



# ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ  
ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ  
ΜΕΘΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ  
ΑΝΘΡΑΚΑ

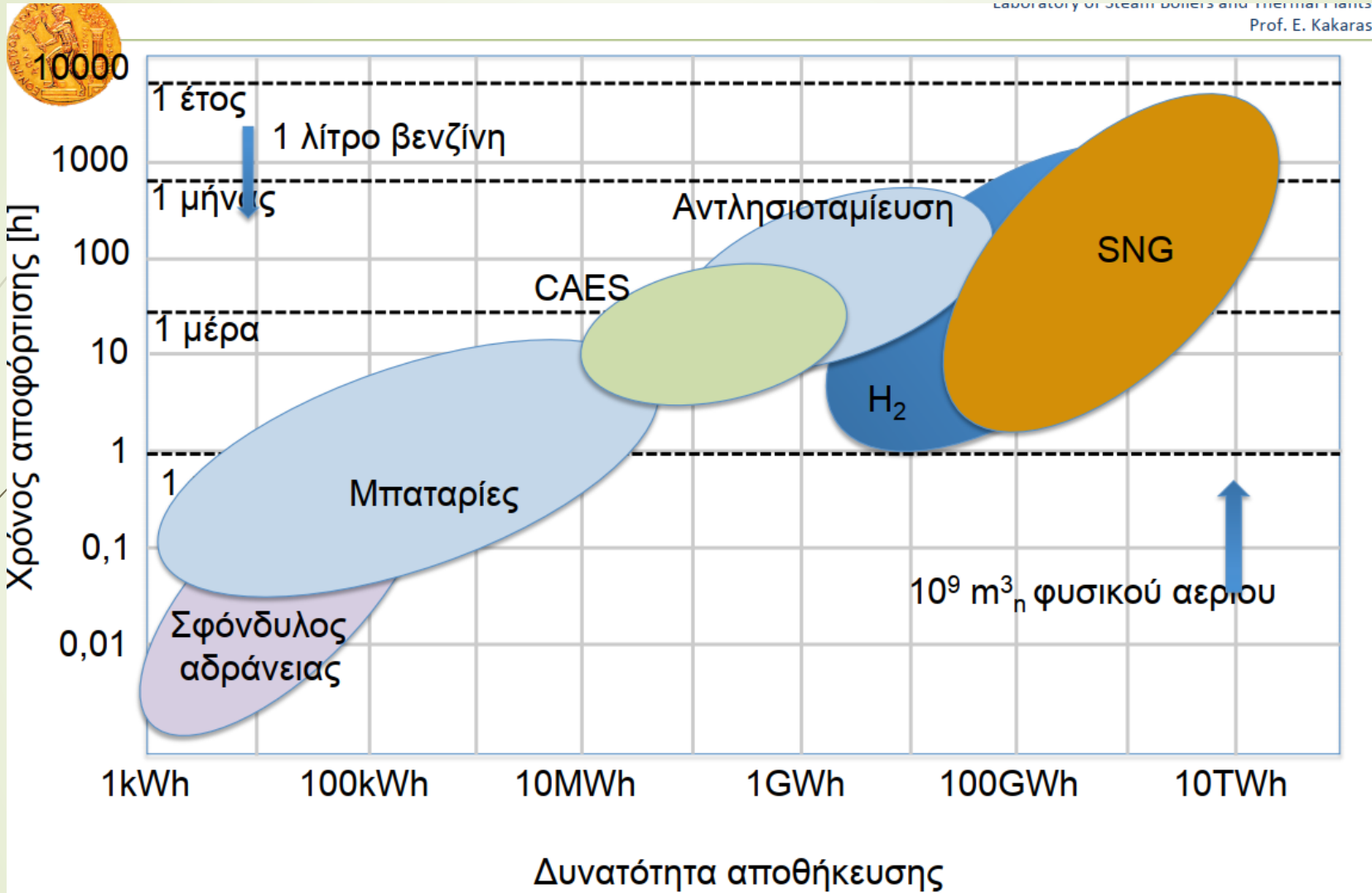
ΝΤΕΛΗΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ

# Ανασκόπηση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας

- ▶ Κατάταξη των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας ανάλογα με
  - ▶ Με την μορφή Ενέργειας που Αποθηκεύεται
    - ▶ Χημική μορφή
    - ▶ Μηχανική μορφή
    - ▶ Υπό μορφή ηλεκτροστατικού πεδίου, λόγω διαφορετικού ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς (υπερ-πυκνωτές).
    - ▶ Υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα (συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα)
    - ▶ Σε υδραυλική μορφή (συστήματα αντλησιοταμίευσης)
    - ▶ Μετατροπή σε αέριο power-to-gas (π.χ. μετατροπή σε υδρογόνο , μεθάνιο)
  - ▶ Την Χωρητικότητα και την Ισχύ
    - ▶ Αποθήκευση Μεγάλης Κλίμακας (και κλίμακας δικτύου)
    - ▶ Αποθήκευση Μικρής Κλίμακας
  - ▶ Τον χρόνο Αποθήκευσης και Αποφόρτισης
    - ▶ Βραχυπρόθεσμη αποθήκευση
    - ▶ Μακροπρόθεσμη αποθήκευση

# Ανασκόπηση Συστημάτων Αποθήκευσης Ενέργειας [2]

- ▶ Τα κυριότερα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας είναι:
  - ▶ Συστήματα με μπαταρίες
  - ▶ Συστήματα αντλησιοταμίευσης
  - ▶ Συστήματα αποθήκευσης Πεπιεσμένου Αέρα
  - ▶ **Συστήματα Power to Gas**



# Συστήματα Power to Gas

- ▶ Παραγωγή Carbon Neutral αερίων με την χρήση της πλεονάζουσας ενέργειας
- ▶ Τα παραγόμενα αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία πληθώρα εφαρμογών. Τόσο στις μεταφορές όσο και στην παραγωγή ενέργειας
- ▶ Αποθήκευση των μεγαλύτερων ποσών ενέργειας

# Συστήματα Power to Gas [2]

- ▶ Συστήματα αποθήκευσης με υδρογόνο
  - ▶ Δημιουργία μέσω της ηλεκτρόλυσης ενός από τα καλύτερα αέρια καύσης του υδρογόνου
  - ▶ Η αποθήκευση του υδρογόνου είναι μία δύσκολη και δαπανηρή διεργασία και συνεπώς η τεχνολογία καθίσταται μη αποδοτική
- ▶ Συστήματα αποθήκευσης Συνθετικού Φυσικού αερίου SNG.
  - ▶ Αντίδραση του υδρογόνου και του διοξειδίου του άνθρακα με απώτερο σκοπό την δημιουργία συνθετικού φυσικού αερίου- μεθανίου
  - ▶ Έναλλακτική λύση στην δαπανηρή αποθήκευση του υδρογόνου
  - ▶ Μείωση της εξάρτησης της Ευρώπης από το Ρωσικό φυσικό αέριο.

