Ισοζύγια Μάζας

1. Εισαγωγή

Οποιαδήποτε χημική διεργασία όπου υπάρχουν αλληλεπιδράσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων υλικών μπορεί να αναλυθεί με βάση τα ισοζύγια υλικών. Γενικά, υπάρχουν δύο διαφορετικές περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται τα ισοζύγια υλικών: α) στο στάδιο σχεδιασμού, όπου η απόδοση των διεργασιών εκτιμάται μετά από *θεωρητικό υπολογισμό* των ισοζυγίων των υλικών και β) στο στάδιο λειτουργίας, όπου με στόχο τον έλεγχο ή την εκτίμηση της απόδοσης ενός συστήματος, γίνονται *πραγματικά ισοζύγια* μετά από δειγματοληψία και μέτρηση των διαφόρων συστατικών των ρευμάτων εισόδου και εξόδου. Στο κεφάλαιο αυτό δίδονται οι αρχές και αναπτύσσονται οι τεχνικές για την ανάπτυξη και επίλυση ισοζυγίων μάζας.

2. Ο νόμος διατήρησης της μάζας

Ο νόμος διατήρησης μάζας έχει διατυπωθεί με πολλές μορφές, όπως: «η μάζα ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται», «η μάζα του σύμπαντος είναι σταθερή», «η μάζα κάθε απομονωμένου συστήματος είναι σταθερή». Ως γνωστό, η αρχή διατήρησης της μάζας ισχύει για τις περιπτώσεις εκείνες που δεν υφίστανται πυρηνικοί μετασχηματισμοί. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να επεκταθεί ο νόμος διατήρησης της μάζας και να περιλαμβάνει συγχρόνως τη μάζα και την ενέργεια.

Για να λάβουμε υπόψη τη ροή ενός υλικού μέσα και έξω από ένα σύστημα, εκφράζεται το γενικευμένο νόμο της διατήρησης της μάζας σαν ένα ισοζύγιο. Ένα ισοζύγιο μάζας δεν είναι τίποτε άλλο παρά ένας ισολογισμός ποσοτήτων μάζας που υφίστανται αλλαγές ή ρέουν μέσα από κάποιο σύστημα. Η μαθηματική έκφραση της αρχής του ισοζυγίου υλικών που ισχύει για διεργασίες με ή και χωρίς χημική αντίδραση είναι:

$$\left\{\begin{matrix}\text{συσσώ}-\\\text{ρευση}\\\text{στο}\\\text{σύστημα}\end{matrix}\right\}=\left\{\begin{matrix}\text{είσοδος δια}\\\text{μέσου των}\\\text{ορίων του}\\\text{συστήματος}\end{matrix}\right\}-\left\{\begin{matrix}\text{έξοδος δια}\\\text{μέσου των}\\\text{ορίων του}\\\text{συστήματος}\end{matrix}\right\}+\left\{\begin{matrix}\text{παραγωγή}\\\text{μέσα}\\\text{στο}\\\text{σύστημα}\end{matrix}\right\}-\left\{\begin{matrix}\text{κατανάλωση}\\\text{μέσα}\\\text{στο}\\\text{σύστημα}\end{matrix}\right\} \qquad (1)$$

Με τον όρο διεργασία εννοείται μια σειρά φυσικών επεμβάσεων ή φυσικές ή χημικές αλλαγές σε κάποιο ορισμένο υλικό. Στην εξίσωση 1 οι όροι «παραγωγή» και «κατανάλωση» αναφέρονται στη δημιουργία ή απώλεια από χημική αντίδραση. Η συσσώρευση μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Πρέπει να διευκρινισθεί ότι η εξίσωση 1 αναφέρεται σε ένα χρονικό διάστημα οποιασδήποτε επιθυμητής διάρκειας, π.χ. ένα χρόνο, μια ώρα ή ένα δευτερόλεπτο. Αν δεν υπάρχει παραγωγή ή κατανάλωση υλικού μέσα σε ένα σύστημα για μια συνεχή διεργασία, η εξίσωση 1 γίνεται:

$$\frac{\text{συσσώρευση}}{\text{μονάδα χρόνου}}=\frac{\text{είσοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}}-\frac{\text{έξοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}} \qquad (2)$$

