

**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΕΛΕΓΚΤΩΝ PID ΣΕ ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ
ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ**

Δημήτρης Ίψάκης

Δρ.Χημικός Μηχανικός

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

***Αναπλ. Καθηγητής Ν. Καραμπετάκης, Επιβλέπων Διπλωματικής Εργασίας
Καθηγητής Π. Τζιώνας, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
Ερευνητής Α΄, Δρ. Σ. Βουτετάκης, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής***

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ
«ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ & ΘΕΩΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΥ»**



ΠΕΡΙΓΡΑΦΜΑ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗΣ



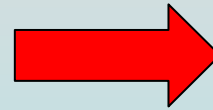
- **Κίνητρα και Στόχοι Μελέτης**
- **Χαρακτηριστικά Ενεργειακών Συστημάτων & Διάγραμμα Ροής**
- **Μαθηματική Μοντελοποίηση & Ανάλυση Συστήματος**
- **Μελέτη Προσομοιώσεων Ανοικτού Βρόχου**
- **Θεωρητικά Χαρακτηριστικά & Ιδιότητες PID Ελέγχου**
- **Ανάπτυξη & Εφαρμογή Ελεγκτών**
- **Αξιολόγηση Συστήματος Κατανεμημένου Ελέγχου μέσω Προσομοίωσης Σεναρίων Λειτουργίας**
- **Συμπεράσματα-Μελλοντική Αξιοποίηση**



ΣΤΟΧΟΙ ΜΕΛΕΤΗΣ



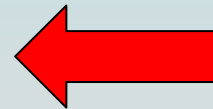
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙΝΟΤΟΜΩΝ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΕΣΩ
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ



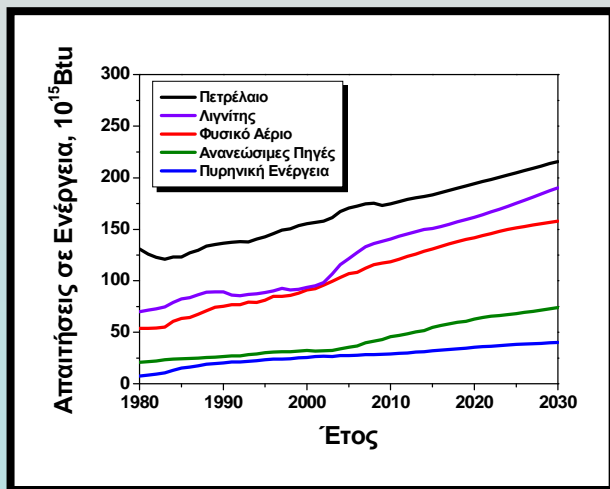
ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΕ
ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ



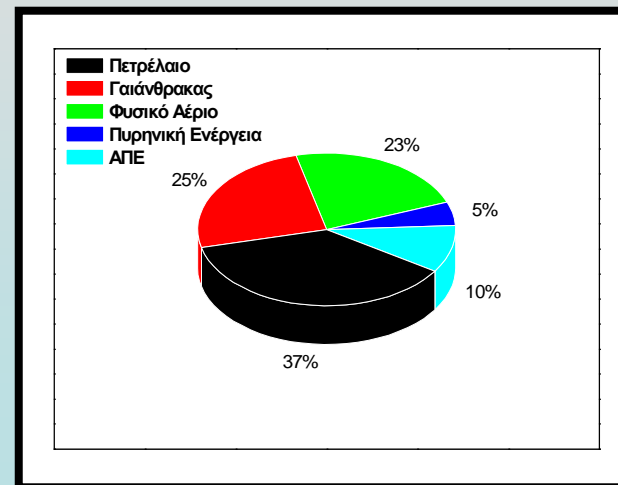
ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΕΥΕΛΙΚΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ



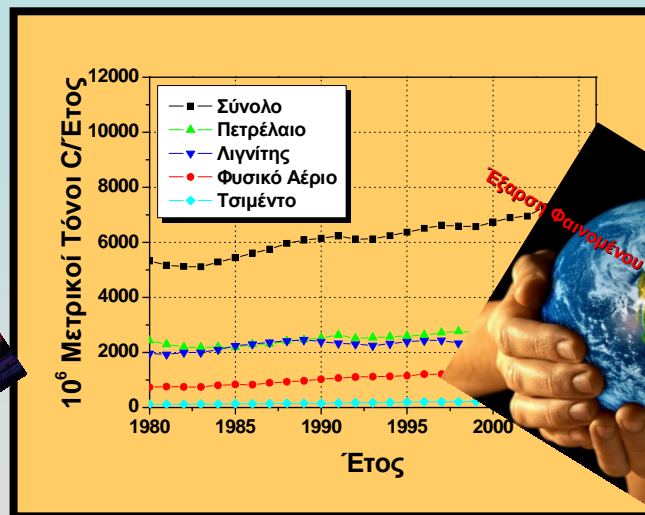
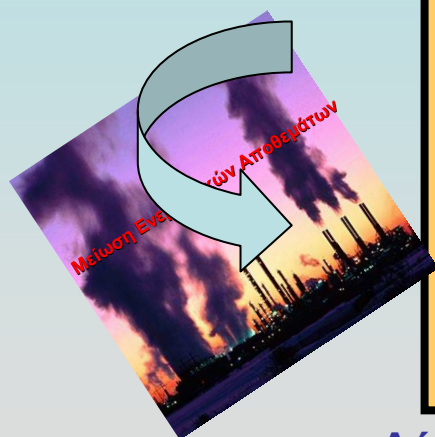
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ



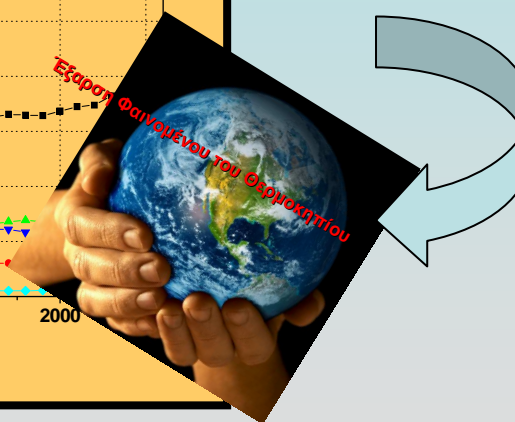
Ενεργειακές Απαιτήσεις 1980-2030



Κατανομή Ενεργειακών Πόρων

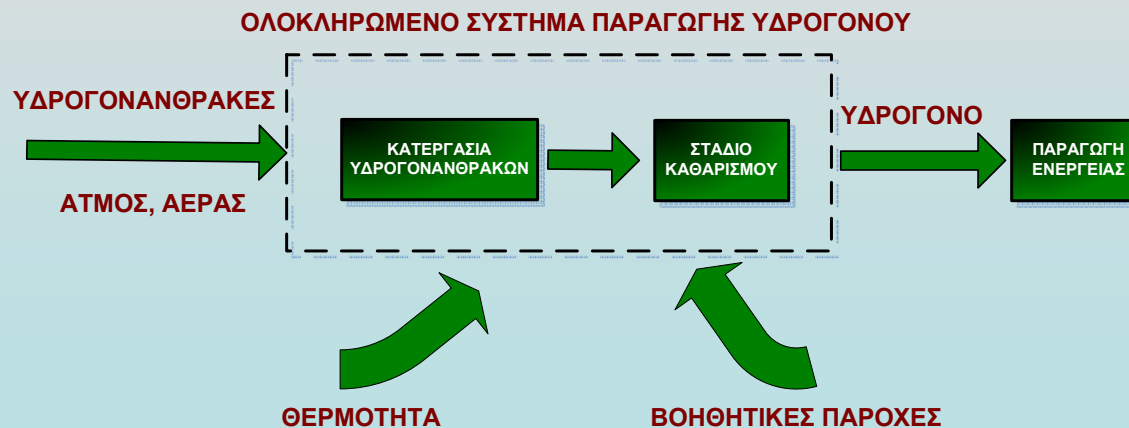


Αύξηση εκπομπών CO₂ ανά διεργασία εκμετάλλευσης πρώτης ύλης





ΚΑΙΝΟΤΟΜΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



ΤΟΜΕΙΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ
ΜΕΛΕΤΕΣ



ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ
ΑΝΑΛΥΣΗ



ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ



ΕΛΕΓΧΟΣ
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



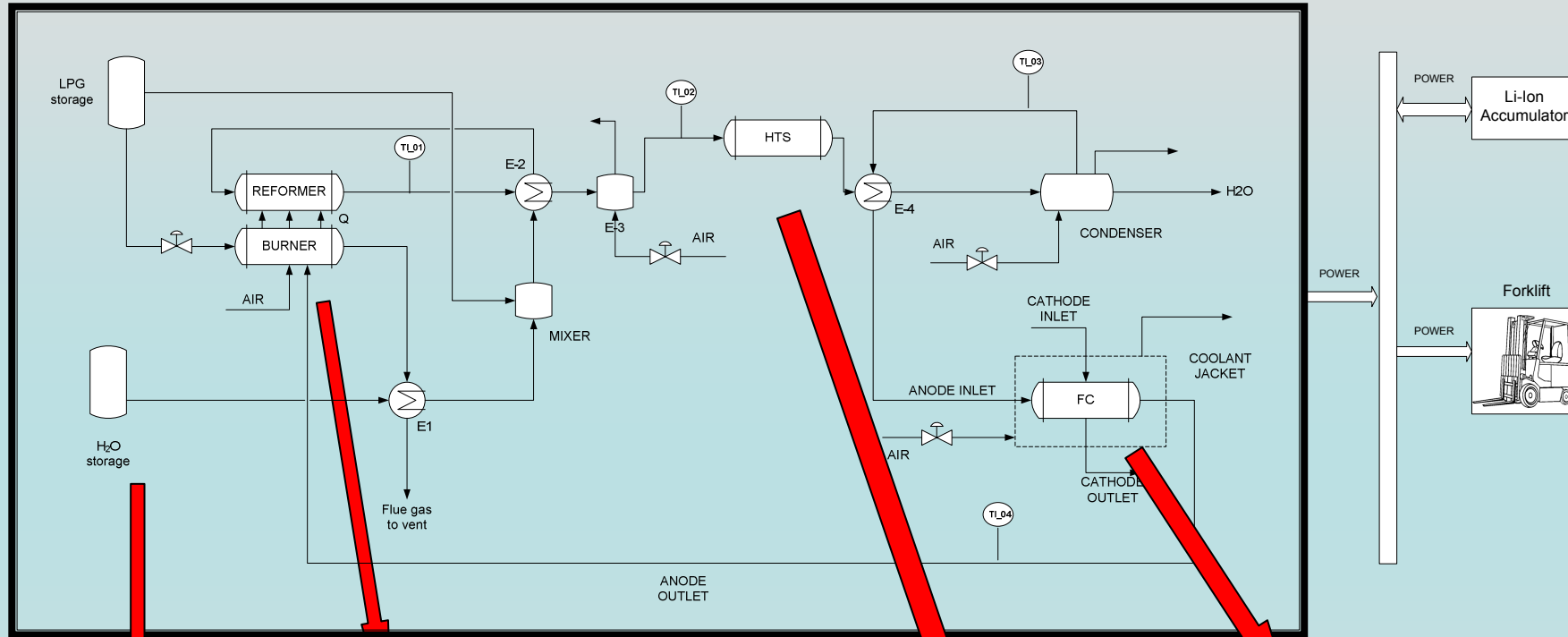
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗΣ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗΣ



- Η μεστή μαθηματική ανάλυση μπορεί να οδηγήσει στον σχεδιασμό πειραμάτων, στην καταγραφή επιτρεπτών ορίων ασφαλής λειτουργίας και σε κέρδος χρόνου.
- Οι θερμοδυναμικές μελέτες στοχεύουν στην ανάλυση ευαισθησίας σε συνθήκες μόνιμης κατάστασης, χωρίς να δίνουν λεπτομέρειες επί δυναμικών χαρακτηριστικών.
- Η γραμμική ανάλυση αν και πιο ευέλικτη υπολογιστικά, υστερεί στην σύλληψη βασικών λειτουργικών χαρακτηριστικών (έναρξη/παύση λειτουργίας, μελέτη καταλυτικών διεργασιών κ.α.).
- Διακρίνεται έλλειψη στην συνολική ανάλυση των επιμέρους υποσυστημάτων.
- Ο έλεγχος αν και αφορά προηγμένα συστήματα και θεωρίες, συνήθως περιορίζεται σε μικρή κλίμακα λειτουργίας και προκαθορισμένες υποδιεργασίες.
- Σε ενεργειακά συστήματα προτείνεται η ανάπτυξη κατανεμημένου ελέγχου.
- Οι εφαρμογές κατάλληλων ενεργειακών συστημάτων αξιοποίησης υδρογονανθράκων αφορά την ανάπτυξη υβριδικών οχημάτων αλλά και σε οικιακή χρήση.



ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΡΟΗΣ



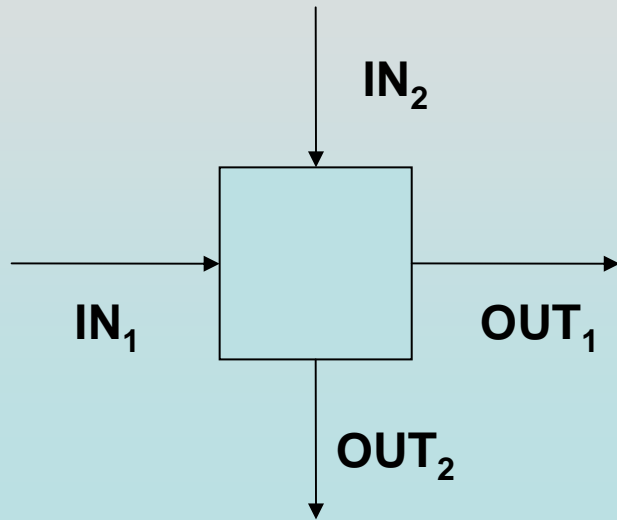
**ΣΤΑΔΙΟ
ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ**

**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
&
ΠΑΡΟΧΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**
ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ



ΣΤΑΔΙΟ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ & ΕΝΑΛΛΑΓΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



$$F_{out,i,feed} = F_{in,i,feed} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$



Γραμ/κή Ροή

$$C_{out,i,feed} = F_{out,i,feed} / Q_{out,feed}$$



Συγκέντρωση

$$Q_{in/out} = \frac{\sum_{i=1}^N F_{i,in/out} \cdot R \cdot T_{in/out}}{P_{sub}}$$



Ογκομετρική Ροή

$$\frac{dT_{out,1}}{dt} = \frac{\rho_{in,1}}{\rho_{out,1}} \cdot \frac{Q_{in,1}}{V_1} \cdot [T_{in,1} - T_{out,1}] + \frac{Q_1}{cp_{mix,1} \cdot V_1 \cdot \rho_{out,1}}$$
$$\frac{dT_{out,2}}{dt} = \frac{\rho_{in,2}}{\rho_{out,2}} \cdot \frac{Q_{in,2}}{V_2} \cdot [T_{in,2} - T_{out,2}] - \frac{Q_1}{cp_{mix,2} \cdot V_2 \cdot \rho_{out,2}}$$
$$Q_1 = f(T_{out,1}, T_{out,2})$$
$$\frac{d\rho_{out,1}}{dt} = - \frac{P \cdot MB_{mix,1}}{R \cdot T_{out,1}^2} \cdot \frac{dT_{out,1}}{dt}$$
$$\frac{d\rho_{out,2}}{dt} = - \frac{P \cdot MB_{mix,2}}{R \cdot T_{out,2}^2} \cdot \frac{dT_{out,2}}{dt}$$



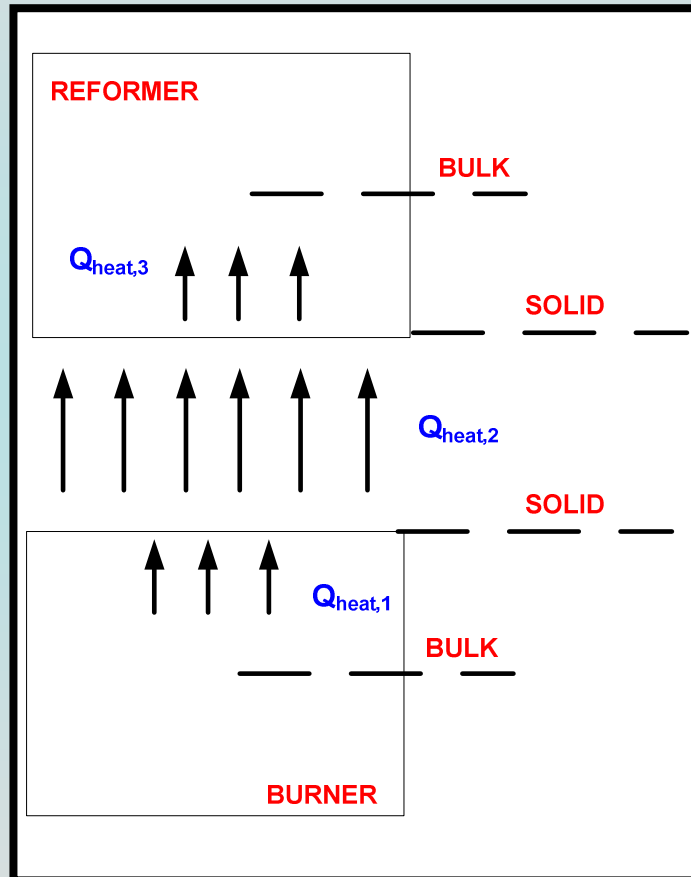
Θερμοκρασία



Πυκνότητα



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ & ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



Η μεταφορά θερμότητας κατευθύνεται:

1. από το εσωτερικό του καυστήρα προς το τοίχωμα του (αντίσταση 1)
2. Στην συνέχεια στο τοίχωμα του αντιδραστήρα αναμόρφωσης (αντίσταση 2) και
3. Στο εσωτερικό του αντιδραστήρα αναμόρφωσης (αντίσταση 3).



ΚΑΥΣΤΗΡΑΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ



$$\frac{dT_{out,1}}{dt} = \frac{\rho_{in,1}}{\rho_{out,1}} \cdot \frac{Q_{in,1}}{V_1} \cdot [T_{in,1} - T_{out,1}] + \frac{\Sigma Q_1}{cp_{mix,1} \cdot V_1 \cdot \rho_{out,1}}$$

$$m_b \cdot cp_b \cdot \frac{dT_{out,2}}{dt} \cdot [C_1 \cdot (T_{out,1} - T_{out,2}) - C_2 \cdot (T_{out,2} - T_{out,3})]$$

$$\Sigma Q_1 = f(T_{out,1}, T_{out,2}, T_{out,3}, C_{out,i,1})$$

$$C_1, C_2 = f(U, A, D)$$

$$\frac{d\rho_{out,1}}{dt} = -\frac{P \cdot MB_{mix,1}}{RT_{out,1}^2} \cdot \frac{dT_{out,1}}{dt}$$

$$\frac{dV_1}{dt} = [\rho_{in,1} \cdot Q_{in,1} - \rho_{out,1} \cdot Q_{out,1} - V_1 \cdot \frac{d\rho_{out,1}}{dt}] / \rho_{out,1}$$

$$\frac{dC_{out,i,1}}{dt} = \frac{1}{V_1} [Q_{in,1} \cdot (C_{in,i,1} - C_{out,i,1} \cdot \frac{\rho_{in,1}}{\rho_{out,1}}) \pm \Sigma R_{i,j} + \frac{C_{out,i,1}}{\rho_{out,1}} \cdot V_1 \cdot \frac{d\rho_{out,1}}{dt}]$$

$$R_{i,j} = C_3 \cdot \exp(-\frac{E_j}{RT_{out,1}}) \cdot C_{out,i,1}^{v1} \cdot C_{out,i,1}^{v2} \dots C_{out,i,1}^{vk}$$

$$i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$$



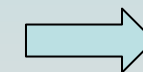
Θερμοκρασία



Πυκνότητα



Όγκος Μίγματος



Συγκέντρωση



Ρυθμός
Κατανάλωσης/
Παραγωγής



ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ



$$\frac{dT_{out,4}}{dt} = \frac{\rho_{in,4}}{\rho_{out,4}} \cdot \frac{Q_{in,4}}{V_4} \cdot [T_{in,4} - T_{out,4}] + \frac{\Sigma Q_B}{c p_{mix,4} \cdot V_4 \cdot \rho_{out,4}}$$

$$m_r \cdot c p_r \cdot \frac{dT_{out,3}}{dt} \cdot [C_1 \cdot (T_{out,2} - T_{out,3}) - C_2 \cdot (T_{out,3} - T_{out,4})]$$

$$\Sigma Q_B = f(T_{out,2}, T_{out,3}, T_{out,4}, C_{out,i,1})$$

$$C_1, C_2 = f(U, A, D)$$

$$\frac{d\rho_{out,4}}{dt} = - \frac{P \cdot MB_{mix,4}}{R \cdot T_{out,4}^2} \cdot \frac{dT_{out,4}}{dt}$$

$$\frac{dV_4}{dt} = [\rho_{in,4} \cdot Q_{in,4} - \rho_{out,4} \cdot Q_{out,4} - V_4 \cdot \frac{d\rho_{out,4}}{dt}] / \rho_{out,4}$$

$$\frac{dC_{out,i,4}}{dt} = \frac{1}{V_4} \cdot [Q_{in,4} (C_{in,i,4} - C_{out,i,4} \cdot \frac{\rho_{in,4}}{\rho_{out,4}}) \pm \Sigma R_{i,j} + \frac{C_{out,i,4}}{\rho_{out,4}} \cdot V_4 \cdot \frac{d\rho_{out,4}}{dt}]$$

$$R_{i,j} = C_3 \cdot \exp\left(-\frac{E_j}{RT_{out,4}}\right) \cdot C_{out,i,4}^{v1} \cdot C_{out,i,4}^{v2} \dots C_{out,i,4}^{vk}$$

$$i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$$



Θερμοκρασία



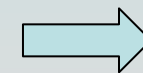
Πυκνότητα



Όγκος Μίγματος



Συγκέντρωση



Ρυθμός
Κατανάλωσης/
Παραγωγής





ΣΤΑΔΙΟ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ: ΑΝΤΙΔΡΑΣΤΗΡΑΣ HTS



$$\frac{dT_{out,HTS}}{dt} = \frac{\rho_{in,HTS}}{\rho_{out,HTS}} \cdot \frac{Q_{in,HTS}}{V_{HTS}} [T_{in,HTS} - T_{out,HTS}] + \frac{\Sigma Q_{HTS}}{c p_{mix,HTS} \cdot V_{HTS} \cdot \rho_{out,HTS}}$$

$$\Sigma Q_{HTS} = f(T_{out,HTS}, C_{out,i,HTS})$$

$$\frac{d\rho_{out,HTS}}{dt} = - \frac{P \cdot MB_{mix,HTS}}{R \cdot T_{out,HTS}^2} \cdot \frac{dT_{out,HTS}}{dt}$$

$$\frac{dV_{HTS}}{dt} = [\rho_{in,HTS} \cdot Q_{in,HTS} - \rho_{out,HTS} \cdot Q_{out,HTS} - V_{HTS} \cdot \frac{d\rho_{out,HTS}}{dt}] / \rho_{out,HTS}$$

$$\frac{dC_{out,i,HTS}}{dt} = \frac{1}{V_{HTS}} \cdot [Q_{in,HTS} (C_{in,i,HTS} - C_{out,i,HTS} \cdot \frac{\rho_{in,HTS}}{\rho_{out,HTS}}) \pm \Sigma R_{i,j} + \frac{C_{out,i,HTS}}{\rho_{out,HTS}} \cdot V_{HTS} \cdot \frac{d\rho_{out,HTS}}{dt}]$$

$$R_{i,j} = C_3 \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T_{out,HTS}}\right) \cdot C_{out,i,HTS}^{v1} \cdot C_{out,i,HTS}^{v2} \dots C_{out,i,HTS}^{vk}$$

$$i = 1 \dots m, j = 1 \dots n$$

Θερμοκρασία

Πυκνότητα

Όγκος
Μίγματος

Συγκέντρωση

Ρυθμός
Κατανάλωσης/
Παραγωγής



ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (1)



$$\frac{dT_{out,FC}}{dt} = \frac{(\rho_{in,FC} Q_{in,FC})_{anode} + (\rho_{in,FC} Q_{in,FC})_{cathode}}{(\rho_{out,FC} V_{FC})_{anode} + (\rho_{out,FC} V_{FC})_{cathode}} [T_{in,FC} - T_{out,FC}] + \frac{Q_{total,FC}}{(cp_{mix,FC} V_{FC} \rho_{out,FC})_{anode} + (cp_{mix,FC} V_{FC} \rho_{out,FC})_{cathode}}$$

$$\frac{dT_{out,FC,coolant}}{dt} = \frac{\rho_{in,FC,coolant} Q_{in,FC,coolant}}{\rho_{out,FC,coolant} V_{FC}} [T_{in,FC,coolant} - T_{out,FC,coolant}] + \frac{C_1 (T_{out,FC} - T_{out,FC,coolant})}{cp_{coolant} V_{FC} \rho_{out,FC,coolant}}$$

$$Q_{total,FC} = f(T_{out,FC}, T_{out,FC,coolant}, C_{out,i,FC}, I_{FC}, V_{FC})$$

$$\frac{d\rho_{out,FC,anode/cathode}}{dt} = -\frac{PMB_{out,FC,anode/cathode}}{RT_{out,FC}^2} \cdot \frac{dT_{out,FC}}{dt}$$

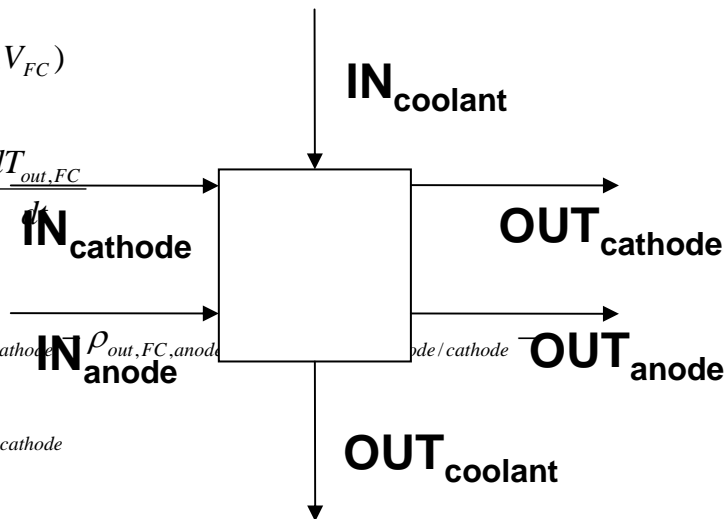
$$\frac{dV_{FC,anode/cathode}}{dt} = [\rho_{in,FC,anode/cathode} Q_{in,FC,anode/cathode} - \rho_{out,FC,anode/cathode} Q_{out,FC,anode/cathode}] / \rho_{out,FC,anode/cathode}$$

$$V_{FC,anode/cathode} \frac{d\rho_{out,FC,anode/cathode}}{dt} / \rho_{out,FC,anode/cathode}$$

$$\frac{dC_{i,out,FC,anode/cathode}}{dt} = \frac{1}{V_{FC,anode/cathode}} [Q_{in,FC,anode/cathode} (C_{i,in,FC,anode/cathode} - C_{i,out,FC,anode/cathode} \frac{\rho_{in,FC,anode/cathode}}{\rho_{out,FC,anode/cathode}})$$

$$+ R_{FC} + \frac{C_{i,out,FC,anode/cathode}}{\rho_{out,FC,anode/cathode}} V_{FC,anode/cathode} \frac{d\rho_{out,FC,anode/cathode}}{dt}]$$

$$R_{FC} = \frac{n_c \cdot I_{fc}}{n_e \cdot F} \cdot n_f$$



- ➡ Θερμοκρασία
- ➡ Πυκνότητα
- ➡ Όγκος Μίγματος
- ➡ Συγκέντρωση
- ➡ Ρυθμός Κατανάλωσης/ Παραγωγής



ΚΥΨΕΛΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ (2)



$$V_{fc} = E_{nerst} - V_{act} - V_{ohm} - V_{conc}$$

$$E_{nerst} = 1.229 - (0.85 \cdot 10^{-3}) \cdot (T_{fc} - 298) + (4.3085 \cdot 10^{-5}) \cdot T_{fc} \cdot [\ln(p_{H_2}) + 0.5 \cdot \ln(p_{O_2})^{0.5}]$$

$$V_{act} = \xi_1 + \xi_2 \cdot T_{fc} + \xi_3 \cdot T_{fc} \cdot \ln(I_{fc}) + \xi_4 \cdot T_{fc} \cdot \ln\left(\frac{p_{O_2}}{(5.08 \cdot 10^6) \cdot \exp\left(\frac{-498}{T_{fc}}\right)}\right)$$

$$\frac{dn_{act}}{dt} = \frac{I_{fc}}{C} + \frac{V_{act} \cdot n_{act}}{I_{FC} \cdot C}$$

$$V_{ohm} = I_{fc} \cdot (\xi_5 + \xi_6 \cdot T + \xi_7 \cdot I_{fc})$$

$$V_{conc} = -\frac{R_g \cdot T}{n_e \cdot F} \cdot \ln\left(1 - \frac{I_{fc}}{I_{lim}}\right)$$

$$P_{fc} = V_{fc} \cdot n_c \cdot I_{fc}$$



Τάση
Λειτουργίας



Θερμοδυναμική
Τάση



Απώλειες
Ενεργοποίησης



Ωμικές
Απώλειες



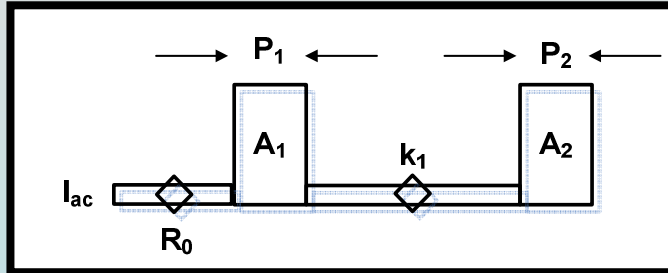
Απώλειες λόγω
Συγκεντρώσεως



Αποδιδόμενη Ισχύς



ΣΥΣΣΩΡΕΥΤΗΣ ΙΟΝΤΩΝ ΛΙΘΙΟΥ



$$\frac{dq_1}{dt} = -I_{ac} - k_1 \cdot \left(\frac{q_1}{c} - \frac{q_2}{1-c} \right)$$

$$\frac{dq_2}{dt} = k_1 \cdot \left(\frac{q_1}{c} - \frac{q_2}{1-c} \right)$$

$$V_{ac} = E_{ac} - I_{ac} \cdot R_o$$

$$E_{ac,dis.} = E_{min} + (E_{o,d} - E_{min}) \cdot \frac{q_1}{q_{1,max}}$$

$$E_{ac,ch.} = E_{o,c} + (E_{max} - E_{o,c}) \cdot \frac{q_1}{q_{1,max}}$$

$$P_{ac} = V_{ac} \cdot I_{ac}$$

$$SOC(t+1) = SOC(t) \cdot (1 - \sigma_{ac}) + \frac{I_{ac} \cdot \eta_{ac}}{Q_o} \cdot (\Delta t)$$

Χωρητικότητα Συσσωρευτή

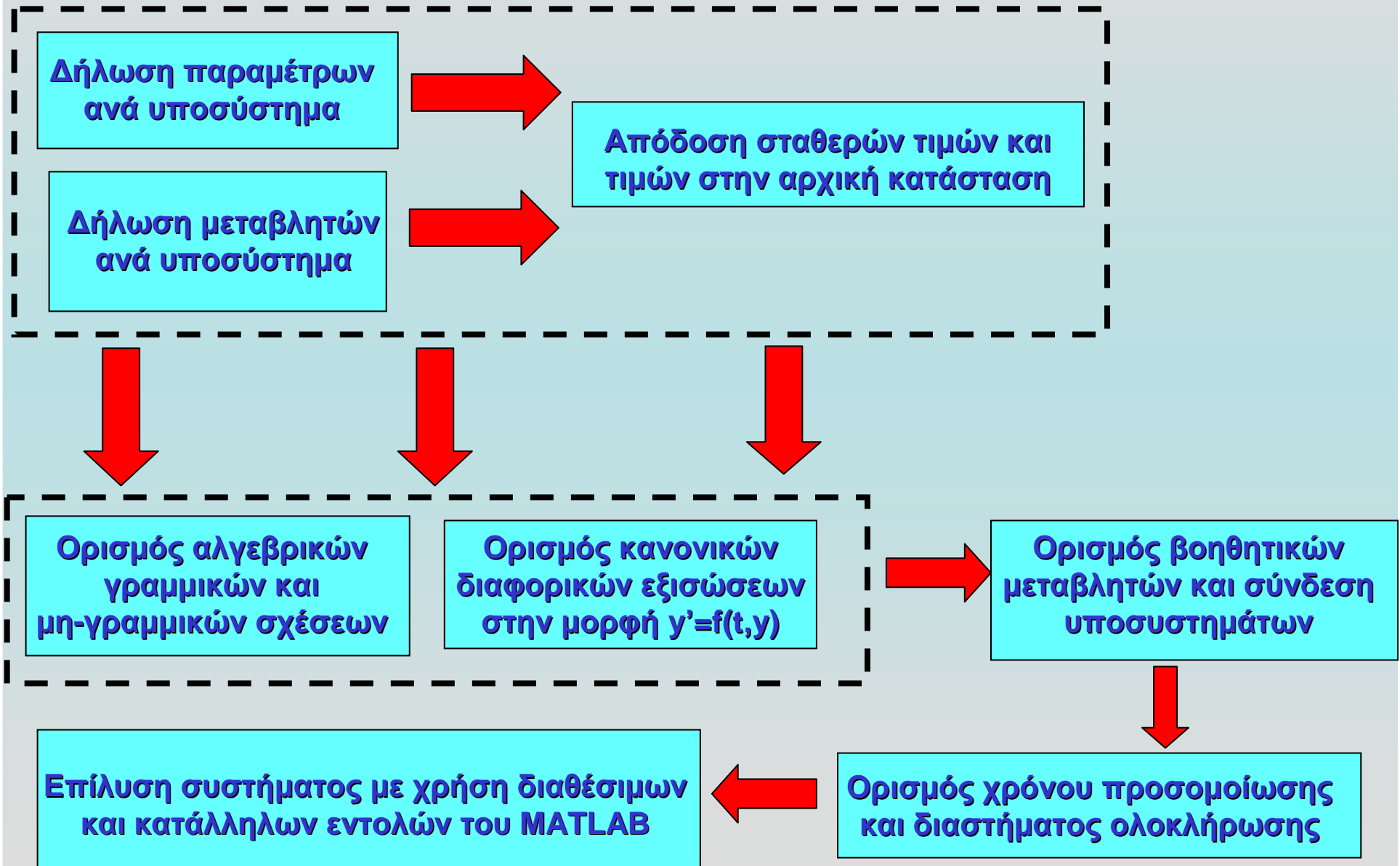
Τάση Λειτουργίας

Ισχύς Λειτουργίας

Κατάσταση Φόρτισης

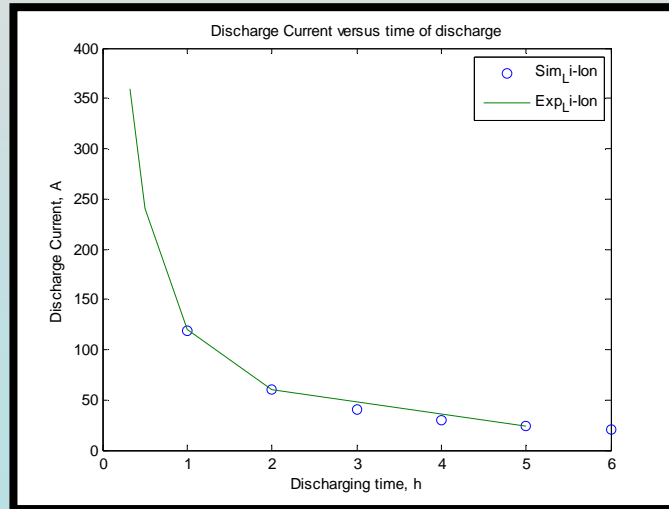


ΕΠΙΛΥΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

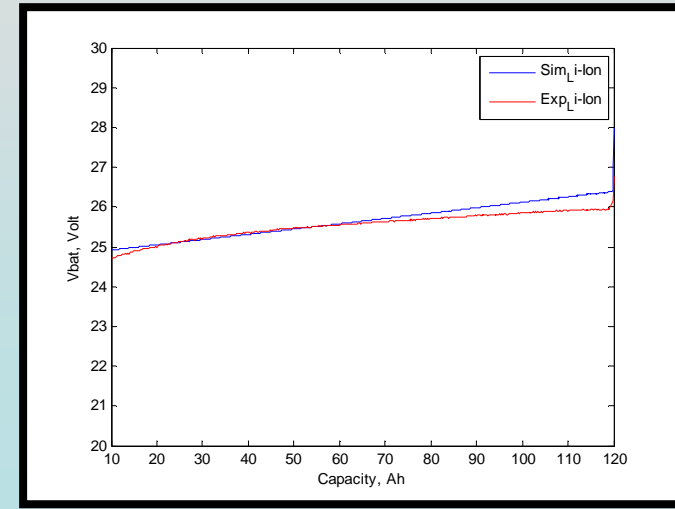




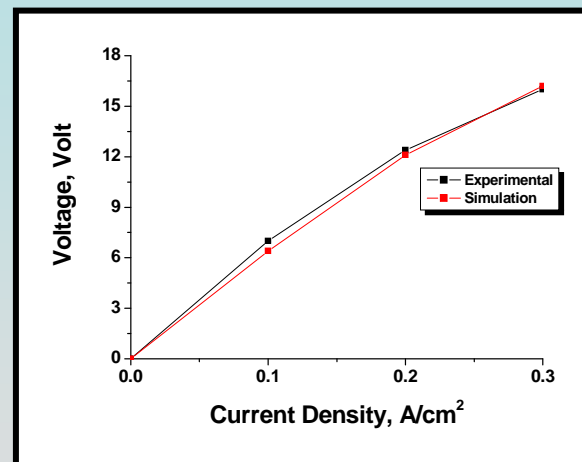
ΕΞΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



Ρεύμα εκφόρτισης συσσωρευτή



Τάση εκφόρτισης συσσωρευτή



Χαρακτηριστική τάσης-έντασης ρεύματος
κυψέλης καυσίμου



ΕΞΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



Μεταβλητή	Πραγματικά Δεδομένα	Δεδομένα Μαθηματικού Μοντέλου
Συστάσεις στην έξοδο του αντιδραστήρα αναμόρφωσης	H ₂ : 72.7% CO ₂ : 12.1% CO : 14.2% CH ₄ : 1.0 %	H ₂ : 72.5% CO ₂ : 12.0 % CO : 14.2% CH ₄ : 1.0 %
Συστάσεις στην έξοδο του HTS	H ₂ : 75.8% CO ₂ : 22.05% CO : 1.26% CH ₄ : 0.9 %	H ₂ : 75.8% CO ₂ : 22.3% CO : 1.0 % CH ₄ : 0.9 %
Έξοδος E1	180°C	180°C
Είσοδος E2 (από mixer)	145.5°C	145.5C
Είσοδος Reformer	550°C	550°C
Έξοδος Reformer	700°C	700°C
Θερμότητα σε E1/E2/E3	647W/278W/59.7W	675W/265W/59.7W
Είσοδος E3	361°C	392°C
Είσοδος HTS	285°C	285°C
Έξοδος HTS	320°C	320°C
Είσοδος Ανόδου	130°C	126 °C
Είσοδος Condenser	251°C	250 °C
Έξοδος Ανόδου	506°C	477 °C
Συγκεντρώσεις ανά σημείο (θεωρητική ανάλυση)		<5% Απόκλιση από τις αντίστοιχες με τα αποτελέσματα του ASPEN.



ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΕΙΣ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΝΟΙΚΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ



ΣΤΟΧΟΙ



Η ποσοτική και ποιοτική επίδραση βασικών μεταβλητών στη λειτουργία του συστήματος.



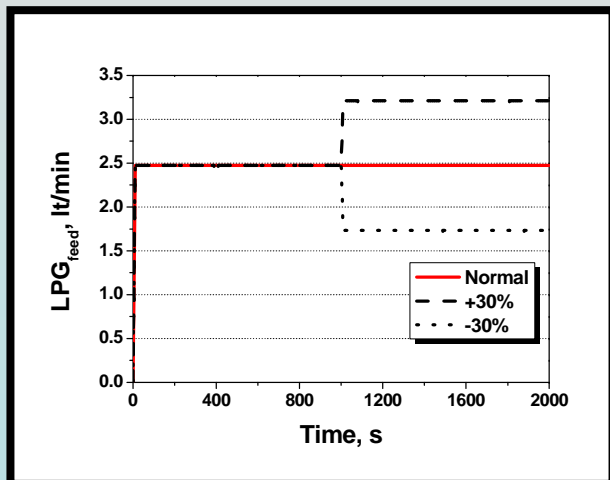
Η επιλογή των ζευγών χειραγωγούμενων-ελεγχόμενων μεταβλητών του συστήματος ελέγχου.



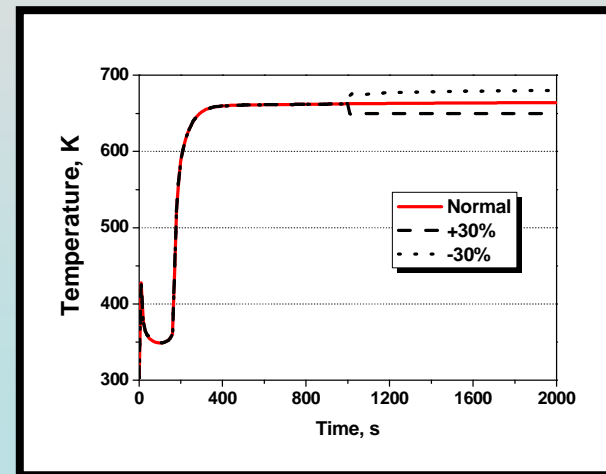
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



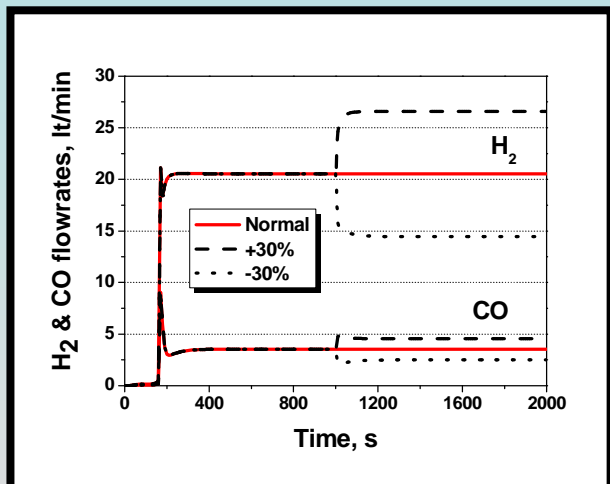
1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ LPG ΣΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ



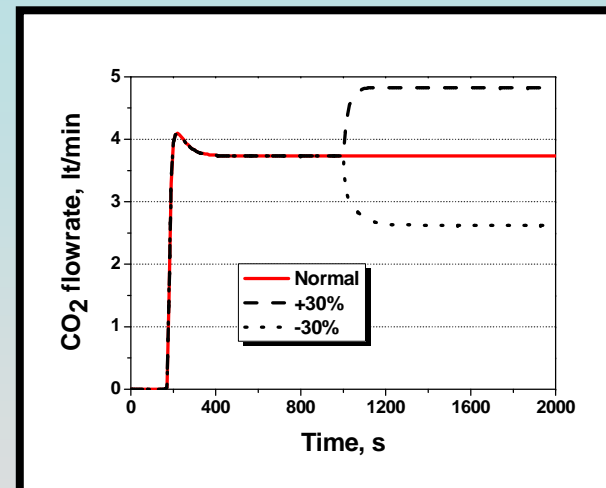
Μεταβολή ροής τροφοδοσίας LPG στην είσοδο του συστήματος



Μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης



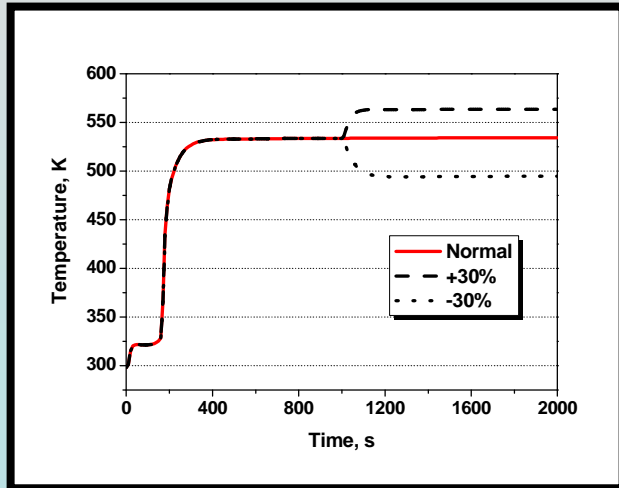
Μεταβολή ροής H₂, CO στην έξοδο του αντιδραστήρα αναμόρφωσης



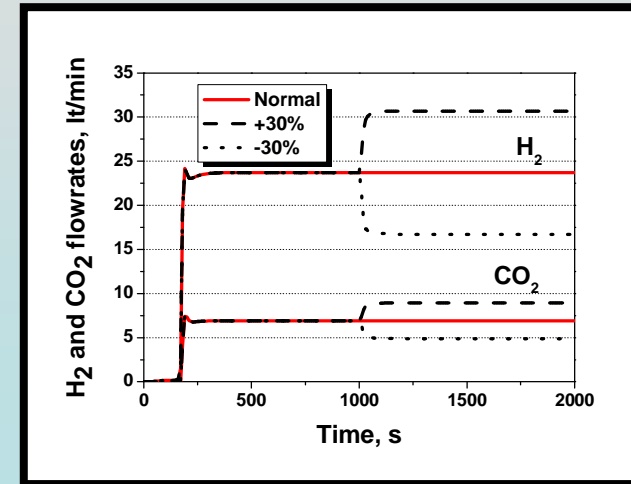
Μεταβολή ροής CO₂ στην έξοδο του αντιδραστήρα αναμόρφωσης



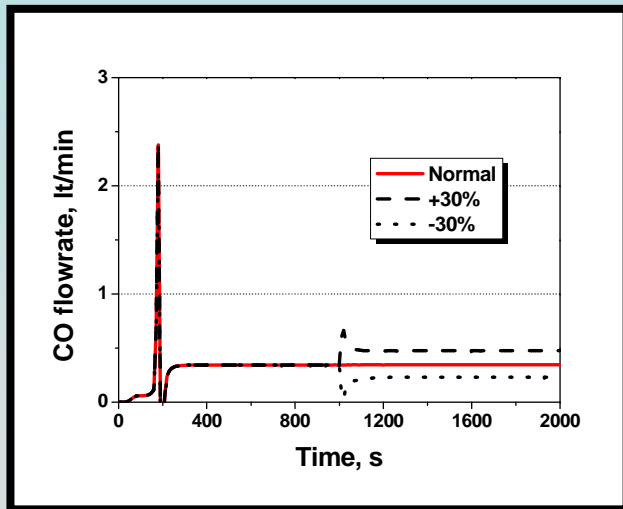
1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ LRG ΣΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ



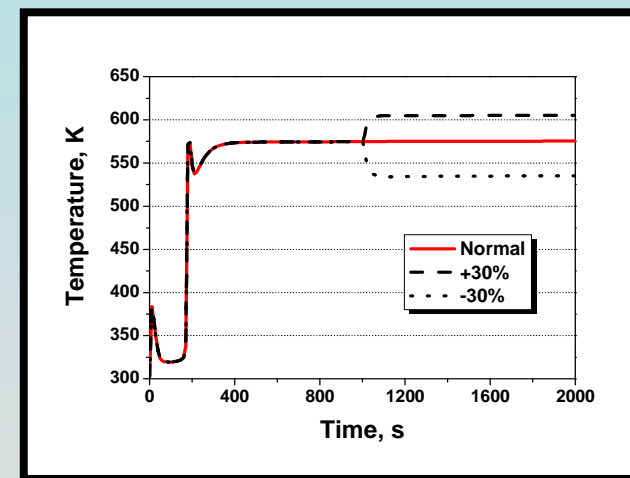
Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου ρευστού από τον εναλλάκτη E3



Μεταβολή ροής H₂ και CO₂ στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS



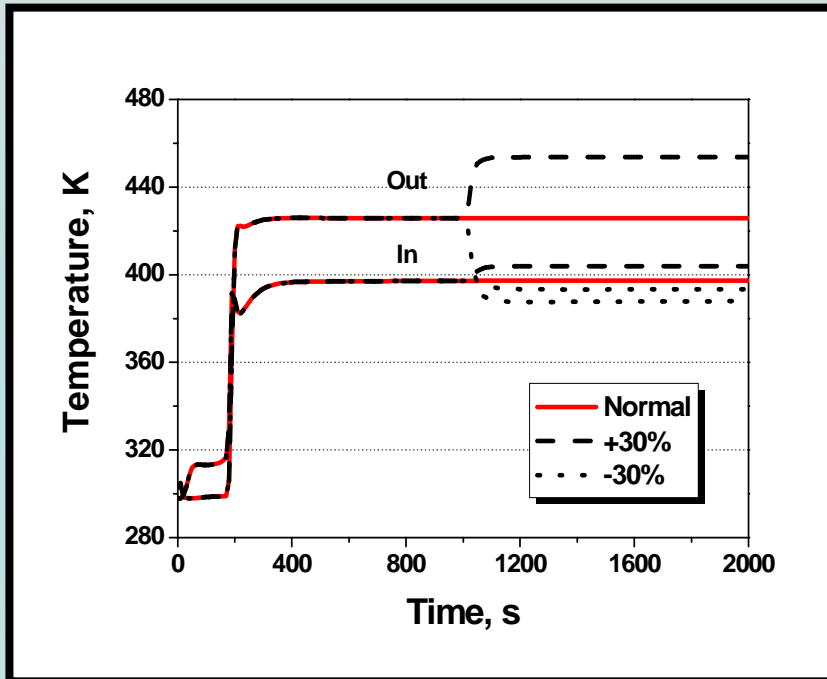
Μεταβολή ροής CO στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS



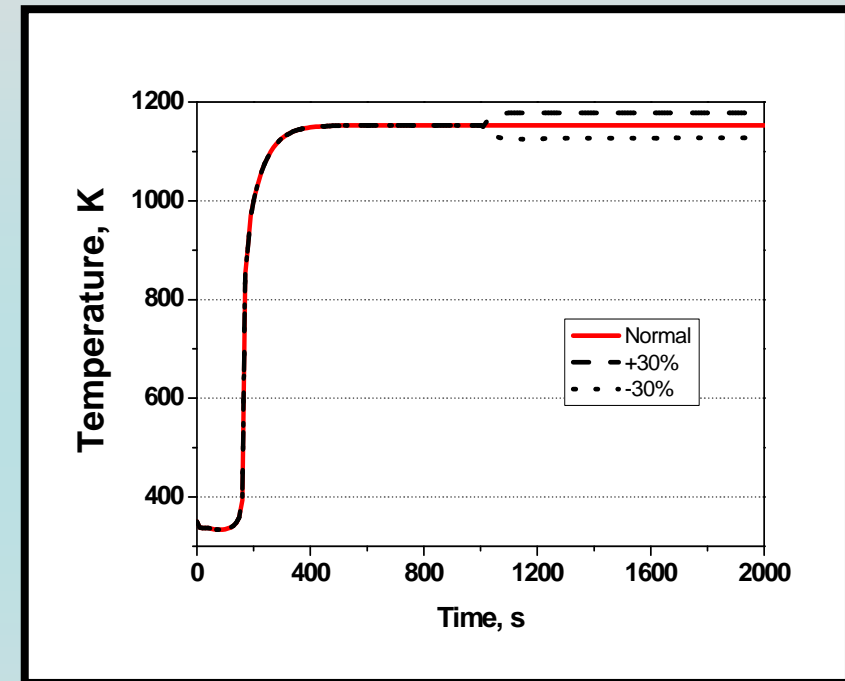
Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου στον αντιδραστήρα HTS



1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ LPG ΣΤΗΝ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ



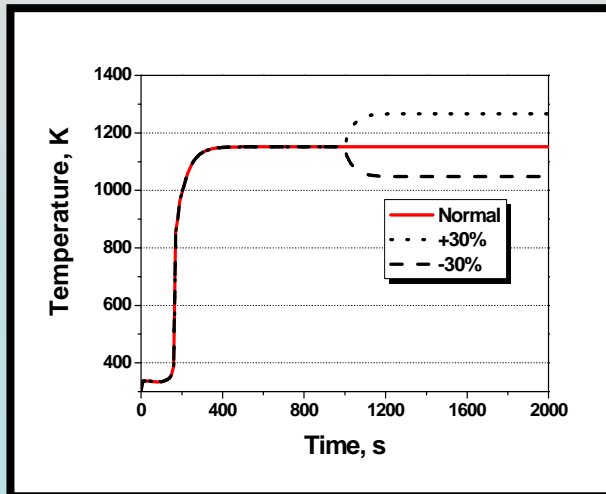
Μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου στην κυψέλη καυσίμου



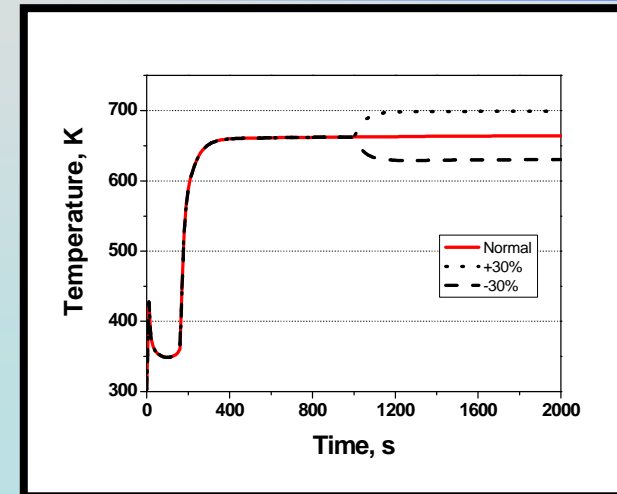
Μεταβολή θερμοκρασίας λειτουργίας στον καυστήρα



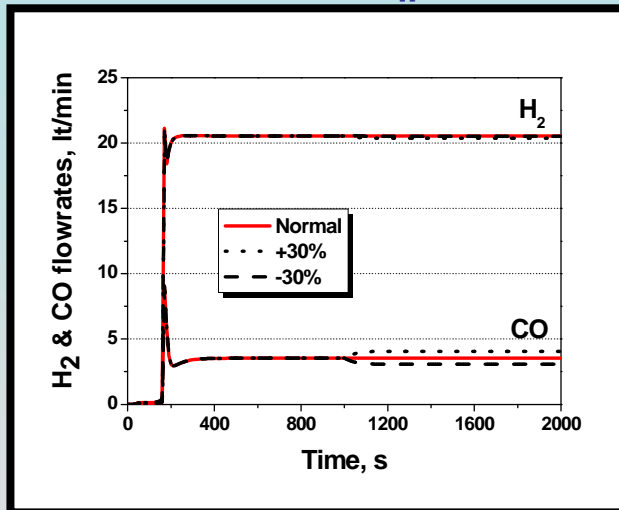
2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ LPG ΣΤΟΝ ΚΑΥΣΤΗΡΑ



