρμογή της κάθε τεχνολογίας, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Μείωση κινδύνου σε συνάρτηση με το κόστος για διάφορες τεχνολογίες διαχείρισης επικίνδυνων αποβλήτων.

Στο παράδειγμα του σχήματος αυτού, η τεχνολογία που θα επιλεγεί, είναι αυτή η οποία θα μειώσει τον κίνδυνο πρόκλησης καρκινοπαθειών σε 1×10^{-7} . Όπως αντιλαμβάνεστε, θα επιλεγεί η τεχνολογία 5, με κόστος 1 εκατομμύριο €. Κατά

τον υπολογισμό της επικινδυνότητας, συνήθως θεωρείται, ότι η εφαρμοζόμενη τεχνολογία επιτυγχάνει τον αντικειμενικό της στόχο.

Η σύγκριση του κόστους για κάθε μια εναλλακτική τεχνολογία διαχείρισης, πρέπει να γίνεται με βάση την παρούσα αξία της χρηματικής ροής που αφορά την επένδυση. Η κοστολόγηση τεχνολογιών, οι οποίες περιλαμβάνουν μακροχρόνιο λειτουργικό κόστος και κόστος παρακολούθησης, γίνεται για περίοδο λειτουργίας 30 ετών.

Οι περισσότερες τεχνολογίες, οι οποίες περιλαμβάνουν επεξεργασία αποβλήτων, συνήθως εφαρμόζονται για περίοδο 10 ή 15 ετών, μπορεί όμως να εφαρμοσθούν και για μικρότερη περίοδο. Πάντως, σε αρκετές περιπτώσεις, ο προσδιορισμός της αποτελεσματικότητας της εφαρμοζόμενης τεχνολογίας απαιτεί παρακολούθηση της τεχνολογίας για αρκετά μεγάλη χρονική περίοδο από τη στιγμή της εφαρμογής της.

Η παρούσα αξία της επένδυσης, περιλαμβάνει τις δαπάνες που απαιτούνται κατά την έναρξη (έτος βάσης) ώστε: (1) να χρηματοδοτηθεί η κατασκευή και (2) να εξασφαλισθούν οι ετήσιες πληρωμές για τη λειτουργία και τη συντήρηση, σε όλη την περίοδο εφαρμογής της τεχνολογίας. Η ανάλυση αυτή υπολογίζει το μελλοντικό κόστος, ως προς το έτος βάσης (παρούσα χρονική στιγμή). Αυτό προϋποθέτει την επιλογή ενός κατάλληλου επιτοκίου προεξόφλησης. Η συνηθέστερη πρακτική η οποία χρησιμοποιείται, είναι αυτή η οποία υπολογίζει το μελλοντικό κόστος χρησιμοποιώντας επιτόκιο ίσο με το επιτόκιο των μακροπρόθεσμων ομολογιακών δανείων.

Εξετάζοντας μια τεχνολογία διαχείρισης του φωσφογύψου, η οποία απαιτεί δαπάνες 0.6 εκατ. €, αλλά θα αποδώσει συνολικά οφέλη από εξάλειψη μελλοντικών υποχρεώσεων του εργοστασίου παραγωγής και μείωση του περιβαλλοντικού φόρου, λόγω μετατροπής της περιοχής σε τουριστική ζώνη, 1,1 εκατ. €. Δεχόμαστε ότι θα υπάρχει και ένα αυξημένο κόστος παραγωγής 0.2 εκατ. €. Θα προσπαθήσω να υπολογίσω το λόγο Ο/Κ

(Όφελος/Κέρδος) με βάση τα παραπάνω στοιχεία, και στην συνέχεια θα προσπαθήσω να υλοποιήσω μια ανάλυση κόστους – αποτελεσματικότητας, θεωρώντας δύο εναλλακτικές τεχνολογίες διαχείρισης (α): Δημιουργία ενός εδαφικού καλύμματος για την εξάλειψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και (β) Μεταφορά και επεξεργασία των αποβλήτων σε άλλη περιοχή.

Έστω τα οφέλη (Ο) που προκύπτουν από την εφαρμογή μιας τεχνολογίας

διαχείρισης των αποβλήτων μπορεί να αφορούν κέρδη από πώληση δευτερογενών παραγόμενων προϊόντων, αποφυγή μελλοντικών δαπανών λόγω μη πρόκλησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, μείωση του όγκου των αποβλήτων κ.λ.π. Όταν κατά την αξιολόγηση των τεχνολογιών λαμβάνονται υπόψη και τα μειονεκτήματα (M) της κάθε τεχνολογίας, τότε ο υπολογισμός του λόγου οφέλους/κόστος (O/K) μπορεί να πραγματοποιηθεί με τις εξισώσεις 1 και 2.

