



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

Ηρώων Πολυτεχνείου 9, 157 80 Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου • ΤΗΛ.: 7723572, FAX: 7723571

Αρ.Πρωτ.: 9337

Αθήνα, 13/11/15

Προς τα Μέλη ΔΕΠ της
Σχολής Μηχ/γων
Μηχ/κών

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του **ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΟΥ ΧΡΗΣΤΟΥ**, Διπλωματούχου **Μηχανολόγος Μηχανικός του ΕΜΠ**, που θα πραγματοποιηθεί την Παρασκευή 20 Νοεμβρίου 2015, ώρα 15:00μ.μ. στην Αίθουσα Συνεδρίασης της Γ.Σ. της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών-Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου. Το Θέμα της Διδακτορικής Διατριβής είναι:

«Αεριοποίηση βιομάζας σε ρευστοποιημένη κλίση ανακυκλοφορίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας»

Επισυνάπτεται περίληψη της παραπάνω Διδακτορικής Διατριβής

Ο ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ ΤΗΣ ΣΧΟΛΗΣ


Η. ΤΑΤΣΙΟΠΟΥΛΟΣ
Καθηγητής Ε.Μ.Π

Περίληψη

Οι σύγχρονες ανάγκες της κοινωνίας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και υγρών καυσίμων εξαρτώνται ως επί το πλείστον από τα ορυκτά καύσιμα. Αυτή η εξάρτηση μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά προβλήματα, πολιτική αστάθεια (βλ. πετρελαϊκή κρίση στη δεκαετία του '70), όπως επίσης και αβεβαιότητα στις προμήθειες της ενεργειακής εφοδιαστικής αλυσίδας. Επιπροσθέτως, η εκτεταμένη χρήση των ορυκτών πόρων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη.

Σήμερα, η βιομάζα είναι η μόνη ανανεώσιμη πηγή από την οποία μπορούν να προκύψουν υγρά, αέρια και στερεά προϊόντα, καθώς και ηλεκτρική ενέργεια. Αυτό έγκειται στο γεγονός ότι η βιομάζα αποτελείται από οργανικές ενώσεις. Συνάμα, η συνεισφορά των παραγώγων της στις εκπομπές CO₂ θεωρείται μηδενική.

Η θερμοχημική επεξεργασία της βιομάζας συνεισφέρει στον περιορισμό της χρήσης ορυκτών καυσίμων, με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή υγρών προϊόντων για την αξιοποίησή τους ως πρώτη ύλη για άλλες διεργασίες ή άλλα παράγωγα. Μια πολλά υποσχόμενη διεργασία είναι αυτή της αεριοποίησης. Στόχος αυτής της διεργασίας είναι η παραγωγή ενός αερίου (αέριο σύνθεσης) πλούσιο σε CO, H₂, CH₄, CO₂ και H₂O ικανό να αξιοποιηθεί για απευθείας χρήση (πχ ηλεκτροπαραγωγή σε MEK ή αεριοστρόβιλο) ή ως πρώτη ύλη για παραγωγή χημικών προϊόντων σε σύγχρονες μονάδες βιοδιωλιστηρίων.

Εν τούτοις, η αεριοποίηση βιομάζας έχει αρκετά στοιχεία τα οποία είναι αρκετά προβληματικά και δεν έχουν επιτρέψει ακόμη την εμπορική αξιοποίηση της διεργασίας της αεριοποίησης. Μερικά θέματα τα οποία ακόμη και σήμερα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον για την επιστημονική κοινότητα είναι η μείωση τάσης εμφάνισης συσσωματωμάτων και, κατά συνέπεια, της βίαιης απώλειας ρευστοποίησης, καθώς και η μείωση της συγκέντρωσης των πισσών στο παραγόμενο αέριο.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή μελετάται η αξιοποίηση της βιομάζας σε ρευστοποιημένη κλίνη ανακυκλοφορίας μέσω αεριοποίησης, χρησιμοποιώντας ως οξειδωτικό μέσο τον αέρα. Σκοπός είναι η μείωση της συγκέντρωσης των πισσών (και συγχρόνως η βελτίωση του αερίου σύνθεσης) στο παραγόμενο αέριο, καθώς και η διερεύνηση τάσης σχηματισμού συσσωματωμάτων διαφόρων ειδών βιομάζας.

Κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας διδακτορικής διατριβής μελετήθηκαν αγροτικά είδη βιομάζας και συγκεκριμένα υπολείμματα ηλίανθου, γιανόφα, αγριαγκινάρα και ιτιά ως προς την ποιότητα του αερίου σύνθεσης που προέκυψε από κάθε καύσιμο σε διάφορες θερμοκρασίες.