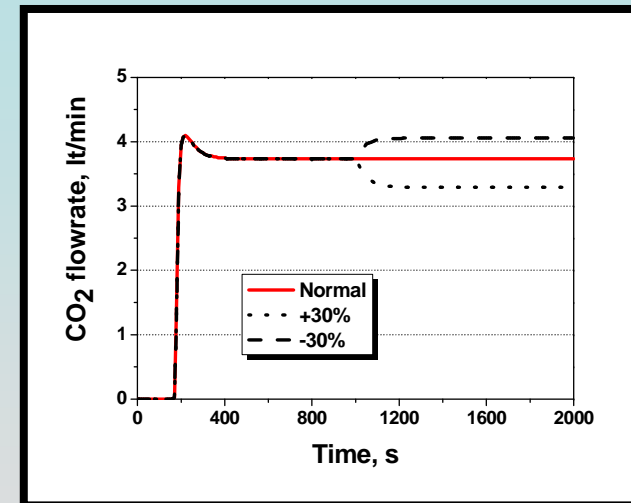
Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου στον καυστήρα



Μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης



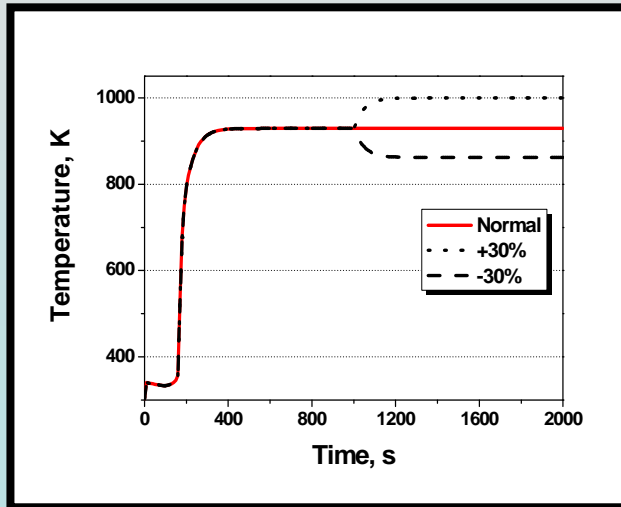
Μεταβολή ροής H₂, CO στην έξοδο του αντιδραστήρα αναμόρφωσης



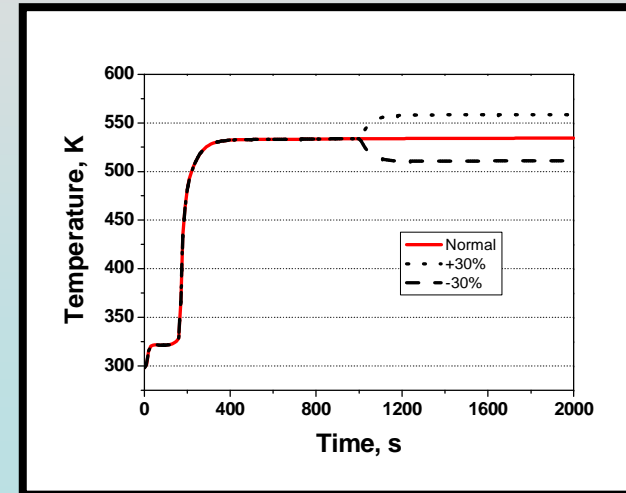
Μεταβολή ροής CO₂ στην έξοδο του αντιδραστήρα αναμόρφωσης



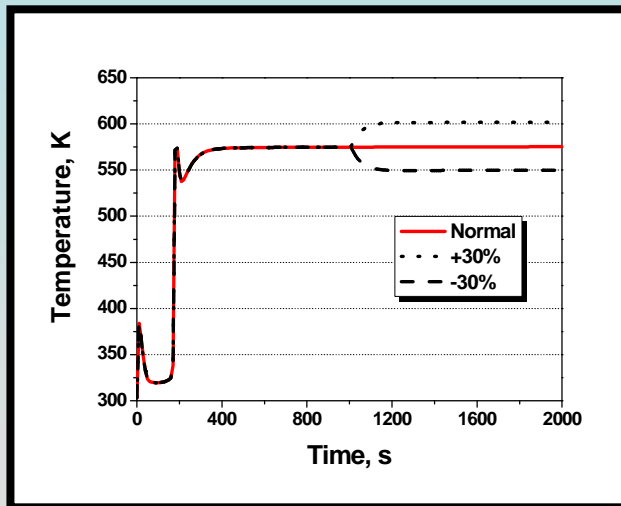
2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ LPG ΣΤΟΝ ΚΑΥΣΤΗΡΑ



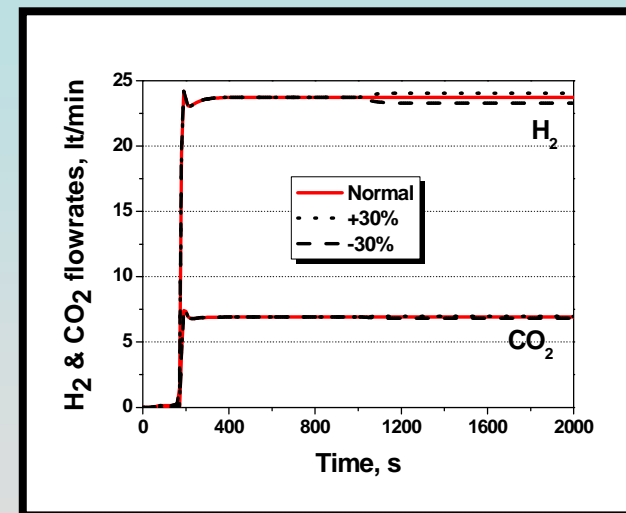
Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης



Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου ρευστού από τον εναλλάκτη E3



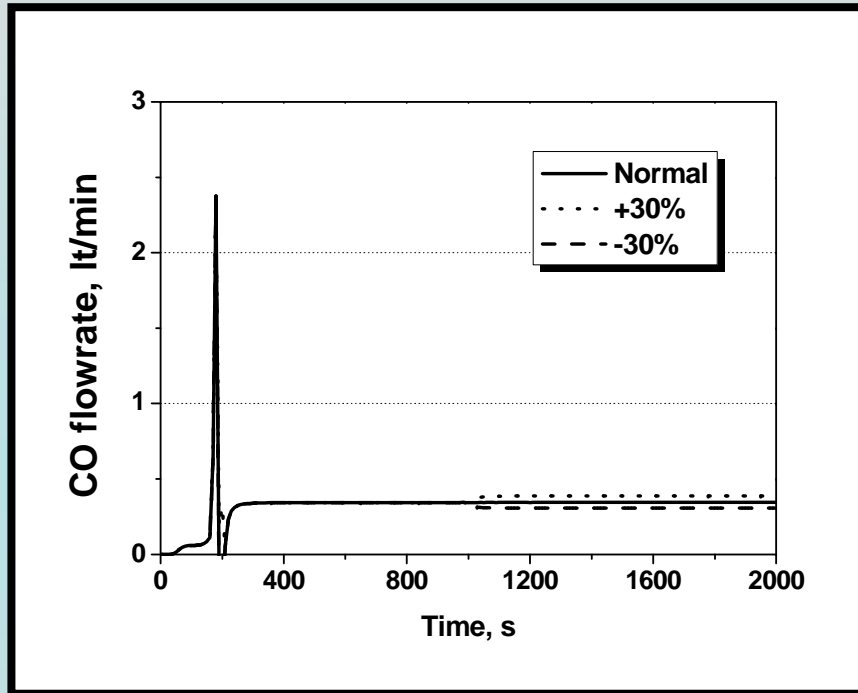
Μεταβολή θερμοκρασίας εξόδου στον αντιδραστήρα HTS



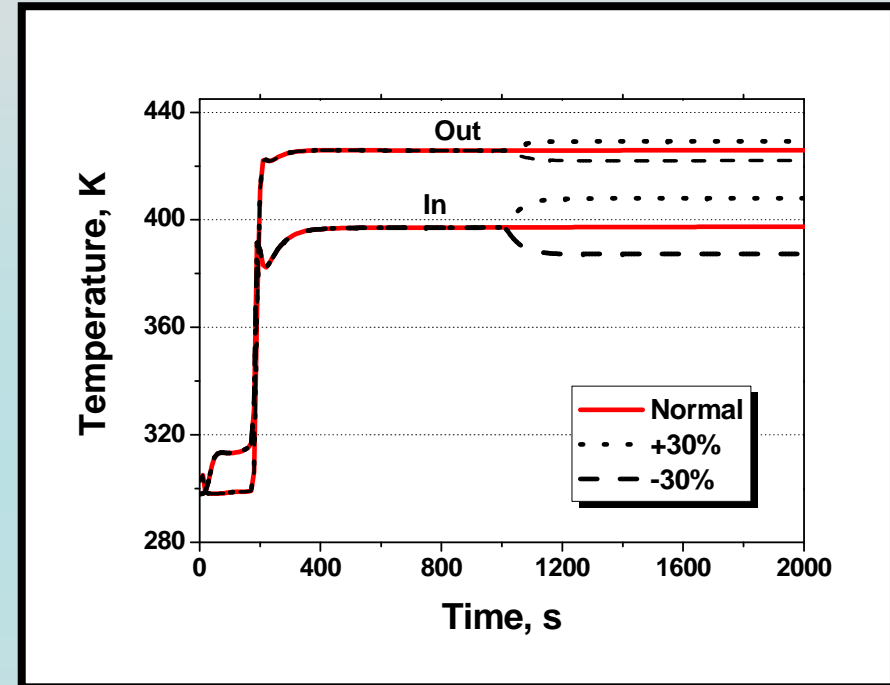
Μεταβολή ροής H₂ και CO₂ στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS



2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ LPG ΣΤΟΝ ΚΑΥΣΤΗΡΑ



Μεταβολή ροής CO στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS



Μεταβολή θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου στην κυψέλη καυσίμου



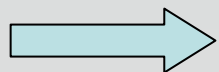
ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΟΜΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ	ΧΕΙΡΑΓΩΓΟΥΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ
Θερμοκρασία λειτουργίας του αντιδραστήρα αναμόρφωσης	Τροφοδοσία LPG στον καυστήρα



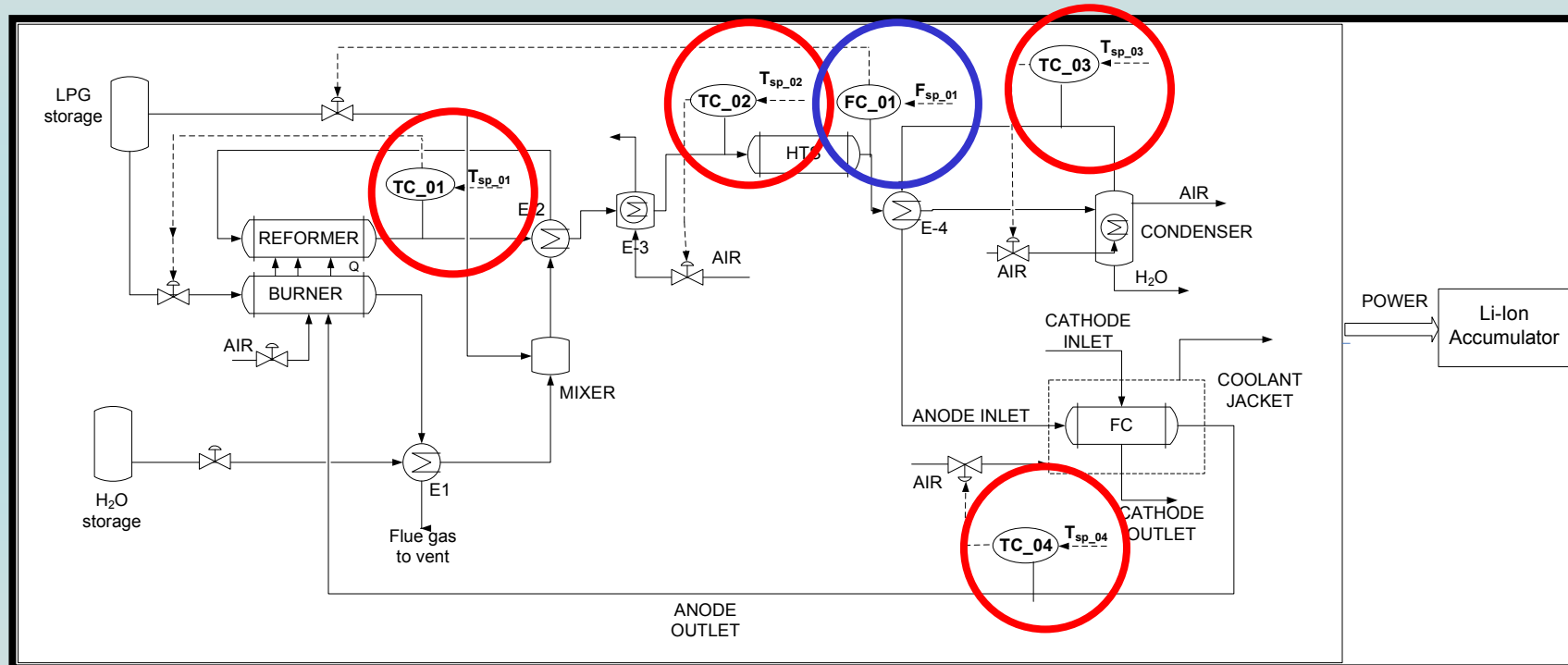
Ελεγκτές λόγου οξυγόνου στον καυστήρα και στην κυψέλη καυσίμου.



Ελεγκτής λόγου νερού στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης.



ΕΠΙΛΟΓΗ ΔΟΜΗΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



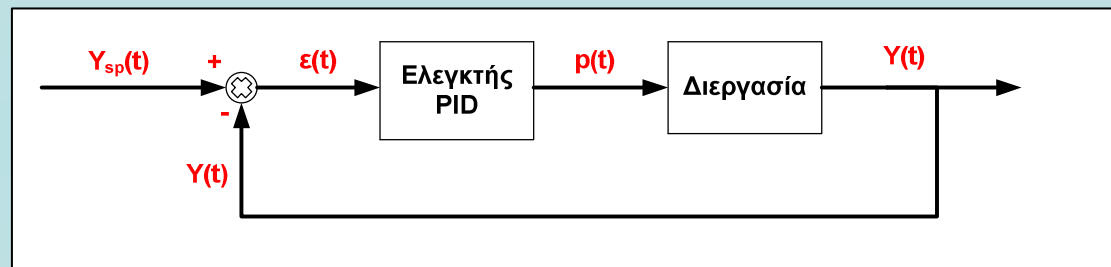


ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΡΙΔ ΕΛΕΓΧΟΥ



Ο σκοπός ενός ελεγκτή είναι τριπλός

- α) Εγγύηση της ευστάθειας του συστήματος.
- β) Απόσβεση διαταραχών και ομαλή επαναφορά.
- γ) Παρακολούθηση δυναμικών αλλαγών.



Σήμα Πόλωσης

$$p(t) = p_s + K_c \cdot \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{\tau_I} \int \varepsilon(t) dt + \tau_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right]$$

Αναλογική
Δράση

Ολοκληρωτική
Δράση

Διαφορική
Δράση



ΔΙΑΚΡΙΤΗ ΜΟΡΦΗ PID

$$p(t) = p_s + K_c \cdot \left[\varepsilon(t) + \frac{1}{\tau_I} \int \varepsilon(t) dt + \tau_D \cdot \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \right]$$

Αναλογική
Δράση

Ολοκληρωτική
Δράση

Διαφορική
Δράση

Positional Form

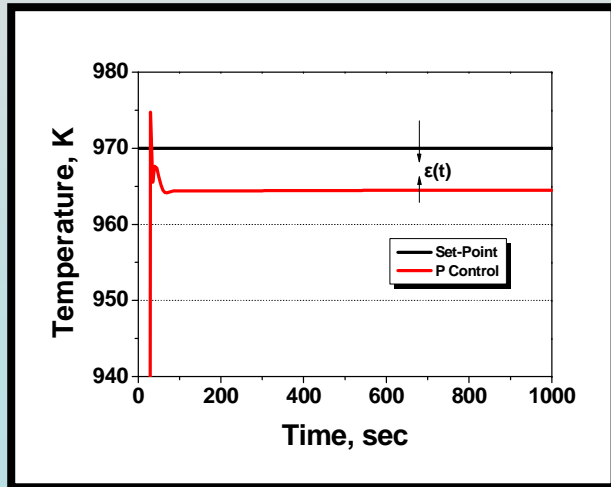
$$p(t) = p_s + K_c \cdot \left[\varepsilon(t) + \frac{T_s}{\tau_I} \sum_{i=0}^t \varepsilon(i) + \tau_D \cdot \frac{\varepsilon(t) - \varepsilon(t-1)}{T_s} \right]$$

Velocity Form

$$p(t) = p(t-1) + K_c \cdot [\varepsilon(t) - \varepsilon(t-1)] + \frac{K_c T_s}{\tau_I} \varepsilon(t) + \frac{K_c T_d}{T_s} [\varepsilon(t) - 2\varepsilon(t-1) + \varepsilon(t-2)]$$



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ P, I, D ΔΡΑΣΕΩΝ



P Έλεγχος

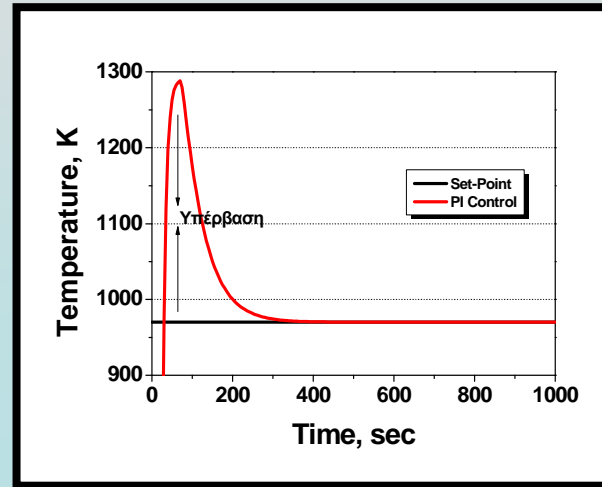
➤ Σταθερή απόκλιση.

➤ Αύξηση της αναλογικής ενίσχυσης οδηγεί σε:

Μικρότερη απόκλιση

Γρήγορη απόκριση

Πιθανή παρουσία ταλαντώσεων



PI Έλεγχος

➤ Απαλοιφή σφάλματος.

➤ Παρουσία υπερβάσεων.

