

# Περιβάλλον και Καθαρή Τεχνολογία

### 10.1 Εισαγωγή: απόβλητα και αρχές καθαρής τεχνολογίας.

Το κύριο πρόβλημα αναφορικά με τη σχέση άμεσης παραγωγικής διαδικασίας-περιβάλλοντος είναι οι εκροές της παραγωγής (ρύποι, απόβλητα) κάθε είδους. Όπως και με την εγγενή ασφάλεια και το θέμα των διαρροών, είναι προτιμώτερο και εδώ να σχεδιάσουμε προληπτικά για να αποφύγουμε την ύπαρξη αποβλήτων και τα απαραίτητα πολύπλοκα συστήματα κατεργασίας αυτών.

Οι επιπτώσεις της ρύπανσης μπορεί να είναι **άμεσες** (διαρροή τοξικών ουσιών) ή **έμμεσες**, όπως με μη διασπώμενα τοξικά απόβλητα που συσσωρεύονται με την πάροδο του χρόνου στο περιβάλλον, ενώ επίσης εισέρχονται στην τροφική αλυσίδα. Η αντιμετώπιση αυτών των συνεπειών μπορεί να υπακούει στις ακόλουθες δύο φιλοσοφίες:

- **Μετεπεξεργασία** των εκπομπών ρύπων (end-of-ripe treatment) με οξείδωση, βιολογική κατεργασία κλπ για να πάρουμε τελικά κάτι που μπορεί να αποβληθεί στο περιβάλλον.
- **Ελαχιστοποίηση αποβλήτων** κατά το σχεδιασμό μέσω **καθαρής χημικής τεχνολογίας**.

Το θέμα με τη μετεπεξεργασία είναι ότι αποτελεί μετάθεση του προβλήματος. Τα απόβλητα μπορούμε να τα αραιώσουμε και να τους επιβάλλουμε φυσικές και χημικές μεταβολές, αλλά σε τελική ανάλυση δε μπορούμε να τα εξαλείψουμε. Π.χ. υδατικά απόβλητα που περιέχουν βαρέα μέταλλα μπορούν να υποστούν χημική κατεργασία για να διώξουν το μέταλλο με μορφή ιζήματος και να αποβάλλουμε με σχετική ασφάλεια το υδατικό απόβλητο, αλλά το ίδιο το ίζημα παραμένει επικίνδυνο για τον υδροφόρο ορίζοντα όπου και αν αποθεθεί.

Αντίθετα, η *εκ των προτέρων* ελαχιστοποίηση ή και εξάλειψη των αιτιών δημιουργίας επιβλαβών αποβλήτων έχει *διπλό όφελος*:

- μείωση κόστους για την κατεργασία αποβλήτων (πάγιου και λειτουργικού),
- μείωση κόστους πρώτων υλών αφού τα απόβλητα συχνά προέρχονται από ανεπαρκή αποδοτικότητα της τροφοδοσίας, όπως έχουμε συζητήσει και σε σχετική Ενότητα.

Τα απόβλητα κάθε διεργασίας μπορεί να διαφοροποιούνται σημαντικά ανάλογα με τις πρώτες ύλες και τα παρασκευαζόμενα προϊόντα που είναι πάρα πολλών ειδών. Αλλά οι διάφορες βοηθητικές διεργασίες (π.χ. ψύξη, θέρμανση) δεν αλλάζουν σημαντικά από μονάδα σε μονάδα και τα απόβλητα που συνδέονται με αυτές μπορούν να εξεταστούν χωριστά. Ακολουθώντας λοιπόν, το γνωστό μας μοντέλο του κρεμμυδιού, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τα απόβλητα της παραγωγικής διαδικασίας ως εξής:

- **Απόβλητα διεργασιών:** αυτά προέρχονται από τις χημικές διεργασίες και τις φυσικές διεργασίες (κυρίως διαχωρισμούς) της μονάδας και μπορεί να είναι παραπροϊόντα, συστατικά που διαχωρίζονται και αποβάλλονται κλπ. Αυτά τα απόβλητα μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από μονάδα σε μονάδα ανάλογα με το τι παρασκευάζεται εκεί, αν και υπάρχουν επίσης κοινές περιπτώσεις, όπως προϊόντα οξείδωσης οργανικών ενώσεων.
- **Απόβλητα βοηθητικών παροχών:** Αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν καυσαέρια από θέρμανση για δημιουργία ατμού ή άλλη χρήση, προκατεργασία νερού για χρήση σε εναλλάκτες κλπ. Αυτά μπορεί να μοιάζουν περισσότερο από μονάδα σε μονάδα εφόσον υπάρχουν κοινές διεργασίες, λειτουργίες και τεχνικές.