# Συστήματα SNG

- ▶ Σχηματισμός συνθετικού μεθανίου με χρήση της αντίδρασης SABATIER
  - ▶  $CO_2 + 4 * H_2 \leftrightarrow CH_4 + 2 * H_2O \Delta H = -165 \text{ KJ/mol}$
- ▶ Στην πραγματικότητα η μεθανιοποίηση πραγματοποιείται με την χρήση ενός σύνθετου μηχανισμού αντιδράσεων οι κυριότερες από τις υπόλοιπες αντιδράσεις είναι
  - ▶  $CO_2 + H_2 \leftrightarrow CO + H_2O \Delta H = 41 \text{ KJ/mol}$
  - ▶  $CO + 3 * H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O \Delta H = -206 \text{ KJ/mol}$

# Δέσμευση Διοξειδίου του Άνθρακα

- ▶ Οι τεχνολογίες δέσμευσης του διοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξής
  - ▶ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗ CO<sub>2</sub> ΑΠΕΥΘΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΕΡΑ (Direct Air Capture (DAC))
  - ▶ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗ CO<sub>2</sub> ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ (Post-Combustion)
    - ▶ Χημική απορρόφηση
    - ▶ Post-Combustion προσρόφηση
    - ▶ Post-Combustion μεμβράνες
    - ▶ Δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα με την χρήση ανθρακικού ασβεστίου
    - ▶ Κρυογενικός διαχωρισμός
    - ▶ Συστήματα Βιοενέργειας με δέσμευση άνθρακα
  - ▶ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΕΣΜΕΥΣΗ CO<sub>2</sub> ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΚΑΥΣΗ (Pre-Combustion)



# Αντιδραστήρες Μεθανοποίησης

- ▶ Είναι αντιδραστήρες εμβολικής ροής η αλλιώς plug Flow Reactors.
- ▶ Τα αντιδρώντα διέρχονται μέσα από τους σωλήνες του αντιδραστήρα όπου καταναλώνονται συνεχώς. (Συνεχής αντιδραστήρας)
- ▶ Συγκεκριμένα οι αντιδράσεις γίνονται κατά μήκος του αντιδραστήρα μεταξύ των τοιχωμάτων των σωλήνων που βρίσκεται ο στερεός καταλύτης και των αέριων αντιδρώντων. (Ετερογενής Κατάλυση)
- ▶ Οι παραδοχές του μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει τον αντιδραστήρα εμβολικής ροής είναι οι εξής:
  - ▶ Ομοιόμορφη ταχύτητα κατά μήκος του Αντιδραστήρα
  - ▶ Δεν υπάρχουν ακτινικές μεταβολές του ρυθμού αντίδρασης

# Καταλύτες Μεθανοποίησης

- ▶ Είναι τα μέταλλα των στηλών 8-11 του περιοδικού πίνακα
- ▶ Τα σημαντικότερα από αυτά με την σειρά ενεργότητας ακολουθούν παρακάτω
- ▶  $Ru > Ir > Rh > Ni > Co > Os > Pt > Fe > Pd$  και  $Ru > Fe > Ni > Co > Rh > Pd > Pt > Ir$
- ▶ Το ρουθήνιο (Ru) είναι το καλύτερο στοιχείο για την μεθανοποίηση διοξειδίου του άνθρακα.
- ▶ Παρ όλα αυτά ωστόσο οι καταλύτες ρουθηνίου δεν είναι οι πιο διαδεδομένοι, γεγονός που οφείλεται στο αρκετά υψηλό του κόστος το οποίο το καθιστά λιγότερο ελκυστικό για βιομηχανική χρήση
- ▶ Αντίθετα οι καταλύτες νικελίου Ni που είναι οι πιο συνήθεις στην βιομηχανία, παρουσιάζουν τόσο υψηλή δραστηριότητα όσο και χαμηλό κόστος
- ▶ Βέβαια οι καταλύτες νικελίου σε χαμηλές θερμοκρασίες υποφέρουν από πυροσυσσωμάτωση, δημιουργία κινητών ΥΠΟ καρβονυλίων Ni και δημιουργία κοιτασμάτων άνθρακα σε αντίθεση με τους καταλύτες ρουθηνίου που εμφανίζουν σταθερότητα σε ένα μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας

# Μοντελοποίηση με την Χρήση του Aspen Plus – Επιλογή μεθόδου

- ▶ Η μοντελοποίηση γίνεται με την χρήση του λογισμικού Aspen Plus V 11®
- ▶ Η μέθοδος που επιλέχθηκε είναι RK- SOAVE η οποία κάνει χρήση των παρακάτω εξισώσεων
  - ▶ Της κυβικής καταστατικής εξίσωσης Redlich-Kwong-Soave (RKS) για τον υπολογισμό όλων των θερμοδυναμικών ιδιοτήτων. Εκτός του ειδικού γραμμομοριακού όγκου στην υγρή φάση
  - ▶ Την μέθοδο API για την εύρεση του ειδικού γραμμομοριακού όγκου στην υγρή φάση για τα ψευδοστοιχεία και το μοντέλο Rackett για τα αληθινά στοιχεία

# Μοντελοποίηση με την χρήση του Aspen Plus- Επιλογή στοιχείων

- ▶ Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στις προσομοιώσεις στο Aspen Plus είναι τα εξής
  - ▶ Το στοιχείο RPLUG για την μοντελοποίηση των αντιδραστήρων
  - ▶ Το στοιχείο RGIBBS για την μοντελοποίηση των αντιδραστήρων και στην κατάσταση ισοροπίας
  - ▶ Το στοιχείο FLASH2 για την μοντελοποίηση του τροφοδοτικού δοχείο όπου απομακρύνεται το νερό
  - ▶ Το στοιχείο HEATER για όλες τις διεργασίες πρόληψης και αφαίρεσης θερμότητας

# Μοντελοποίηση Χημικής Κινητικής και Χρήσιμα Μεγέθη

- ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ

$$\text{➤ } X_{CO_2} = \frac{FCO_{2in} - FCO_{2out}}{FCO_{2in}}$$

- ΑΠΟΔΟΣΗ (YIELD) ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΜΕΘΑΝΟΠΟΙΗΣΗ

$$\text{➤ } Y_{CH_4} = \frac{F_{CH_4}}{FCO_{2in}}$$

- ΕΠΙΛΕΚΤΗΚΟΤΗΤΑ (SELECTIVITY) ΤΟΥ ΜΕΘΑΝΙΟΥ

$$\text{➤ } S_{CH_4} = \frac{F_{CH_4}}{FCO_{2reac}} = \frac{F_{CH_4}}{FCO_{2in} - FCO_{2out}}$$

- Η ΩΡΙΑΙΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΧΩΡΟΥ ΤΟΥ ΑΕΡΙΟΥ (GAS HOURLY SPACE VELOCITY-GHSV)

$$\text{➤ } GHSV = \frac{\dot{V}_{stp}}{V_{bed}}, \frac{\dot{V}_{stp}}{m_{bed}}$$

$$\text{➤ } \dot{V}_{stp} = \dot{V} * \left( \frac{273,15}{273,15+T} \right) * \left( \frac{P}{1} \right) \text{ Όπου } T \text{ σε Celsius και } P \text{ atm}$$

- Η ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ PURITY

$$\text{➤ } Pu_{CH_4} = \frac{F_{CH_4}}{F_{CH_4} + F_{H_2} + F_{CO_2}}$$

# Το Μοντέλο Χημικής Κινητικής

- Η μοντελοποίηση έγινε με βάση την δημοσίευση του Fablo
- Αρχικά χρησιμοποιήθηκε η σχέση που προτάθηκε από τους Lunde & Kester
- Χρειάστηκε να τροποποιηθεί η σχέση των Lunde & Kester με την εισαγωγή ενός συντελεστή προσρόφησης για το νερό

- Σχέση Lunde & Kester

$$r_{CH_4} = k * ([PCO_2]^n * [PH_2]^{4*n} - \frac{[PCH_4]^n * [PH_2O]^{2*n}}{(K_{eq})^n})$$

