

Προσέγγιση της μεθόδου Total Site Analysis ως εργαλείο σύνθεσης για την αξιολόγηση και επιλογή χημικών διεργασιών σε βιοδιυλιστήρια

Κωνσταντίνος Πυργάκης

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

ΤΙΤΛΟΣ: Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός Συστημάτων Αντίδρασης και Απόσταξης

Συμβουλευτική Επιτροπή:

A. Κοκόσης, Καθηγητής Σχολής Χ.Μ. ΕΜΠ (επιβλέπων)

N. Παπαγιαννάκος, Καθηγητής Σχολής Χ.Μ. ΕΜΠ

E. Βουτσάς, Επίκουρος Καθηγητής Σχολής Χ.Μ. ΕΜΠ

Ημερομηνία Έναρξης: 16 Ιουλίου 2012

ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΗ ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη εξετάζονται και αξιολογούνται υποψήφια χημικά μονοπάτια με στόχο τη σύνθεση διεργασιών και την ανάπτυξη ολοκληρωμένων βιοδιυλιστηρίων δεύτερης γενιάς. Τα βιοδιυλιστήρια δεύτερης γενιάς αποτελούν την πλέον ελπιδοφόρα λύση για την θέσπιση μίας νέας οικονομίας βασιζόμενη στη βιομάζα, η οποία θα επικεντρώνεται στην αντικατάσταση του ορυκτού πετρελαίου σε όλες τις εφαρμογές παραγωγής πλαστικών, χημικών και καυσίμων. Η ανάπτυξη και ο σχεδιασμός τους αποτελεί ένα ιδιαίτερα δύσκολο και πολύπλοκο πρόβλημα εφόσον υπάρχει ένα μεγάλο πλήθος από χημικά μονοπάτια και νέες τεχνολογίες που επεξεργάζονται διάφορους τύπους βιομάζας. Αρκετές μονάδες βρίσκονται ήδη σε λειτουργία, εντούτοις επικεντρώνονται κυρίως στην παραγωγή βιο-καυσίμων, όπως η βιο-αιθανόλη και το συνθετικό αέριο, και όχι στην παραγωγή νέων και υψηλής αξίας χημικών.

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού προγράμματος BIOCORE εξετάζεται ένα μεγάλο εύρος χημικών μονοπατιών με στόχο την ανάπτυξη λιγνοκυτταρινούχων βιοδιυλιστηρίων στην Ευρώπη. Οι υποψήφιες χημικές διεργασίες είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρες και συνθέτουν ένα μεγάλο και πολύπλοκο δέντρο από 83 χημικά μονοπάτια που μετατρέπουν την βιομάζα σε ενδιάμεσα και τελικά προϊόντα. Έτσι λοιπόν, τίθενται θεμελιώδη ερωτήματα όσον αφορά ποιες διεργασίες πρέπει να επιλεγούν έτσι ώστε να διαμορφώσουν το τελικό χαρτοφυλάκιο προϊόντων του βιοδιυλιστηρίου. Παράλληλα, οι υψηλές ενεργειακές ανάγκες αποτελούν κυρίαρχο παράγοντα βιωσιμότητας τόσο κάθε διεργασίας ξεχωριστά όσο και της συνολικής μονάδας. Έτσι, υπάρχουν σημαντικά κίνητρα για την διαχείριση του μεγέθους και της πολυπλοκότητας του προβλήματος και την ανίχνευση δυνατοτήτων καλύτερου σχεδιασμού και ολοκλήρωσης. Στόχος αυτής της μελέτης είναι η σύνθεση διεργασιών για την ανάπτυξη βιοδιυλιστηρίων που υπόκεινται σε μέγιστη εξοικονόμηση ενέργειας.