ενώ όταν δεν υπάρχει ούτε συσσώρευση στο σύστημα, λαμβάνεται:

$$\frac{\text{είσοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}}=\frac{\text{έξοδος}}{\text{μονάδα χρόνου}} \qquad (3)$$

Σε μια συνεχή διεργασία, ως <u>σταθερή κατάσταση</u> ορίζεται η κατάσταση κατά την οποία δεν υπάρχει αλλαγή σε συνάρτηση με το χρόνο οποιασδήποτε παραμέτρου της διεργασίας. Στις παραμέτρους αυτές περιλαμβάνεται το ποσότητα και η σύσταση των ρευμάτων, με αποτέλεσμα να μη υπάρχει συσσώρευση ενός συστατικού (εξίσωση 3).

Οι διεργασίες διαλείποντος έργου (batch processes) δεν είναι ποτέ σταθερής κατάστασης. Παρόλα αυτά σε αυτές δεν υφίσταται συσσώρευση και αν ληφθεί ως βάση η φουρνιά (ή ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας διεργασίας batch) τότε εξακολουθεί να ισχύει η εξίσωση 3.

Σε όλους τους υπολογισμούς ισοζυγίων μάζας απαιτείται η επιλογή μιας <u>βάσης</u> υπολογισμού, η οποία επιλέγεται συνήθως αυθαίρετα λαμβάνοντας υπόψη όμως της ανάγκες του προβλήματος και τα διαθέσιμα δεδομένα. Για παράδειγμα, έστω ότι το πρόβλημα αναφέρεται σε έναν αντιδραστήρα ρευστοστερρεής κλίνης όπου γίνεται φρύξη χαλκοπυρίτη προς παραγωγή $FeSO_4$ και $CuSO_4$ με χρήση αέρα. Ως βάση στην περίπτωση αυτή μπορεί να ληφθεί ο «τόννος χαλκοπυρίτη τροφοδοσίας», ο «τόννος του αέρα που εισάγεται» ή η «ημέρα λειτουργίας». Στις batch διεργασίες ως βάση χρησιμοποιείται συνήθως η μονάδα βάρους προϊόντος.

Κάθε ένα από τα παραπάνω ισοζύγια μπορεί να καταστρωθεί με βάση κάποιο σύστημα. Ως <u>σύστημα</u> εννοείται κάθε τμήμα της διεργασίας ή και ολόκληρη η διεργασία που επιλέγεται ουσιαστικά αυθαίρετα.

Ο νόμος διατήρησης της μάζας δεν εφαρμόζεται μόνο στην ολική μάζα που εισέρχεται, εξέρχεται ή συσσωρεύεται σε ένα σύστημα, αλλά και σε κάθε ένα από τα στοιχεία του συστήματος. Αυτό σημαίνει, ότι στα συστήματα σταθερής κατάστασης ή ακόμη και σε αυτά που περιλαμβάνουν batch διεργασίες, η μάζα οποιουδήποτε στοιχείου που εισέρχεται σε ένα σύστημα πρέπει να είναι ίση με τη μάζα του ίδιου στοιχείου που εξέρχεται (δεν υπάρχει συσσώρευση). Επειδή το άθροισμα των μαζών όλων των στοιχείων ενός ρεύματος είναι ίσος με την ολική μάζα του ρεύματος, γίνεται φανερό ότι αν υπάρχουν C στοιχεία τότε υπάρχουν ακριβώς C ανεξάρτητα ισοζύγια μαζών, έστω και αν υπάρχουν C+1 πιθανές εξισώσεις. Εντούτοις, η εξίσωση του ολικού ισοζυγίου μάζας μπορεί να αντικαταστήσει οποιαδήποτε εξίσωση ισοζυγίου στοιχείου.