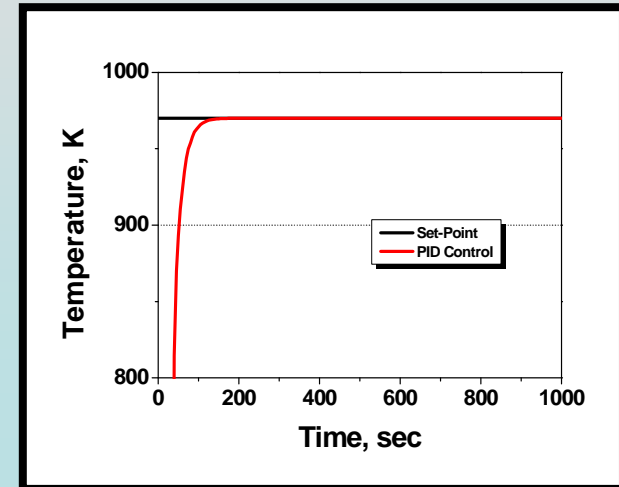
➤ Συνδυάζεται πάντα με P έλεγχο.

➤ Χαμηλές τιμές του

ολοκληρωτικού όρου οδηγούν σε:

Γρήγορες δράσεις

Ταλαντωτική συμπεριφορά



PID Έλεγχος

➤ Βελτίωση ευστάθειας.

➤ Εξάλειψη ταλαντωτικής συμπεριφοράς.

➤ Ευαισθησία σε θορύβους.



ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ (TUNING)



Ο σκοπός του συντονισμού (tuning) παραμέτρων ενός ελεγκτή είναι:

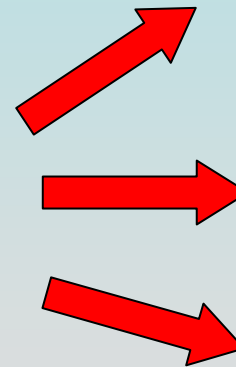
**ΓΡΗΓΟΡΕΣ
ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ**

**ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΤΙΚΗ
ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ**

Δυστυχώς όμως, ο ένας στόχος αναγκάζεται να αναιρέσει το άλλο.

Υπάρχουν τρεις γενικές μέθοδοι :

- Μέθοδοι που αξιοποιούν την δοκιμή και σφάλμα στις παραμέτρους του ελεγκτή.**
- Ημιεμπειρικοί μέθοδοι που βασίζονται σε επιτυχημένη πρακτική αλλά με θεωρητική δικαιολόγηση.**
- Συστηματικές μέθοδοι που βασίζονται στην ικανοποίηση σχεδιαστικών κριτηρίων.**



Ziegler-Nichols

Tyres-Luyben

Cohen-Coon



ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΥ ZIEGLER-NICHOLS & TYREUS-LUYBEN



Τα βήματα της μεθόδου περιλαμβάνουν

- **Ο ολοκληρωτικός και διαφορικός όρος μηδενίζονται.**
- **Κατά την διάρκεια ενός δυναμικού πειράματος επιβάλλεται μία βηματική μεταβολή.**
- **Αυξάνεται σταδιακά η ενίσχυση του ελεγκτή.**
- **Παρατηρούνται ταλαντώσεις σταθερού εύρους (κρίσιμη περίοδος T_{cu} και κρίσιμη ενίσχυση K_{cu}).**
- **Βάση των T_{cu} και K_{cu} μπορούν να προκύψουν οι τρεις παράμετροι ενός PID ελεγκτή.**



ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ZIEGLER-NICHOLS & TYREUS-LUYBEN



Παράμετροι βάση της μεθόδου Ziegler-Nichols

Ελεγκτής	K	τ_i	τ_D
P	$0.5 \cdot K_{cu}$	-	-
PI	$0.45 \cdot K_{cu}$	$0.85 \cdot P_{cu}$	-
PID/PD	$0.65 \cdot K_{cu}$	$0.5 \cdot P_{cu}$	$0.12 \cdot P_{cu}$

➤ Κατά τον PI έλεγχο υλοποιείται μικρότερη αναλογική σταθερά λόγω πρόσθετης καθυστέρησης φάσης.

➤ Κατά τον PID έλεγχο η αναλογική ενίσχυση λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές χωρίς κίνδυνο αστάθειας.

Παράμετροι βάση της μεθόδου Tyreus-Luyben

Ελεγκτής	K	τ_i	τ_D
PI	$0.31 \cdot K_{cu}$	$2.2 \cdot P_{cu}$	-
PID/PD	$0.45 \cdot K_{cu}$	$2.2 \cdot P_{cu}$	$P_{cu}/6.3$

➤ Συντηρητικές τιμές μεταξύ παραμέτρων και κρίσιμων τιμών.

➤ Προκύπτουν αποκρίσεις λιγότερο ταλαντωτικές και λιγότερο ευαίσθητες.



ΔΟΚΙΜΗ & ΣΦΑΛΜΑ- ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ



- Δοκιμή και σφάλμα σε όλες ή σε λιγότερες από τρεις παραμέτρους του ελεγκτή, που έχουν όμως πρωτίστως προσδιορισθεί με κάποια από τις αναφερθείσες μεθόδους.
- Τα σχεδιαστικά δυναμικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον βέλτιστο προσδιορισμό παραμέτρων ελεγκτή αφορούν το σύνολο της απόκρισης.

Integral of Square Error, ISE

$$ISE = \int_0^{\infty} \varepsilon^2(t) dt$$

Οδηγεί σε άμεση επιθετική δράση.

Δρα σε μεγάλα σφάλματα.

Δεν χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις μόνιμης απόκλισης.

Integral of Absolute Error, IAE

$$IAE = \int_0^{\infty} |\varepsilon(t)| dt$$

Τιμωρεί εξίσου μικρά και μεγάλα σφάλματα.

Integral of Time-Weighted Absolute Error, ITAE

$$ITAE = \int_0^{\infty} t |\varepsilon(t)| dt$$

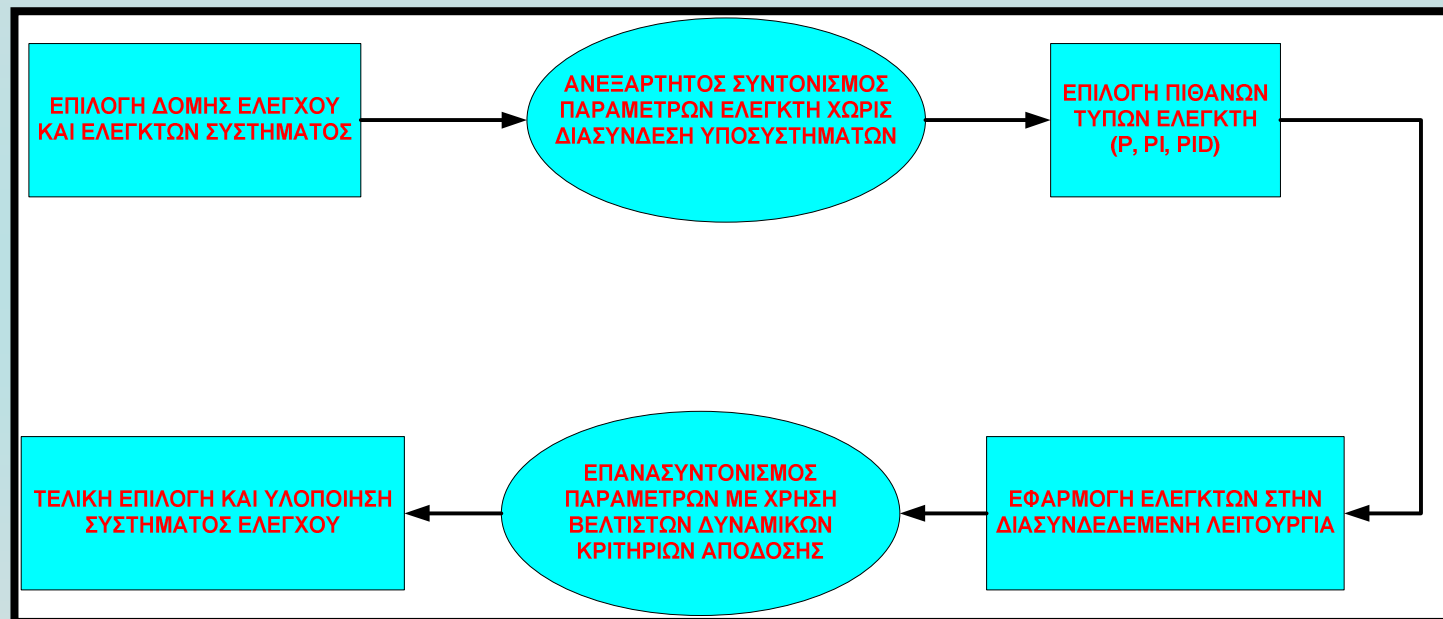
Τιμωρεί σφάλματα που επιμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα.



ΒΗΜΑΤΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

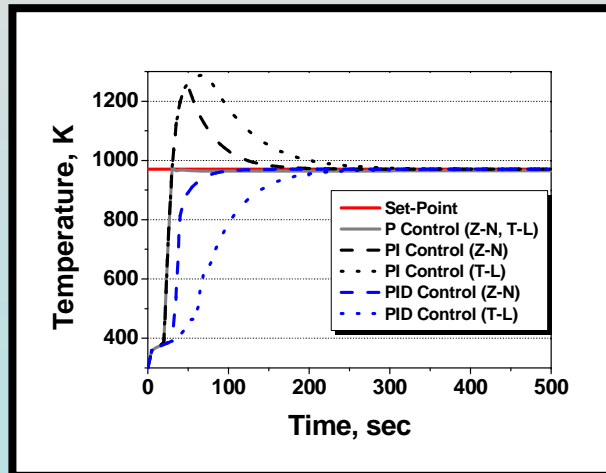


Βήματα επιλογής και υλοποίησης ελεγκτών

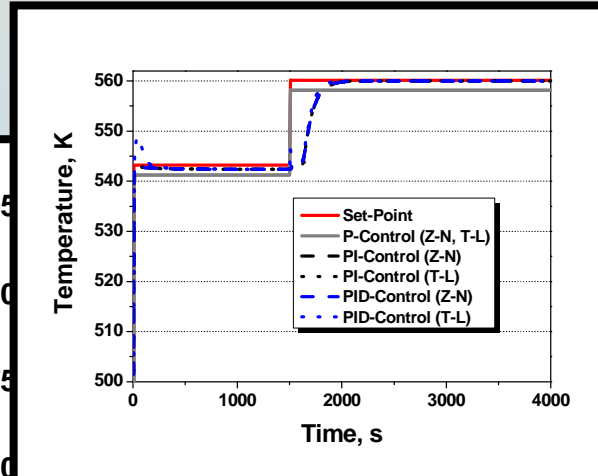




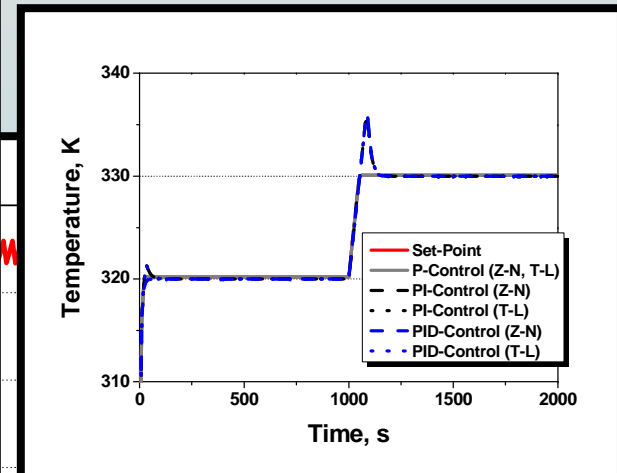
ΣΥΝΤΟΝΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ



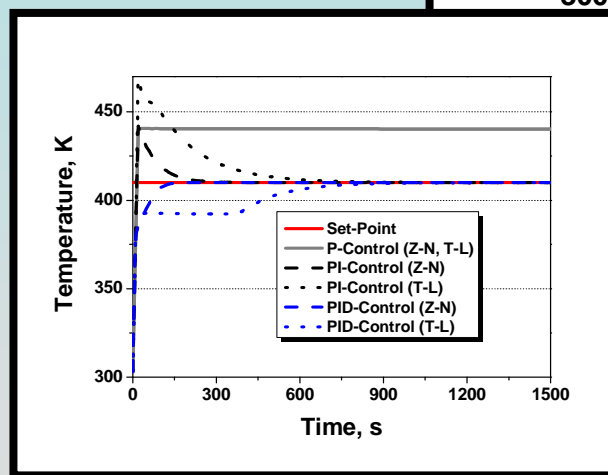
Ελεγκτής TC_01
(αντιδραστήρας αναμόρφωσης)



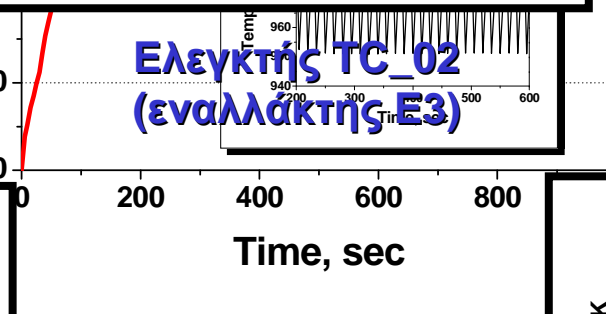
Ελεγκτής TC_02
(εναλλακτήρας E3)



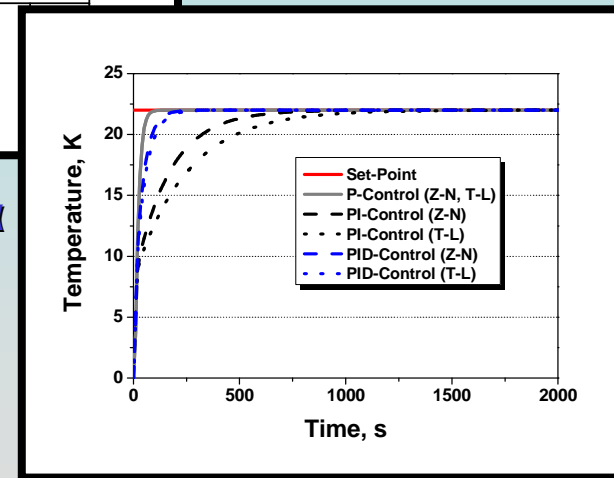
Ελεγκτής TC_03
(Συμπυκνωτής E4)



Ελεγκτής TC_04 (κυψέλη καυσίμου)



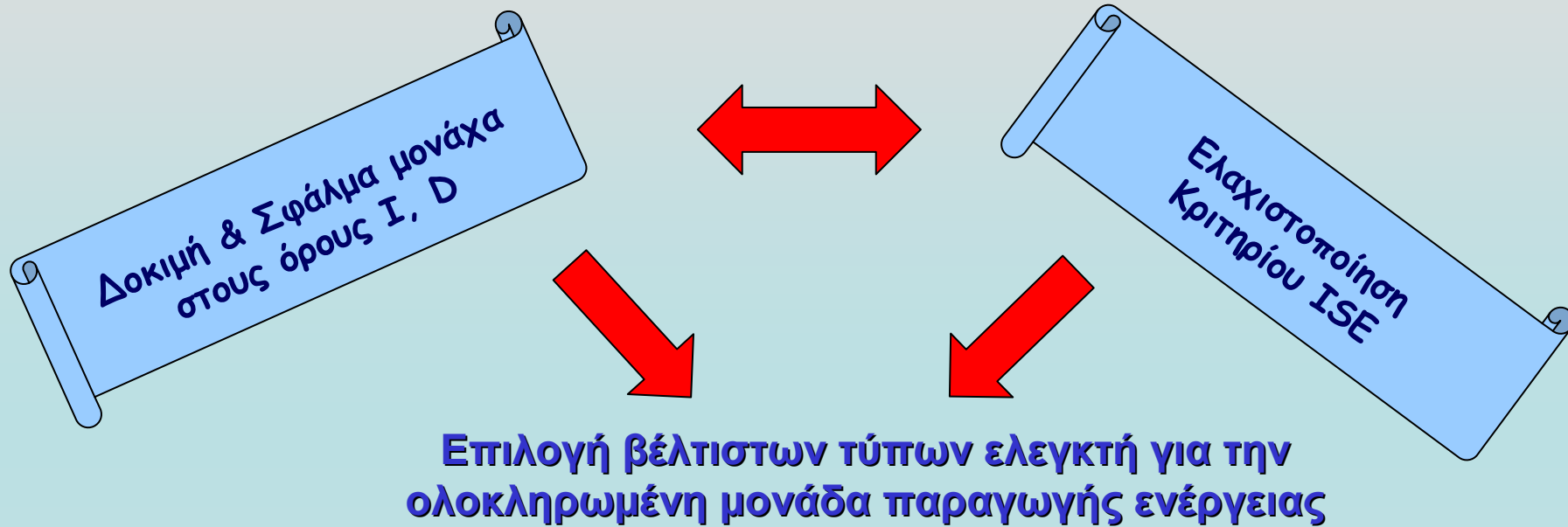
Ελεγκτής FC_01
(εναλλακτήρας E3)



Ελεγκτής FC_01 (κυψέλη καυσίμου)



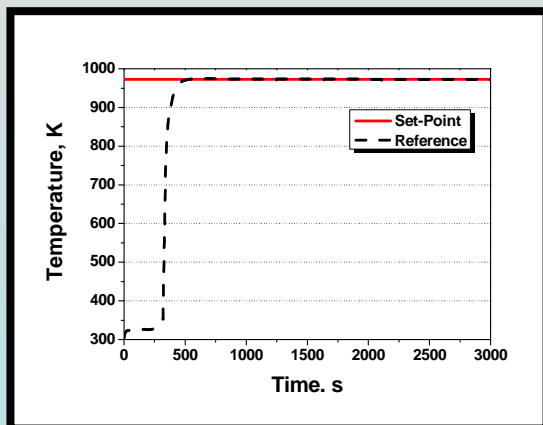
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΛΕΓΚΤΩΝ



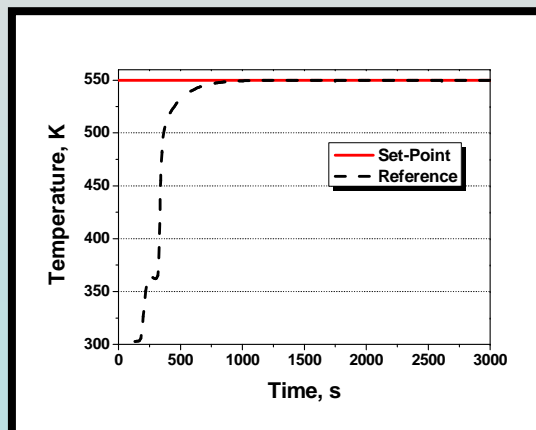
Σημείο Ελέγχου	Βέλτιστος Τύπος Ελεγκτή	Αναλογική Δράση	Ολοκληρωτική Δράση	Διαφορική Δράση	ISE
TC_01	PID	$2.27 \cdot 10^{-6}$	150.0s	7.0s	344.2
TC_02	PID	$5.89 \cdot 10^{-3}$	130.0s	10.0s	435.7
TC_03	PID	$2.94 \cdot 10^{-3}$	150.0s	13.75s	451.2
TC_04	PID	$2.35 \cdot 10^{-3}$	100.0s	15.75s	1190.2
FC_01	PID	$4.0 \cdot 10^{-2}$	100.0s	4.3s	38.5