Στα πλαίσια της λειτουργίας ενός προηγμένου βιοδιωλιστηρίου με μηδενικά απορρίματα, του οποίου η μονάδα αεριοποίησης θα αποτελεί βασικό στοιχείο, μελετήθηκαν τα υπολείμματα των καρπών που αναφέρθηκαν παραπάνω μετά την εξαγωγή του ελαίου. Τόσο οι ενεργειακές καλλιέργειες του ηλίανθου και της γιανόφας όσο και της αγριαγκινάρας ευδοκούν – με αρκετά καλή απόδοση – στην περιοχή της Μεσογείου.

Το μόνο καύσιμο στο οποίο παρατηρήθηκε απώλεια ρευστοποίησης ήταν η αγριαγκινάρα όταν η δοκιμή έλαβε χώρα με ολιβίνη ως πληρωτικό μέσο. Η θερμοκρασία κατά την οποία επήλθε βίαιη απορευστοποίηση ήταν αρκετά χαμηλή. Προσπάθεια επίλυσης του συγκεκριμένου προβλήματος επιχειρήθηκε διεξάγοντας

δοκιμές αγριαγκινάρας με καλάμι. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών ήταν αρκετά ενθαρρυντικά αφού δεν υπήρξε απώλεια ρευστοποίησης.

Δύο δοκιμές αεριοποίησης αγριαγκινάρας επιχειρήθηκε να διεξαχθούν με δύο διαφορετικά αδρανή υλικά. Την πρώτη φορά με ολιβίνη και τη δεύτερη με μαγνεσίτη, και τις δύο φορές παρουσιάστηκε πρόβλημα λόγω απώλειας ρευστοποίησης. Η πειραματική δοκιμή με αδρανές υλικό το μαγνεσίτη έλαβε χώρα στη μονάδα του Πανεπιστημίου του Ντέλφτ. Η συγκεκριμένη πειραματική εγκατάσταση είναι ένας ατμοσφαιρικός αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία. Η δοκιμή πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας οξυγόνο και ατμό ως οξειδωτικό μέσο. Μετά από δύο ώρες πειραματικής διαδικασίας σε θερμοκρασία 750 °C σημειώθηκε απώλεια ρευστοποίησης.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το συγκεκριμένο πρόβλημα της απορευστοποίησης αντιμετωπίστηκε διεξάγοντας δοκιμές αεριοποίησης με μείγμα αγριαγκινάρας – καλαμιού. Το καλάμι επιλέχθηκε γιατί είναι ένα είδος βιομάζας με ιδιότητες παρόμοιες με αυτές της αγριαγκινάρας. Η δοκιμή διεξήχθη στην πειραματική μονάδα του ΕΚΕΤΑ χρησιμοποιώντας ολιβίνη ως πληρωτικό μέσο. Η θερμοκρασία λειτουργίας έφτασε μέχρι τους 800 °C, κατά τη διάρκεια όλου του πειράματος δεν παρουσιάστηκε κανένα πρόβλημα συσσωματώματος.

Όλες οι πειραματικές δοκιμές έλαβαν χώρα σε ατμοσφαιρικό αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης με ανακυκλοφορία. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών διερευνήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας και του αδρανούς υλικού στην ποιότητα του αερίου σύνθεσης. Αν και η διεργασία της αεριοποίησης με αέρα είναι αυτόθερμη, η θερμοκρασία του αντιδραστήρα ελεγχόταν με τη βοήθεια εξωτερικών αντιστάσεων οι οποίες παρείχαν την απαιτούμενη θερμότητα. Όλη η πειραματική σειρά πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικές θερμοκρασίες, 750 °C και 800 °C. Η ποιότητα του παραγόμενου αερίου για όλα τα καύσιμα είχε μεγάλες ομοιότητες με το αέριο που παρήχθη κατά την αεριοποίηση της ιτιάς. Σημαντική διαφορά σημειώθηκε μόνο στη συγκέντρωση του παραγόμενου υδρογόνου, το οποίο στην περίπτωση των υπολειμμάτων ηλίανθου και γιατρόφας ήταν έως και τρεις φορές περισσότερο από το ποσοστό που παρατηρήθηκε κατά την αεριοποίηση της ιτιάς. Αν και πρώτη φορά διεξήχθησαν δοκιμές αεριοποίησης σε ρευστοποιημένη κλίνη με τα δύο παραπάνω υπολείμματα και την αγριαγκινάρα, τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ενθαρρυντικά ώστε αυτά τα είδη να αποτελέσουν καύσιμα για εφαρμογές σε βιομηχανική κλίμακα.