3. Μεθοδολογία ανάλυσης προβλημάτων ισοζυγίων μάζας

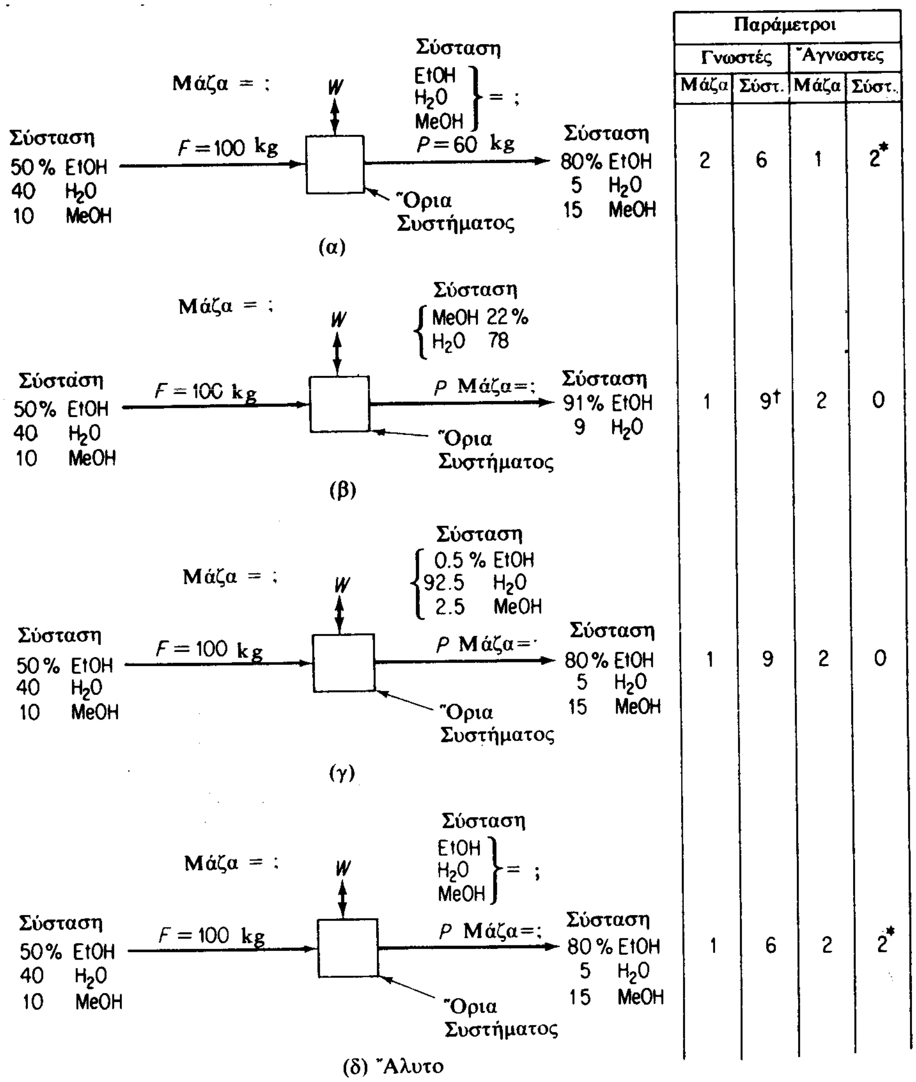
Στο κεφάλαιο αυτό αναλύει τη μεθοδολογία της κατάστρωσης και επίλυσης προβλημάτων ισοζυγίων μάζας. Επειδή όλα τα προβλήματα ισοζυγίων υλικών βασίζονται στην ίδια αρχή, με μικρές διαφορές στην εφαρμογή της, είναι δυνατό να αναπτυχθεί μια γενικευμένη μέθοδος ανάλυσης πού να εφαρμόζεται στην λύση κάθε τύπου τέτοιων προβλημάτων.

Η μέθοδος πού περιγράφεται παρακάτω επιτρέπει στο να κατανοηθεί πόσο παρόμοια είναι αυτά τα προβλήματα και πώς είναι δυνατό να επιλυθούν με τον ταχύτερο τρόπο. Έτσι, άπλά ή πολύπλοκα προβλήματα διεργασιών απόσταξης, κρυστάλλωσης, εξάτμισης, καύσης, ανάμιξης, απορρόφησης αερίων ή ξήρανσης δεν είναι διαφορετικά το ένα από το άλλο άλλά μπορούν να εξεταστούν με παρόμοια μεθοδολογία.

Για να γίνει ένα ισοζύγιο υλικών σε κάποιο σύστημα, πρέπει γενικά να είναι γνωστά **δύο βασικά στοιχεία**. Ένα απ' αυτά είναι **η μάζα (βάρος)** του υλικού σε όλα τα ρεύματα εισόδου και εξόδου καθώς και μέσα στο σύστημα. Το δεύτερο απαραίτητο στοιχείο είναι **η σύσταση** όλων των ρευμάτων εισόδου και εξόδου, καθώς και η σύσταση τού υλικού μέσα στο σύστημα. Βέβαια, στην περίπτωση χημικής αντίδρασης στο σύστημα, η εξίσωση της αντίδρασης ή και ο βαθμός μετατροπής αποτελούν σημαντικά στοιχεία.