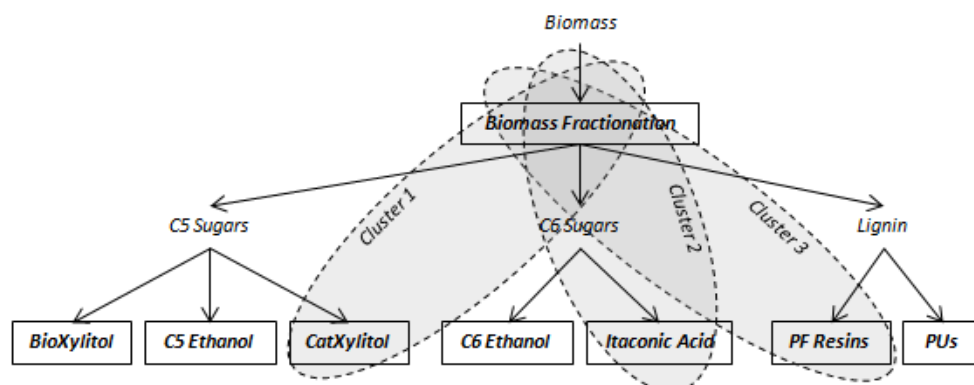
Η ολοκλήρωση διεργασιών καθίσταται ζωτικής σημασίας για το σχεδιασμό νέων διεργασιών ώστε να διασφαλίσει τα εφικτά όρια ενεργειακής αποδοτικότητας και βιωσιμότητας της διεργασίας. Η μέθοδος Ανάλυσης Συνολικής Μονάδας (Total Site Analysis) είναι ένα σημαντικό εργαλείο ολοκλήρωσης διεργασιών ικανό να ανιχνεύσει και να διαχειριστεί ενεργειακές αλληλεπιδράσεις αναμεταξύ διαφορετικών διεργασιών μίας συνολική μονάδας.

Εντούτοις, πολλές μεθοδολογίες και εργαλεία της βιβλιογραφίας εφαρμόζουν την μέθοδο Total Site για ανίχνευση και ολοκλήρωση ενεργειακών στόχων γνωστών και/ή εγκατεστημένων μονάδων με δεδομένες διεργασίες. Παρόλα αυτά, η ολοκλήρωση διεργασιών πρέπει να αντιμετωπίζεται με διαφορετικό τρόπο σε εφαρμογές βιοδιυλιστηρίων, όπου οι διεργασίες και το χαρτοφυλάκιο των προϊόντων είναι άγνωστα. Εφόσον, τα διάφορα μονοπάτια παραγωγής χημικών αποτελούν σημαντικούς βαθμούς ελευθερίας, προτείνεται ότι η μέθοδος Total Site πρέπει να συνδυάζεται με ένα εργαλείο σύνθεσης, με στόχο την προεπισκόπηση επιλογών καλύτερου σχεδιασμού, την εκτίμηση δυνατοτήτων ολοκλήρωσης συγκροτημάτων διεργασιών και την επιλογή του κατάλληλου χαρτοφυλακίου προϊόντων.

Η ανάγκη αξιολόγησης συνδυασμών διεργασιών δίνει τις κατευθυντήριες γραμμές για την ανάπτυξη ομάδων διεργασιών, οι οποίες περιέχουν διαφορετικό αριθμό διεργασιών κάθε φορά. Κύριος κανόνας για την δημιουργία των ομάδων είναι ότι ανταγωνιστικές διεργασίες εντάσσονται και ολοκληρώνονται μέσω διαφορετικών ομάδων, διαχειριζόμενοι έτσι με ευέλικτο τρόπο τους πολλαπλούς συνδυασμούς. Σαν αποτέλεσμα, δημιουργούνται τύποι ομάδων οι οποίοι μπορούν να περιέχουν τόσες διεργασίες όσες είναι και οι διαθέσιμες τροφοδοσίες βιομάζας και ενδιάμεσων προϊόντων. Μέσω αυτής της μεθοδολογίας ανιχνεύονται διεργασίες οι οποίες περιέχουν υψηλή διαθέσιμη ενέργεια ικανή να καλύψει τις ανάγκες άλλων εισερχόμενων διεργασιών. Πράγματι, κάποιες διεργασίες μπορούν να ενταχθούν στο συνολικό βιοδιυλιστήριο ακόμα και χωρίς κανένα ενεργειακό κόστος.

Η συνεισφορά και καινοτομία της μεθοδολογίας είναι η σύζευξη της ολοκλήρωσης και σύνθεσης διεργασιών καθορίζοντας ένα νέο εργαλείο για λήψη στρατηγικών αποφάσεων σε μελλοντικά βιοδιυλιστήρια. Η προτεινόμενη μεθοδολογία υιοθετήθηκε και εφαρμόστηκε στο ευρωπαϊκό πρόγραμμα BIOCORE για την μελέτη 8 πιλοτικών διεργασιών ιδιαίτερης σημασίας.