- Τροποποιημένη σχέση Fablo

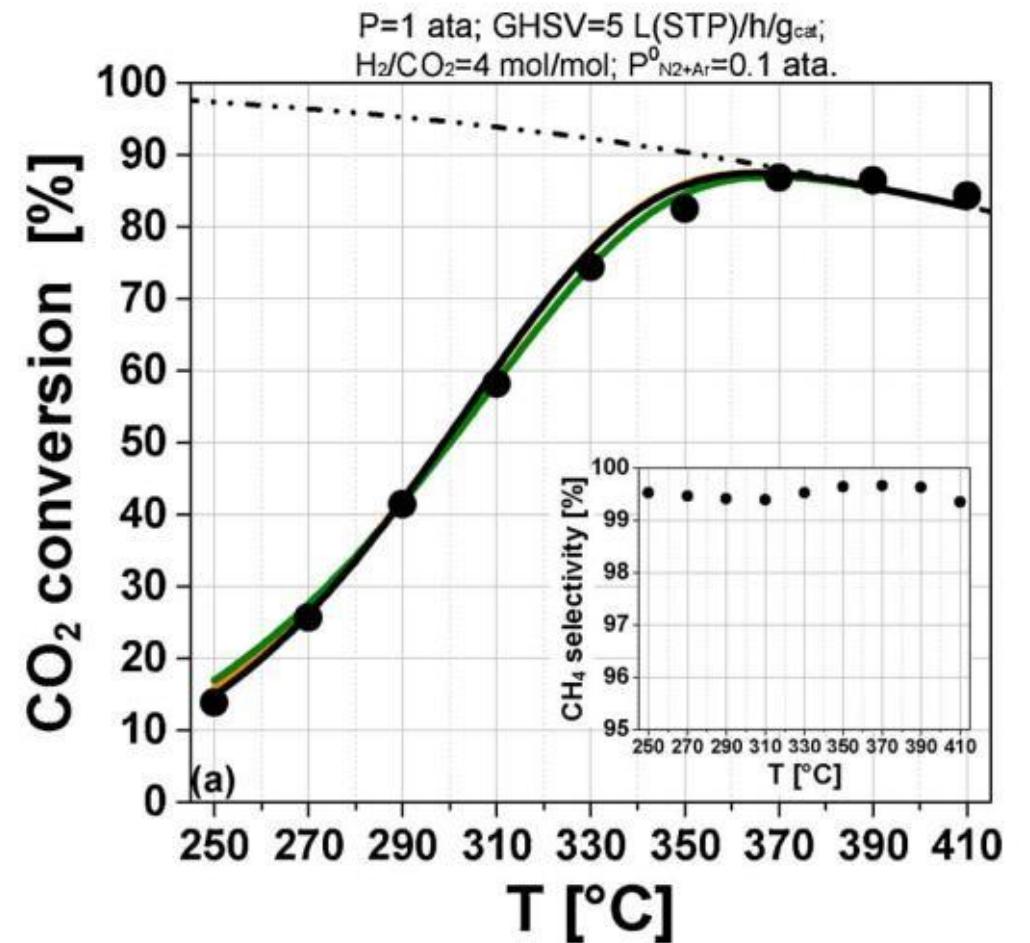
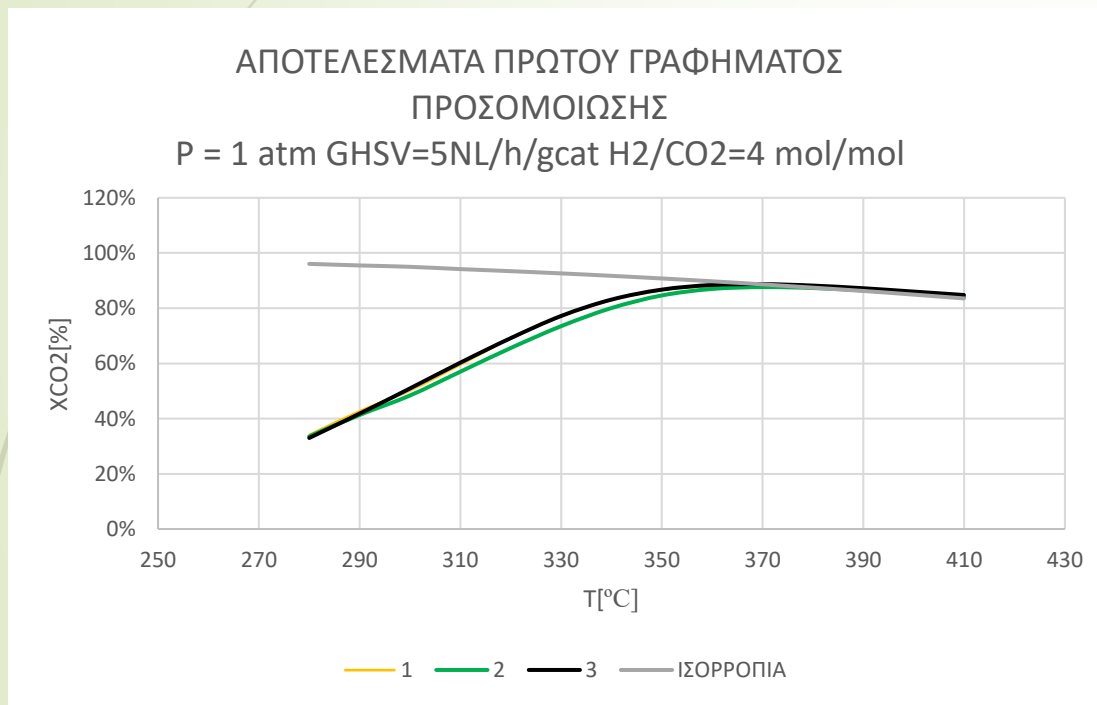
$$r_{CH_4} = \frac{k}{1 + a * PH_2O} * ([PCO_2]^n * [PH_2]^{4*n} - [PCH_4]^n * \frac{PH_2O^{2*n}}{K_{eq}^n})$$

- Όπου  $k = k_0 * e^{\left(\frac{-E_a}{RT}\right)}$

# Παραδοχές Μοντέλου στο Aspen Plus

- ▶ Οι αντιδραστήρες μοντελοποιούνται ως ισοθερμοκρασιακοί χωρίς απώλειες πίεσης
- ▶ Ο καταλύτης έχει πυκνότητα  $1050 \text{ Kg/m}^3$  και Bed Voidage = 0,4

# ΔΙΑΣΤΑΥΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

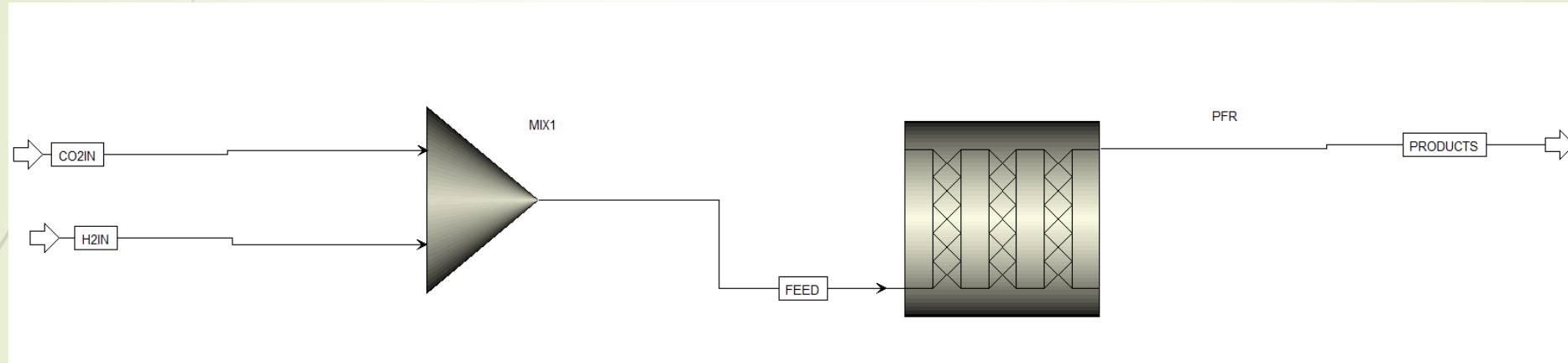




# ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΩΝ

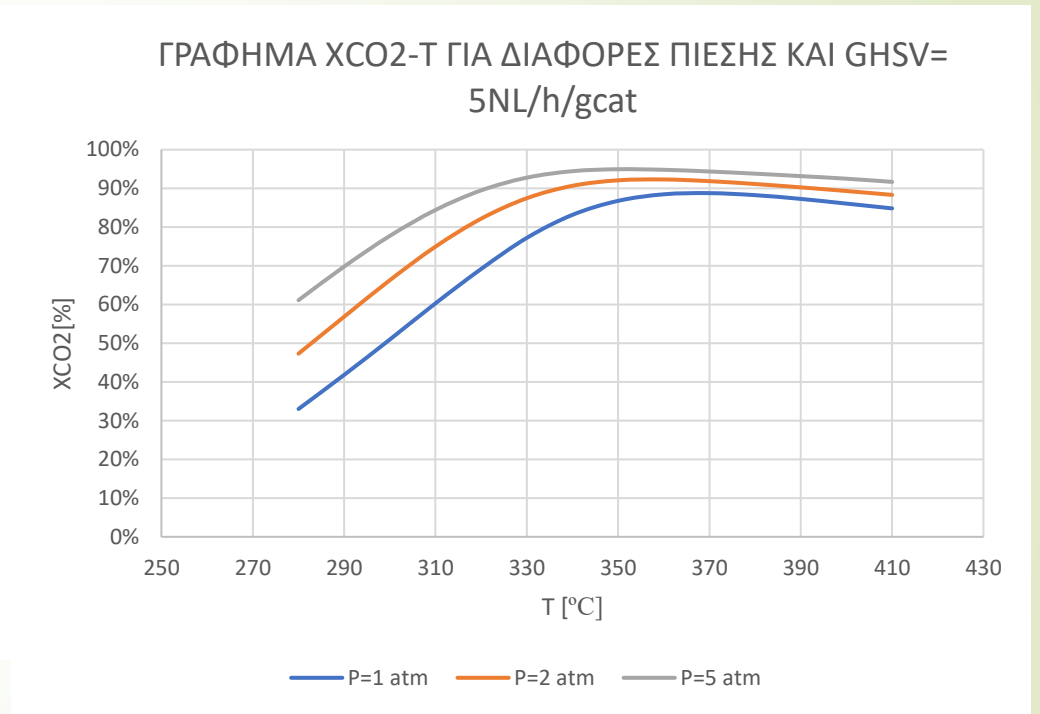
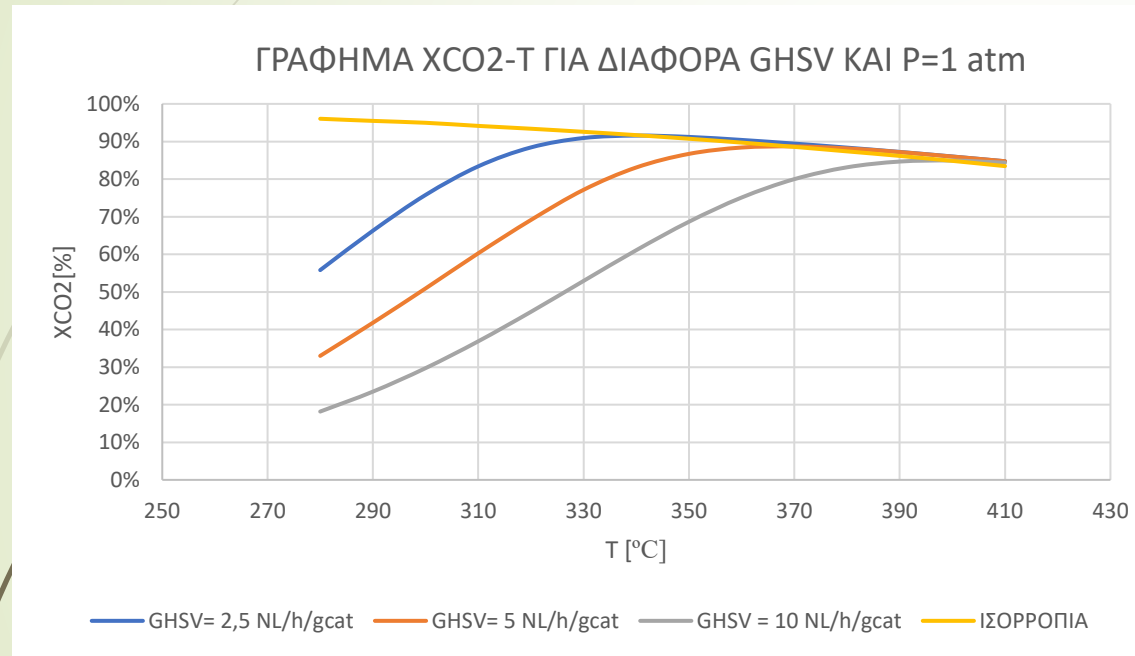
- ▶ Σύγκριση διάφορων διατάξεων αντιδραστήρων με σκοπό την αύξηση της απόδοσης της μεθανοποίησης
  - ▶ Ένας αντιδραστήρας
  - ▶ Δύο αντιδραστήρες
  - ▶ Δύο αντιδραστήρες με ενδιάμεση αφαίρεση νερού
  - ▶ Δύο αντιδραστήρες με ενδιάμεση αφαίρεση νερού και ανακυκλοφορία.

# Ένας Αντιδραστήρας



Τύπος Παραδοχής	Παραδοχή
Θερμοκρασίες	280-410 °C
Πιέσεις	1-5 atm Χωρίς απώλειες πίεσης.
GHSV	2,5-10 NL/h/gcat
Τύπος Αντιδραστήρων	Ισοθερμοκρασιακοί
Είδη Αντιδραστήρων	RPLUG ,RGIBBS
H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub>	4 mol/mol.
Καταλύτης	$\rho=1050 \text{ Kg/m}^3 \text{ bed}$ Voidage 0,4

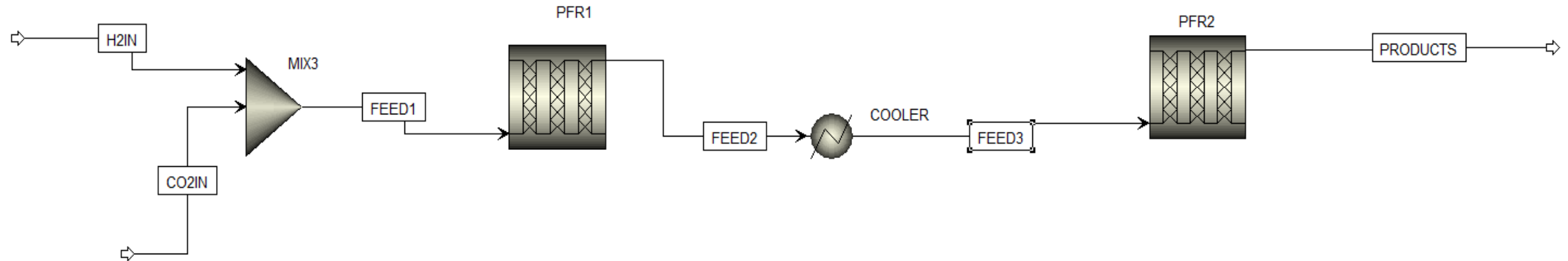
# Ενδεικτικά γραφήματα



# Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

- ▶ Επίδραση θερμοκρασίας: Διαπιστώνεται ότι με την αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι ενός σημείου παρατηρείται αύξηση της μετατροπής του διοξειδίου του άνθρακα και μετά μείωσή του. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι από ένα σημείο και μετά ακόμα και στην ισορροπία ευνοείται ο σχηματισμός διοξειδίου του άνθρακα και η προς τα πίσω αντίδραση με αποτέλεσμα να μειώνεται το ποσοστό μετατροπής του διοξειδίου του άνθρακα
- ▶ Επίδραση του GHSV : Παρατηρείται ότι όσο μεγαλώνει το GHSV το ποσοστό μετατροπής του διοξειδίου του άνθρακα μικραίνει και αντίστροφα όσο μικραίνει το GHSV το ποσοστό μετατροπής μεγαλώνει. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μεγάλο GHSV σημαίνει γενικά μεγάλη ροή όγκου σχετικά με την διαθέσιμη ποσότητα καταλύτη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο διαθέσιμος καταλύτης να μην επαρκεί προκειμένου να γίνει αποτελεσματικά η αντίδραση της μεθανοποίησης και συνεπώς το ποσοστό μετατροπής διοξειδίου του άνθρακα να μειώνεται
- ▶ Επίδραση πίεσης: Γενικά από τα αποτελέσματα που προκύπτουν παρατηρείται ότι με την αύξηση της πίεσης ο βαθμός μετατροπής του διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο αυξάνεται αισθητά. Γενικά αυτή η αύξηση οφείλεται στο γεγονός ότι με την αύξηση της πίεσης το αέριο συμπιέζεται και συνεπώς σε συγκεκριμένο όγκο υπάρχουν περισσότερα μόρια που βρίσκονται πιο κοντά μεταξύ τους και αντιδρούν πιο εύκολα

