



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΚΟΧΗΜΕΙΑΣ

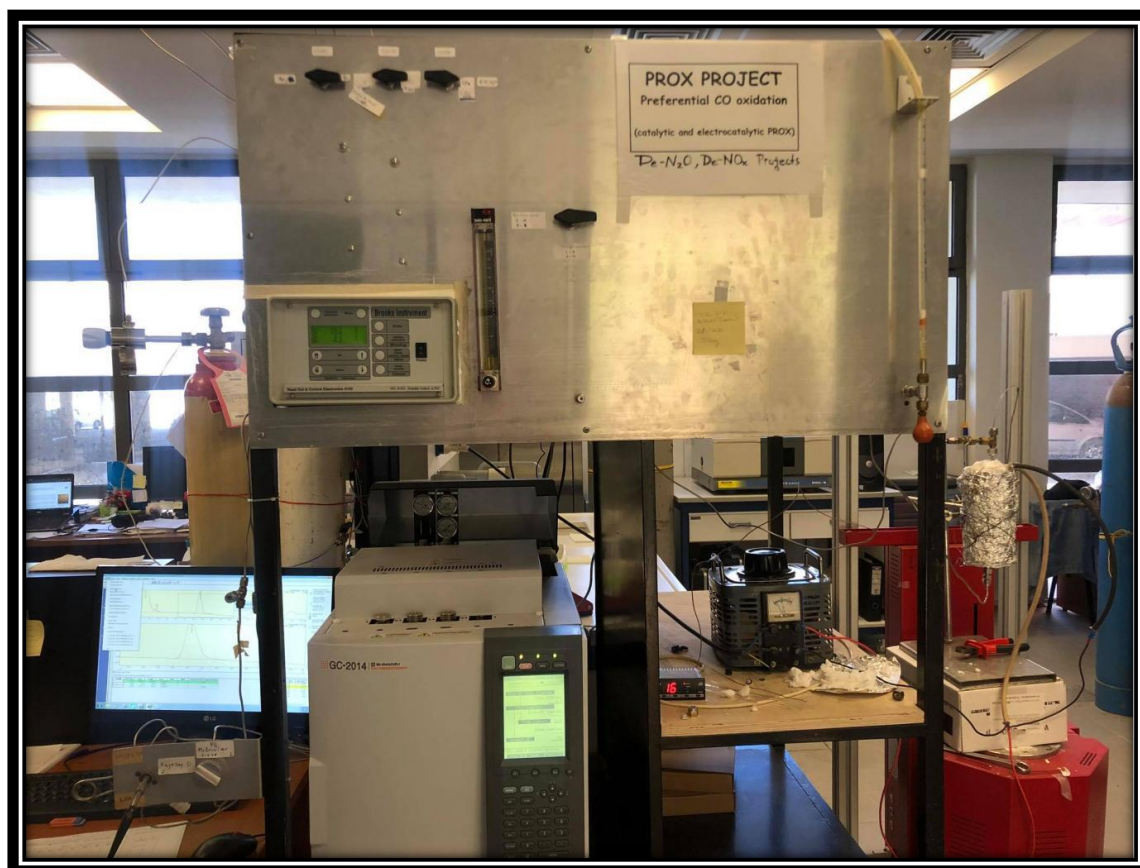
Ομάδα συγγραφής αναφοράς : Παντής Άγγελος 2018050055

Κυριακή Θεοχάρη 2018050043

Σιγαλός Δημήτριος 2018050024

Τίτλος Άσκησης

<<ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 5^ο – ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ >>



Περίληψη

Μελετάται κινητικά η αντίδραση $9\text{NO} + \text{C}_3\text{H}_6 \rightarrow (9/2)\text{N}_2 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}$ όπου πραγματοποιείται ταυτόχρονη καταλυτική καταστροφή των ρύπων NO και ενός υδρογονάνθρακα (C_3H_6), πάνω σε καταλύτη Pt ο οποίος είναι υποστηριγμένος σε πορώδη αλούμινα ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) και ενισχυμένος από μια αλκαλική γαία (το Ba). Η παραπάνω ετεροκαταλυτική αντίδραση έχει ως αποτέλεσμα τη μετατροπή δυο ρύπων (αντιδρώντα) σε μη ρυπογόνα προϊόντα και τη παραγωγή ενός ρυπογόνου παραπροϊόντος. Τα προϊόντα αναλύονται με αναλυτή NOx και με αέριο χρωματογράφο για να προσδιοριστεί η απόδοση της αντίδρασης. Συγκρίνεται η δράση τριών καταλυτών που διαφέρουν σε περιεκτικότητα προωθητή.