Αναλυτικότερα, τα απόβλητα των διεργασιών μπορεί να προέρχονται από τις εξής πηγές:

- *Αντιδραστήρες*: αυτοί δίνουν κυρίως μη αξιοποιήσιμα **παραπροϊόντα**.
- *Διεργασίες διαχωρισμού/ανακύκλωσης*: εδώ μπορεί να έχουμε **ανεπαρκή ανάκτηση** και ανακύκλωση χρήσιμου προϊόντος από το ρεύμα εξόδου.
- *Διάφοροι χειρισμοί* των διεργασιών: αυτή η κατηγορία αφορά κάθε είδους ενέργειες όπως εκκίνηση και σταμάτημα μιας διεργασίας, πέρασμα σε άλλο προϊόν, καθαρισμό εξοπλισμού, πλήρωση δεξαμενών κλπ. Όλα αυτά παράγουν απόβλητα. Π.χ. μια αντίδραση ή ένας φυσικός διαχωρισμός σε μη μόνιμη κατάσταση (εκκίνηση, σταμάτημα, αλλαγή προϊόντος) συνεπάγεται προσωρινά διαφορετική σύσταση παραγόμενου μίγματος ή ενδεχομένως, ο καθαρισμός του εξοπλισμού συνεπάγεται απόρριψη ενός μίγματος από χημικά καθαρισμού και ουσίες που απομακρύνθηκαν κλπ.

Αντίστοιχα, τα απόβλητα που συνδέονται με τις ψυχρές και θερμές βοηθητικές παροχές και με το δίκτυο νερού/ατμού, μπορεί να προέρχονται από τις εξής πηγές:

- φούρνοι, αναβραστήρες, τουρμπίνες, ντηζελομηχανές και γενικά εξοπλισμός που παράγει **καυσαέρια**. Αυτά συνήθως περιέχουν οξείδια ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) και στερεά σωματίδια και συμβάλλουν
  - στο φαινόμενο θερμοκηπίου,
  - την όξινη βροχή,
  - την αιθαλομίχλη.
- **Προκατεργασία** νερού (απομάκρυνση αλάτων) για τροφοδοσία αναβραστήρων.
- **Υδατικά απόβλητα** καθαρισμού ή διαχωρισμού, όπως εκχύλιση, έκπλυση αερίων καθαρισμός εξοπλισμού κλπ.

Η γενικότερη λογική του σχεδιασμού διεργασιών είναι συμβατή με την καθαρή τεχνολογία γιατί αποβλέπει στην αύξηση της απόδοσης των αντιδράσεων και της ενέργειας που χρησιμοποιείται και την ελαχιστοποίηση των παραπροϊόντων και άλλων αποβλήτων, καθώς και της χρήσης ξένων προς το τελικό προϊόν υλικών. Επομένως, η ύπαρξη προβλημάτων σχετικών με απόβλητα δεν είναι μόνο ζήτημα που αναδεικνύουμε από την ανάγκη για σεβασμό στο περιβάλλον` είναι ακόμη και ένδειξη ατελούς σχεδιασμού, γενικότερα. Στη συνέχεια, εξετάζουμε την εφαρμογή της φιλοσοφίας της καθαρής τεχνολογίας ξεκινώντας, ως συνήθως, από τον αντιδραστήρα.

## 10.2 Καθαρή τεχνολογία για χημικούς αντιδραστήρες

Εδώ, η ουσία βρίσκεται στον περιορισμό των αποβαλλόμενων παραπροϊόντων. Στη συνέχεια, συζητάμε τα προβλήματα που υπάρχουν στις κανονικές συνθήκες λειτουργίας και τον τρόπο αντιμετώπισής τους:

### 10.2.1 Τροφοδοσία που δεν αντέδρασε.

Όταν, για κάποιο λόγο, είναι δύσκολο να ανακυκλώσουμε το υλικό που δεν αντέδρασε, αυτό αποβάλλεται. Η αντιμετώπισή του περιλαμβάνει τις εξής περιπτώσεις:

- *Περίπτωση απλής αναντίστρεπτης αντίδρασης*. Περιορίζουμε τα απόβλητα επιδιώκοντας τη **μέγιστη δυνατή μετατροπή** με
  - μεγαλύτερο χρόνο παραμονής στον αντιδραστήρα
  - αποτελεσματικότερο καταλύτη
  - υψηλότερη θερμοκρασία ή πίεση (αλλά να θυμόμαστε και την επίπτωση στην εγγενή ασφάλεια!)
  - συνδυασμό των ανωτέρω.
- *Περίπτωση απλής αντιστρεπτής αντίδρασης*. Εδώ το ζητούμενο είναι η **μετατόπιση της χημικής ισορροπίας** για την αύξηση και πάλι, της απόδοσης. Αυτό μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