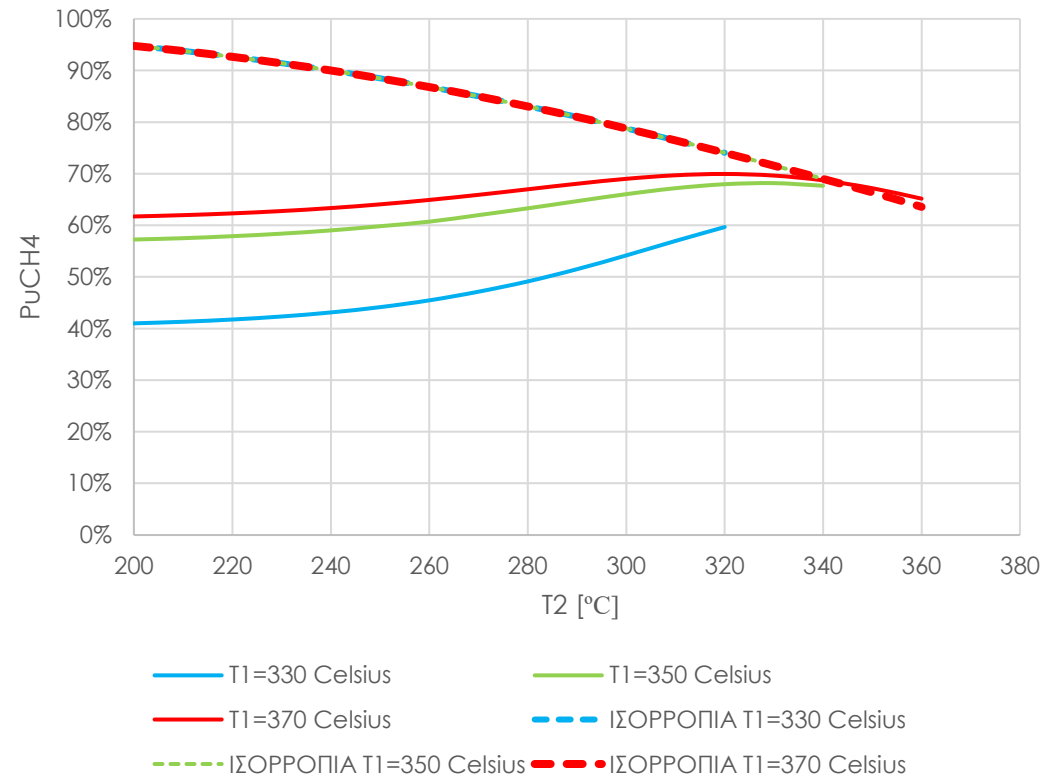
# Δύο Αντιδραστήρες



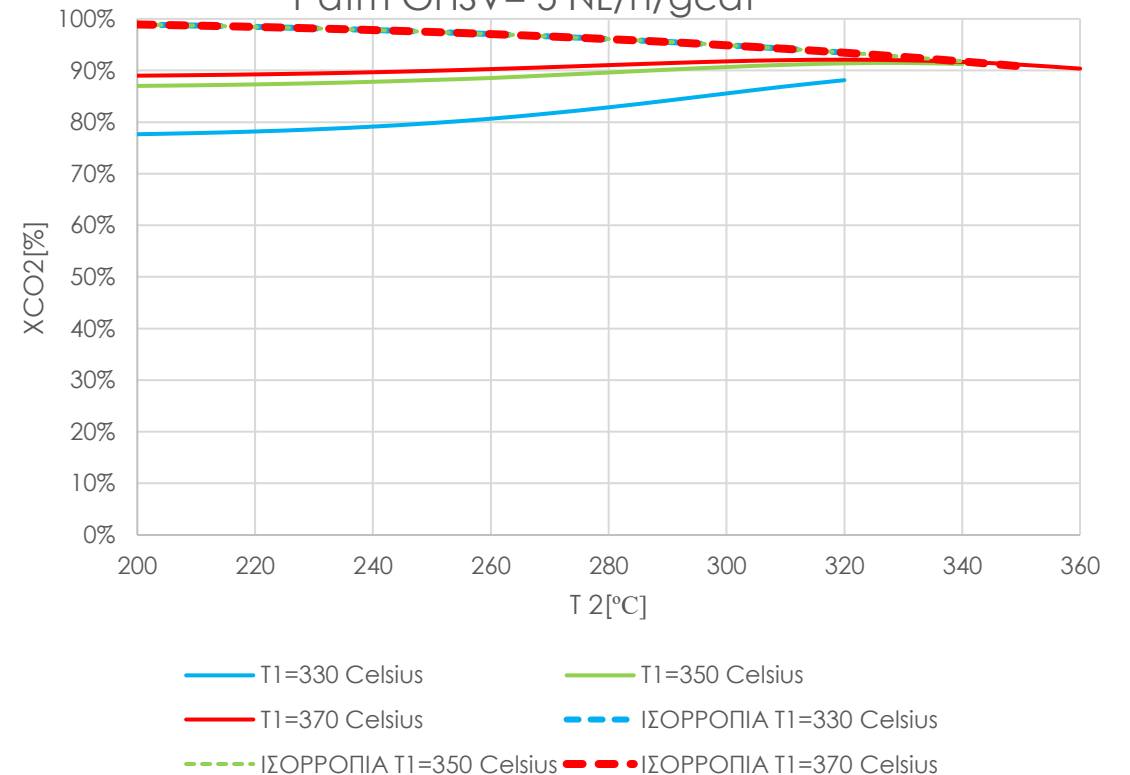
Τύπος παραδοχής	Παραδοχή
Αντιδραστήρες	Ισοθερμοκρασιακοί αντιδραστήρες
Πιέσεις λειτουργίας	1,5 atm ίδια και για τους δύο αντιδραστήρες
GHSV	5,10 NL/h/gcat ίδιο και για τους δύο αντιδραστήρες
Θερμοκρασία πρώτου αντιδραστήρα	330,350,370 °C
Θερμοκρασία δεύτερου αντιδραστήρα	200 °C ≤ T < Θερμοκρασία πρώτου αντιδραστήρα

# Ενδεικτικά γραφήματα

ΓΡΑΦΗΜΑ Ρ<sub>υ</sub>CH<sub>4</sub>-T ΓΙΑ ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ  
P= 1 atm GHSV= 5 NL/h/gcat