Οι διεργασίες περιλαμβάνουν την κύρια διεργασία κλασμάτωσης της βιομάζας στα τρία χημικά ενδιάμεσα, C5 και C6 σάκχαρα και λιγνίνη, καθώς επίσης και ένα σύνολο 7 χημικών μονοπατιών που μετατρέπουν τα ενδιάμεσα αυτά σε 5 τελικά προϊόντα. Τα προϊόντα αυτά είναι η ξυλιτόλη (βιολογική και καταλυτική διεργασία), η αιθανόλη, το ιτακονικό οξύ, οι ρητίνες και η πολυουρεθάνη (Σχήμα 1). Οι ενεργειακοί στόχοι ανιχνεύονται στους εναλλάκτες κάθε διεργασίας, τις αποστακτικές στήλες και τους εξατμιστήρες. Η ολοκλήρωση των δύο τελευταίων γίνεται με χρήση πολλαπλών βαθμίδων, ενώ περαιτέρω εξοικονόμηση (50-100%) επιτυγχάνεται ύστερα από κατάλληλη ολοκλήρωση τους με το ολοκληρωμένο σύστημα εναλλακτών.



Σχήμα 1: Δένδρο υποψήφιων χημικών μονοπατιών ενός λιγνοκυτταρινούχου βιοδιυλιστηρίου και ενδεικτικές ομάδες ολοκλήρωσης διεργασιών

Το χαρτοφυλάκιο προϊόντων του τελικού βιοδιυλιστηρίου που επιλέχθηκε ύστερα από την εφαρμογή της μεθοδολογίας περιέχει τις διεργασίες κλασμάτωσης της βιομάζας, βιοξυλιτόλης, ιτακονικού οξέος και ρητινών. Η λύση αυτή προσφέρει τα υψηλότερα ποσοστά ενεργειακής εξοικονόμησης μειώνοντας της θερμές παροχές από 226 σε 38 MW και τις ψυχρές παροχές από 229 σε 36 MW, επιτυγχάνοντας 83% και 84% ενεργειακή εξοικονόμηση, αντίστοιχα.

Εκτός από την επιλογή του κατάλληλου χαρτοφυλακίου προϊόντων, υπάρχουν επιπλέον πρωτοβουλίες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων εποχικής μεταβλητότητας της βιομάζας στα ενεργειακά οφέλη και τις δυνατότητες ολοκλήρωσης του επιλεγμένου βιοδιυλιστηρίου. Οι τύποι λιγνοκυτταρινούχας βιομάζας που μελετήθηκαν στα πλαίσια του προγράμματος BIOCORE είναι το σιτάρι, το ρύζι και το ξύλο (σημύδα ή λεύκα). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι τροφοδοσίες ξυλείας, οι οποίες προσθέτουν στην υπάρχουσα μονάδα επιπλέον θερμικές ανάγκες για την ξήρανση του ξύλου αλλάζοντας έτσι το ενεργειακό προφίλ και τα περιθώρια ολοκλήρωσης. Η ένταξη της ξήρανσης επιτυγχάνεται χωρίς κανένα ενεργειακό κόστος εφόσον ενεργειακά αποθέματα του βιοδιυλιστηρίου μπορούν να καλύψουν τις επιπλέον ανάγκες επιφέροντας ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά εξοικονόμησης ψυχρών παροχών έως και 93%.

Η ανάγκη για τη διαχείριση, το σχεδιασμό και την διασφάλιση βιωσιμότητας της νέας γενιάς διεργασιών που εμφανίζονται, αποτελούν κύρια κίνητρα για έρευνα και ανάπτυξη μεθόδων που θα λαμβάνουν υπόψη εργαλεία σύνθεσης και ολοκλήρωσης. Η παρούσα μεθοδολογία, που αναπτύσσεται στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής με τίτλο «Ολοκληρωμένος Σχεδιασμός Συστημάτων Αντίδρασης και Απόσταξης», αποτελεί θεμελιώδη βάση για την ανάπτυξη νέων τεχνικών ολοκλήρωσης που θα καλύπτουν ανάγκες και θα δίνουν απαντήσεις όσον αφορά τον νέο αυτό χώρο. Η περαιτέρω εμβάθυνση της μεθοδολογίας και η ολοκλήρωση αζεοτροπικών διαχωρισμών και βιοδιεργασιών, οι οποίες περιλαμβάνουν πολλαπλούς σχεδιαστικούς βαθμούς ελευθερίας όπως διαθέσιμες τεχνολογίες, συνθήκες λειτουργίας και πολύπλοκες συνδεσμολογίες μεταξύ των εκάστοτε δομικών μονάδων, συνθέτουν βασικούς πυλώνες μελλοντικής έρευνας στα πλαίσια της παρούσας διδακτορικής διατριβής.