- ο περίσσεια ενός από τα αντιδρώντα
- ο διαχωρισμός και απομάκρυνση προϊόντος πριν από την ολοκλήρωση της αντίδρασης. Αυτό σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να γίνει και σε συνεχή βάση π.χ. με εξάτμιση ή χρήση ημιπερατών μεμβρανών στον αντιδραστήρα.
- ο Αν η αντίδραση οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των mol, τότε η μετατροπή στην ισορροπία αυξάνεται με προσθήκη αδρανούς (π.χ. διαλύτη στα υγρά μίγματα, αδρανούς αερίου στα αέρια μίγματα) για αραιώση του μείγματος και μείωση των συγκεντρώσεων. Αντίστοιχα, πρέπει να ελαττωθεί η συγκέντρωση αδρανούς όταν τα mol μειώνονται (ενώ προφανώς δεν έχει επίπτωση όταν τα mol είναι ίδια σε προϊόντα και αντιδρώντα).
- ο Αύξηση της θερμοκρασίας για ενδόθερμες αντιδράσεις – στο βαθμό που δεν παραβιάζει όρια αντοχής των κατασκευαστικών υλικών, διάρκειας ζωής του καταλύτη ή απαιτήσεις ασφάλειας. Αντίστοιχα, μείωση της θερμοκρασίας για εξώθερμες αντιδράσεις.
- ο Όταν αντίδραση στην αέρια φάση οδηγεί σε μείωση των mol, η απόδοση αυξάνεται με μεγαλύτερη πίεση, εφόσον δεν παραβιάζονται όρια αντοχής των κατασκευαστικών υλικών, οικονομικοί περιορισμοί λόγω λειτουργικού κόστους για τη συμπίεση του μίγματος ή απαιτήσεις ασφάλειας. Αντίστοιχα, για αντιδράσεις που επιφέρουν αύξηση των mol, ελαττώνουμε την πίεση του αερίου μίγματος είτε με μείωση της απόλυτης πίεσης είτε με προσθήκη αδρανούς αερίου.

### 10.2.2 Παραπροϊόντα από την κύρια αντίδραση

Ας υποθεθεί ότι η διεργασία μας περιλαμβάνει την κύρια αντίδραση



που δίνει και το χρήσιμο προϊόν και ένα άχρηστο παραπροϊόν. Εδώ, δεν υπάρχει τρόπος μείωσης των αποβλήτων, ιδίως αν θέλουμε να επιτύχουμε μεγαλύτερη απόδοση. Η μόνη λύση είναι να αλλάξουμε τρόπο σύνθεσης του προϊόντος (άλλη αντίδραση).

### 10.2.3 Παραπροϊόντα από δευτερεύουσες αντιδράσεις

Εδώ, το ζητούμενο είναι να αυξηθεί η εκλεκτικότητα υπέρ της κύριας και σε βάρος των δευτερευουσών αντιδράσεων. Οι παρακάτω κατευθυντήριες αρχές ισχύουν σε αυτή την περίπτωση:

- *Επιλογή του κατάλληλου τύπου αντιδραστήρα που μεγιστοποιεί την εκλεκτικότητα.* Έστω, για παράδειγμα, μία κύρια και μία δευτερεύουσα αντίδραση με ρυθμούς  $r_1 = k_1 C_F^{a_1}$  και  $r_2 = k_2 C_F^{a_2}$ , αντίστοιχα, όπου  $C_F$  η συγκέντρωση του (μοναδικού, στο παράδειγμά μας)

αντιδρώντος. Τότε θέλουμε να ελαχιστοποιήσουμε το λόγο  $\frac{r_2}{r_1} = \frac{k_2}{k_1} C_F^{a_2 - a_1}$ .

Είναι προφανές ότι αυτό εξαρτάται από τις τάξεις των αντιδράσεων  $a_1$  και  $a_2$  και από τη διαφορά τους. Αν η κύρια αντίδραση είναι μικρότερης τάξης τότε ευνοείται από μικρότερες συγκεντρώσεις που υπάρχουν σε συνεχείς αναδευόμενους αντιδραστήρες (CSTR) επειδή σε αυτούς, η τροφοδοσία αραιώνεται αμέσως από τα παραγόμενα προϊόντα. Έτσι, η συγκέντρωση  $C_F$  είναι μικρός αριθμός και η ύψωσή του στη δύναμη  $a_2 - a_1$  δίνει ακόμη μικρότερη ποσότητα. Επομένως, επιλέγουμε CSTR αντιδραστήρα. Αντίθετα, αν η κύρια αντίδραση είναι μεγαλύτερης τάξης, τότε ευνοείται από υψηλές συγκεντρώσεις και επιλέγουμε αντιδραστήρα εμβολικής ροής (PFR) (ή διαλείποντος έργου, αλλά αυτό αντίκειται στις αρχές εγγενούς ασφάλειας).