Στη συνέχεια εξετάζονται μερικές διεργασίες μακροσκοπικά, χωρίς δηλαδή να είναι γνωστό τι ακριβώς συμβαίνει μέσα στην κάθε συσκευή. Αρχικά σχεδιάζεται μία γραμμή γύρω από τη διεργασία και σημειώνονται τα υλικά στην είσοδο και στην έξοδο. Με αυτό τον τρόπο καθορίζεται το σύστημα, δηλαδή η διεργασία ή η δράση που πρόκειται να αναλυθεί. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, υποτίθεται ότι η διεργασία βρίσκεται σε μόνιμη κατάσταση, δηλαδή ότι δεν υπάρχει συσσώρευση ή απώλεια υλικού. Ακόμα και αν η διεργασία είναι ασυνεχής (διαλείποντας τύπου), όπου δεν υπάρχει ροή προς και από το σύστημα, μπορεί να υποτεθεί ότι το αρχικό υλικό εισάγεται στο σύστημα και ότι το τελικό υλικό αφαιρείται από το σύστημα: Με βάση αυτήν την υπόθεση, μπορεί μία διαλείπουσα διεργασία να υποτεθεί ότι είναι μία διεργασία ροής, στην οποία θεωρείται ότι υπάρχουν «ρεύματα» εισόδου και εξόδου έστω και αν δεν υπάρχουν στην πραγματικότητα (έκτος βέβαια αν ληφθεί υπόψη ολόκληρη η χρονική περίοδος).

Ας υποτεθεί ότι έχουμε μια διεργασία με τρία μόνο ρεύματα εισόδου ή εξόδου (φυσικά δεν μπορεί και τα τρία μόνο να εισέρχονται ή μόνο να εξέρχονται, για μία διεργασία σε μόνιμη κατάσταση). Στα παραδείγματα των Σχημάτων 1 και 2, με F συμβολίζεται το ρεύμα τής τροφοδοσίας, με P το προϊόν και με W το τρίτο ρεύμα ή «μεταβολή», αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν οποιαδήποτε άλλα σύμβολα. Η πορεία της λύσης εξαρτάται κατά κάποιο τρόπο από το ποιές συστάσεις και βάρη είναι γνωστά. Όλα τα προβλήματα στα Σχήματα 1 και 2 δίνουν επαρκείς πληροφορίες για τη λύση τους, έκτός από το πρόβλημα του σχήματος 1(δ).



* Τό ποσοστό τοῦ τρίτου συστατικοῦ ὑπολογίζεται ἀπό τή διαφορά.
† Ἕνα ρεῦμα μέ δύο μόνο συστατικά περιέχει 0 % ἀπό τό τρίτο.

Σχήμα 1: Τυπικά προβλήματα ισοζυγίων μάζας χωρίς χημική αντίδραση

Στο Σχήμα 1(α) μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ολικό ισοζύγιο μάζας για να υπολογισθεί η τιμή του W:

$$F = P + W$$

$$100 = 60 + W \qquad \text{ή} \qquad W = 40 \tag{4}$$

Για να προσδιορισθεί η σύσταση τού W, και επειδή δεν γίνεται καμία αντίδραση, μπορεί να γραφεί ένα ισοζύγιο μάζας για καθένα από τα συστατικά EtOH, H_2O, MeOH [ω_i = κλάσμα μάζας («βάρους»)].