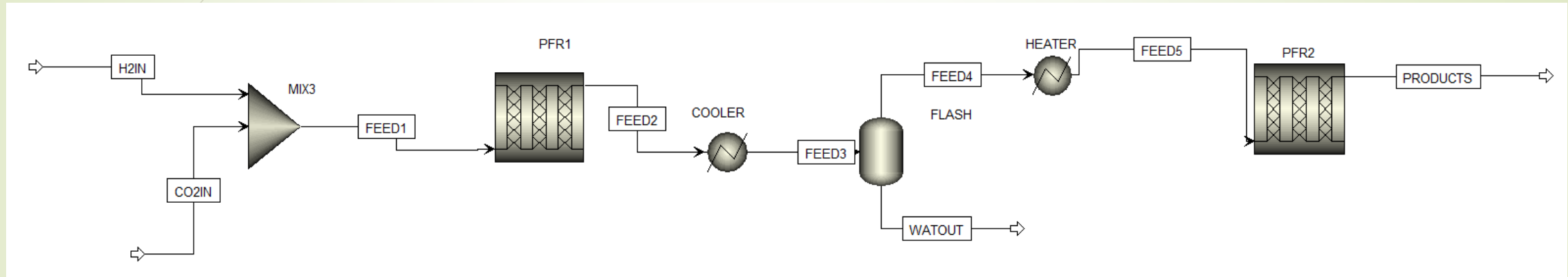
ΓΡΑΦΗΜΑ ΧCO<sub>2</sub>-T ΓΙΑ ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ P=  
1 atm GHSV= 5 NL/h/gcat



# Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

- ▶ Πλέον χρησιμοποιώντας δύο αντιδραστήρες διαπιστώνεται ότι η μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο ενισχύεται λίγο αλλά αισθητά οδηγώντας έτσι σε ακόμα μεγαλύτερα ποσοστά μετατροπής του ακόμα και για μεγάλα GHSV. Συνεπώς λύσεις με μεγάλο GHSV που απορρίφθηκαν στο προηγούμενο ερώτημα (π.χ.  $GHSV = 10 \text{ NL/h/gcat}$ ) θα πρέπει να επανεξεταστούν προσεκτικά

# Δύο Αντιδραστήρες με Ενδιάμεση Αφαίρεση Νερού

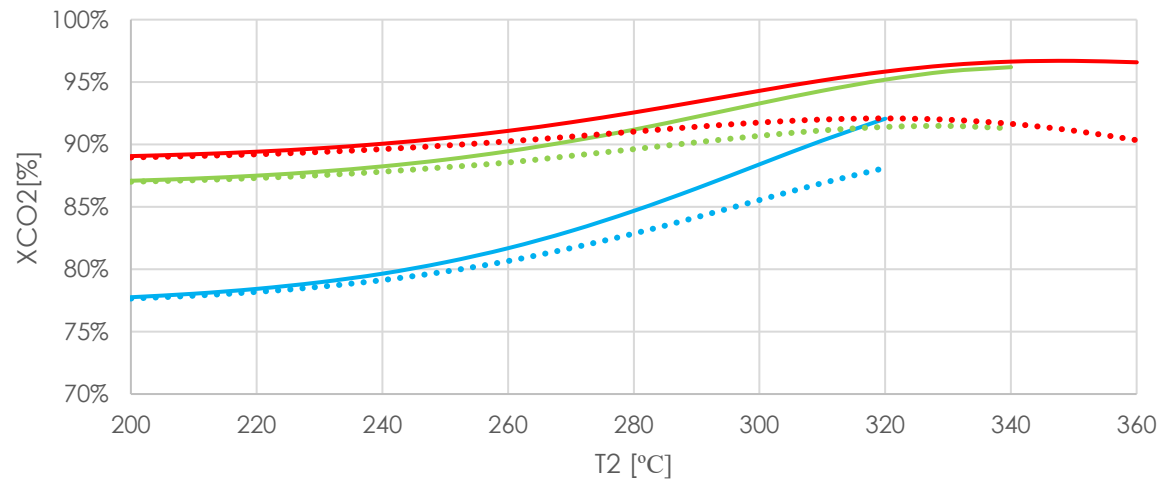


Τύπος παραδοχής	Παραδοχή
Αντιδραστήρες	Ισχύουν όσα και στο προηγούμενο υπό κεφάλαιο
Θερμοκρασία αφαίρεσης νερού	45 °C (περισσότερες θερμοκρασίες στην περαιτέρω διερεύνηση)
Τροφοδοτικά δοχεία	Μοντελοποιούνται με την χρήση FLASH2 χωρίς απώλειες θερμότητας και πίεσης



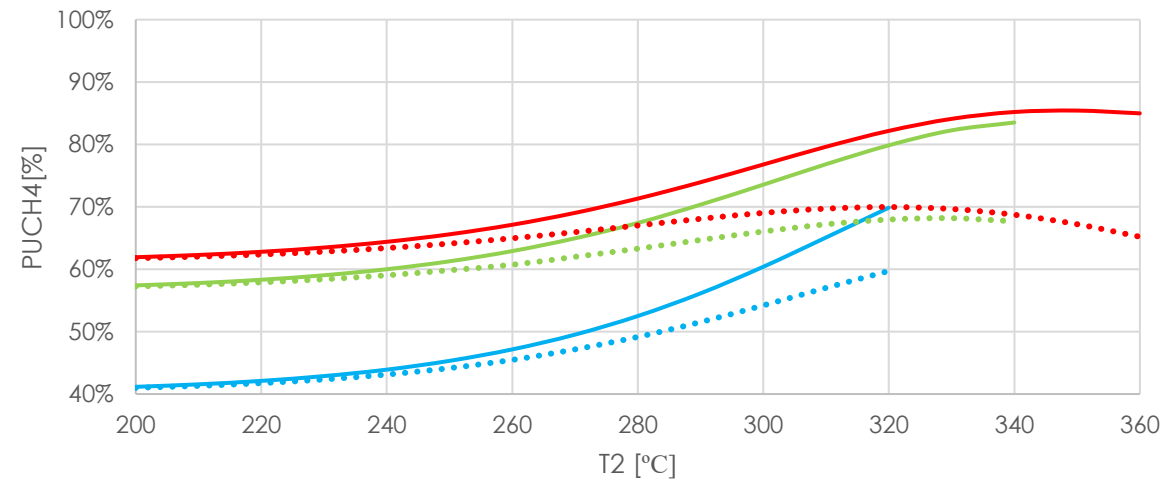
# Ενδεικτικά γραφήματα

ΓΡΑΦΗΜΑ ΧCO<sub>2</sub>-T ΓΙΑ ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ  
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ P= 1 atm GHSV= 5  
NL/h/gcat



— T<sub>1</sub>=330 Celsius H<sub>2</sub>O out    — T<sub>1</sub>=350 Celsius H<sub>2</sub>O out  
— T<sub>1</sub>=370 Celsius H<sub>2</sub>O out    ⋯ T<sub>1</sub>=330 Celsius no-H<sub>2</sub>O out  
⋯ T<sub>1</sub>=350 Celsius no-H<sub>2</sub>O out    ⋯ T<sub>1</sub>=370 Celsius no-H<sub>2</sub>O out

ΓΡΑΦΗΜΑ PUCH<sub>4</sub>-T ΓΙΑ ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ  
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ P= 1 atm GHSV= 5  
NL/h/gcat