Ανάλογα σκεφτόμαστε και για πολύπλοκα συστήματα αντιδράσεων. Π.χ. αν υπάρχουν δύο αντιδρώντα που δίνουν παράλληλες αντιδράσεις και οι διαφορές των τάξεων των

αντιδράσεων ως προς το καθένα διαφέρουν, μπορεί να επιλέξουμε ημισυνεχή αντιδραστήρα όπου το ένα αντιδρόν προστίθεται σταδιακά καθώς η αντίδραση προχωρά ώστε να παραμένει σε χαμηλή συγκέντρωση. Τέλος, για διαδοχικές αντιδράσεις όπου το προϊόν συνεχίζει να αντιδρά για να δώσει παραπροϊόν, είναι προτιμώτεροι και πάλι οι αντιδραστήρες εμβολικής ροής.

- *Συγκέντρωση στον αντιδραστήρα.* Εδώ μπορούμε να εφαρμόσουμε τα παρακάτω για να ευνοήσουμε την κύρια αντίδραση:
  - περίσσεια της μιας τροφοδοσίας, αν υπάρχουν περισσότερα του ενός ρεύματα εισόδου.
  - Αύξηση αδρανούς για αντιστρεπτές αντιδράσεις με μείωση των mol. Αντίστοιχα, μείωση αδρανούς όταν έχουμε αύξηση των mol.
  - Απομάκρυνση μέρους του προϊόντος πριν την ολοκλήρωση της αντίδρασης.
  - Ανακύκλωση των παραπροϊόντων στον αντιδραστήρα αν οι παράλληλες αντιδράσεις είναι αντιστρεπτές, ώστε η ισορροπία τους να μετατοπιστεί προς τα αντιδρώντα.
- *Συνθήκες διεξαγωγής της αντίδρασης.* αν η θερμοκρασία και η πίεση επιδρούν σε πολύ διαφορετικό βαθμό σε κάθε αντίδραση που λαμβάνει χώρα, τότε πρέπει να τις χειριστούμε έτσι ώστε να ευνοήσουμε την κύρια αντίδραση και να μειωθεί η έκταση στην οποία θα προχωρήσουν οι δευτερεύουσες.
- *Καταλύτης.* Η αλλαγή καταλύτη θα επηρεάσει σημαντικά την εκλεκτικότητα προς όφελος της κύριας ή των δευτερευουσών αντιδράσεων, ανάλογα με τους μηχανισμούς αντίδρασης στα ενεργά καταλυτικά κέντρα, τους σχετικούς ρυθμούς διάχυσης στο υπόστρωμα ή συνδυασμό αυτών.

#### 10.2.4 Προσμίξεις της τροφοδοσίας που αντιδρούν.

Αυτές καταναλώνουν μέρος των αντιδρώντων και δίνουν ανεπιθύμητα προϊόντα. Επομένως, δίνουν απόβλητα που μπορεί να περιέχουν άλλα αντιδρώντα που περισσεύουν, παραπροϊόντα από τις αντιδράσεις των προσμίξεων ή και τα δύο. Απαιτείται **καθαρισμός της τροφοδοσίας** για την αποφυγή αυτού του φαινομένου. Αν και το κόστος καθαρισμού αυξάνεται με το ζητούμενο βαθμό καθαρότητας, έχουμε αντίστοιχα ελάττωση στα εξής:

- κόστος επεξεργασίας αποβλήτων
- κόστος πρώτων υλών αφού η καθαρή τροφοδοσία είναι πιο αποδοτική και μειώνονται οι απαιτούμενες ποσότητες
- κόστος διαχωρισμού προϊόντος.

Επομένως, υπάρχει ένας βαθμός καθαρότητας που ελαχιστοποιεί το συνολικό κόστος που συνδέεται με όλα τα παραπάνω.

**10.2.5 Αξιοποίηση των παραπροϊόντων:** μερικές φορές τα παραπροϊόντα μπορούν να “αναβαθμιστούν” για να χρησιμοποιηθούν σε άλλες αντιδράσεις. Για παράδειγμα, σε μονάδα χλωρίωσης δεκανίου παίρνουμε μονοχλωριωμένο δεκάνιο και υδροχλώριο. Το υδροχλώριο μπορεί να διατεθεί στην αγορά ή να αντιδράσει με οξυγόνο για να ξαναδώσει χλώριο που εισάγεται και πάλι στον αντιδραστήρα χλωρίωσης.