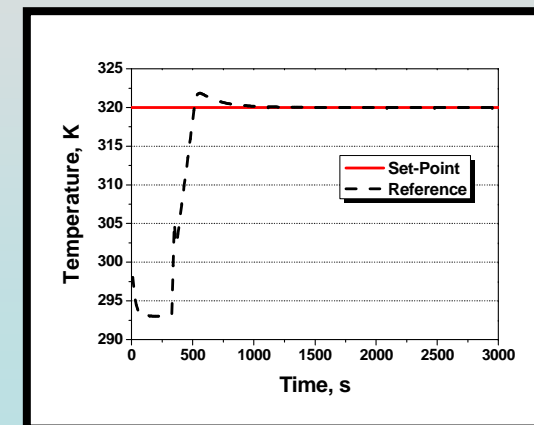
ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΛΕΓΚΤΩΝ



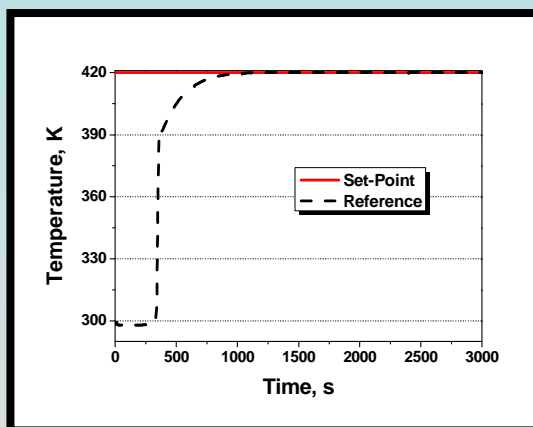
Ελεγκτής TC_01
(αντιδραστήρας αναμόρφωσης)



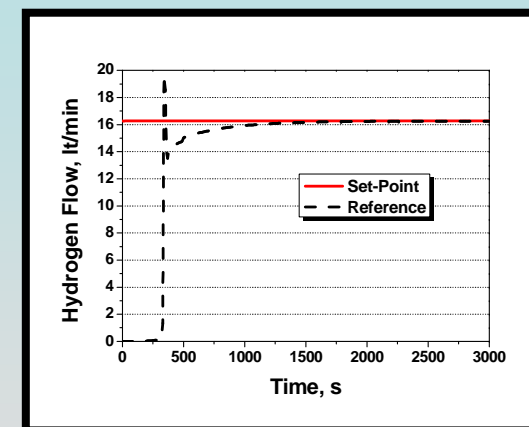
Ελεγκτής TC_02
(εναλλάκτης E3)



Ελεγκτής TC_03
(Συμπυκνωτής E4)



Ελεγκτής TC_04
(κυψέλη καυσίμου)



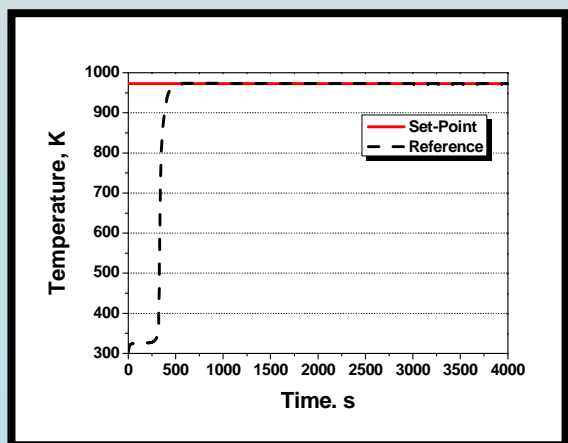
Ελεγκτής FC_01
(κυψέλη καυσίμου)



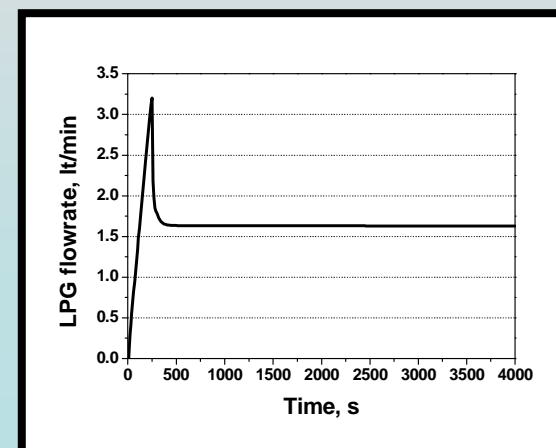
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



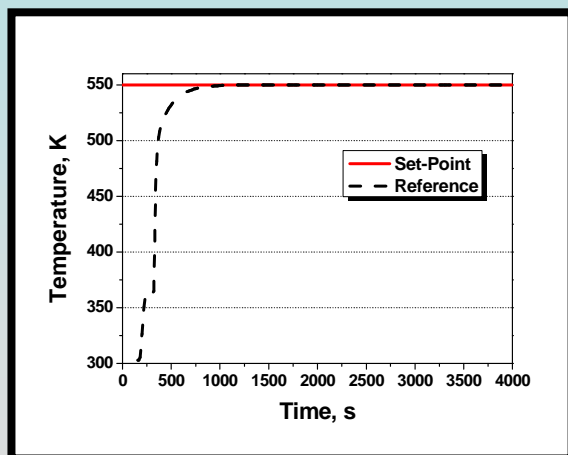
Σενάριο 1: Τήρηση σημάτων αναφοράς



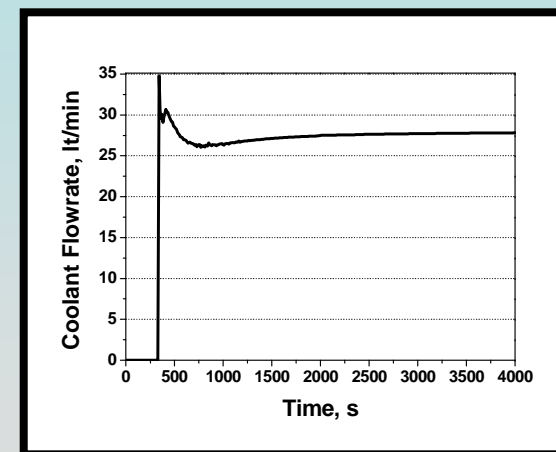
Ελεγκτής TC 01



Τροφοδοσία LPG στον καυστήρα
(χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 02



Παροχή αέρα στον εναλλάκτη E3
(χειραγωγούμενη μεταβλητή)

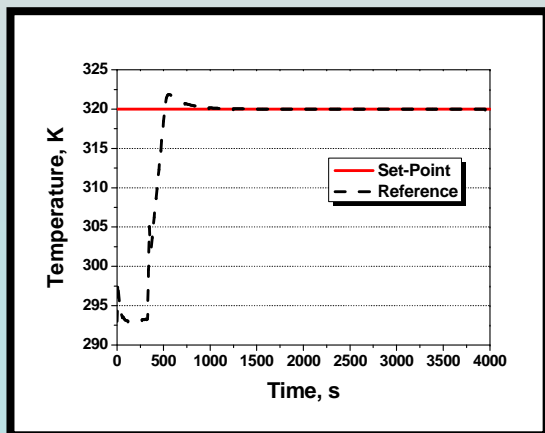
Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη
E3 (ελεγχόμενη μεταβλητή)



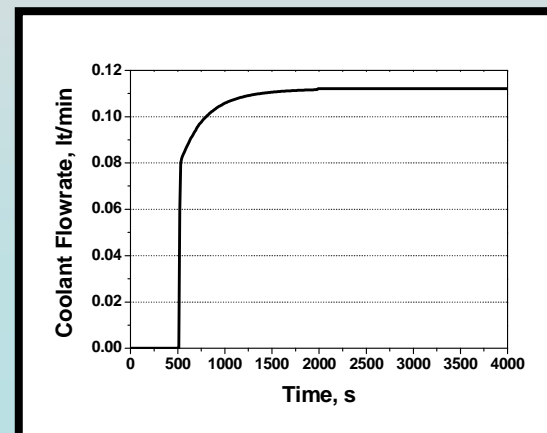
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σενάριο 1: Τήρηση σημάτων αναφοράς

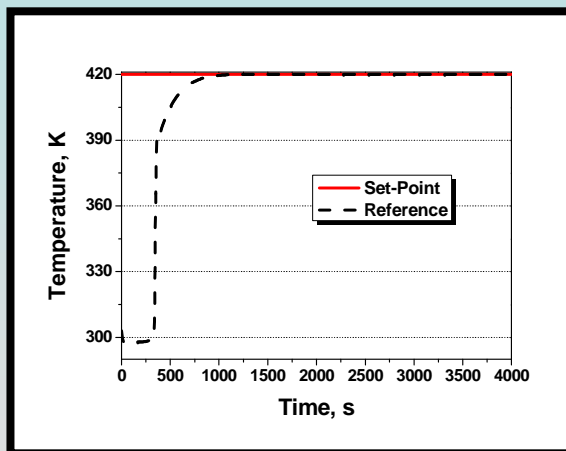


Ελεγκτής TC 03

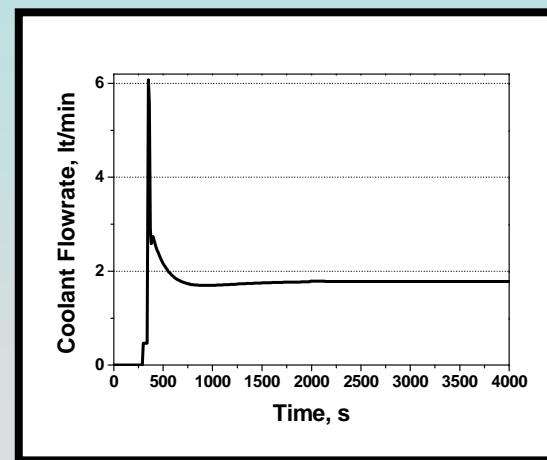


Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (ελεγχόμενη μεταβλητή)

Παροχή νερού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 04



Θερμοκρασία λειτουργίας στην κυψέλη καυσίμου (ελεγχόμενη μεταβλητή)

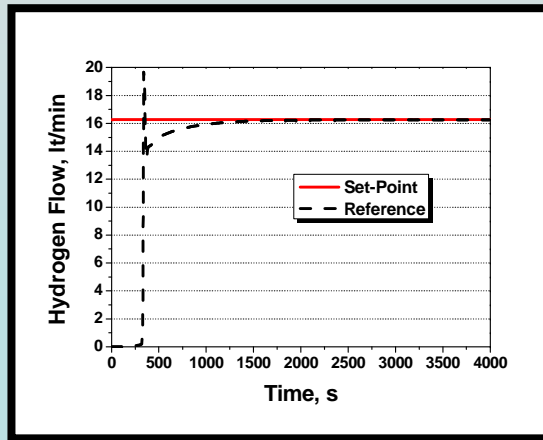
Παροχή αέρα στην κυψέλη καυσίμου (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



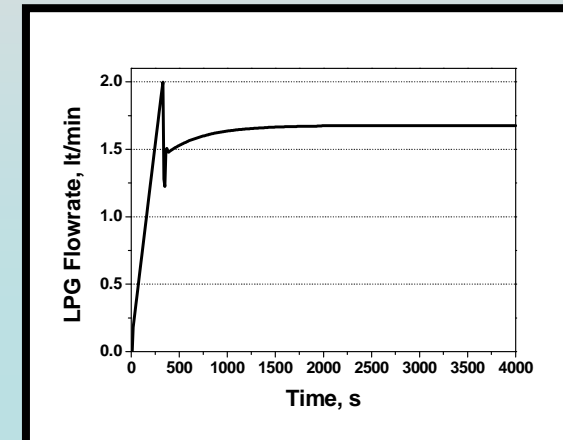
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σενάριο 1: Τήρηση σημάτων αναφοράς

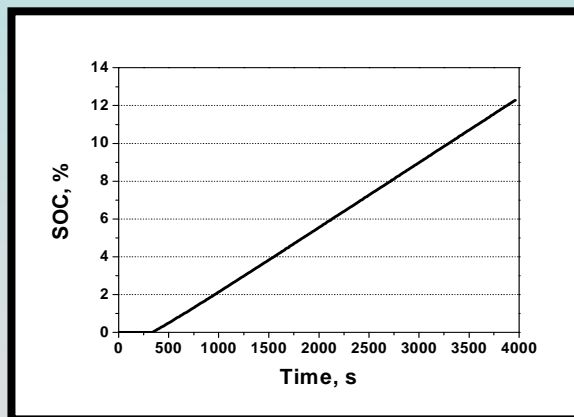


Ελεγκτής FC 01

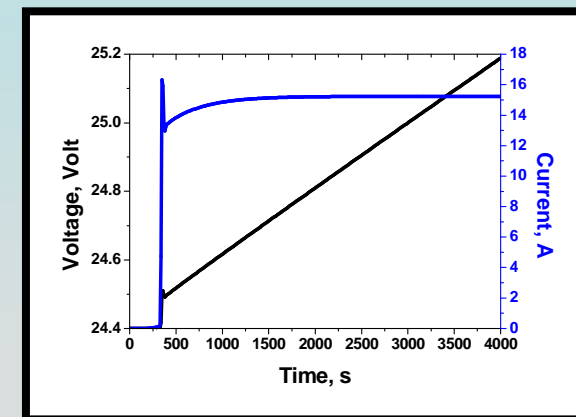


Ροή υδρογόνου στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS (ελεγχόμενη μεταβλητή)

Τροφοδοσία LPG στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Αξιοποίηση Ενέργειας



Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή (SOC)

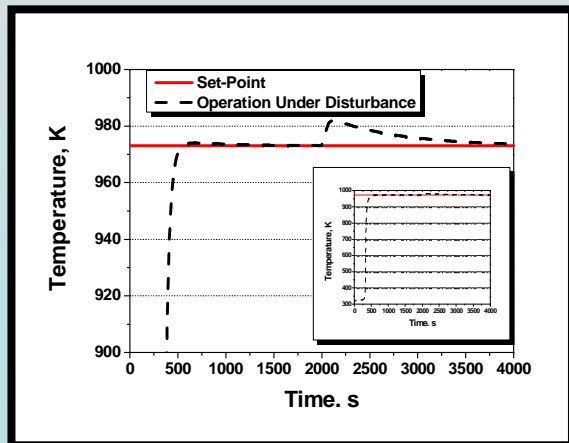
Τάση και ένταση ρεύματος συσσωρευτή



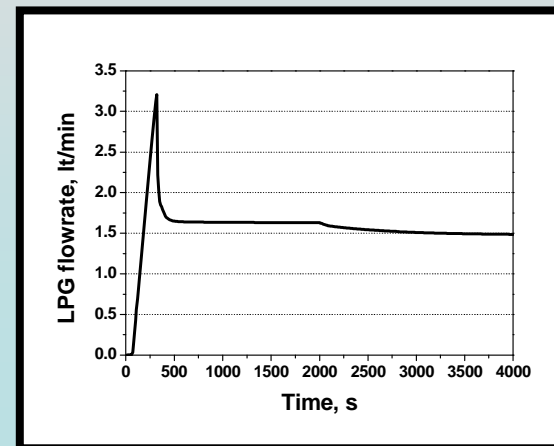
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



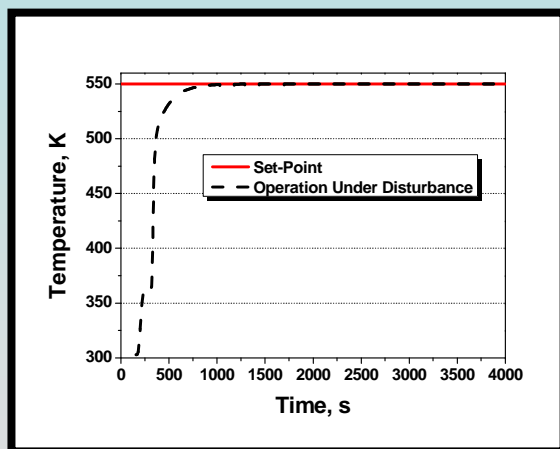
Σενάριο 2: Επιβολή αυθαίρετων διαταραχών στο σύστημα



Ελεγκτής TC 01

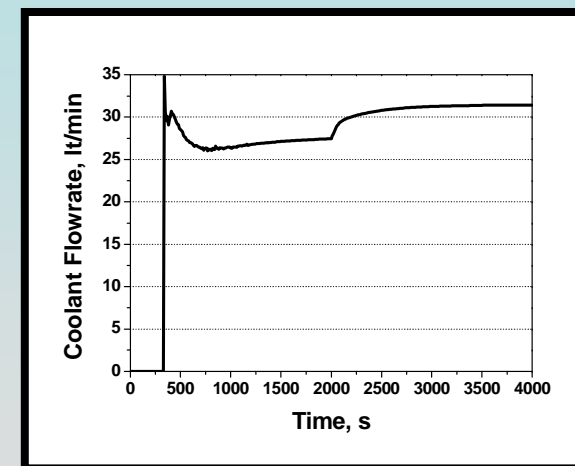


Τροφοδοσία LPG στον καυστήρα (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



20% Πτώση καταλυτικής δράσης για $t=2000s$.