$$(O - M) / K \quad (1)$$

$$O / (K + M) \quad (2)$$

Όπου

O = όφελος

K = κόστος

M = μειονεκτήματα

Θέτοντας στην 1 και 2 εξισώσεις τις παρακάτω τιμές (στην περίπτωση που εξετάζουμε)

$K=0,6$ εκ Ευρώ

$O=1,1$ εκ. Ευρώ

$M=0,2$ εκ Ευρώ

Βρίσκουμε

$$(O - M) / K = 1,1 - 0,2 / 0,6 = 1,5$$

$$O / (K + M) = 1,1 / 0,6 + 0,2 = 1,375$$

Να τονιστεί ότι όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή η οποία προκύπτει από την εφαρμογή των λόγων αυτών, τόσο πιο ελκυστική καθίσταται η προτεινόμενη τεχνολογία. (Komnitsas K. et al., 1999).

Σχόλια

Η τιμή που προκύπτει από τις δύο αυτές εξισώσεις είναι ελαφρώς διαφορετική, αλλά επειδή ο λόγος είναι μεγαλύτερος της μονάδας και στις δύο περιπτώσεις, θεωρείται ότι η προτεινόμενη τεχνολογία θα επιτύχει το στόχο της. Η διαφορά στις τιμές του λόγου, προκύπτει από τη θέση της παραμέτρου M (αν δηλαδή η παράμετρος υπολογίζεται στον αριθμητή ή στον παρονομαστή), που σχετίζεται με τα μειονεκτήματα της προτεινόμενης τεχνολογίας.

Μια τροποποίηση της ανάλυσης οφέλους/κόστους είναι ο υπολογισμός του λόγου **κόστους/αποτελεσματικότητας**. Στην περίπτωση αυτή δεν γίνεται

καμία προσπάθεια να δοθούν τιμές σε απροσδιόριστους παράγοντες, αλλά όλα τα κόστη υπολογίζονται για τις διάφορες εναλλακτικές τεχνικές, με βάση την παρούσα αξία της κάθε επένδυσης. Η αποτελεσματικότητα προσδιορίζεται συνήθως με βάση υποθέσεις σχετικές με την ασφάλεια, τις πιθανές επιπτώσεις στην παραγωγή οι οποίες δύσκολα μπορεί να ποσοτικοποιηθούν (καθυστερήσεις, ποιότητα προϊόντων κ.λ.π.), τα «κρυφά» κόστη (hidden costs) (αναφορών, παρακολούθησης κ.λ.π.), το κόστος δημοσίων σχέσεων, την ευκολία εφαρμογής της τεχνολογίας και τις μελλοντικές ευθύνες. Η ανάλυση κόστους - αποτελεσματικότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν αξιολογούνται παράμετροι, οι οποίοι δεν μπορούν εύκολα να κοστολογηθούν. Για παράδειγμα, η κοινωνία μας θεωρεί αγενές να κοστολογήσει την ανθρώπινη ζωή, ή μια παραπάνω περίπτωση εκδήλωσης καρκίνου, ακόμη και στις περιπτώσεις όπου η εφαρμογή της τεχνολογίας διαχείρισης των αποβλήτων έχει ως στόχο την προστασία της ανθρώπινης ζωής ή τη μείωση των περιστατικών καρκίνου. Στην τελευταία περίπτωση, η παράμετρος η οποία θεωρείται ως μέτρο προσδιορισμού της αποτελεσματικότητας μιας τεχνολογίας είναι η επικινδυνότητα.

Η λήψη της τελικής απόφασης, σε σχέση με τις εξεταζόμενες εναλλακτικές τεχνολογίες διαχείρισης, συνήθως λαμβάνεται από τη γραφική παράσταση κόστους - αποτελεσματικότητας.

Η κατασκευαστική μονάδα που εξετάζουμε δεν μπορεί, για διάφορους λόγους, να χρησιμοποιήσει πλέον την περιοχή διάθεσης επικίνδυνων αποβλήτων που χρησιμοποιούσε για αρκετά χρόνια και εξετάζει τις παρακάτω εναλλακτικές λύσεις.

A. Να μεταφέρει τα απόβλητα σε περιοχή διάθεσης που βρίσκεται σε γειτονικό νομό.

B. Να δημιουργήσει ένα εδαφικό κάλυμμα για την εξάλειψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Μετά από την ανάλυση κόστους - αποτελεσματικότητας θα επιλεγεί η βέλτιστη εναλλακτική λύση.

Η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας προκύπτει από τα στοιχεία του παρακάτω Πίνακα 1.