Εισαγωγή

Ετερογενής αντίδραση λέγεται η αντίδραση που συμβαίνει σε φάση διαφορετική από την ρευστή (στην οποία βρίσκονται τα αντιδρώντα), όπως στην επιφάνεια ενός στερεού. Η επιφάνεια του στερεού διαδραματίζει, συνήθως, ρόλο καταλύτη αυξάνοντας τον ρυθμό των αντιδράσεων.

Κατάλυση: είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μία ουσία (καταλύτη) μεταβάλλει το ρυθμό μιας χημικής αντίδρασης, (κατά κανόνα τον αυξάνει), χωρίς να μεταβάλλεται το σημείο της χημικής ισορροπίας που προβλέπεται από τη χημική θερμοδυναμική κάτω από ορισμένες συνθήκες.

Καταλύτης: ουσία της οποίας η παρουσία σε μικρά ποσά αυξάνει την ταχύτητα της αντίδρασης (καθώς δημιουργεί μια νέα πορεία με μικρότερη ενέργεια ενεργοποίησης E_a). Στο τέλος της αντίδρασης παραμένει ουσιαστικά αμετάβλητος τόσο στη μάζα όσο και στη χημική της σύσταση. Η κατάλυση ονομάζεται ετερογενής όταν τα αντιδρώντα και ο καταλύτης βρίσκονται σε διαφορετικές φάσεις. Δηλαδή, στις ετερογενείς αντιδράσεις, το σημείο της αντίδρασης δεν είναι η ρευστή φάση όπως στις ομογενείς αντιδράσεις, αλλά η επιφάνεια του στερεού καταλύτη.

Στερεοί καταλύτες

Σύμφωνα με τη θεωρία της προσρόφησης, τα αντιδρώντα μόρια (αέρια ή υγρά) προσροφώνται στην επιφάνεια του στερεού καταλύτη, οποίος είναι σε λεπτόκοκκο ή σπογγώδη μορφή. Κάτω από της συνθήκες αυτές οι δεσμοί των μορίων εξασθενούν ή ακόμα διασπώνται, οπότε υποβοηθείται η αντίδραση. Η καταλυτική δράση δεν εκτείνεται σε όλα τα σημεία του καταλύτη, αλλά σε ένα σχετικά πολύ μικρό αριθμό σημείων, που ονομάζονται ενεργά κέντρα του καταλύτη. Το αδρανές υλικό που ονομάζεται υπόστρωμα (carrier ή support), παρουσιάζει υψηλό πορώδες και πολύ μεγάλη ειδική επιφάνεια (της τάξης των 100-500 m^2/g). Υπόστρωμα των καταλυτών του πειράματος, πάνω στο οποίο είναι διασπαρμένη η καταλυτικά ενεργή φάση είναι το $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$.

Σε ένα βιομηχανικό καταλύτη, εκτός του υποστρώματος και της ενεργούς φάσης, γίνεται συχνά χρήση κάποιας άλλης ουσίας που θα διασπαρθεί σε πολύ μικρές ποσότητες στην καταλυτική επιφάνεια (ή στον φορέα), με σκοπό την τροποποίηση των καταλυτικών ιδιοτήτων της ενεργούς φάσης. Αυτές οι ουσίες ονομάζονται προωθητές ή ενισχυτές.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, οι στερεοί καταλύτες αποτελούνται συνήθως από τα εξής τρία μέρη :

1. Τον φορέα, που παρέχει μεγάλο εμβαδό επιφάνειας για τη διασπορά της καταλυτικά ενεργού ύλης (συνήθως είναι κάποιο οξείδιο μετάλλου, εδώ $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$)
2. Την καταλυτικά ενεργό ύλη, που δημιουργεί τα ενεργά κέντρα για χημειορρόφηση και επιφανειακή αντίδραση (συνήθως είναι κάποιο μέταλλο, εδώ Pt)
3. Τους προωθητές, που χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (ppm) είτε

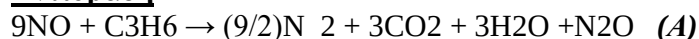
για να βοηθήσουν στη διατήρηση της φυσικής υπόστασης του καταλύτη ή για να αυξήσουν το ρυθμό της αντίδρασης ή την εκλεκτικότητα του καταλύτη στη διεργασία αυτή (χαρακτηριστικοί προωθητές είναι τα αλκάλια και οι αλκαλικές γαίες, εδώ *Ba*).

Καταλυτική Ενεργότητα (Activity): Αναφέρεται στο ρυθμό με τον οποίο επιταχύνεται η καταλυτική αντίδραση. Μετρείται συνήθως με το ρυθμό της αντίδρασης.