**10.2.6 Ελάττωση αποβαλλόμενου καταλύτη:** γενικά προτιμούμε τους ετερογενείς καταλύτες γιατί ο διαχωρισμός του ομογενούς μπορεί να είναι δύσκολος και ως αναγκαστικά ατελής θα δίνει πάντα κάποια απόβλητα. Αλλά οι ετερογενείς καταλύτες έχουν πεπερασμένη διάρκεια ζωής και πρέπει να αντικαθίστανται. Για να παραταθεί η διάρκεια ζωής τους χρειάζεται καθαρισμός της τροφοδοσίας από ουσίες που *δηλητηριάζουν* τον καταλύτη. Αν οι υψηλές θερμοκρασίες βλάπτουν και απενεργοποιούν τον καταλύτη, τότε αποφεύγουμε τις *θερμές εστίες* (hot spots) με

- καλύτερη κατανομή της ροής

- καλύτερη μεταφορά θερμότητας
- αραίωση του καταλύτη με διασπορά αδρανών τεμαχιδίων (βελτίωση του προφίλ)
- καλύτερη ρύθμιση της διεργασίας.

Τέλος, οι ρευστοποιημένες καταλυτικές κλίνες, λόγω της κρούσης των τεμαχιδίων, οδηγούν σε κονιορτοποίηση μέρους αυτών, το οποίο και χάνεται. Αυτό μπορεί να απαιτεί καλύτερο διαχωρισμό και ανακύκλωση από το ρεύμα των προϊόντων, αλλά η καλύτερη μακροπρόθεσμα λύση είναι η κατασκευή των καταλυτικών τεμαχιδίων έτσι ώστε να έχουν μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές.

Όπως είδαμε, όλες οι τεχνικές ελαχιστοποίησης των αποβλήτων του χημικού αντιδραστήρα είναι και τεχνικές βελτίωσης της απόδοσης και εκλεκτικότητας αυτού ή, με άλλα λόγια, ο καλύτερος σχεδιασμός χημικών αντιδραστήρων συνιστά συγχρόνως και “καθαρό” σχεδιασμό. Επομένως, δεν υφίσταται δικαιολογία αυξημένου κόστους λόγω της απαίτησης για καθαρή τεχνολογία αντιδραστήρων, αλλά απεναντίας, η καθαρή τεχνολογία είναι επίσης και οικονομικά συμφέρουσα.

Συμπληρωματικά προς όλα τα προηγούμενα, πρέπει να πούμε ότι οι καταλύτες θεωρούνται γενικότερα ως μια πολύ καλή εναλλακτική λύση στον τομέα της “πράσινης” χημείας και τεχνολογίας όταν μπορούν να αντικαταστήσουν αντιδρώντα μίγματα που θα απαιτούσαν μεγάλες ποσότητες από κάποια συστατικά, ενώ οι ίδιοι χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρές ποσότητες και για αρκετά μεγάλο διάστημα.

### **10.3 Καθαρή τεχνολογία για φυσικούς διαχωρισμούς**

Παρόμοια με τους αντιδραστήρες, στην περίπτωση των διαχωρισμών θέλουμε αποδοτικότερο διαχωρισμό και ανακύκλωση των χρήσιμων υλικών. Οι πιθανές λύσεις που πρέπει να εξετάσουμε για το σκοπό αυτό, περιλαμβάνουν:

- Άμεση ανακύκλωση των αποβαλλόμενων ρευμάτων
- Καθαρισμό της τροφοδοσίας από προσμίξεις
- Εξάλειψη ξένων προς το μίγμα υλικών
- Επιπρόσθετο διαχωρισμό των αποβλήτων για μεγαλύτερη ανάκτηση των χρήσιμων συστατικών
- Επιπρόσθετη αντίδραση και διαχωρισμό των αποβλήτων για μεγαλύτερες ανακτήσεις.

Αναλυτικότερα:

#### **10.3.1 Άμεση ανακύκλωση αποβλήτων**

Αυτός είναι ο απλούστερος τρόπος για μείωση αποβλήτων από διαχωρισμούς. Είναι συχνότερα εφαρμόσιμος στα υδατικά απόβλητα που μπορούν να υποκαταστήσουν ένα μέρος της τροφοδοσίας σε νερό. Αν δε χρειάζεται μεταφορά σε μεγάλη απόσταση μπορεί επίσης να γίνει και *μεταγωγή* των αποβλήτων ως τροφοδοσία σε άλλη διεργασία, αν εκεί είναι πιο χρήσιμα.