Ελεγκτής TC 02



Παροχή αέρα στον εναλλάκτη E3 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)

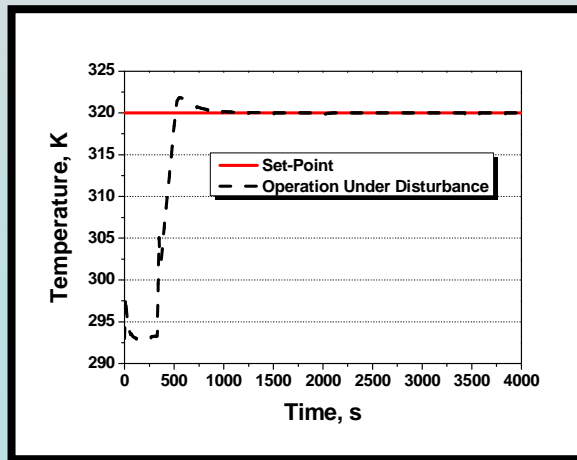
Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη E3 (ελεγχόμενη μεταβλητή)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

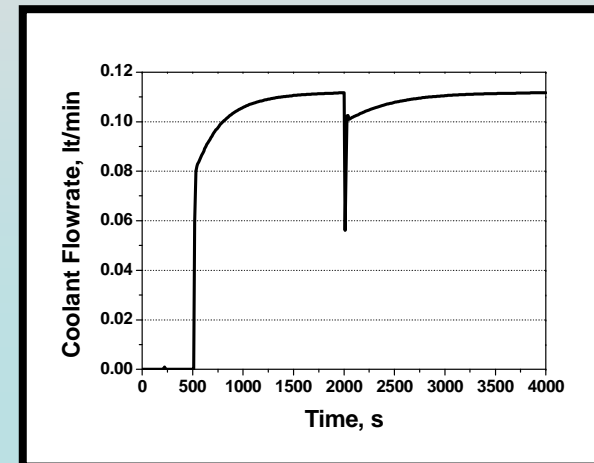


Σενάριο 2: Επιβολή αυθαίρετων διαταραχών στο σύστημα

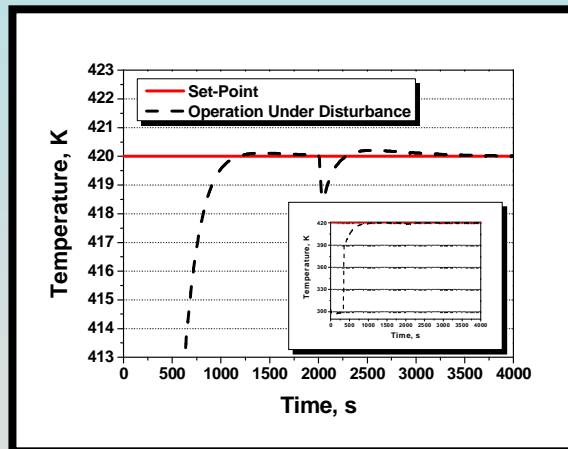


Ελεγκτής TC 03

Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (ελεγχόμενη μεταβλητή)

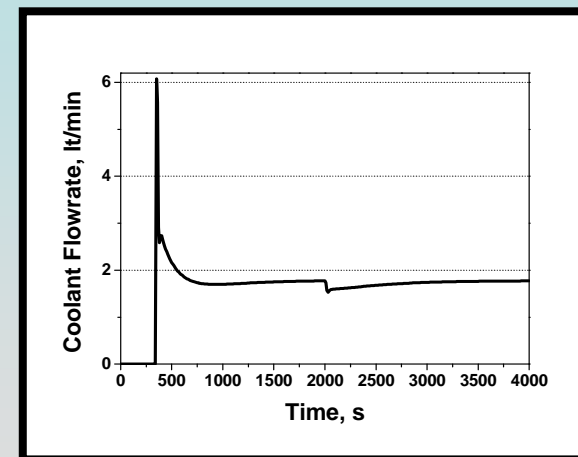


Παροχή νερού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 04

Θερμοκρασία λειτουργίας στην κυψέλη καυσίμου (ελεγχόμενη μεταβλητή)



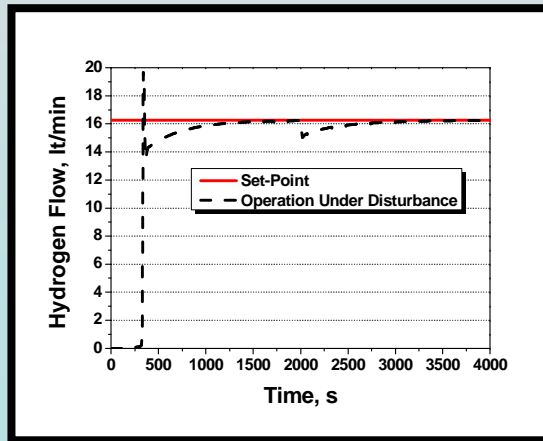
Παροχή αέρα στην κυψέλη καυσίμου (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



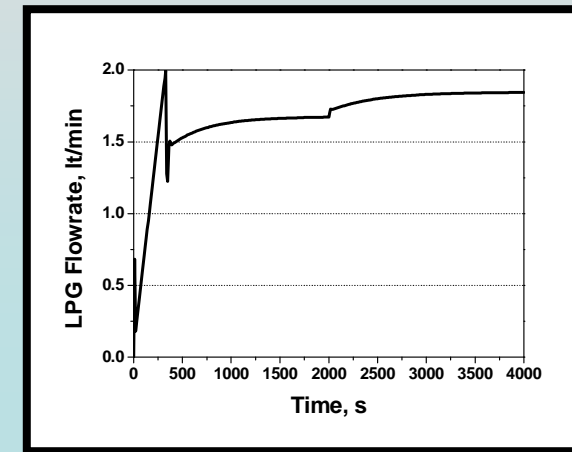
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σενάριο 2: Επιβολή αυθαίρετων διαταραχών στο σύστημα

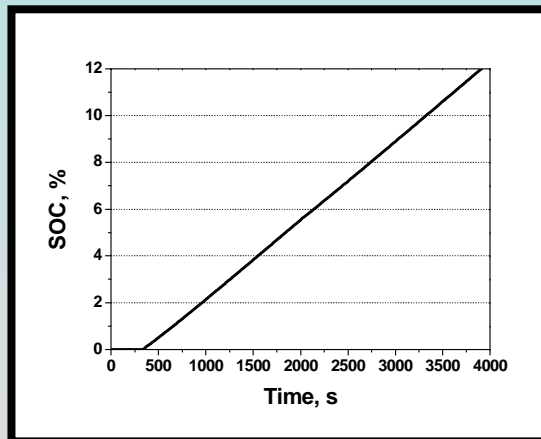


Ελεγκτής FC 01

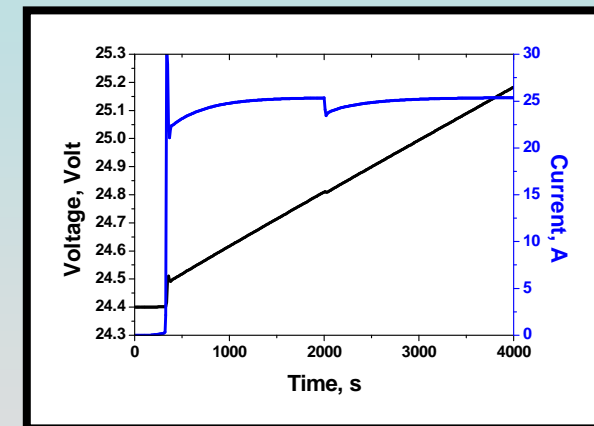


Ροή υδρογόνου στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS (ελεγχόμενη μεταβλητή)

Τροφοδοσία LPG στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Αξιοποίηση Ενέργειας



Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή (SOC)

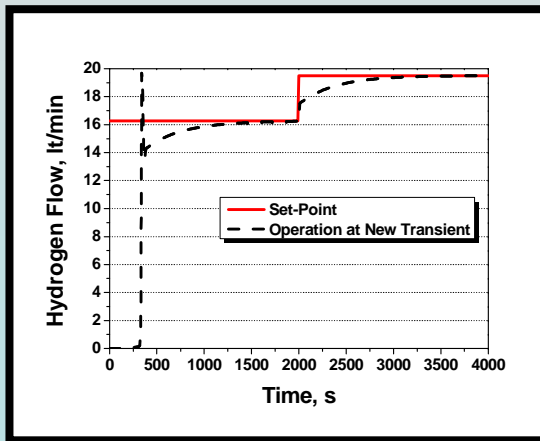
Τάση και ένταση ρεύματος συσσωρευτή



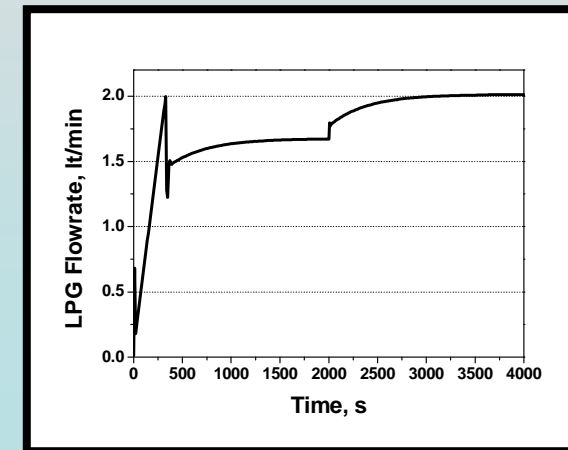
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σενάριο 3: Μετάβαση σε νέα δυναμική κατάσταση

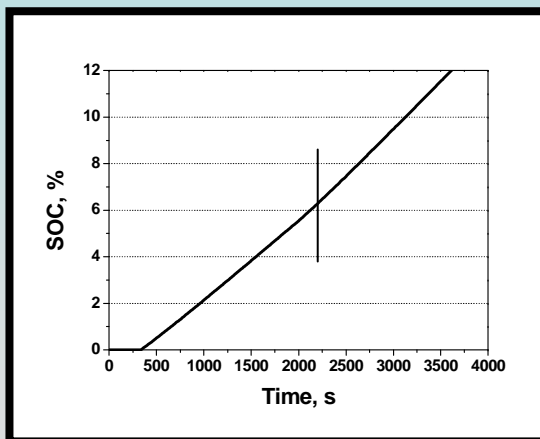


Ελεγκτής FC 01



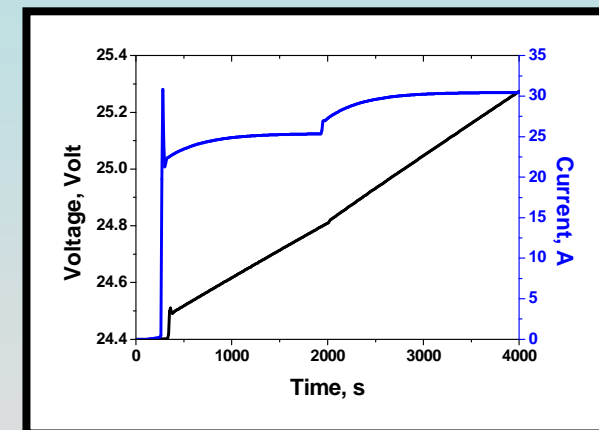
Ροή υδρογόνου στην έξοδο του αντιδραστήρα HTS (ελεγχόμενη μεταβλητή)

Τροφοδοσία LPG στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



20% Αύξηση απαίτησης ενέργειας για $t=2000s$.

Αξιοποίηση Ενέργειας



Κατάσταση φόρτισης συσσωρευτή (SOC)

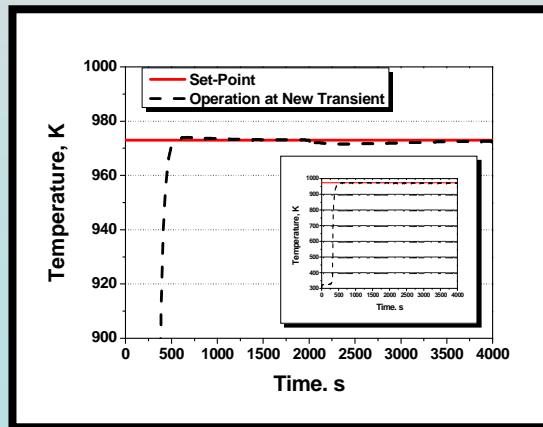
Τάση και ένταση ρεύματος συσσωρευτή



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

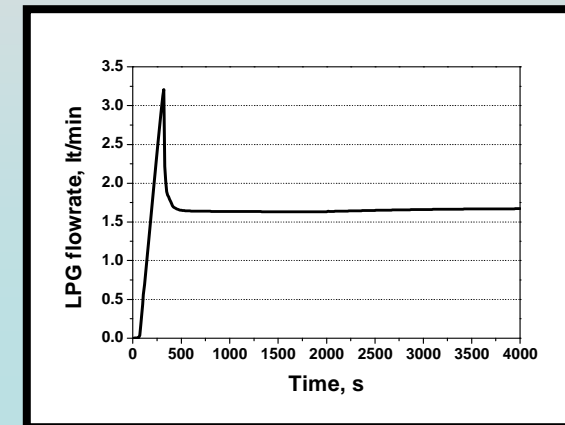


Σενάριο 3: Μετάβαση σε νέα δυναμική κατάσταση

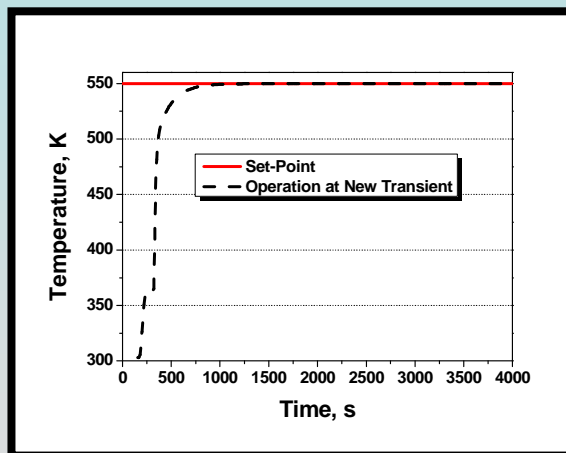


Ελεγκτής TC 01

Θερμοκρασία λειτουργίας στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης (ελεγχόμενη μεταβλητή)

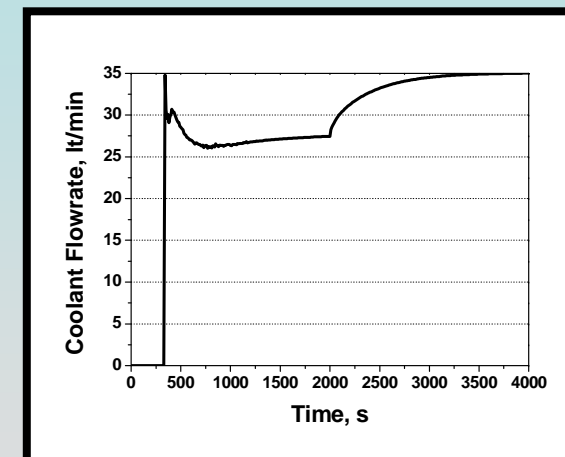


Τροφοδοσία LPG στον καυστήρα (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 02

Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη E3 (ελεγχόμενη μεταβλητή)



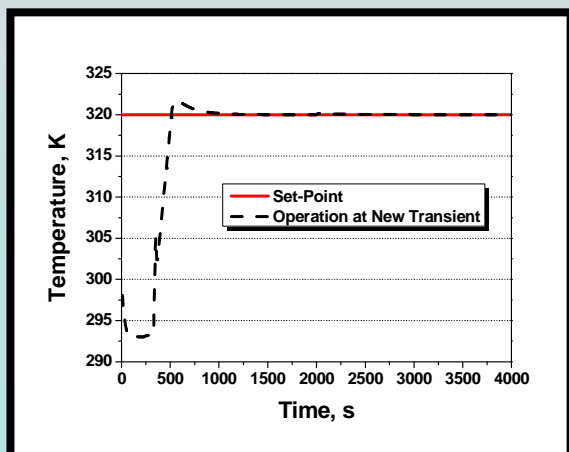
Παροχή αέρα στον εναλλάκτη E3 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



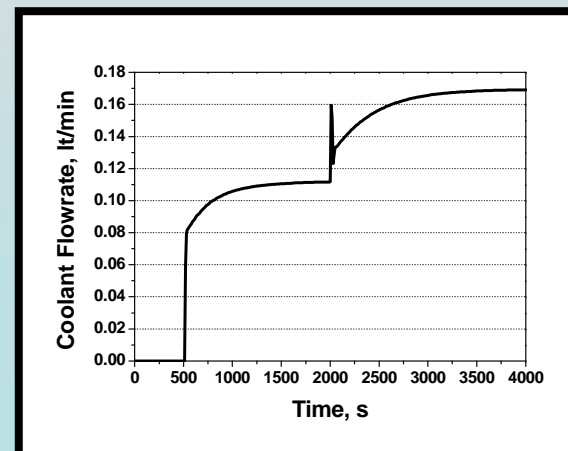
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ



Σενάριο 3: Μετάβαση σε νέα δυναμική κατάσταση

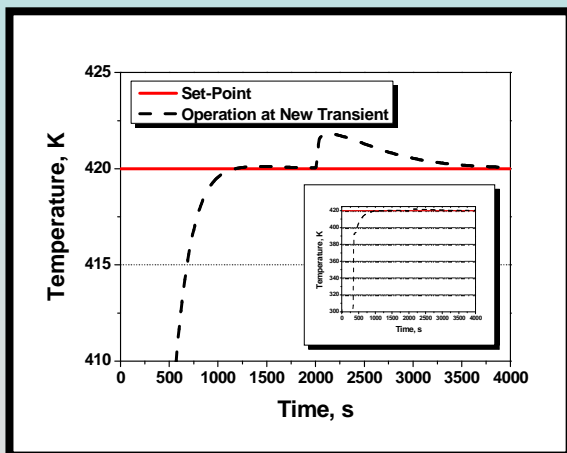


Ελεγκτής TC 03

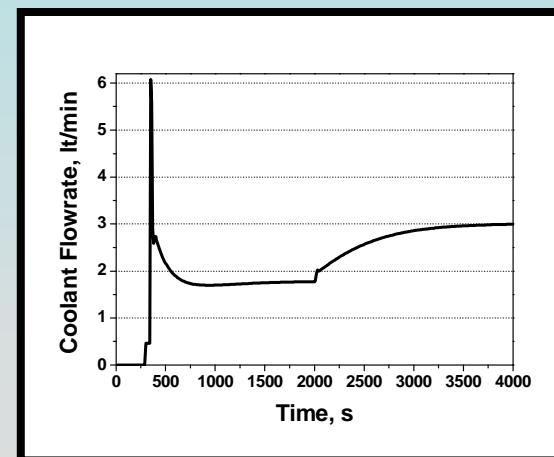


Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (ελεγχόμενη μεταβλητή)

Παροχή νερού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 04



Θερμοκρασία λειτουργίας στην κυψέλη καυσίμου (ελεγχόμενη μεταβλητή)

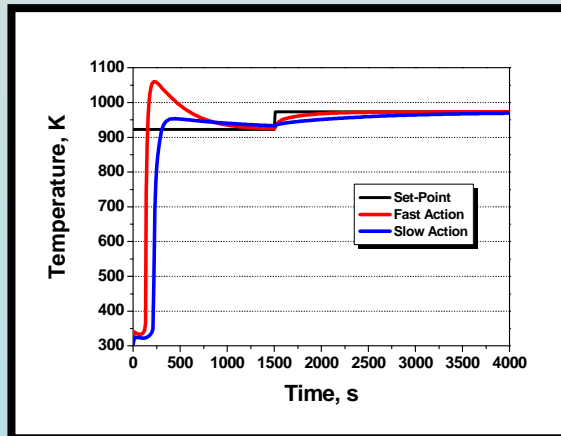
Παροχή αέρα στην κυψέλη καυσίμου (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