Ισοζύγιο: Είσοδος = Εξοδος

$$\omega_F \cdot F = \omega_P \cdot P + \omega_W \cdot W$$

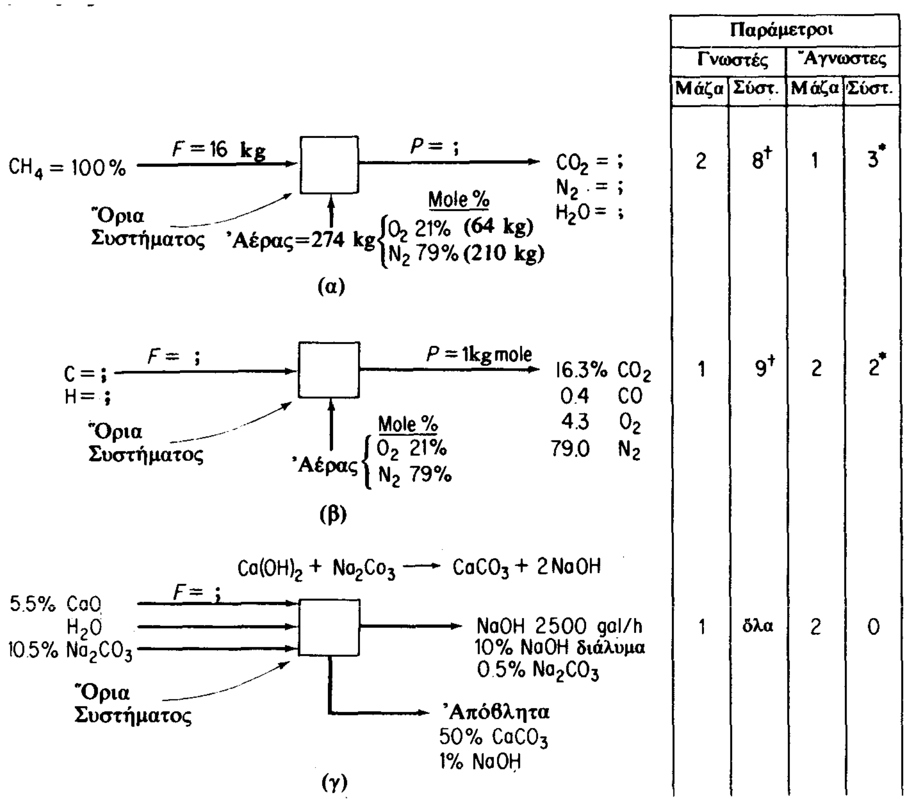
$$\text{EtOH} \qquad (0.50)(100) = (0.80)(60) + \omega_{EtOH,W}(40) \tag{4α}$$

$$H_2O \qquad (0.40)(100) = (0.05)(60) + \omega_{H_2O,W}(40) \qquad (4\beta)$$
$$MeOH \qquad (0.10)(100) = (0.15)(60) + \omega_{MeOH,W}(40) \qquad (4\gamma)$$

Επειδή εξ ορισμού

$$\omega_{EtOH} + \omega_{H_2O} + \omega_{MeOH} = 1 \qquad (5)$$

μόνο δύο από τα κλάσματα μάζας είναι άγνωστα ενώ το τρίτο μπορεί να υπολογιστεί με αφαίρεση. Συνεπώς, μόνο δύο από τα ισοζύγια μάζας των συστατικών πρέπει να λυθούν ταυτόχρονα, και σε αυτή την ιδιαίτερη περίπτωση που η κάθε εξίσωση περιέχει έναν άγνωστο, μπορούν να λυθούν ανεξάρτητα.



* Τό ποσοστό τοῦ τρίτου συστατικοῦ ὑπολογίζεται ἀπό τή διαφορά.
† Συστατικά πού δέν ἀναφέρονται, βρίσκονται σέ περιεκτικότητα 0 %.

Σχήμα 2: Τυπικά προβλήματα ισοζυγίων μάζας με χημική αντίδραση

Σημειώνεται ότι οι τέσσερις εξισώσεις των ισοζυγίων μάζας (4)-(4γ) δεν είναι όλες ανεξάρτητες. Το άθροισμα των τριών ισοζυγίων των συστατικών (4α), (4β) και (4γ) δίνει το ολικό ισοζύγιο μάζας. Ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας ή αριθμός των ανεξάρτητων εξισώσεων θα είναι ίσος με τον αριθμό των συστατικών.

Επειδή πολλά από τα προβλήματα ισοζυγίων υλικών απαιτούν λύση για περισσότερους από έναν άγνωστους, **θα πρέπει για κάθε άγνωστο να υπάρχει τουλάχιστον ένα ανεξάρτητο ισοζύγιο υλικών ή άλλα ανεξάρτητα δεδομένα. Διαφορετικά, το πρόβλημα είναι απροσδιόριστο**. Για παράδειγμα, στο πρόβλημα του σχήματος 1γ, όπου οι συστάσεις όλων των ρευμάτων είναι γνωστές και τα βάρη δύο ρευμάτων άγνωστα, απαιτεί δύο ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας για να λυθεί.