Καταλυτική Εκλεκτικότητα (Selectivity): Η ικανότητα κάποιου καταλύτη να επιταχύνει επιλεκτικά την παραγωγή κάποιου προϊόντος στις πολύπλοκες αντιδράσεις ονομάζεται **εκλεκτικότητα**. Από βιομηχανική άποψη το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό ενός καταλύτη είναι η εκλεκτικότητά του. Ολόκληρη η κατάλυση θα μπορούσε να οριστεί ως η τέχνη της ρύθμισης της εκλεκτικότητας αναφορικά με τις πολύπλοκες αντιδράσεις. Η εκλεκτικότητα του καταλύτη μεταβάλλεται συνήθως με τη πίεση, τη θερμοκρασία, τη σύσταση παροχής των αντιδρώντων, το βαθμό μετατροπής και τη φύση του καταλύτη.

Ρυθμός Αναστροφής (TurnOver Frequency): ο αριθμός των μορίων των προϊόντων ανά ενεργή θέση καταλύτη ανά μονάδα χρόνου. Αποτελεί το πιο βασικό μέτρο καταλυτικής ενεργότητας.

Αντίδραση



Εκλεκτικότητα προς Άζωτο (N_2): Ποσοστό του αζώτου των αντιδρώντων που μετατρέπεται στο επιθυμητό προϊόν (N_2).

$$S_{\text{N}_2} = \frac{\text{TOF}_{\text{N}_2}}{\text{TOF}_{\text{N}_2} + \text{TOF}_{\text{N}_2\text{O}}} * 100\%$$

Αντιδραστήρες για μελέτη ετεροκαταλυτικών δράσεων

Για την κινητική μελέτη ετεροκαταλυτικών αντιδράσεων η χρήση των αντιδραστήρων διαλείποντος έργου (batch) δεν μπορεί να εφαρμοστεί, για τους παρακάτω λόγους:

1. Η ύπαρξη στερεάς φάσης (καταλύτη) μέσα στον αντιδραστήρα δυσχεραίνει την απαιτούμενη καλή ανάμιξη της ρευστής φάσης.
2. Λόγω της αυξημένης ταχύτητας των ετεροκαταλυτικών αντιδράσεων, η λήψη δειγμάτων από τον batch αντιδραστήρα σε τακτά χρονικά διαστήματα, έως ότου η αντίδραση περατωθεί, καθίσταται αδύνατη.

Είναι αναγκαία η χρήση αντιδραστήρων συνεχούς λειτουργίας, CSTR ή αυλωτού (PFR) αντιδραστήρα, όπου η αντίδραση θα χωρεί απρόσκοπτα σε μόνιμη κατάσταση, παρέχοντας θεωρητικά απεριόριστο χρόνο για την λήψη πειραματικών μετρήσεων, ανεξάρτητα από το πόσο γρήγορα πραγματοποιείται η αντίδραση. Η καλή ανάμιξη της ρευστής φάσης σε αυτούς τους αντιδραστήρες μπορεί να εξασφαλιστεί μέσω ρύθμισης της ροής των αντιδρώντων δια μέσου της κλίνης του καταλύτη. Από τους δυο αντιδραστήρες συνεχούς λειτουργίας, προτιμάται κυρίως ο αυλωτός αντιδραστήρας, ο οποίος θα λειτουργεί σε διαφορετικές συνθήκες.

Πειραματική διάταξη και διαδικασία



Εικόνα 1: Διάταξη πειράματος

1. Ροόμετρα μάζας: Καθορίζουν τη περιεκτικότητα του μίγματος των αερίων που εξέρχονται από τις φιάλες και οδηγούνται στον αντιδραστήρα. Ρυθμίζεται δηλαδή η σύσταση των αντιδρώντων.
2. Φιάλες αερίων σε υψηλή πίεση: Περιέχουν μονοξείδιο του αζώτου, προπάνιο και Αργό (NO , C_3H_8 , Ar).
3. Διάταξη για ένεση αντιδρώντων
4. Ο υπολογιστής αναλύει τα χρωματογραφήματα
5. Χρωματογράφος για on line αέρια χρωματογραφία
6. Θερμοστάτης: Επιτρέπει την αύξηση της θερμοκρασίας εντός του αντιδραστήρα ώστε να γίνει σύγκριση της απόδοσης της αντίδρασης σε διάφορες θερμοκρασίες.
7. Αντιδραστήρας σταθερούς κλίνης

Τα αέρια που βρίσκονται στις φιάλες υψηλής πίεσης περνούν μέσα από τα ροόμετρα μάζας ώστε να καθοριστεί η τελική σύσταση των αντιδρώντων.