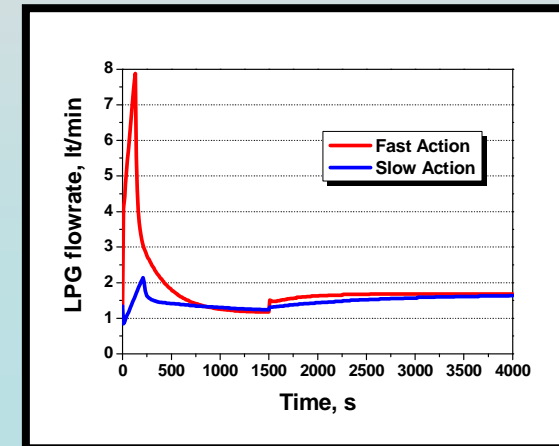


Σενάριο 4: Μελέτη αργών/γρήγορων δυναμικών δράσεων (controller scheduling)

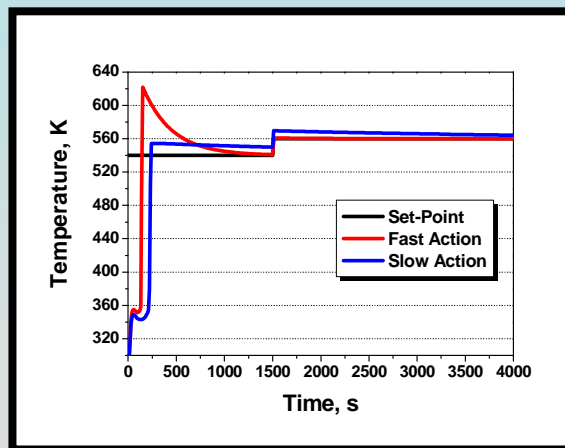


Ελεγκτής TC 01

Θερμοκρασία λειτουργίας στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης (ελεγχόμενη μεταβλητή)



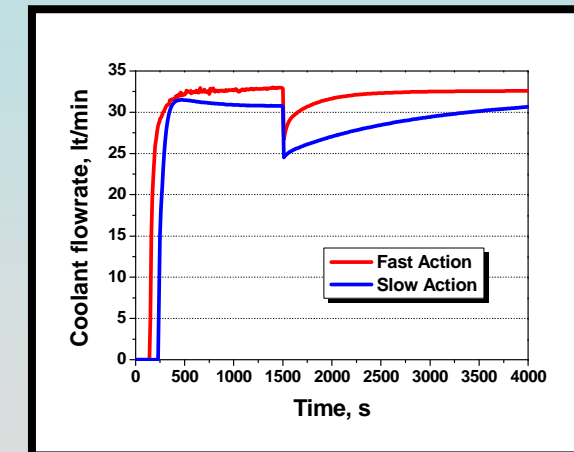
Τροφοδοσία LPG στον καυστήρα (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Μόνο για PI Έλεγχο

Ελεγκτής TC 02

Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη E3 (ελεγχόμενη μεταβλητή)



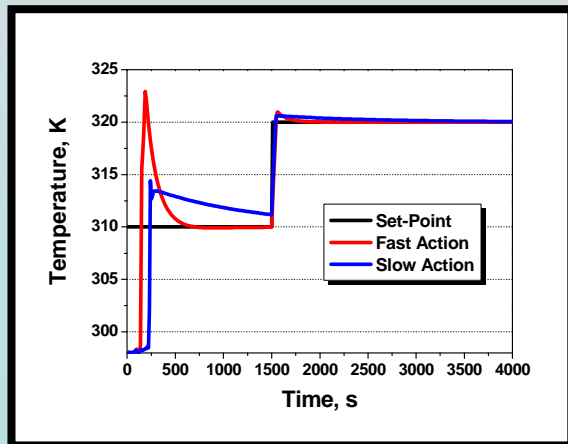
Παροχή αέρα στον εναλλάκτη E3 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

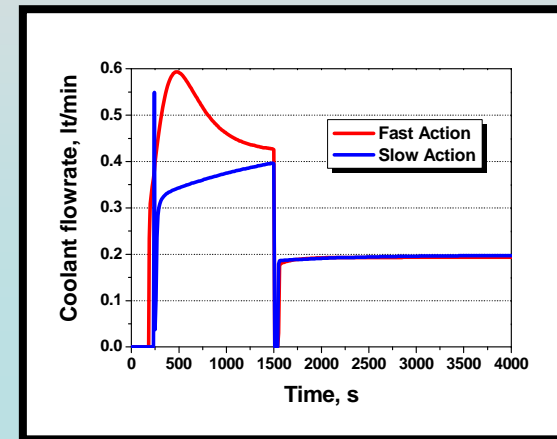


Σενάριο 4: Μελέτη αργών/γρήγορων δυναμικών δράσεων (controller scheduling)

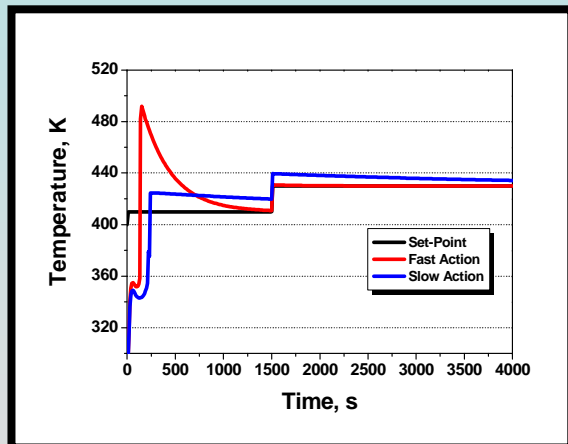


Ελεγκτής TC 03

Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (ελεγχόμενη μεταβλητή)

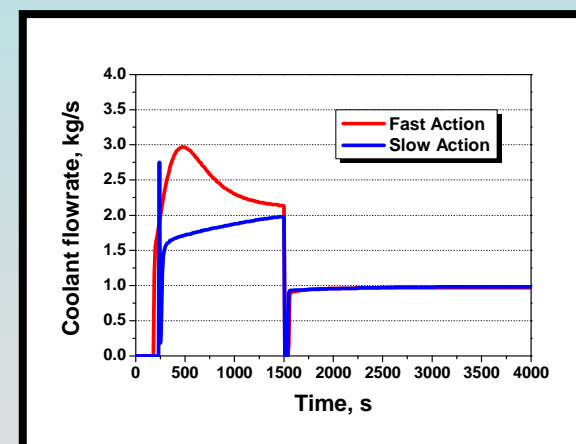


Παροχή νερού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 04

Θερμοκρασία λειτουργίας στην κυψέλη καυσίμου (ελεγχόμενη μεταβλητή)



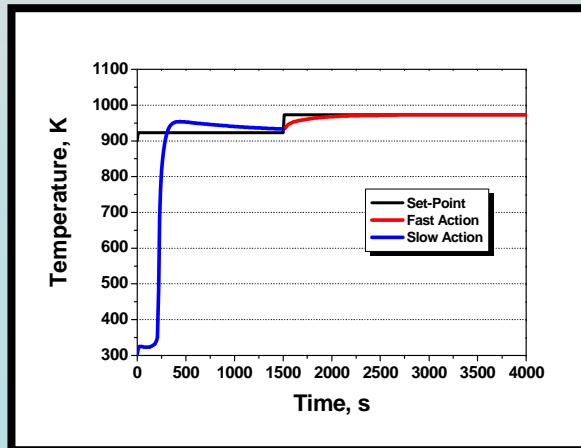
Παροχή αέρα στην κυψέλη καυσίμου (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

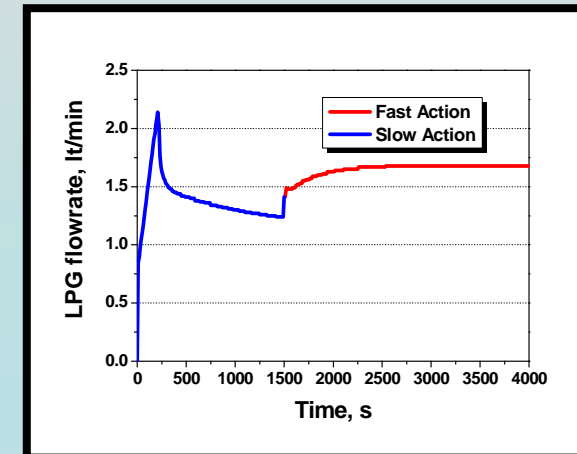


Σενάριο 4: Μελέτη αργών/γρήγορων δυναμικών δράσεων (controller scheduling)

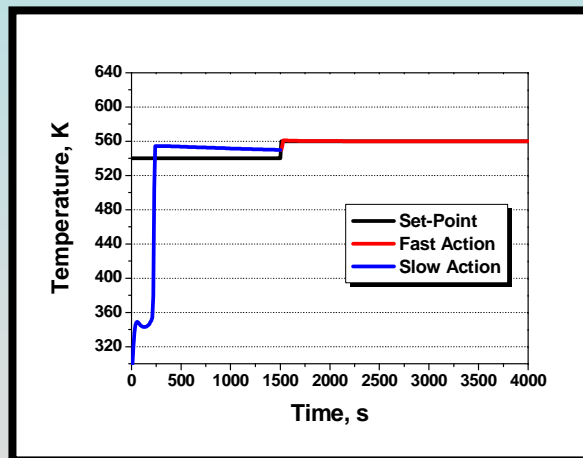


Ελεγκτής TC 01

Θερμοκρασία λειτουργίας στον αντιδραστήρα αναμόρφωσης (ελεγχόμενη μεταβλητή)

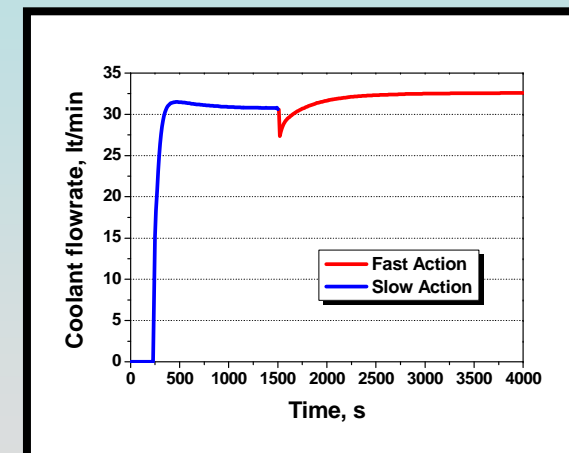


Τροφοδοσία LPG στον καυστήρα (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 02

Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη E3 (ελεγχόμενη μεταβλητή)



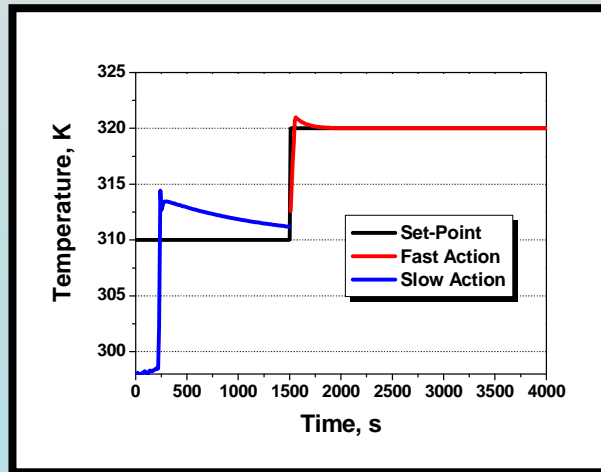
Παροχή αέρα στον εναλλάκτη E3 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

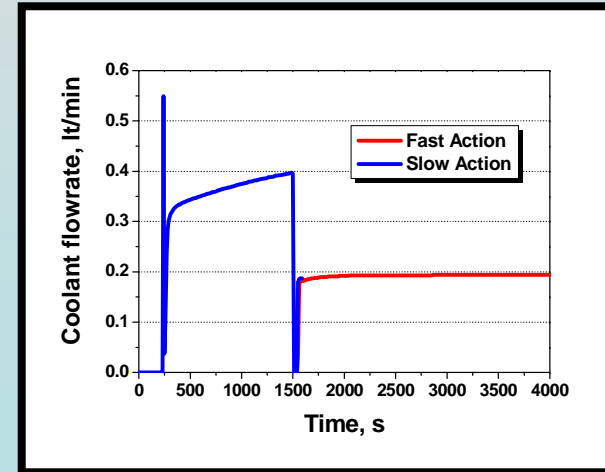


Σενάριο 4: Μελέτη αργών/γρήγορων δυναμικών δράσεων (controller scheduling)

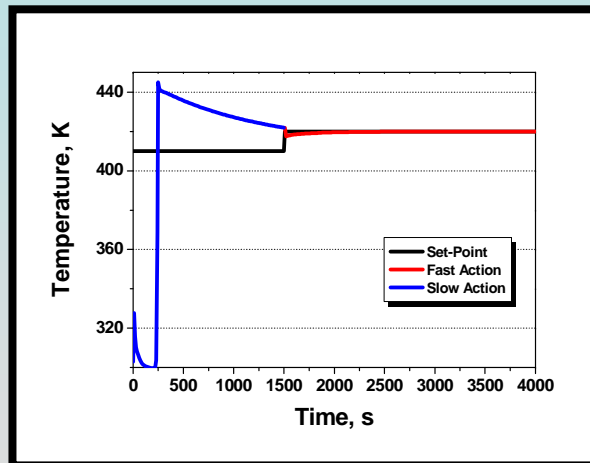


Ελεγκτής TC 03

Θερμοκρασία εξόδου ρευστού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (ελεγχόμενη μεταβλητή)

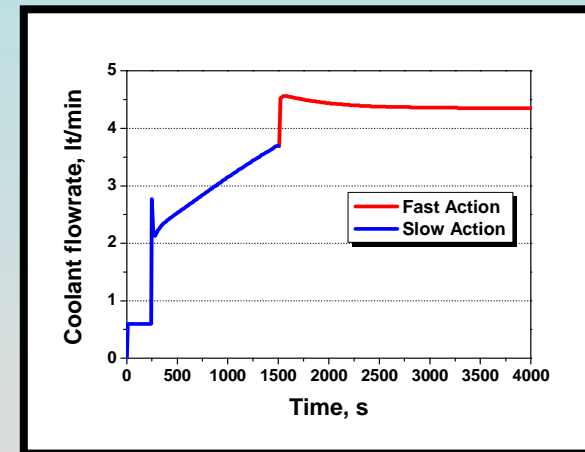


Παροχή νερού στον εναλλάκτη-συμπυκνωτή E4 (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



Ελεγκτής TC 04

Θερμοκρασία λειτουργίας στην κυψέλη καυσίμου (ελεγχόμενη μεταβλητή)



Παροχή αέρα στην κυψέλη καυσίμου (χειραγωγούμενη μεταβλητή)



ΣΥΝΟΨΗ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ (1)



- ✓ Η μαθηματική μοντελοποίηση προχώρησε με γνώμονα την προσομοίωση βασικών χαρακτηριστικών του συστήματος και την χαμηλή υπολογιστική δυσκολία.
- ✓ Η ανάλυση προσομοιώσεων ανοικτού βρόχου κατέδειξε τα βασικά σημεία ελέγχου, καθώς και την επίδραση βασικών μεταβλητών στην λειτουργία του συστήματος.
- ✓ Σύμφωνα με τις ημι-εμπειρικές τεχνικές Ziegler-Nichols και Tyreus-Luyben προχώρησε ο ανεξάρτητος συντονισμός (tuning) παραμέτρων ελεγκτή.
- ✓ Η βέλτιστη επιλογή τύπου ελεγκτή ολοκληρώθηκε με χρήση του κριτηρίου ISE για μία προσομοιωμένη πραγματική λειτουργία του συστήματος.



ΣΥΝΟΨΗ – ΕΠΙΛΟΓΟΣ (2)



- ✓ Η αξιολόγηση του κατανεμημένου συστήματος ελέγχου περιελάμβανε:
 - Παρακολούθηση σήματος αναφοράς
 - Απόσβεση διαταραχών
 - Μελέτη νέων δυναμικών καταστάσεων

- ✓ Στα σενάρια προσομοιώσεων κλειστού βρόχου το κατανεμημένο σύστημα χαρακτηρίστηκε άριστα από:
 - Εμφάνιση μηδενικού σφάλματος
 - Αμελητέων υπερβάσεων
 - Γρήγορων αποκρίσεων στις εντολές ελέγχου.

- ✓ Στην ανεξάρτητη μελέτη αργών/γρήγορων δράσεων προέκυψε η δυνατότητα συνδυασμένης δράσης με στόχο καλύτερα αποτελέσματα (προκαθορισμένη λειτουργία και δυναμικές αλλαγές).



ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ



- Σύγκριση αποτελεσμάτων προσομοίωσης με πειραματικά δεδομένα (π.χ. προφίλ χρήσης οχήματος) και βελτίωση του μοντέλου.
- Ανάπτυξη γραμμικού και μη-γραμμικού προηγμένου συστήματος ελέγχου (προβλεπτικός έλεγχος, οικονομία συστήματος κτλ).
- Γραμμική ανάλυση που θα συμπεριλαμβάνει:
 - *Γραμμικοποίηση μοντέλων και ελεγκτή*
 - *Χρήση συναρτήσεων μεταφοράς*
 - *Ανάλυση διαγραμμάτων Bode και Nyquist*
 - *Ανάλυση γεωμετρικού τόπου πόλων/μηδενικών.*
- Μελέτη και ανάπτυξη προσαρμοστικού ελέγχου (αβεβαιότητα κινητικών παραμέτρων καταλύτη).
- Εφαρμογή και υλοποίηση της θεωρητικής μελέτης σε ενσωματωμένα συστήματα (embedded systems).
- Αξιοποίηση άλλων καυσίμων (π.χ. βιομάζα, αιθανόλη) ως τροφοδοσία.



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ



- **Αν.Καθηγήτῆ Ν. Καραμπετᾶκη, Τμῆμα Μαθηματικῶν, Α.Π.Θ.**
- **Ερευνητῆ Α' Σ. Βουτετᾶκη, Ι.Δ.Ε.Π./Ε.Κ.Ε.Τ.Α.**
- **Καθηγήτῆ Π. Τζιῶνα, Τμῆμα Αυτοματισμοῦ, Α.Τ.Ε.Ι.Θ.**
- **Επιστημονικό Συνεργάτη, Σ. Μαστρογεωργόπουλο, Τμῆμα Χημικῶν Μηχανικῶν, Α.Π.Θ.**
- **Εργαστῆριο Ανάπτυξης Ολοκληρωμένων Συστημάτων & Διεργασιῶν (Καθ. Σ. Παπαδοπούλου, Αν. Καθ. Π. Σεφερλής)**