

# Αξιολόγηση αντιστάθμισης διαταραχών σε μονάδες δέσμευσης CO<sub>2</sub> με χρήση διαλυτών

Θεόδωρος Δαμαρτζής<sup>1,2</sup>, Αθανάσιος Ι. Παπαδόπουλος<sup>1</sup>, Πάνος Σεφερλής<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Εθνικό Κέντρο Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης, Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών και Ενεργειακών Πόρων, 57001 Θέρμη-Θεσσαλονίκη

<sup>2</sup>Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, 54124 Θεσσαλονίκη

Οι τεχνολογίες δέσμευσης διοξειδίου του άνθρακα σε διεργασίες καύσης βασίζονται κυρίως στη χρήση διαλυτών οι οποίοι ενισχύουν το διαχωρισμό του CO<sub>2</sub> από αέρια ρεύματα απαερίων μέσα σε στήλες απορρόφησης. Η ανάκτηση του διαλύτη και η συλλογή του καθαρού CO<sub>2</sub> επιφέρουν σημαντική ενεργειακή επιβάρυνση στη διεργασία. Ένα πολύ μεγάλο μέρος των δημοσιευμένων μελετών επικεντρώνονται στην αναζήτηση νέων διαλυτών με βελτιωμένα χαρακτηριστικά όπως θερμοδυναμικές ιδιότητες, ρυθμό αντίδρασης καθώς και βιωσιμότητα [1], με στόχο τη μείωση του υψηλού λειτουργικού κόστους τους. Η χρήση νέων και εναλλακτικών διαλυτών επιβάλλει τη σύνθεση και σχεδιασμό καινοτόμων διαγραμμάτων ροής της διεργασίας δέσμευσης αποκλειστικά για τον χρησιμοποιούμενο διαλύτη για την ελαχιστοποίηση του κόστους. Ο βέλτιστος σχεδιασμός καθορίζει αποφάσεις όπως η δομή και το μέγεθος των στηλών διαχωρισμού, η τοπολογία των ρευμάτων ανακύκλωσης, η δομή του δικτύου εναλλακτών θερμότητας καθώς και οι παροχές των χρησιμοποιούμενων διαλυτών [2]. Ωστόσο, οι διεργασίες δέσμευσης CO<sub>2</sub> οφείλουν να λειτουργούν σε συνθήκες συνεχούς μεταβολής. Ενδεικτικά αναφέρονται οι μεταβολές που συμβαίνουν στη θερμοκρασία, πίεση και σύσταση των απαερίων της καύσης.

Έτσι, συστήματα δέσμευσης τα οποία έχουν σχεδιαστεί με βέλτιστο τρόπο θεωρώντας σταθερές συνθήκες λειτουργίας μπορούν εύκολα να εκτραπούν από τη βέλτιστη λειτουργία, οδηγώντας έτσι σε αύξηση του απαιτούμενου ενεργειακού φορτίου. Αυτό το θέμα συνήθως λαμβάνει μικρή προσοχή καθώς η επίδραση των μεταβολών αγνοείται, ενώ επίσης θεωρείται ότι ένα καλώς σχεδιασμένο σύστημα ελέγχου θα είναι ικανό να αντισταθμίσει τις διαταραχές στη διεργασία.

Στην παρούσα εργασία μελετάται συστηματικά η αλληλεπίδραση των σχεδιαστικών αποφάσεων στο επίπεδο επιλογής διαλύτη και δομής του διαγράμματος ροής με τις σχεδιαστικές αποφάσεις συσχετιζόμενες με το σύστημα ελέγχου για την επίτευξη των στόχων της διεργασίας. Διάφοροι προεπιλεγμένοι διαλύτες εισάγονται σε ένα γενικευμένο πλαίσιο σχεδιασμού διεργασιών μέσα από το οποίο καθίσταται δυνατός ο βέλτιστος προσδιορισμός των σχεδιαστικών παραμέτρων των διεργασιών απορρόφησης/εκρόφησης θεωρώντας ταυτόχρονα την επίδραση διαταραχών στη λειτουργία του συστήματος. Η αντιστάθμιση των διαταραχών επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσδιορισμό χειραγωγούμενων και ρυθμιζόμενων μεταβλητών ενός συστήματος ελέγχου πολλαπλών μεταβλητών. Η ικανότητα του συστήματος διαλύτη-διάγραμμα ροής-δομή ελέγχου να απορρίπτει την επίδραση των διαταραχών στους στόχους της διεργασίας, αξιολογείται μέσω ενός σταδίου μη γραμμικής ανάλυσης ευαισθησίας.