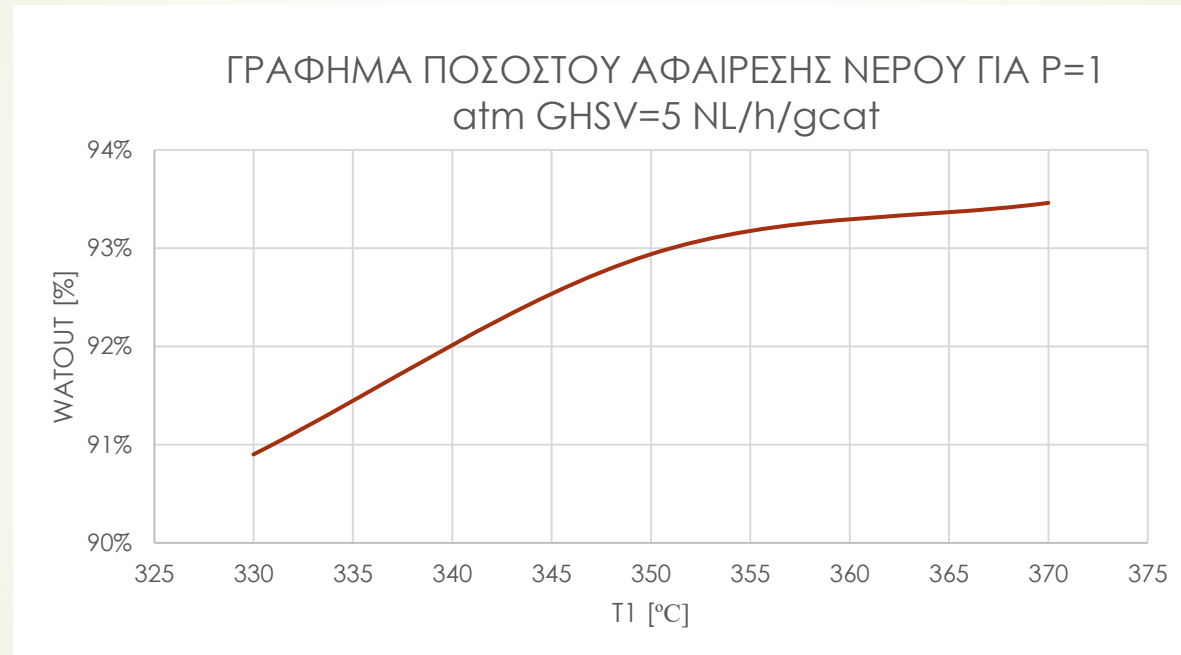


— T<sub>1</sub>=330 Celsius H<sub>2</sub>O out    — T<sub>1</sub>=350 Celsius H<sub>2</sub>O out  
— T<sub>1</sub>=370 Celsius H<sub>2</sub>O out    ⋯ T<sub>1</sub>=330 Celsius no-H<sub>2</sub>O out  
⋯ T<sub>1</sub>=350 Celsius no-H<sub>2</sub>O out    ⋯ T<sub>1</sub>=370 Celsius no-H<sub>2</sub>O out

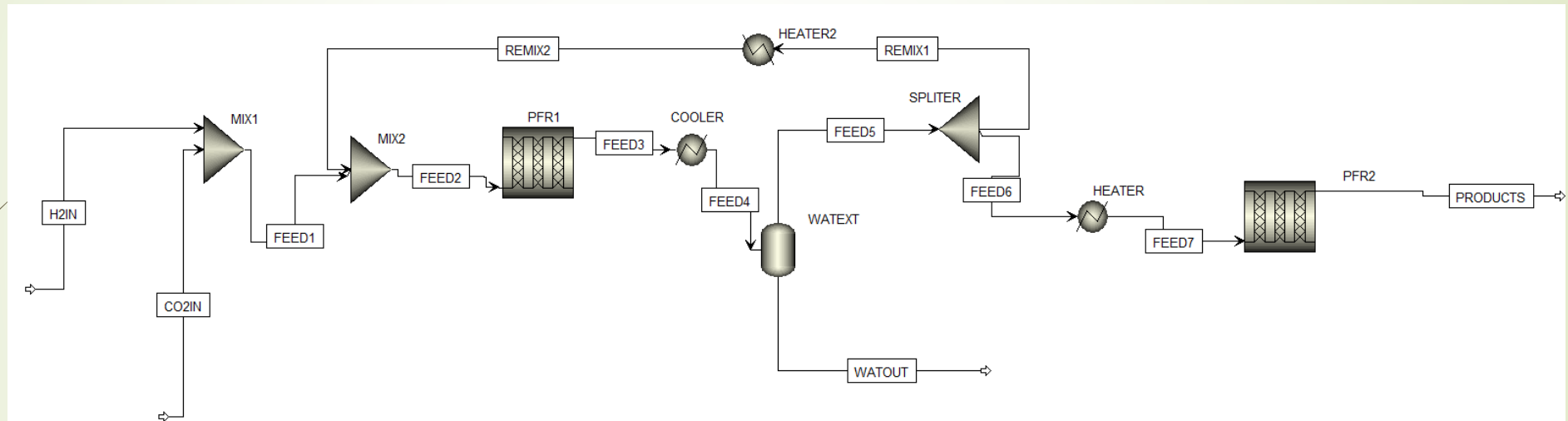
## Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

- ▶ Στα παραπάνω γραφήματα διαπιστώθηκε η έντονα θετική επίδραση που έχει η αφαίρεση νερού στην απόδοση της μεθανοποίησης. Συγκεκριμένα τόσο η μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα όσο και η καθαρότητα του μεθανίου αυξήθηκαν σημαντικά προσθέτοντας ένα ενδιάμεσο στάδιο αφαίρεσης νερού. Βέβαια μεγαλύτερη αύξηση παρατηρήθηκε στην καθαρότητα του μεθανίου. Και για τα δύο μεγέθη η αύξηση της απόδοσης παρατηρήθηκε κυρίως στις μεγάλες θερμοκρασίες λειτουργίας του δεύτερου αντιδραστήρα. Γενικότερα όσο αυξάνονταν η θερμοκρασία του δεύτερου αντιδραστήρα τόσο μεγαλύτερη ήταν και η αύξηση στην απόδοση της μεθανοποίησης.

# Ενδεικτικά γραφήματα [2]



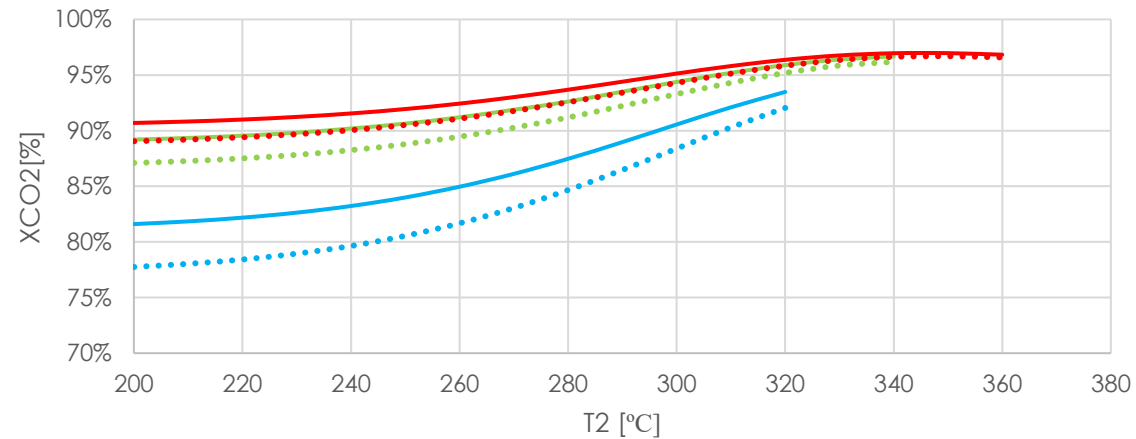
# Δύο Αντιδραστήρες με Ενδιάμεση Αφαίρεση Νερού και Ανακυκλοφορία



Τύπος Παραδοχής	Παραδοχή
Αντιδραστήρες, Αφαίρεση νερού	Ισχύον όσα και στην προηγούμενη υπό ενότητα
Θερμοκρασία Θέρμανσης απομαστευμένης ροής	Ίδια με την θερμοκρασία αντίδρασης στον πρώτο αντιδραστήρα
Κλάσμα απομάστευσης	0,25 (& 0,1 0,4 στην περαιτέρω διερεύνηση)