Τα αντιδρώντα συγκεντρώνονται στον αντιδραστήρα και – με παρουσία καταλύτη – πραγματοποιείται η αντίδραση Α. Οι ρύποι μετατρέπονται σε μη ρυπογόνα προϊόντα. Καθώς έχει δημιουργηθεί το μίγμα των αντιδρώντων και διέρχεται από τους σωλήνες, γίνεται ένεση συγκεκριμένου όγκου από το μίγμα των αντιδρώντων.

Στη συνέχεια, τα προϊόντα κατευθύνονται στα όργανα ανάλυσης. Υπάρχει αναλυτής οξειδίου του αζώτου (αναλυτής NO_x), όπου μετρά τα προϊόντα του αζώτου και βρίσκει τις συγκεντρώσεις τους, και αέριος χρωματογράφος, προκειμένου να βρεθεί η περιεκτικότητα των υπολοίπων αερίων προϊόντων.

Το Ar (φέρων αέριο) βοηθάει στη μεταφορά των αντιδρώντων αερίων. Με τα ροόμετρα μάζας φροντίζουμε να έχουμε 1,3% περιεκτικότητα $[\text{NO}]$ και 0,3 % $[\text{C}_3\text{H}_8]$. Κάνουμε την

ένεση των αντιδρώντων και αυτά κατευθύνονται στον αντιδραστήρα, όπου υπάρχουν 8 mg καταλύτη. Οι καταλύτες που μελετώνται είναι οι:

C1: 0,5wt%Pt/γ-Al₂O₃

C2: 0,5wt%Pt/γ-Al₂O₃ + 9,7wt%Ba

C3: 0,5wt%Pt/γ-Al₂O₃ + 15,2wt%Ba

Η καταλυτική ουσία είναι η πλατίνα και η γ – λούμινα είναι ο φορέας πάω στον οποίο έχουν διασπαρεί τα άτομα της πλατίνας, Ο καταλύτης C2 είναι πλατίνα σε φορέα γ – λούμινα, αλλά έχει και προωθητή βαρίου. Ο τελικός καταλύτης C3 είναι πάλι πλατίνα σε γ – λούμινα, με μεγαλύτερη περιεκτικότητα προωθητή. Εκτελείται το πείραμα και μελετάται η απόδοση με την οποία τα αντιδρώντα μετατρέπονται σε προϊόντα. Τη πρώτη μέρα γίνεται το πείραμα με τον καταλύτη C1 , την άλλη με τον C2 και αντίστοιχα σε άλλη μέρα γίνεται χρήση του C3. Τα αποτελέσματα συγκεντρώνονται σε διαγράμματα και από τη σύγκρισή τους προκύπτει συμπέρασμα για το ποιος καταλύτης είναι καλύτερος για τη συγκεκριμένη αντίδραση (ποιος τη βοηθάει να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη απόδοση). Τα δεδομένα που προέκυψαν από τη παραπάνω διαδικασία συγκεντρώνονται στους παρακάτω πίνακες.

Απόκτηση κινητικών δεδομένων

Παρασκευάστηκαν τρεις καταλύτες 0.5wt%Pt/γ-Al₂O₃ με διαφορετική φόρτιση σε προωθητή Ba. Ακολουθήθηκε η επεξεργασία αναγωγής και σταθεροποίησης της συμπεριφοράς των καταλυτών όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Κατόπιν, οι καταλύτες χαρακτηρίστηκαν ως προς την ενεργή επιφάνεια με την μέθοδο της χημικής ρόφησης H₂.

Αναλυτής NO_x

Για την ανίχνευση των NO_x χρησιμοποιείται κατάλληλος αναλυτής , ο οποίος λειτουργεί με βάση την αρχή της χημειοφωταύγειας. Η αντίδραση του NO και ενός ισχυρού οξειδωτικού, όπως το O₃, έχει ως αποτέλεσμα την ηλεκτρονική διέγερση των μοριακών ειδών, τα οποία εκπέμπουν ενέργεια με τη μορφή ακτινοβολίας επιστρέφοντας στην αρχική τους κατάσταση.