Στο στάδιο της μη γραμμικής ανάλυσης ευαισθησίας γίνεται διερεύνηση της επίδρασης των διαταραχών στη μόνιμη αλλά και στη δυναμική κατάσταση του συστήματος. Μέσω της αντικειμενικής συνάρτησης του συστήματος ελέγχου γίνεται κατηγοριοποίηση των στόχων ελέγχου ως προς την κρισιμότητά τους και των χειραγωγούμενων μεταβλητών ως προς την οικονομική τους βαρύτητα [3]. Σαν αποτέλεσμα, αναπτύσσεται μια εκτεταμένη επιφάνεια ελέγχου γύρω από τα σημεία βέλτιστης λειτουργίας η οποία αντικατοπτρίζει τις αλλαγές στις χειραγωγούμενες αλλά και τις ελεγχόμενες μεταβλητές σε συνάρτηση των αλλαγών στις μεταβλητές της διεργασίας αλλά και

των διαταραχών. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, επιτυγχάνεται η οικονομική αξιολόγηση κάθε διαλύτη και διαγράμματος ροής της διεργασίας με μεγαλύτερη αξιοπιστία. Η ανάλυση ευαισθησίας οδηγεί στην επιλογή της κατάλληλης δομής ελέγχου καθώς και του επιτρεπόμενου εύρους των χειραγωγούμενων παραμέτρων μέσα στο οποίο οι διαλύτες επιδεικνύουν ικανοποιητική λειτουργία. Επιπλέον, επιτρέπει την επιλεκτική τροποποίηση των σχεδιαστικών χαρακτηριστικών της διεργασίας ώστε να ενισχυθεί η ικανότητα αντιστάθμισης των διαταραχών.

### **Ευχαριστίες**

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τις Καθ. Claire Adjiman και Καθ. Amparo Galindo, καθώς και τον Καθ. George Jackson και τον Dr. Alexandros Chremos από το Imperial College London για τη χρήση του θερμοδυναμικού μοντέλου SAFT-VR.

Η έρευνα που οδήγησε σε αυτά τα αποτελέσματα έλαβε χρηματοδότηση από το 7<sup>ο</sup> Πρόγραμμα Πλαίσιο (FP7/2007-2013) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής μέσω του έργου ENERGY-2011-1-282789-CAPSOL.

### **Βιβλιογραφία**

- [1] Papadopoulos A.I., S. Badr, A. Chremos, E. Forte, T. Zarogiannis, P. Seferlis, S. Papadokostantakis, C. S. Adjiman, A. Galindo, G. Jackson, 2014, Efficient screening and selection of post-Combustion CO<sub>2</sub> capture solvents, *Chemical Engineering Transactions*, **39**, ISBN 978-88-95608-30-3; ISSN 2283-9216.
- [2] Damartzis T., A.I. Papadopoulos, P. Seferlis, 2014, Optimum synthesis of solvent-based post-combustion CO<sub>2</sub> capture flowsheets through a generalized modeling framework, *Clean Technologies and Environmental Policy*, **16**(7), 1363-1380.
- [3] Seferlis, P., Grievink, J., 2004, "Process Design and Control Structure Evaluation and Screening using Nonlinear Sensitivity Analysis", *Computer Aided Chemical Engineering*, **17**, 326-351.