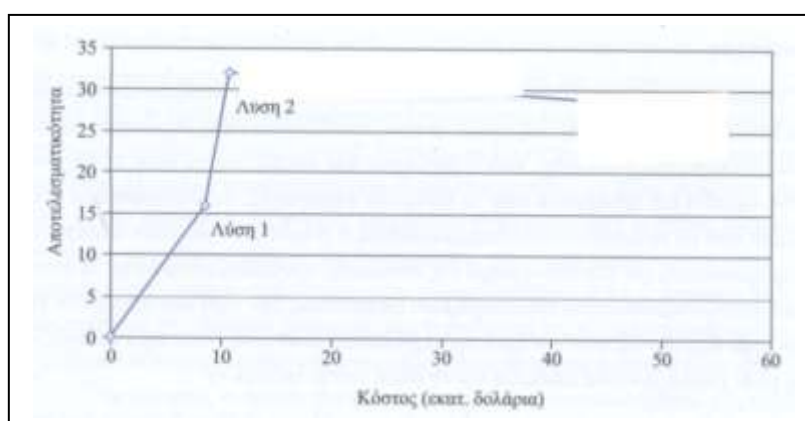
Παράγοντας	Βαρύτητα	Αποτελεσματικότητα		
		Τεχνολογία αναφοράς	1	2
Βιολογική παραγωγή	2	-3	-2	-1
Μακροπρόθεσμος πληθυσμός	3	-5	-3	-2
Συμμόρφωση με τις περιβαλλοντικές προδιαγραφές	5	-2	+1	+2
Εκείπωση στην παραγωγή	5	0	-2	-1
Αγρότες αγέρας	1	0	+2	+2
Άλλες επιπτώσεις	1	-3	-2	-1
Άθροισμα	-34	-18	-2	-6
Αποτελεσματικότητα	0	16	32	28
Κόστος (εκπ. δολάρια)	0	8,6	10,7	52,4

Πίνακας 2. Ανάλυση κόστους - αποτελεσματικότητας

Οι παράγοντες στους οποίους αποδίδονται τιμές βαρύτητας αποτελούν επιλογές της διοίκησης, ενώ η βαρύτητα που αποδίδεται σε κάθε παράγοντα είναι σχετική και προέρχεται από τα δεδομένα παραγωγής. Το άθροισμα που προκύπτει από το γινόμενο «Αποτελεσματικότητα X Βαρύτητα» για κάθε παράγοντα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της συνολικής αποτελεσματικότητας. Η συνολική αποτελεσματικότητα προσδιορίζεται αφαιρώντας την τιμή που προκύπτει για την κάθε τεχνολογία, από την τιμή της τεχνολογίας αναφοράς (δηλ. της επιλογής να μη γίνει τίποτα, η οποία αποτελεί και τη βάση των μετρήσεων).

Από τα δεδομένα του πίνακα, προκύπτει ότι η εναλλακτική λύση 2 είναι η καλύτερη, επειδή ενώ είναι δύο φορές πιο αποτελεσματική από τη λύση 1, παρουσιάζει μόνο κατά περίπου 30% αυξημένο κόστος.

Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται ευκρινέστερα στο σχήμα 2.



Σχήμα 2. Διάγραμμα κόστους – Αποτελεσματικότητας.

Να τονιστεί ότι ο προσδιορισμός των συντελεστών βαρύτητας είναι αντικειμενικός και σωστός. Όπως αναφέρθηκε πριν, η βαρύτητα που αποδίδεται σε κάθε παράγοντα είναι σχετική, προέρχεται από τα δεδομένα της παραγωγής και αποτελεί επιλογή της διοίκησης. (Κομπίτσας, Κ.,2004)

Συνεπώς, εάν τα δεδομένα της παραγωγής είναι σωστά, τότε εύκολα μπορούν να προσδιορισθούν αντικειμενικά οι συντελεστές βαρύτητας. Εάν στην πράξη, δεν έχουμε ακριβή δεδομένα παραγωγής, αλλά θέλουμε να προσδιορίσουμε κάποιους συντελεστές βαρύτητας, τότε μπορούμε χρησιμοποιήσουμε τα δεδομένα που έχουμε και προσδιορίζουμε τους συντελεστές βαρύτητας κατ' αναλογία, λαμβάνοντας υπόψη και πιθανές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων παραγόντων.

Βιβλιογραφία

- Κομπίτσας Κ. Μεθοδολογία επιλογής και εκτίμησης κόστους Τεχνολογιών Διαχείρισης Επικίνδυνων Αποβλήτων Τόμος Β Διαχείριση Στερών Αποβλήτων. p.p 265-276. Πάτρα 2004.
- Ζουμπούλης Α. Διαχείριση Βιομηχανικών Αποβλήτων. Τομέας Χημείας Τεχνολογίας Α.Π.Θ. 2008.
- Komnitsas K., A. Kontopoulos, I. Lazar. Application of a vegetative cover on phosphogypsum stacks. Minerals Engineering, 12 (2), p.p. 187 - 203, 1999.