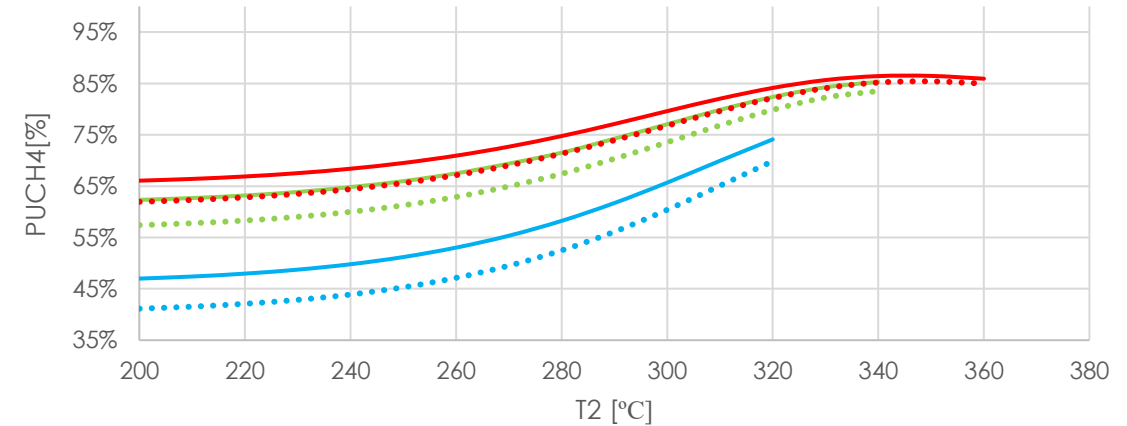
# Ενδεικτικά γραφήματα

ΓΡΑΦΗΜΑ ΧCO<sub>2</sub>-T ΓΙΑ ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ  
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ  
ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΜΕ P=1 atm GHSV=5NL/h/gcat



— T1=330 Celsius H<sub>2</sub>O out Remix — T1=350 Celsius H<sub>2</sub>O out Remix  
— T1=370 Celsius H<sub>2</sub>O out Remix ..... T1=330 Celsius H<sub>2</sub>O out  
..... T1=350 Celsius H<sub>2</sub>O out ..... T1=370 Celsius H<sub>2</sub>O out

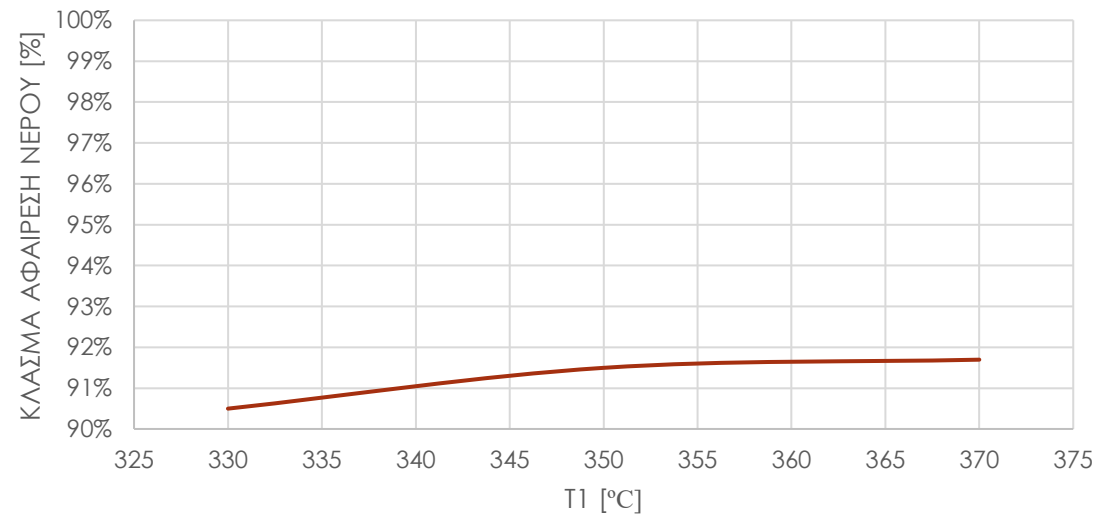
ΓΡΑΦΗΜΑ PUCH<sub>4</sub>-T ΓΙΑ ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ  
ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΦΑΙΡΕΣΗ ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ  
ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΜΕ P=1 atm GHSV=5NL/h/gcat



— T1=330 Celsius H<sub>2</sub>O out Remix — T1=350 Celsius H<sub>2</sub>O out Remix  
— T1=370 Celsius H<sub>2</sub>O out Remix ..... T1=330 Celsius H<sub>2</sub>O out  
..... T1=350 Celsius H<sub>2</sub>O out ..... T1=370 Celsius H<sub>2</sub>O out

# Ενδεικτικά γραφήματα [2]

ΓΡΑΦΗΜΑ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΑΦΑΙΡΕΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΓΙΑ  
ΔΥΟ ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΕΣ ΜΕ ΑΝΑΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΓΙΑ  
P=1 atm GHSV=5 NL/h/gcat



# Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

- ▶ Παρατηρώντας τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει ότι η αύξηση της απόδοσης της μεθανοποίησης πραγματοποιείται μόνο για μικρές θερμοκρασίες του δεύτερου αντιδραστήρα και όχι στις βέλτιστες θερμοκρασίες. Αναλυτικότερα όσο η θερμοκρασία του δεύτερου αντιδραστήρα παραμένει μικρή υπάρχει μια αισθητή αύξηση της απόδοσης της μεθανοποίησης, ενώ όσο η θερμοκρασία του δεύτερου αντιδραστήρα αυξάνεται η αύξηση αυτή τείνει να μηδενιστεί.

# Πίνακας βέλτιστων λύσεων για κάθε διάταξη

Μέγεθος	1 Αντιδραστήρας	2 Αντιδραστήρες	2 Αντιδραστήρες με ενδιάμεση αφαίρεση νερού	2 Αντιδραστήρες με ενδιάμεση αφαίρεση νερού και ανακυκλοφορία
Πίεση [atm]	5	5	5	5
GHSV [ NL/h/gcat]	5	5	10	10
Ιδανική Θερμοκρασία Λειτουργίας πρώτου Αντιδραστήρα T1 [°C]	350	350	370	370
Ιδανική Θερμοκρασία λειτουργίας δεύτερου αντιδραστήρα T2 [°C]	300	340	340	
XCO2 [%]	94,9 %	96,5 %	98,9 %	99,0 %
PUCH4 [%]	78,9 %	84,8 %	94,7 %	95,3 %
Χρόνος Παραμονής στον Αντιδραστήρα [sec]	3,29	3,29	1,55	1,54
Χρόνος Παραμονής στον Αντιδραστήρα [sec]	-	2,47	1,12	1,22
Ποσότητα Καταλύτη που Χρησιμοποιήθηκε Συγκριτικά με την Λύση του ενός	100 %	161,6 %	63,1 %	63,1 %



# Τελική λύση

- ▶ Από τις παραπάνω λύσει την καλύτερη απόδοση μεθανοποίησης εμφανίζει η λύση με τους δύο αντιδραστήρες με ενδιάμεση αφαίρεση νερού και ανακυκλοφορία συνεπώς αυτή η λύση επιλέγεται ως τελική. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας της σύστασης του αερίου που προκύπτει

Στοιχείο	Γραμμομοριακή Σύσταση	Σύσταση κατά Μάζα
CO <sub>2</sub> [%]	0,8%	2,3%
H <sub>2</sub> [%]	3,4%	0,4%
CH <sub>4</sub> [%]	85,8%	86%
H <sub>2</sub> O[%]	10%	11,2%

# Σύσταση επί ξηρού και διασταύρωση με βιβλιογραφία

- ▶ Παρακάτω υπολογίζεται η σύσταση επί ξηρού και προκύπτουν παρόμοια αποτελέσματα με την βιβλιογραφία.

Στοιχείο	Γραμμομοριακή Σύσταση επί ξηρού	Σύσταση κατά Μάζα
CO <sub>2</sub> [%]	0,9%	2,6%
H <sub>2</sub> [%]	3,7%	4,5%
CH <sub>4</sub> [%]	95,3%	96,8%
H <sub>2</sub> O[%]	0%	0%

Στοιχείο	Αποτελέσματα Εργασίας	Βιβλιογραφία
CO <sub>2</sub> [%]	0,9%	0,8%
H <sub>2</sub> [%]	3,7%	3,3%
CH <sub>4</sub> [%]	95,3%	95,9%

# Ερωτήσεις