Οι στήλες στο δεξί άκρο του σχήματος 1, περιέχουν τον αριθμό των γνωστών και αγνώστων παραμέτρων, τόσο για τη συνολική μάζα όσο και για τις συστάσεις. Ο αστερίσκος σημαίνει ότι μία από τις τρεις άγνωστες συστάσεις μπορεί πάντα να βρεθεί χρησιμοποιώντας μία όμοια με την εξίσωση 5. Δηλαδή, σε ένα ρεύμα τριών συστατικών άγνωστης σύστασης, μόνο δύο από τα τρία κλάσματα μάζας (ή ποσοστά) χρειάζεται να υπολογισθούν. Ο σταυρός δείχνει ότι σε ένα ρεύμα με ένα μόνο ή δύο συστατικά, η σύσταση των υπόλοιπων συστατικών είναι ίση με 0%. Σημειώνεται ότι για κάθε μια από τις τρεις πρώτες περιπτώσεις του σχήματος 1, ο αριθμός των ανεξάρτητων ισοζυγίων μάζας (τρία κάθε φορά) δεν ξεπερνά τον αριθμό των άγνωστων μεγεθών.

Για προβλήματα με χημική αντίδραση, μπορεί να γραφεί ένα ολικό ισοζύγιο μάζας, καθώς και ισοζύγια μάζας για κάθε ατομικό στοιχείο ή ένωση (π.χ. υδρογόνο σαν H_2). Για παράδειγμα, στο Σχήμα 2α, μπορεί να γραφεί ένα συνολικό ισοζύγιο μάζας (όχι σε mole) καθώς και ισοζύγια για τον άνθρακα, το υδρογόνο, το άζωτο και το οξυγόνο. Το ισοζύγιο του άνθρακα μπορεί να βασιστεί στον C, ενώ τα ισοζύγια υδρογόνου, αζώτου και οξυγόνου στα H_2, N_2, και O_2 αντίστοιχα. Ανάλογα με τη διατύπωση του προβλήματος, δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν όλα αυτά τα ισοζύγια. Τέλος υπενθυμίζεται, ότι σε ισοζύγια πού περιλαμβάνουν ατομικά στοιχεία, τόσο η μάζα όσο και τα mole διατηρούνται.

Το Σχήμα 2γ περιγράφει μία περίπτωση όπου δίνεται η χημική εξίσωση. Για τη λύση όμως, των προβλημάτων των Σχημάτων 2α και β, ή πρέπει να θεωρηθεί σαν γνωστή η χημική εξίσωση (ή εξισώσεις), είτε πρέπει να χρησιμοποιηθούν άλλα στοιχεία, πού δίνονται ή υποτίθεται για τη φύση των αντιδράσεων που συμβαίνουν.

Η στρατηγική που θα ακολουθηθεί για τη λύση προβλημάτων ισοζυγίων υλικών είναι απλή. Γενικά, πριν από την εκτέλεση των υπολογισμών πρέπει:

(α) Να σχεδιασθεί ένα διάγραμμα της διεργασίας.
(β) Να σημειωθούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα στο σχήμα.
(γ) Να προσδιορισθεί ποιες συστάσεις είναι γνωστές ή μπορούν να υπολογισθούν αμέσως για κάθε ρεύμα.
(δ) Να εντοπισθεί ποιες μάζες (ή βάρη) είναι γνωστές ή μπορούν εύκολα να βρεθούν για κάθε ρεύμα. [Μία μάζα (βάρος) μπορεί να ληφθεί σαν βάση].
(ε) Να εκλεγεί μία κατάλληλη βάση αναφοράς για τούς υπολογισμούς. Κάθε πρόσθεση ή αφαίρεση <u>πρέπει</u> πάντοτε να γίνεται με το υλικό αναφερόμενο στην <u>ίδια</u> βάση.
(στ) Να επιβεβαιωθεί άτι το σύστημα είναι πλήρως καθορισμένο.