#### **10.3.2 Καθαρισμός τροφοδοσίας από προσμίξεις**

Γενικά, είναι προτιμώτερος ο διαχωρισμός των προσμίξεων πριν από την εισαγωγή της τροφοδοσίας στη διεργασία. Αυτό είναι πιο δύσκολο στα αέρια μίγματα. Για παράδειγμα, πολλές διεργασίες περιλαμβάνουν οξειδωση όπου η εύκολη λύση για το οξειδωτικό είναι το οξυγόνο της ατμόσφαιρας. Αλλά ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει και το αδρανές άζωτο. Αν, για να αυξήσουμε την απόδοση κάνουμε ανακύκλωση εξερχόμενου μίγματος, τότε θα συσσωρευτεί σταδιακά άζωτο στο ανακυκλούμενο ρεύμα. Μέχρι ενός σημείου αυτό είναι επιθυμητό γιατί αν το αποβάλλουμε, θα χάσουμε και ένα μέρος από την τροφοδοσία καθώς και το προϊόν. Αλλά αυτή η αύξηση της συγκέντρωσης δε μπορεί να συνεχιστεί απεριόριστα, γιατί:

- υψηλές συγκεντρώσεις αδρανούς επιδρούν στην απόδοση του αντιδραστήρα

- με την αύξηση του αδρανούς αερίου απαιτείται μεγάλη ενέργεια και κόστος συμπίεσης ώστε κάποια στιγμή υπερβαίνει την εξοικονόμηση λόγω απωλειών υλικού.

Τότε, θα χρειαστεί διαχωρισμός και αποβολή ενός μέρους του εξερχόμενου αερίου που ανακυκλώνεται. Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθαρό οξυγόνο, το οποίο απαιτεί μια επιπλέον διεργασία διαχωρισμού πριν από την τροφοδοσία, αλλά αυτό το μειονέκτημα μπορεί να αντισταθμιστεί από αυξημένη απόδοση που καταργεί την ανάγκη ανακύκλωσης με όλο το κόστος που συνεπάγεται. Μειονέκτημα είναι η δυνατότητα σχηματισμού εκρηκτικού μίγματος, γι' αυτό μπορεί να είναι ανεκτό ένα ποσοστό αζώτου.

### 10.3.3 Εξάλειψη ξένων υλικών

Ξένο υλικό μπορεί να είναι ένας διαλύτης, ένα μέσον εκχύλισης, οξέα ή αλκάλια για το διαχωρισμό άλλων υλικών από διάλυμα μέσω ιζηματοποίησης κλπ. Αν αυτά τα υλικά δεν είναι εύκολο να διαχωριστούν και ανακυκλωθούν, είναι προτιμώτερη η επιλογή άλλων διεργασιών για το σκοπό που θέλουμε να εξυπηρετήσουμε, π.χ. αντί για ιζηματοποίηση στερεού, εξάτμιση του διαλύτη, αντί για εκχύλιση, απόσταξη κλπ.

### 10.3.4 Επιπλέον διαχωρισμός (ή και αντίδραση) και ανακύκλωση

Αν δεν είναι πρακτικό να κάνουμε καθαρισμό της τροφοδοσίας πριν από τη διεργασία, πρέπει να αποσπαστεί ένα μέρος του ανακυκλούμενου υλικού το οποίο μπορεί να υποστεί ένα δεύτερο διαχωρισμό. Ανάλογα με το βαθμό διαχωρισμού, το κόστος διαχωρισμού και ανακύκλωσης αυξάνεται. Αλλά το κόστος λόγω απωλειών υλικού μειώνεται, όπως και το κόστος μετεπεξεργασίας των αποβλήτων. Επομένως, υπάρχει ένα ποσοστό ανάκτησης όπου το συνολικό κόστος ελαχιστοποιείται. Σε άλλες περιπτώσεις είναι δυνατό να προχωρήσει και η αντίδραση με το διαχωριζόμενο μίγμα και το προϊόν να ανακυκλωθεί.

## 10.4 Γενικές λειτουργίες

Κατά την εκκίνηση και το σταμάτημα διεργασιών και γενικότερα τις περιόδους μη μόνιμων συνθηκών, τα προϊόντα δεν είναι στη προδιαγεγραμμένη σύσταση, η μετατροπή δεν είναι η επιθυμητή, παράγονται περισσότερες ποσότητες από παραπροϊόντα και οι διαχωρισμοί αποβάλλουν διαφορετικής σύστασης ρεύματα, π.χ. με χρήσιμο προϊόν σε μεγαλύτερες αναλογίες. Επίσης, στην αλλαγή προϊόντος ειδικότερα, χρειάζεται συχνά και ενδιάμεσος καθαρισμός. Όλα αυτά επιβαρύνουν τα ρεύματα των αποβλήτων.