Όργανα και ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν

- Η συσκευή που παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.1
- Φιάλες υψηλής πίεσης με αέρια C₃H₆, H₂, CO, NO, O₂, He.
- Ροόμετρα μάζας για τον έλεγχο των ροών
- Αέριος Χρωματογράφος (Shimadzu 14B)
- Αναλυτής χημειοφωταύγειας NO_x
- Ζυγός υψηλής ακρίβειας
- Φούρνοι θερμοστοιχεία και εκλεχτές θερμοκρασίας
- Τροφοδοτικά ρεύματος
- Αντιδραστήρες quartz
- Συσκευή μαγνητικής ανάδευσης και θέρμανσης
- Ροόμετρο φυσαλίδας
- H₂PtCl₆ (εξαχλωριοπλατινικό οξύ) και άλλα χημικά αντιδραστήρια
- Σκόνη γ-Al₂O₃
- Νιτρικά άλατα αλκαλίων και αλκαλικών γαιών
- Φούρνος επεξεργασίας καταλυτών σε υψηλές θερμοκρασίες
- Ποτήρια ζέσεως

Επεξεργασία Μετρήσεων και Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Αντίδραση: $9\text{NO} + \text{C}_3\text{H}_6 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + \text{N}_2\text{O}$

Καταλύτες:

C1= 0,5wt% Pt | $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

C2= 0,5wt% Pt | $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + 9,7 \text{ wt } \% \text{ Ba}$

C3= 0,5wt% Pt | $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 + 15,2 \text{ wt } \% \text{ Ba}$

Πειραματικές κινητικές μετρήσεις στους καταλύτες C1, C2 και C3 και επίδραση της θερμοκρασίας στους ρυθμούς παραγωγής N_2 , CO_2 και N_2O .

α/α	T ($^{\circ}\text{C}$)	$\frac{1}{T}$ (K^{-1})	TOF N_2 (s^{-1})	TOF CO_2 (s^{-1})	TOF N_2O (s^{-1})	S_{N_2} (%)
-----------------	-----------------------------	-----------------------------------	---	--	---	-----------------------------

ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ C₁

1	316	0,001698	0,011	0,021	0,118	8,527
2	345	0,001618	0,043	0,064	0,182	19,111
3	369	0,001558	0,054	0,086	0,236	18,621
4	365	0,001567	0,077	0,099	0,275	21,875
5	405	0,001475	0,120	0,130	0,315	27,586
6	431	0,00142	0,185	0,173	0,336	35,509
7	447	0,001389	0,293	0,228	-	-
8	472	0,001342	0,521	0,336	-	-

ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ C₂

1	308	0,001721	0,029	0,042	0,114	20,280
2	321	0,001684	0,057	0,085	0,127	30,978
3	350	0,001605	0,034	0,327	0,227	13,027
4	380	0,001531	1,187	0,977	0,425	73,635
5	400	0,001486	2,054	1,693	0,565	78,427
6	435	0,001412	6,724	5,393	1,017	86,862
7	457	0,00137	20,20	15,84	1,182	94,472

ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ C₃

1	304	0,001733	0,060	0,090	0,241	19,934
2	325	0,001672	0,241	0,271	0,332	42,059
3	353	0,001597	0,965	0,904	0,664	52,239
4	380	0,001531	3,029	2,516	1,060	74,077
5	404	0,001477	8,155	6,319	1,782	82,067
6	455	0,001373	60,81	44,43	3,765	94,170

Για την συμπλήρωση του πίνακα S_{N_2} (%) χρησιμοποιήθηκε ο ακόλουθος τύπος:

$$S_{N_2} = \frac{TOF_{N_2}}{TOF_{N_2} + TOF_{N_2O}} * 100\% \quad (1)$$

Ενδεικτικά, ακολουθεί η διαδικασία εύρεσης της εκλεκτικότητας που παρουσιάστηκε στο σύστημα προς παραγωγή N_2 για την πρώτη γραμμή του καταλύτη C_1

$$S_{N_2} = \frac{0,011}{0,011 + 0,118} * 100\% = 8,527\%$$

Για τη κατασκευή των διαγραμμάτων Arrhenius υπολογίζονται οι τιμές: $\ln TOF-N_2$, $\ln TOF-CO_2$ και $\ln TOF-N_2O$

α/α	$\ln(TOF\ N_2)$	$\ln(TOF\ CO_2)$	$\ln(TOF\ N_2O)$
-----------------	-----------------	------------------	------------------

ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ C_1

1	-4,50986	-3,86323	-2,13707
2	-3,14656	-2,74887	-1,70375
3	-2,91877	-2,45341	-1,44392
4	-2,56395	-2,31264	-1,29098
5	-2,12026	-2,04022	-1,15518
6	-1,6874	-1,75446	-1,09064
7	-1,22758	-1,47841	-
8	-0,65201	-1,09064	-