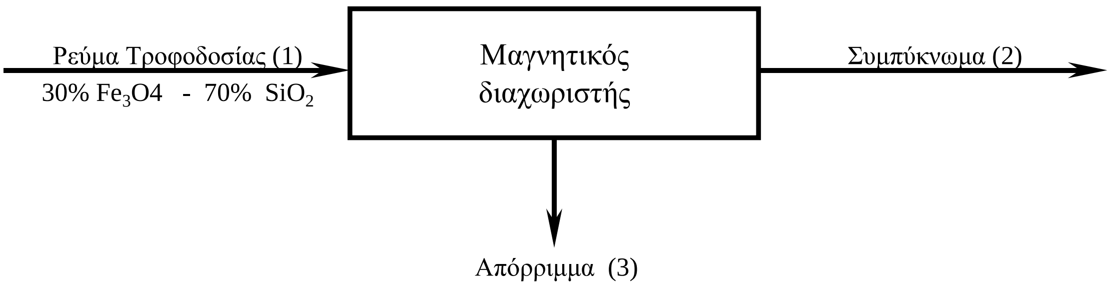
Αφού γίνουν όλα αυτά, μπορούν να καταστρωθούν οι απαραίτητες εξισώσεις των ισοζυγίων υλικών. Όπως εξηγήθηκε πιο πάνω, μπορεί να γραφεί

(α) Ένα ολικό ισοζύγιο μάζας.
(β) Ένα ισοζύγιο μάζας για κάθε συστατικό του συστήματος.

Πάντως, όλα τα ισοζύγια δεν θα είναι ανεξάρτητα. Προβλήματα όπου η μάζα (βάρος) ή η σύσταση ενός ρεύματος είναι άγνωστα, μπορούν να λυθούν χωρίς δυσκολία με μία πρόσθεση ή αφαίρεση. Προβλήματα όπου όλες οι συστάσεις είναι γνωστές και δύο ή περισσότερα βάρη είναι άγνωστα, απαιτούν λίγο πιο πολύπλοκους υπολογισμούς. Αν υπάρχει ένα συνδετικό συστατικό, πού κάνει δυνατή τη συσχέτιση μεταξύ των άγνώστων και των γνωστών βαρών, η λύση του προβλήματος μπορεί να απλουστευτεί. Όταν δεν μπορεί να εντοπιστεί άμεσα ή έμμεσα ένα συνδετικό συστατικό, η συσχέτιση των άγνώστων με τις γνωστές μάζες πρέπει να γίνει αλγεβρικά.

Παράδειγμα 1

Μετάλλευμα που περιέχει Fe_3O_4 και SiO_2 διαχωρίζεται με μαγνητικό διαχωριστή σε δύο ρεύματα: στο συμπύκνωμα του μαγνητίτη (Fe_3O_4) και στα στείρα. Πόσες ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας μπορούν να γραφούν;



Λύση:

Στο σύστημα περιέχονται τρία στοιχεία: Fe, Si και O. Όμως η συγκέντρωση των τριών αυτών στοιχείων δεν είναι ανεξάρτητη, επειδή συγκεκριμένη ποσότητα οξυγόνου συνδέεται με τον Fe και το Si. Άρα, για το συγκεκριμένο σύστημα μπορούν να γραφούν μόνο δύο ανεξάρτητα ισοζύγια (του Fe και του Si ή του Fe_3O_4 και του SiO_2). Επιπρόσθετα βέβαια, μπορεί να γραφεί το ολικό ισοζύγιο μάζας:

$$W_1 = W_2 + W_3$$

Το ποιό ισοζύγιο θα επιλεγεί εξαρτάται από τη διαθεσιμότητα άλλων δεδομένων. Για παράδειγμα, αν το ισοζύγιο γίνεται κατά το στάδιο σχεδιασμού τότε συνήθως η ανάλυση των ρευμάτων δεν είναι διαθέσιμη ενώ αντίθετα είναι γνωστός ο συντελεστής διαχωρισμού π.χ. 90% του Fe_3O_4 που βρίσκεται στο ρεύμα τροφοδοσίας καταλήγει στο συμπύκνωμα. Αν η σύσταση του ρεύματος τροφοδοσίας είναι γνωστή, π.χ. 30% Fe_3O_4 και η παροχή του ρεύματος τροφοδοσίας είναι 1000 kg/h, τότε τα διαθέσιμα στοιχεία παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

	Ρεύμα		
Δεδομένα	(1)	(2)	(3)
Μάζα ρευμάτων	X	-	-
Μάζα Fe_3O_4	X	X	X
Μάζα SiO_2	X	-	-