Οι τακτικές που ακολουθούμε είναι οι εξής:

- μείωση συχνότητας στάσεων-εκκινήσεων στο ελάχιστο αναγκαίο,
- σχεδιασμός ευέλικτης λειτουργίας με μεταβλητή δυναμικότητα αντί για πλήρη στάση,
- συνεχείς έναντι διαλείποντος έργου διεργασίες,
- ενδιάμεση αποθήκευση για επανακατεργασία του προϊόντος που δεν πληροί τις προδιαγραφές (υπό την προϋπόθεση ότι δε δημιουργείται ζήτημα ασφάλειας από το απόθεμα),
- προγραμματισμός παραγωγής που ελαχιστοποιεί αλλαγές από προϊόν σε προϊόν,
- συλλογή και επεξεργασία αποβλήτων καθαρισμού.

## 10.5 Βοηθητικές παροχές

Εδώ, το κύριο πρόβλημα είναι τα καυσαέρια από τη θέρμανση των θερμών βοηθητικών παροχών. Ενώ *ποιοτικά* είναι τα λιγότερο επιβλαβή σε σύγκριση με όλα τα άλλα χημικά, η *ποσότητά* τους είναι τόσο μεγάλη ώστε αντισταθμίζει το μειωμένο κίνδυνο και τα καθιστά εξίσου σοβαρό πρόβλημα.

Φυσικά, απαιτείται προσεκτικός σχεδιασμός για την αποδοτικότερη εναλλαγή θερμότητας ώστε να μειωθεί η κατανάλωση ενέργειας και οι σχετικές εκπομπές ρύπων. Εδώ όμως, υπάρχει ένα

“πονηρό” σημείο. Η ενέργεια που καταναλώνεται σε μια παραγωγική μονάδα προέρχεται εν μέρει από τις δικές της εγκαταστάσεις και εν μέρει από το κεντρικό δίκτυο (ηλεκτρισμός). Η παραγωγή ηλεκτρισμού περιλαμβάνει επίσης ρυπογόνες δραστηριότητες και έτσι η αύξηση της ζήτησής του είναι επιβαρυντική για το περιβάλλον. Επομένως, ενδέχεται η αντικατάσταση μιας ρυπογόνου πηγής στο εργοστάσιο από άλλες διαδικασίες που αξιοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα, τελικά να αποβεί εξίσου ή και περισσότερο επιβλαβής. Γι' αυτό απαιτείται μια **ολιστική θεώρηση** η οποία μπορεί να αναχθεί στην ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Ολικές εκπομπές} = \text{εκπομπές από επιτόπιες παροχές} + \text{εκπομπές από κεντρικό δίκτυο αντίστοιχες στον εισαγόμενο ηλεκτρισμό} - \text{εκπομπές από κεντρικό δίκτυο που αποφεύγονται χάρη σε επιτόπιες παροχές}$$

Από το παραπάνω ισοζύγιο μπορεί να προκύψει ότι μερικές επιλογές μπορεί να έχουν συνολικά μικρότερη επίπτωση στο περιβάλλον ακόμη και αν τοπικά δε δίνουν τις ελάχιστες εκπομπές. Αυτό εξηγείται επειδή και οι πιο σύγχρονοι σταθμοί παραγωγής ενέργειας δεν έχουν τόσο καλή απόδοση όσο ένα καλά σχεδιασμένο σύστημα συμπαραγωγής ενέργειας σε μια βιομηχανική μονάδα.

### 10.6 Αξιολόγηση κύκλου ζωής

Παρόμοια με την περίπτωση των βοηθητικών παροχών και της ρύπανσης λόγω των ενεργειακών πηγών που σχετίζονται με αυτές, μια **ολιστική οπτική** πρέπει να υιοθετηθεί και για το σύνολο των υλικών που χρησιμοποιούνται στις διεργασίες μας. Η ζήτηση για ένα προϊόν Χ συνεπάγεται ανάκτηση συγκεκριμένων ποσοτήτων από τις κατάλληλες πρώτες ύλες, μεταφορά και μετασχηματισμό τους κλπ. Κάθε στάδιο από την αρχή μέχρι το τέλος της “ζωής” του προϊόντος περιλαμβάνει δραστηριότητες που μπορεί να επιβαρύνουν το περιβάλλον και οι οποίες συμβαίνουν αφ' ενός λόγω της ζήτησης του προϊόντος Χ και αφ' ετέρου λόγω της διαδικασίας παρασκευής αυτού που επελέγη. Για να αξιολογήσουμε την πραγματική, δηλαδή συνολική επίπτωση στο περιβάλλον από την παραγωγή και κατανάλωση του Χ πρέπει να κάνουμε τη λεγόμενη **αξιολόγηση του κύκλου ζωής** (Life Cycle Assessment<sup>1</sup>) του Χ, η οποία περιλαμβάνει μελέτη των παρακάτω σταδίων:

1. εξαγωγή πρώτης ύλης από φυσικές πηγές
2. μετασχηματισμοί μέχρι την τελική κατάσταση (προϊόν Χ)
3. μεταφορά
4. χρήση
5. ανακύκλωση (ενδεχομένως) και
6. τελική απόθεση

Όλα τα παραπάνω συμβάλλουν στην περιβαλλοντική επιβάρυνση με διάφορες εκπομπές ρύπων που πρέπει να εντοπιστούν. Επίσης, συμβάλλουν στην εξάντληση των φυσικών πόρων. Σε αυτή τη βάση πρέπει να συγκριθούν οι εναλλακτικές λύσεις.