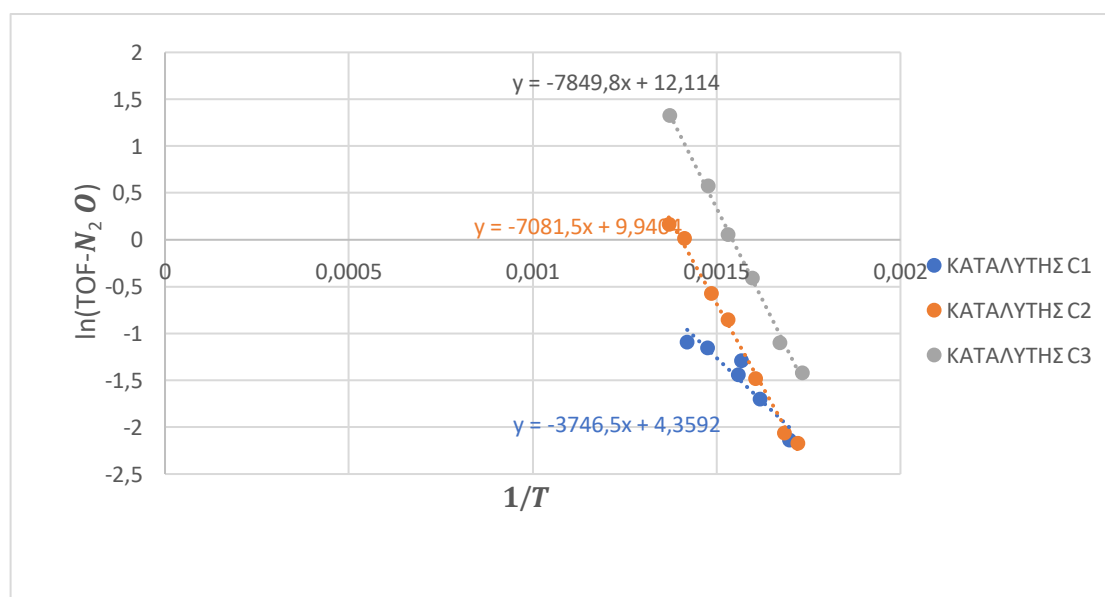
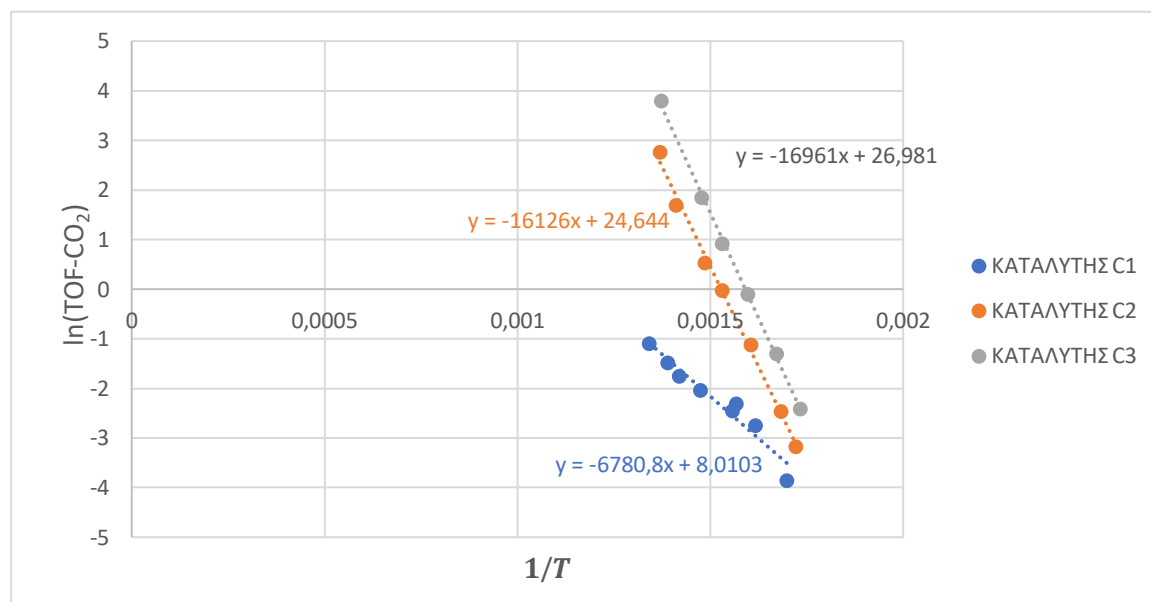
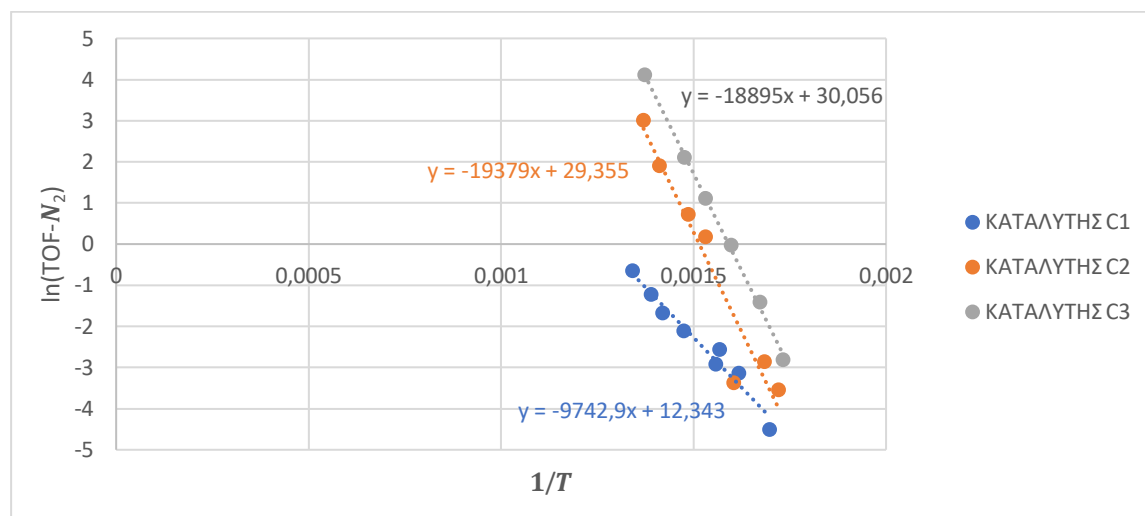
ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ C_2

1	-3,54046	-3,17009	-2,17156
2	-2,8647	-2,4651	-2,06357
3	-3,38139	-1,1178	-1,48281
4	0,171429	-0,02327	-0,85567
5	0,719789	0,526502	-0,57093
6	1,905683	1,685102	0,016857
7	3,005683	2,762538	0,167208

ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ C_3

1	-2,81341	-2,40795	-1,42296
2	-1,42296	-1,30564	-1,10262
3	-0,03563	-0,10093	-0,40947
4	1,108233	0,92267	0,058269
5	2,098631	1,843561	0,577736
6	4,107754	3,793915	1,325748

Διαγράμματα Arrhenius ($\ln(\text{TOF-N}_2/\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O})$ έναντι $1/T$)



$$\text{Εξίσωση Arrhenius: } (T) = k_0 \frac{-E_a}{RT} \Leftrightarrow \ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT}$$

όπου:

E_a = ενέργεια ενεργοποίησης της αντίδρασης [=] kcal/mol

k_0 = ο προεκθετικός παράγοντας της σταθεράς ταχύτητας της αντίδρασης

Από τη κλίση των διαγραμμάτων Arrhenius, υπολογίζονται οι ενέργειες ενεργοποίησης (φαινόμενες) για την παραγωγή N_2 , CO_2 και N_2O . Συγκεκριμένα, ο όρος a (κλίση) των εξισώσεων της μορφής $y = ax + b$ που αναφέρονται στις παραπάνω ευθείες, αντιστοιχεί στη τιμή $-\frac{E_a}{R}$.

Συνεπώς: $E_a = -aR$ (kcal/mol), όπου $R = 8,314$ Joule/molK

Επίσης υπολογίζονται οι προεκθετικοί παράγοντες k_0 από την τεταγμένη από την αρχή των ευθειών στα διαγράμματα Arrhenius, σύμφωνα με τον τύπο:

$b = \ln k_0 \Leftrightarrow e^b = e^{\ln k_0} \Leftrightarrow k_0 = e^b$ (b ο σταθερός όρος των εξισώσεων των διαγραμμάτων Arrhenius)

Ακολουθούν ενδεικτικά οι υπολογισμοί για τον καταλύτη C_1 (TOF- N_2)

$$a = -\frac{E_a}{R} \Leftrightarrow -9742,9 = -\frac{E_a}{0,008314} \Leftrightarrow E_a = 81 \text{ kcal/mol}$$

$$k_0 = e^b = e^{12,343} = 229348,97$$

	$E_a(N_2)$	$E_a(CO_2)$	$E_a(N_2O)$	$k_0(N_2)$	$k_0(CO_2)$	$k_0(N_2O)$
Καταλύτης C_1	81	56,38	31,15	229348,97	3011,82	78,19
Καταλύτης C_2	161,12	134,07	58,88	$5,61 \cdot 10^{12}$	$5,04 \cdot 10^{10}$	20752,04
Καταλύτης C_3	157,09	141,01	65,26	$1,13 \cdot 10^{13}$	$5,22 \cdot 10^{11}$	182407,8

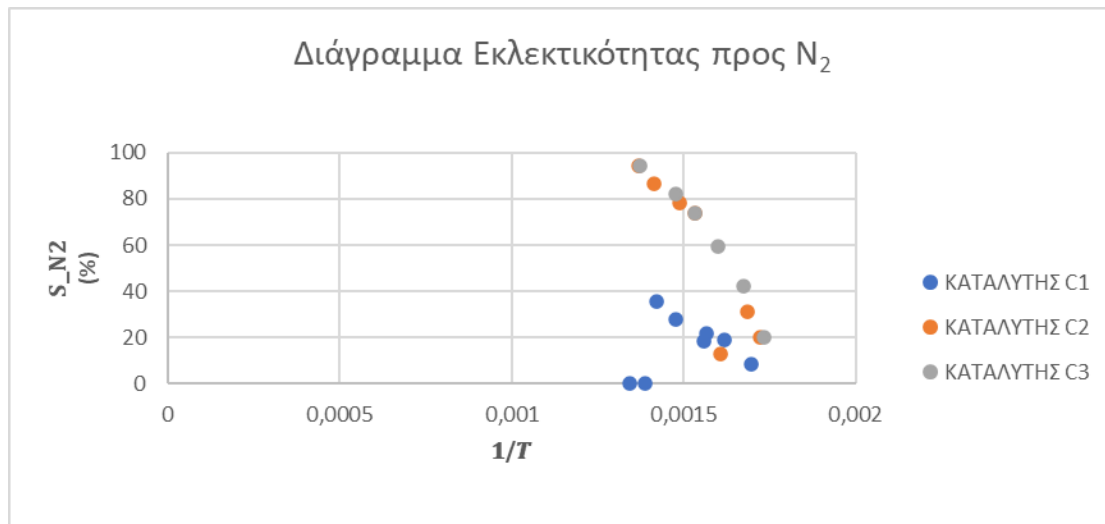
Προεκθετικοί παράγοντες που προέκυψαν από τα διαγράμματα Arrhenius

Ενδεικτικά για τον καταλύτη C_1 (TOF- N_2):

Θερμοκρασία: $T = 273 + 375 = 648K$

$$k = k_0 * e^{-\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right)} = 229348,97 * e^{-\left(\frac{81}{0,008314 \cdot 648}\right)} = 0,068 s^{-1}$$

	$k(N_2)$	$k(CO_2)$	$k(N_2O)$
Καταλύτης C_1	0,068	0,086	0,241
Καταλύτης C_2	0,576	0,785	0,372
Καταλύτης C_3	2,45	2,242	1,001



Συμπεράσματα

Από το διάγραμμα εκλεκτικότητας φαίνεται ότι ο καταλύτης C3 παρουσιάζει μεγαλύτερη εκλεκτικότητα ως προς άζωτο. Επομένως, από τη σχέση (1), μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι παράγεται μεγαλύτερη ποσότητα N₂ (επιθυμητό προϊόν) και μικρότερη ποσότητα N₂O (ανεπιθύμητο προϊόν). Από τα διαγράμματα Arrhenius παρατηρείται ότι ο καταλύτης C3 δημιουργεί μεγαλύτερη παραγωγή N₂ από τους άλλους δυο καταλύτες.

Συνεπώς, ο καταλύτης C3 κρίνεται ο πιο αποτελεσματικός. Με την ίδια λογική, λιγότερο αποτελεσματικός προέκυψε ο καταλύτης C2 και ακόμα λιγότερο αποδοτικός ο καταλύτης C1. Τα παραπάνω αποτελέσματα ήταν αναμενόμενα, καθώς ο καταλύτης C3 είναι ο περισσότερο προωθημένος καταλύτης με Ba. Η μεγάλη διαφορά στη δράση του καταλύτη C1 με τους C2 και C3, που παρουσιάζεται στα διαγράμματα, οφείλεται στην απουσία προωθητή.

Βιβλιογραφία

1. Ι. Γεντεκάκης, “Φυσικές Διεργασίες: Ανάλυση & Σχεδιασμός, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2010
2. Α. Σ. Λυκουργιώτης, Χ. Κορδούλης: Κατάλυση, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, Πάτρα, 2003