Όπως προαναφέρθηκε στο σύστημα μπορούν να γραφούν μόνο δύο ανεξάρτητα ισοζύγια μάζας:

Ολικό ισοζύγιο: $1000 = W_2 + W_3$

Ισοζύγιο Fe_3O_4 : $[(0.3)(1000)]_1 = [(0.9)(0.3)(1000)]_2 + [(0.1)(0.3)(1000)]_3$

$$300 = 270 + 30$$

ή $W_2 = 270 + W_{SiO2,2}$ στο ρεύμα (2)

και $W_3 = 30 + W_{SiO2,3}$ στο ρεύμα (3)

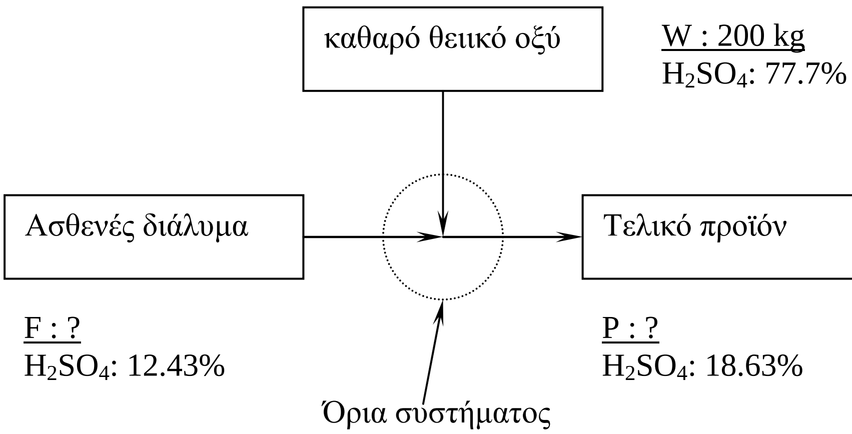
Με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα, δεν μπορεί να επιλυθεί το σύστημα. Μπορεί επίσης να γραφεί το ισοζύγιο του SiO_2, αλλά και πάλι δεν μπορεί να επιλυθεί το σύστημα. Αν υποτεθεί ότι είναι γνωστή η σύσταση του ρεύματος (2) πχ. περιέχει 20% SiO_2, τότε μπορεί να επιλυθεί το σύστημα:

$$W_2 = 270 / 0.8 = 337.5 \text{ kg}$$
$$W_3 = 1000 - 337.5 = 662.5 \text{ kg}$$

και $$W_{SiO2,2} = 67.5 \text{ kg}, \; W_{SiO2,3} = 632.5 \text{ kg}.$$

<u>Παράδειγμα 2</u>

Φορτισμένες μπαταρίες που αποθηκεύονται σε ξηρή κατάσταση μπορούν να ενεργοποιηθούν με προσθήκη αραιού θειικού οξέος. Ζητείται η παρασκευή μιας ποσότητας οξέος ως εξής: Ένα δοχείο με παλαιό ασθενές διάλυμα οξέος μπαταρίας (H_2SO_4) περιέχει 12.43 % H_2SO_4 (το υπόλοιπο είναι καθαρό H_2O). Αν 200 kg θειικού οξέος περιεκτικότητας 77% σε H_2SO_4, προστεθούν στο δοχείο και το τελικό διάλυμα περιέχει 18.63% H_2SO_4, πόσα kg οξέος μπαταρίας θα έχουν παραχθεί;



<u>Λύση:</u>

Ρεύματα : 3
Συστατικά : 2 (H_2SO_4 και νερό)

Επομένως μπορούν να γραφούν δύο μόνο ανεξάρτητα ισοζύγια. Με δεδομένο ότι είναι γνωστές όλες οι συστάσεις, υπάρχουν δύο άγνωστοι στο σύστημα: η μάζα των ρευμάτων W και P. Επομένως, το σύστημα μπορεί να επιλυθεί.

<u>Βάση :</u> 200 kg διαλύματος καθαρού θειϊκού οξέος

Ισοζύγια:

<u>Ολικό:</u> $F + 200 = P$

<u>Θειικού οξέος</u> $F\,(0.1243) + 200\,(0.777) = P\,(0.1863)$

Από τα οποία προκύπτει: P = 2110 kg οξέος και F = 1910 kg οξέος.