Είναι προφανές ότι είναι πολύ πιο εύκολο για μια παραγωγική μονάδα να χρησιμοποιήσει καθαρές διεργασίες με αυτή την ολιστική έννοια ως εναλλακτική λύση όταν μπορεί να βρει εύκολα την απαραίτητη τεχνολογική υποδομή και τις κατάλληλες πρώτες ύλες. Τόσο από αυτά τα δεδομένα όσο και από τη λογική που ενυπάρχει στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής, καθίσταται φανερό ότι η εφαρμογή των καθαρών τεχνολογιών είναι ένα θέμα που ξεφεύγει από τα στενά όρια της μεμονωμένης παραγωγικής μονάδας και είναι τόσο πιο εύκολο να εφαρμοστεί τοπικά όσο πιο πολύ ακολουθείται γενικά.

<sup>1</sup> Να μη συγχέεται ο όρος με το Life Cycle Management που είναι μια μεθοδολογία σχεδιασμού, ανάπτυξης και και οργάνωσης της παραγωγής ενός προϊόντος, η οποία ξεκίνησε από τη βιομηχανία λογισμικού και τείνει να εξαπλωθεί και σε άλλους βιομηχανικούς κλάδους.

Προς το παρόν, η προσπάθεια για να δοθούν κίνητρα για μια τέτοια θεώρηση των πραγμάτων και την εφαρμογή της στην πράξη, ανάγεται στη μετάφραση κάθε επιβλαβούς δραστηριότητας σε έμμεσο οικονομικό κόστος που πρέπει να συνυπολογιστεί για να έχουμε μια ρεαλιστική εικόνα για την αποδοτικότητα και τη ζημία που συνδέεται με την παραγωγή. Είμαστε της γνώμης ότι θέματα όπως περιβάλλον, οικολογική ισορροπία, ποιότητα ζωής, υγεία, ασφάλεια κλπ είναι πολυδιάστατα και η σχετική πληροφορία δεν είναι εύκολο να μεταφραστεί και να συμπιεστεί σε μια απλή λογιστική. Αυτό οφείλεται σε δύο λόγους:

- Η οικονομοτεχνική θεώρηση οδηγεί σε συμψηφισμούς που μας οδηγούν να ανεχτούμε ένα μικρό περιβαλλοντικό ισοδύναμο κόστος για να ελαττώσουμε κάποιον άλλο παράγοντα. Το μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα από τη γενική εφαρμογή αυτής της πρακτικής οδηγεί στη διατήρηση πολλών “μικρών” κινδύνων με ανυπολόγιστο αθροιστικό αποτέλεσμα, ενώ το ζητούμενο θα ήταν η εξάλειψή τους.

Κατά την Ανάλυση Κόστους Οφέλους που είδαμε σε προηγούμενη ενότητα, το καθαρά οικονομοτεχνικό σκέλος, η οικονομική ανάλυση κόστους-οφέλους και η ανάλυση κοινωνικού κόστους-οφέλους αποσυνδέονται σε τρία διαδοχικά βήματα ώστε να ελαχιστοποιηθεί αυτή η τάση συμψηφισμού, αλλά το πρόβλημα παραμένει εξαιτίας της δυσκολίας ποσοτικής έκφρασης ορισμένων κινδύνων.

- Τα λογιστικά, ιδιωτικοοικονομικά κριτήρια καθορίζουν τις αποφάσεις των ανεξάρτητων οικονομικών μονάδων (επιχειρήσεων) για το πώς θα κινηθούν σε ένα δεδομένο κοινωνικοοικονομικό “περιβάλλον” ή πλαίσιο. Αυτή η μέθοδος, από τη φύση της δε μπορεί να αλλάξει το πλαίσιο που καθορίζεται από τις γενικότερες εξελίξεις στην επιστήμη, την τεχνολογία και την εφαρμογή τους στην παραγωγή.

Ουσιαστικές λύσεις προϋποθέτουν την επέκταση του σχεδιασμού και της λογικής της αριστοποίησης (με όρους πλέον ποιότητας ζωής) σε κεντρικό επίπεδο (πολιτείας) και ακόμη (λόγω του ότι τα οικοσυστήματα και τα προβλήματά τους δε γνωρίζουν σύνορα), μέσα από συνεννόηση και συνεργασία, σε διεθνές επίπεδο.