Όλα τα καύσιμα δοκιμάστηκαν με τρία διαφορετικά πληρωτικά μέσα, με σκοπό να διερευνηθεί διεξοδικά η επίδραση τους στη συγκέντρωση των πισσών. Τα πληρωτικά μέσα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν χαλαζιακή άμμος, ολιβίνης και πυρωμένος ολιβίνης (calcined olivine). Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από τις δοκιμές έδειξαν ότι ο πυρωμένος ολιβίνης έχει αρκετά καλές καταλυτικές ιδιότητες ως προς τη μείωση των πισσών. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μείωση μέχρι και 80% στη συγκέντρωση των παραγόμενων πισσών σε σύγκριση με τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν με χαλαζιακή άμμο για την περίπτωση των υπολειμμάτων ηλίανθου. Μετά το τέλος των δοκιμών συνελέγησαν δείγματα από τρία διαφορετικά σημεία του αντιδραστήρα: το κάτω μέρος του ανοδικού αγωγού, την βαλβίδα L και το κάτω μέρος του δεύτερου κυκλώνα. Εν συνεχεία, διεξήχθησαν μια σειρά αναλύσεων για τον χαρακτηρισμό των δειγμάτων. Όλες οι αναλύσεις βοήθησαν ώστε να βγουν σημαντικά συμπεράσματα για τα πληρωτικά μέσα. Μια αρκετά ενδιαφέρουσα παρατήρηση ήταν ότι οι ρωγμές οι οποίες υφίστανται στο εσωτερικό της δομής των σωματιδίων του ολιβίνης βοηθούν – ενισχύουν την εισχώρηση ανόργανων της τέφρας, και κυρίως του ασβεστίου και του καλίου, εντός των σωματιδίων. Το φαινόμενο αυτό αυξάνεται αισθητά όταν ο ολιβίνης έχει υποστεί θερμική επεξεργασία σε κλίβανο

(πύρωση). Κατά την πύρωση αυξάνεται το μέγεθος των ρωγμών με αποτέλεσμα να ενισχύεται περαιτέρω η διείδυση των ανόργανων. Η εισχώρηση των ανόργανων εντός των σωματιδίων μειώνει σε μεγάλο βαθμό την πιθανότητα απώλειας ρευστοποίησης λόγω τήξης της τέφρας, η ικανότητα αυτή ενισχύεται από το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια των όλων πειραμάτων με ολιβίνη και πυρωμένο ολιβίνη δεν εμφανίστηκε ποτέ απώλεια ρευστοποίησης. Δυστυχώς όμως η αύξηση του μεγέθους των ρωγμών οδηγεί σε μείωση της μηχανικής αντοχής των σωματιδίων του πυρωμένου ολιβίνης. Αυτό διαπιστώθηκε με την διεξαγωγή δοκιμών αντίστασης των σωματιδίων του αδρανούς υλικού κατά της μηχανικής φθοράς.

Εν συνεχεία, μετά το τέλος των πειραματικών σειρών καταστρώθηκε ένα θερμοδυναμικό μοντέλο με τη βοήθεια του εμπορικού προγράμματος ASPEN για έναν αποκεντρωμένο σταθμό συμπαραγωγής με αεριοποίηση βιομάζας. Το εξεταζόμενο σενάριο αφορά μικρή μονάδα ισχύος 5 MW_{th}. Το παραγόμενο αέριο σύνθεσης μετά τον καθαρισμό του εισέρχεται σε μία μηχανή εσωτερικής καύσης. Στο μοντέλο που αναπτύχθηκε, εισήχθησαν διάφορα αποτελέσματα από τις πειραματικές δοκιμές για κάθε καύσιμο, καθώς και το αδρανές υλικό που χρησιμοποιήθηκε ώστε να δειχτεί ποια η επίδρασή τους σε διάφορα μεγέθη στην απόδοση της αεριοποίησης ή στην ηλεκτροπαραγωγή.

Τέλος, έγινε εκτενής τεchnο-οικονομική αναλύση ενός σεναρίου ηλεκτροπαραγωγής με αεριοποίηση βιομάζας τροποποιώντας μια υφιστάμενη μονάδα ντίζελ για το νησί της Λέσβου ώστε να δεχτεί ως καύσιμο, αέριο σύνθεσης προερχόμενο από την αεριοποίηση πυρηνόξυλο σε αναβράζουσα ρευστοποιημένη κλίνη. Μελετήθηκαν δύο διαφορετικές χρονικές περίοδοι λειτουργίας της μονάδας, η μια μόνο για τους μήνες όπου υπάρχει έντονη τουριστική δραστηριότητα και η δεύτερη για την περίοδο από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο.