



Αυτόματος Έλεγχος

Ενότητα 1^η: Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο

Παναγιώτης Σεφερλής



Εργαστήριο Δυναμικής Μηχανών
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Εισαγωγή στον αυτόματο έλεγχο

Στόχοι του κεφαλαίου

- Κατανόηση του προβλήματος ελέγχου σε μηχανολογικά, ηλεκτρολογικά και παραγωγικά συστήματα.
- Κατανόηση της έννοιας της ανάδρασης στον αυτόματο έλεγχο.
- Αναγνώριση των στοιχείων ενός βρόχου ανάδρασης.
- Εφαρμογές ελέγχου ανάδρασης σε μηχανολογικές, ηλεκτρολογικές και παραγωγικές διεργασίες και διατάξεις.



Εισαγωγή στον αυτόματο έλεγχο

Περίληψη του κεφαλαίου

- Γιατί χρειάζονται οι γνώσεις του αυτομάτου ελέγχου και γιατί τώρα;
- Βασικές ερωτήσεις για τον αυτόματο έλεγχο.
 - Τι κάνει ένα σύστημα ανάδρασης;
 - Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;
 - Γιατί είναι εφικτός ο έλεγχος;
 - Πώς επιτυγχάνεται ο έλεγχος;
- Παραδείγματα ελέγχου ανάδρασης.



Γιατί χρειάζονται οι γνώσεις του αυτόματου ελέγχου;

- Πώς διατηρούνται σταθερές οι συνθήκες κατά την εκπόνηση ενός πειράματος;
- Πώς παράγονται προϊόντα με υψηλή ποιότητα διαρκώς παρότι οι ιδιότητες των πρώτων υλών μεταβάλλονται;
- Πώς εξασφαλίζεται η επίτευξη των προδιαγραφών μιας κατεργασίας υλικού για μεγάλο χρονικό διάστημα και ανεξάρτητα της μεταβλητότητας των ιδιοτήτων των επεξεργαζόμενων υλικών;
- Πόσος χρόνος είναι διαθέσιμος για να ανταποκριθεί κάποιος/α σε μια επικίνδυνη κατάσταση;

Κάθε μηχανικός χρειάζεται τις βασικές γνώσεις του αυτόματου ελέγχου.



Ο αυτόματος έλεγχος ως επιστήμη

Nils Gustaf Dalén (Σουηδία)

Το βραβείο Nobel του 1912 στη Φυσική απονεμήθηκε στον Σουηδό Gustaf Dalén *"for his invention of automatic regulators for use in conjunction with gas accumulators for illuminating lighthouses and buoys"*.

http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1912/



Γιατί είναι η κατάλληλη στιγμή;

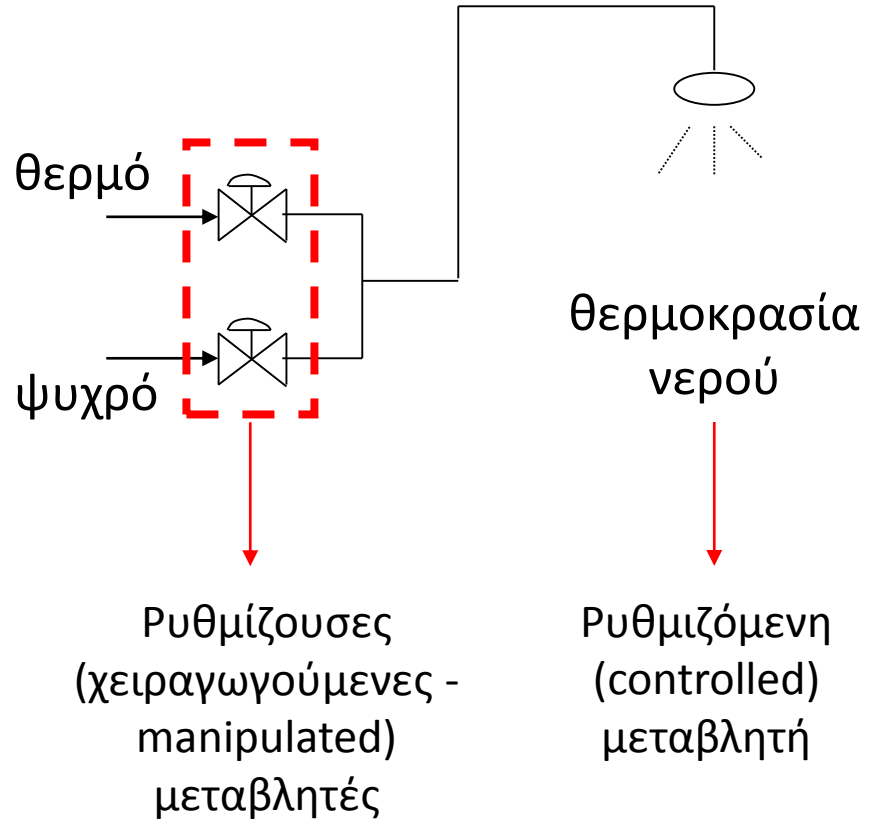
- Αποκτήθηκε η στοιχειώδης γνώση των φυσικών (κίνηση ρευστών και στερεών, μεταφορά θερμότητας, θερμοδυναμική), μηχανικών (εξισώσεις κίνησης) και ηλεκτρολογικών συστημάτων (νόμοι Kirchhoff).
- Μελετήθηκε η απόκριση συστημάτων (εναλλάκτες θερμότητας, δοχεία πίεσης, αναρτήσεις, μηχανισμοί, ηλεκτρικά κυκλώματα και κινητήρες) σε μόνιμες και δυναμικές συνθήκες.
- **Επομένως, τώρα υπάρχουν παραδείγματα που χρειάζονται έλεγχο!**
- Απαιτείται η πλήρης κατανόηση του φυσικού προβλήματος προτού αρχίσει ο σχεδιασμός ενός συστήματος ελέγχου!



Πώς λειτουργεί η ανάδραση;

Παράδειγμα: Ανάμειξη ζεστού-κρύου νερού.

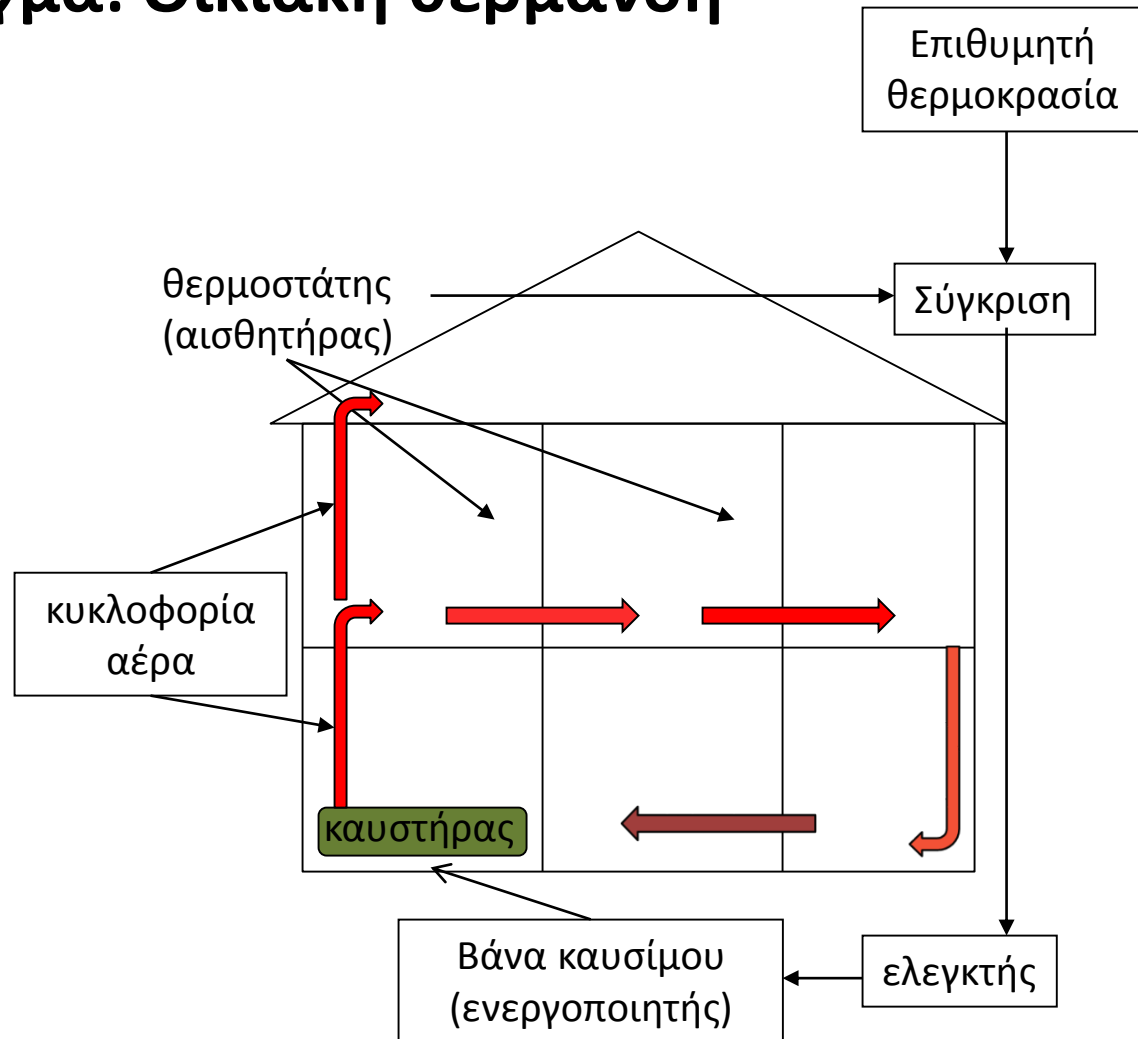
- Περιγράψτε τον τρόπο ρύθμισης της θερμοκρασίας του νερού.
- Περιγράψτε τη δυναμική συμπεριφοράς της θερμοκρασίας του λουτρού.
- Μπορείτε να ρυθμίσετε τη θερμοκρασία του νερού χωρίς να την αισθανθείτε;
- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά σχεδίασης του λουτρού;
- Μπορεί μια «καλή σχεδίαση» να απαλείψει την ανάγκη για ρύθμιση των παροχών ζεστού-κρύου νερού;



Πώς λειτουργεί η ανάδραση;

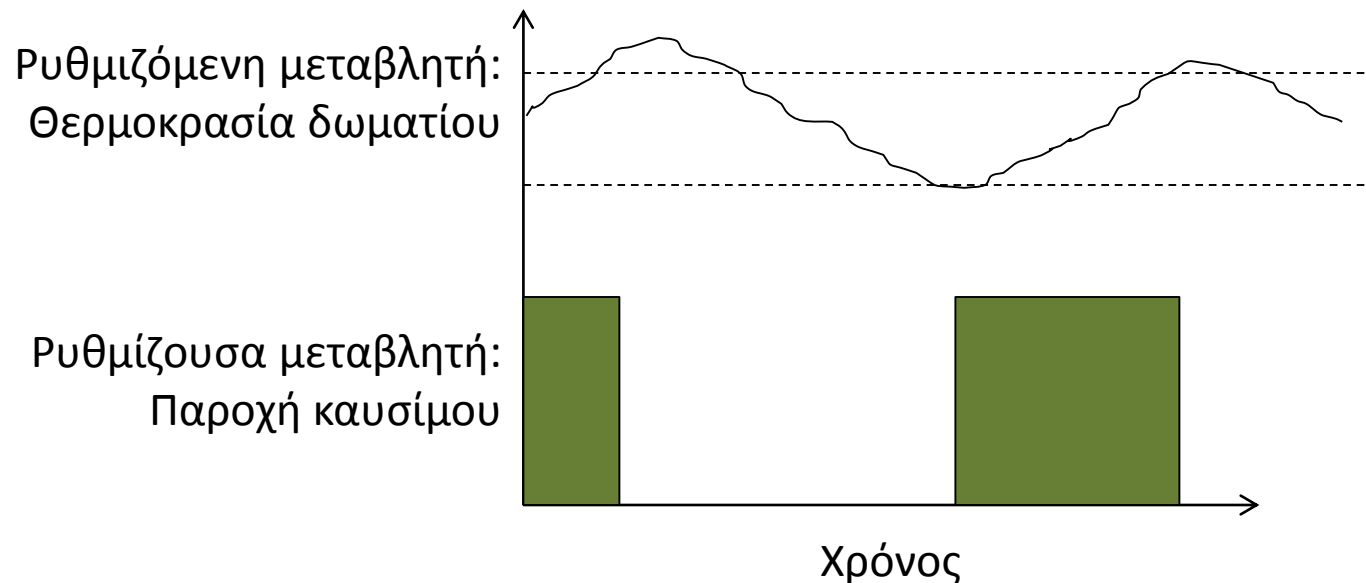
Παράδειγμα: Οικιακή θέρμανση

- Περιγράψτε πώς λειτουργεί η οικιακή θέρμανση.
- Περιγράψτε τη δυναμική συμπεριφορά της θερμοκρασίας.
- Τι πρέπει να προβλέψει ο σχεδιαστής της οικιακής θέρμανσης;
- Μπορεί μια «καλή σχεδίαση» να απαλείψει την ανάγκη για αλλαγές στη θέρμανση;



Πώς λειτουργεί η ανάδραση;

Γιατί η θερμοκρασία αυξάνεται μετά το κλείσιμο της παροχής του καυσίμου;



Είναι αυτή η δυναμική συμπεριφορά ικανοποιητική για τις ρυθμιζόμενες και ρυθμίζουσες μεταβλητές σε συστήματα υπό έλεγχο;



Πώς λειτουργεί η ανάδραση;

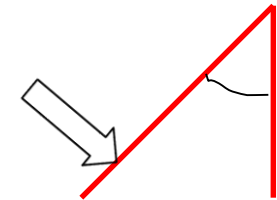
Παράδειγμα: Κίνηση αυτοκινήτου

- Περιγράψτε πώς λειτουργεί η απόκτηση επιθυμητής ταχύτητας στο αυτοκίνητο.
- Περιγράψτε τη δυναμική συμπεριφορά της ταχύτητας.
- Τι πρέπει να προβλέψει ο σχεδιαστής του αυτοκινήτου;
- Μπορεί μια «καλή σχεδίαση» να απαλείψει την ανάγκη για αλλαγές στο «γκάζι»;



Ρυθμιζόμενη
(controlled)
μεταβλητή

Γωνία πεντάλ
γκαζιού

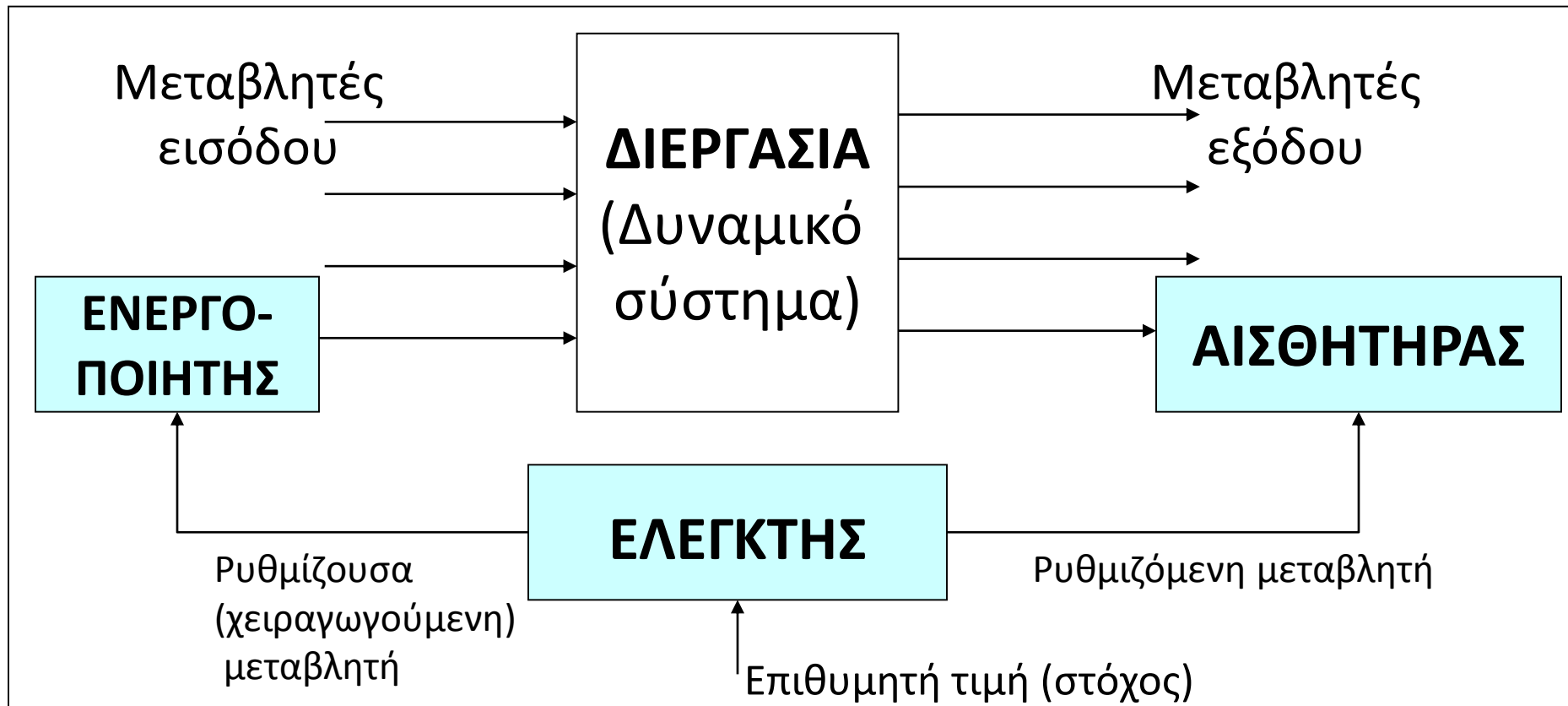


Ρυθμιζουσα
(χειραγωγούμενη -
manipulated)
μεταβλητή



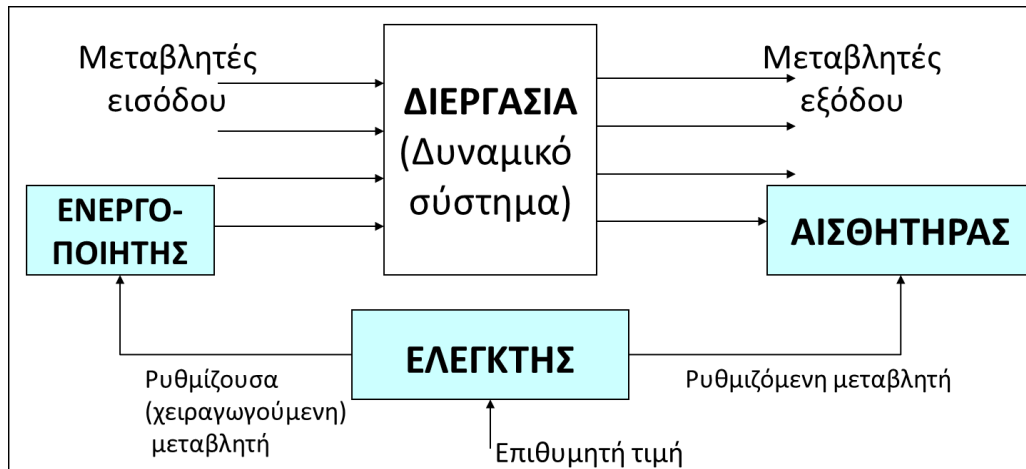
Πώς λειτουργεί η ανάδραση;

Ένα σύστημα ελέγχου ανάδρασης (feedback control system) έχει τρία βασικά στοιχεία.



Πώς λειτουργεί η ανάδραση;

Δώστε τυπικά παραδείγματα ενεργοποιητών σε μηχανολογικά συστήματα και συστήματα διεργασιών.

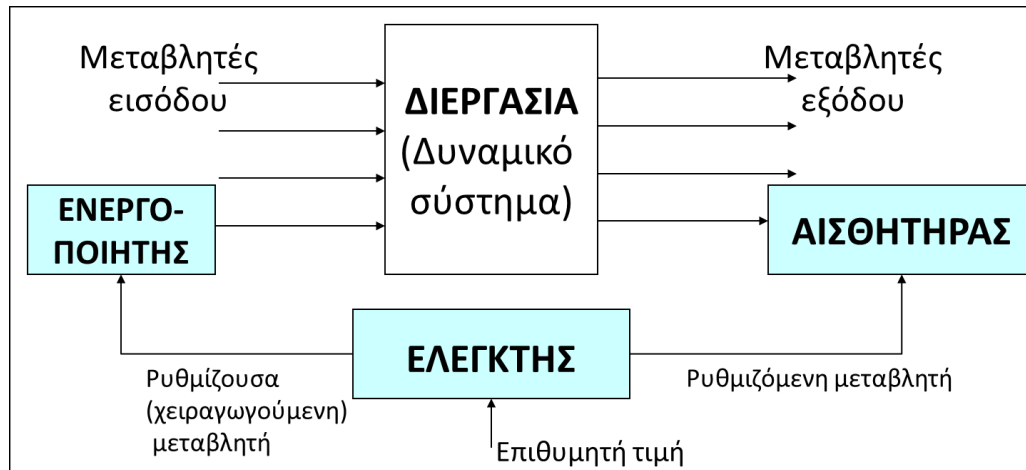


Ποια η σημασία της διεύθυνσης των σημάτων;

Πώς πιστεύεται ότι επιλέγεται η θέση των αισθητήρων;



Πώς λειτουργεί η ανάδραση;



ΕΛΕΓΧΩ : Διατηρώ τις επιθυμητές συνθήκες σε ένα φυσικό σύστημα με την ρύθμιση επιλεγμένων μεταβλητών του συστήματος.

Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΔΡΑΣΗΣ χρησιμοποιεί μια μεταβλητή εξόδου του συστήματος για να επηρεάσει μια μεταβλητή εισόδου στο ίδιο σύστημα.

είσοδος = αιτία \longrightarrow έξοδος = αποτέλεσμα
(αιτιατό)

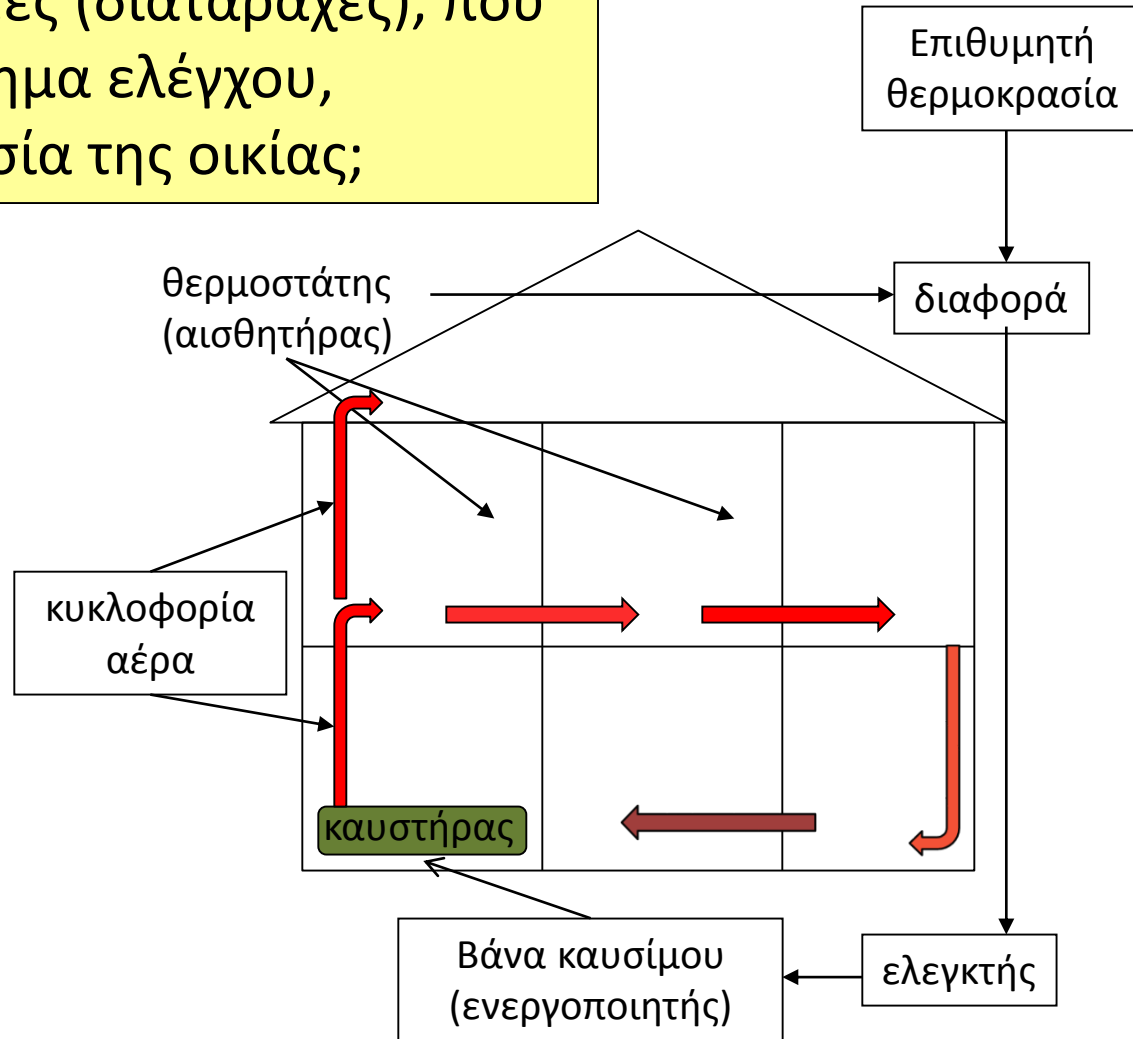
Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;

Ποιοι εξωγενείς παράγοντες (διαταραχές), που δε σχετίζονται με το σύστημα ελέγχου, επηρεάζουν τη θερμοκρασία της οικίας;

Εξωτερική θερμοκρασία –
Απώλειες θερμότητας.

Συμπεριφορά ενοίκων
(άνοιγμα παράθυρων) -
Απώλειες θερμότητας.

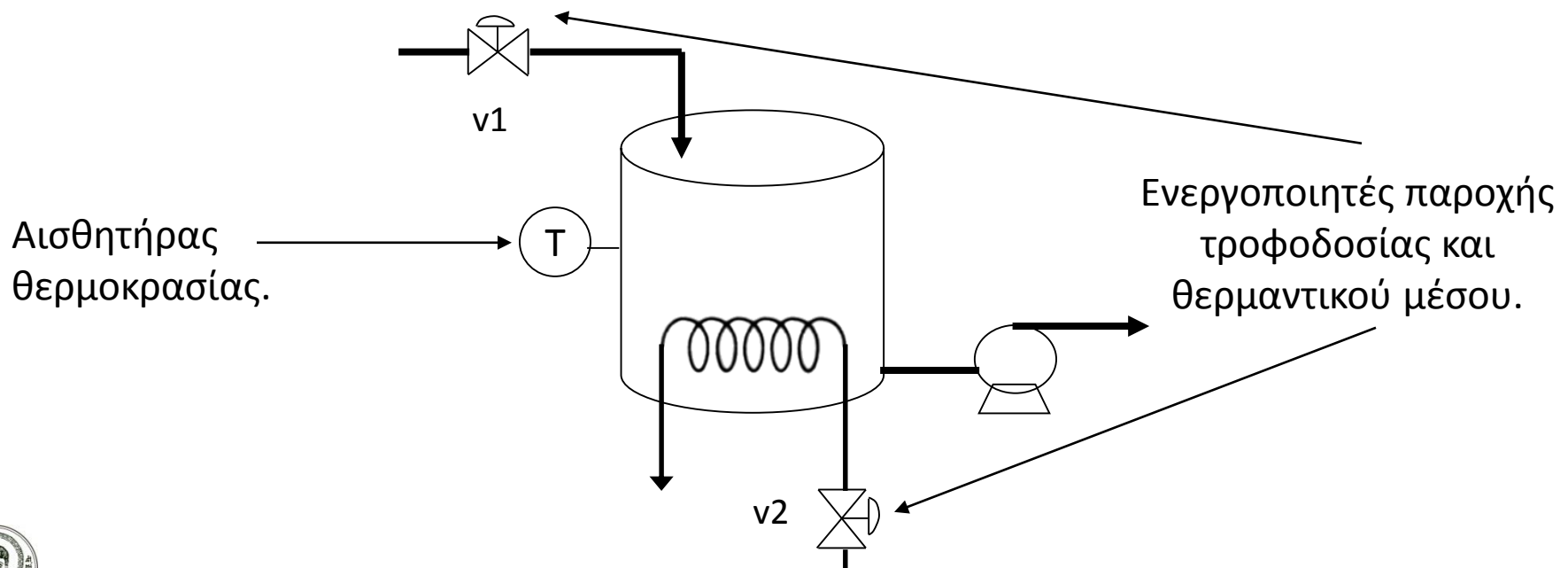
Απόδοση καυστήρα –
Μεταβολή εισαγόμενης
θερμότητας.



Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;

Ο ΜΟΝΟΣ ΛΟΓΟΣ ΠΟΥ ΧΡΕΙΑΖΟΜΑΣΤΕ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΕΙΝΑΙ Η ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ.

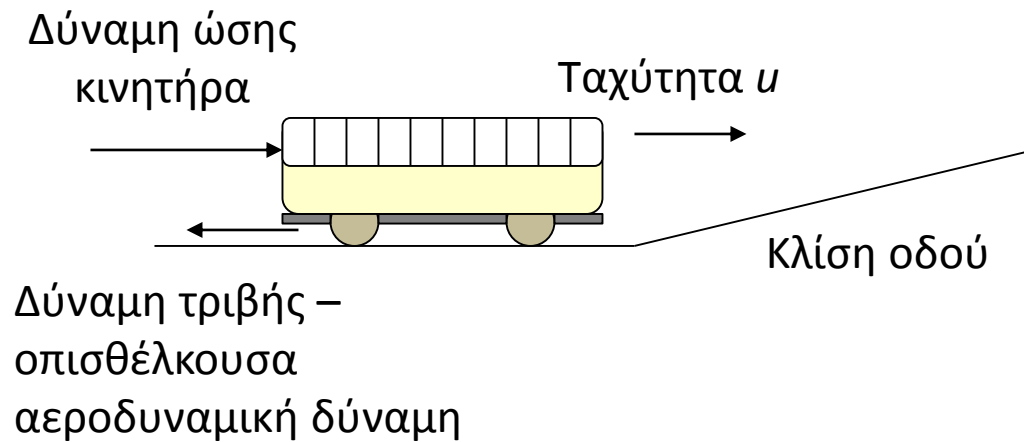
Δώστε μερικά παραδείγματα διαταραχών στο σύστημα θέρμανσης νερού.



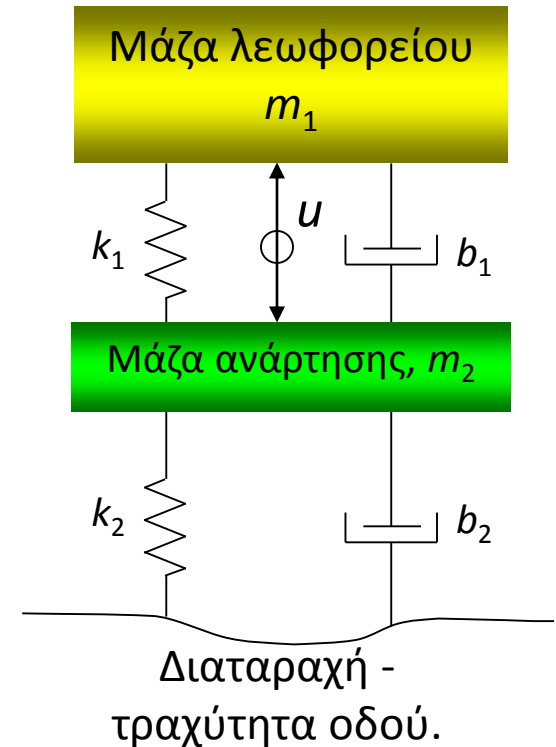
Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;

ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΔΙΑΤΑΡΑΧΩΝ.

Δώστε μερικά παραδείγματα διαταραχών στο σύστημα κίνησης και ανάρτησης οχήματος.

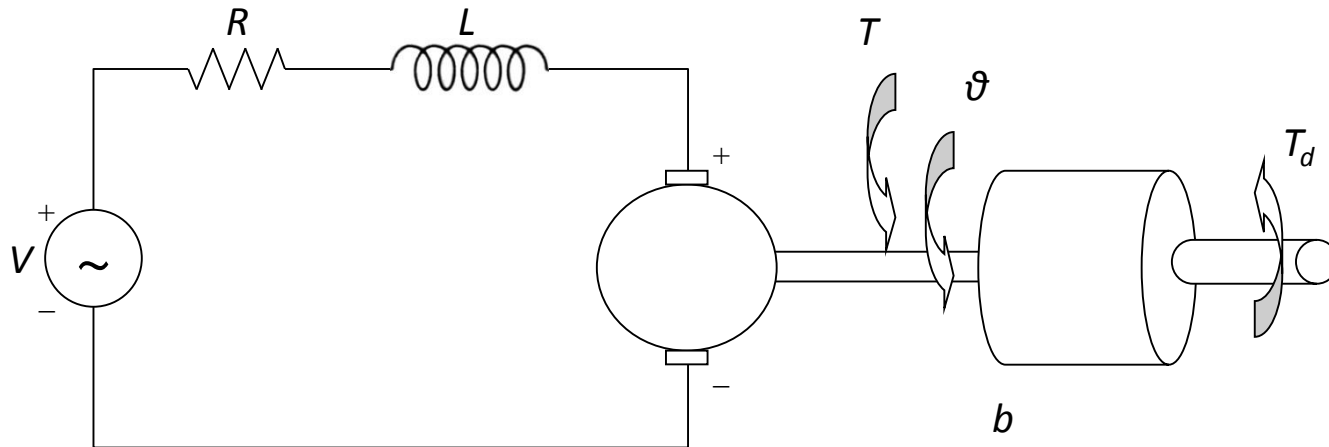


Ασάφεια ή αβεβαιότητα για το φυσικό σύστημα λογίζεται ως πηγή διαταραχών.



Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;

ΙΚΑΝΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.



T : Ροπή κινητήρα

T_d : Φορτίο κινητήρα - Διαταραχή

Η ταχύτητα περιστροφής και η θέση του κινητήρα (γωνία ϑ) συνεχούς ρεύματος μεταβάλλονται ανάλογα με την επιθυμητή μετακίνηση του φορτίου.



Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΑΣΤΑΘΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ.

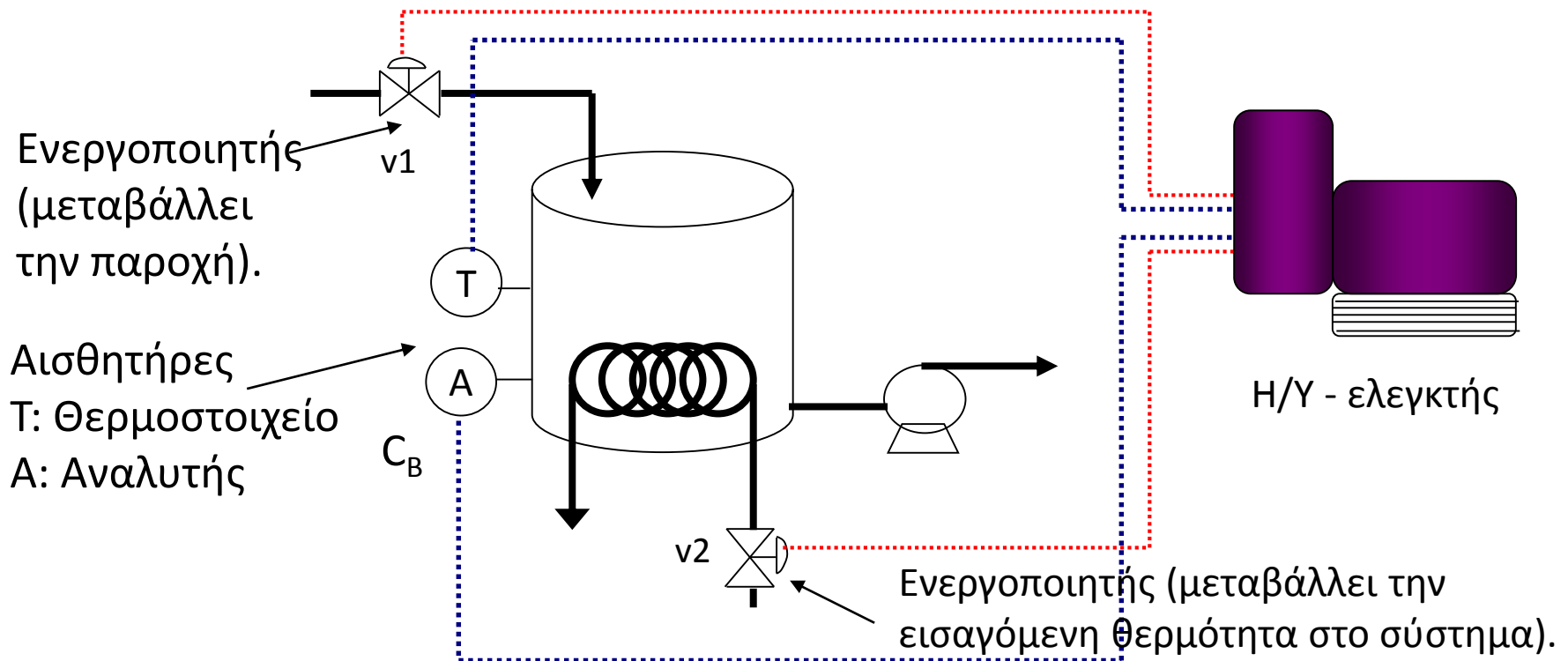
Παράδειγμα ασταθούς συστήματος: Ποδήλατο.



Γιατί είναι απαραίτητος ο έλεγχος;

Ο έλεγχος είναι εφικτός, επειδή ο μηχανικός μερίμνησε για την εγκατάσταση του κατάλληλου εξοπλισμού κατά το σχεδιασμό του συστήματος.

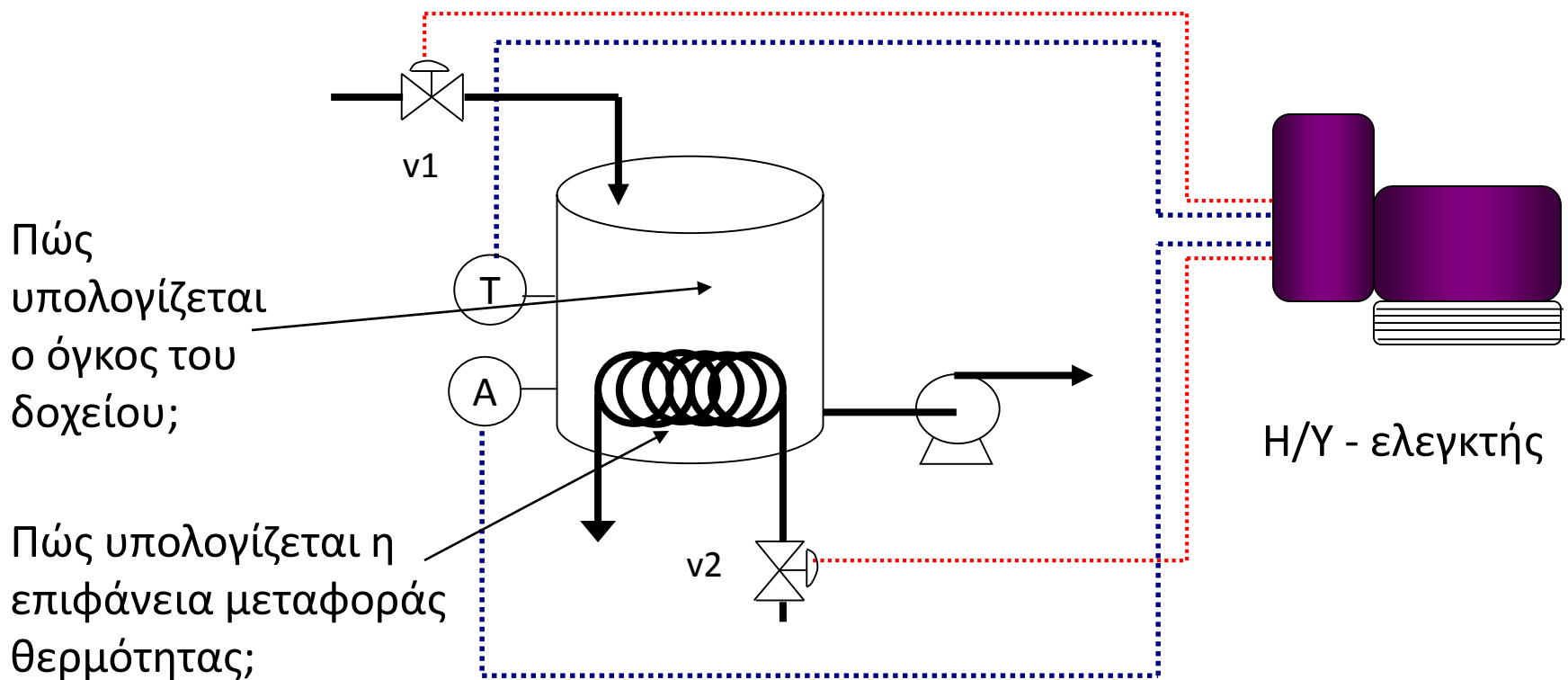
Εξοπλισμός ελέγχου



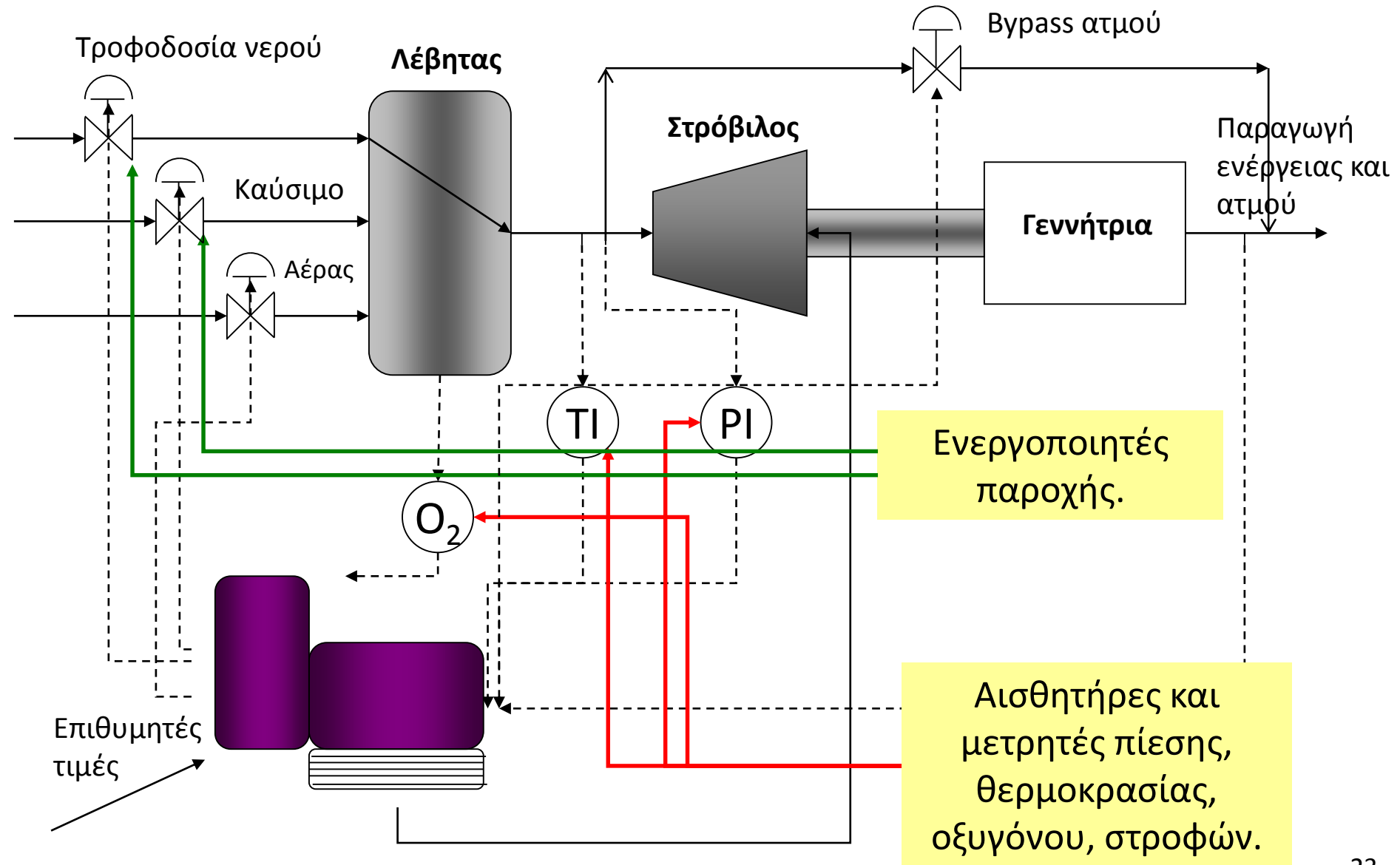
Γιατί είναι εφικτός ο έλεγχος;

Ο έλεγχος είναι εφικτός, επειδή ο μηχανικός μερίμνησε για την εγκατάσταση του κατάλληλου εξοπλισμού κατά το σχεδιασμό του συστήματος.

Εξοπλισμός διεργασίας



Πώς γίνεται ο έλεγχος;



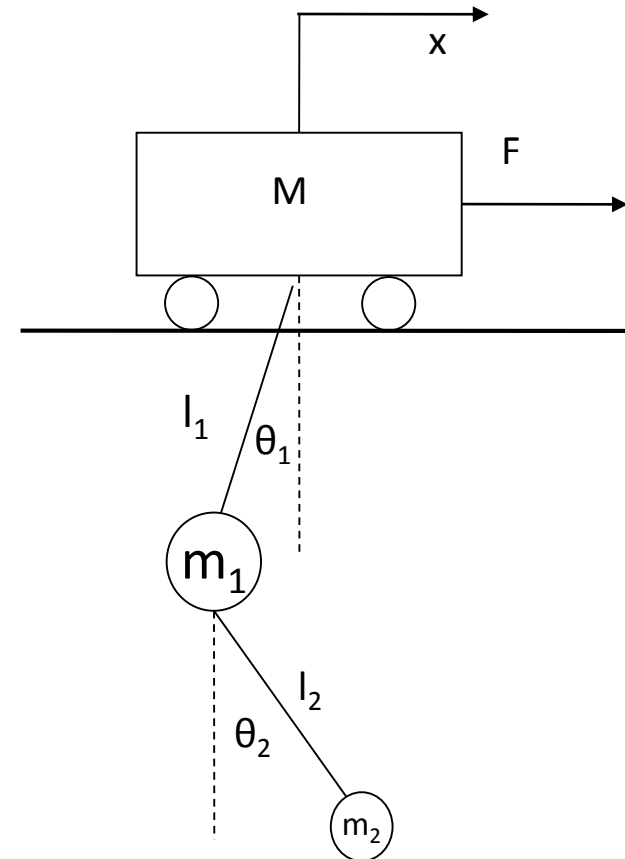
Έλεγχος αιώρησης φορτίου γερανού

Στόχοι ελέγχου.

α. Ταχεία μεταφορά φορτίου στην επιθυμητή θέση.

β. Ελαχιστοποίηση αιώρησης φορτίου.

Χειραγωγούμενη μεταβλητή:
Δύναμη στον οδηγό φορτίου.

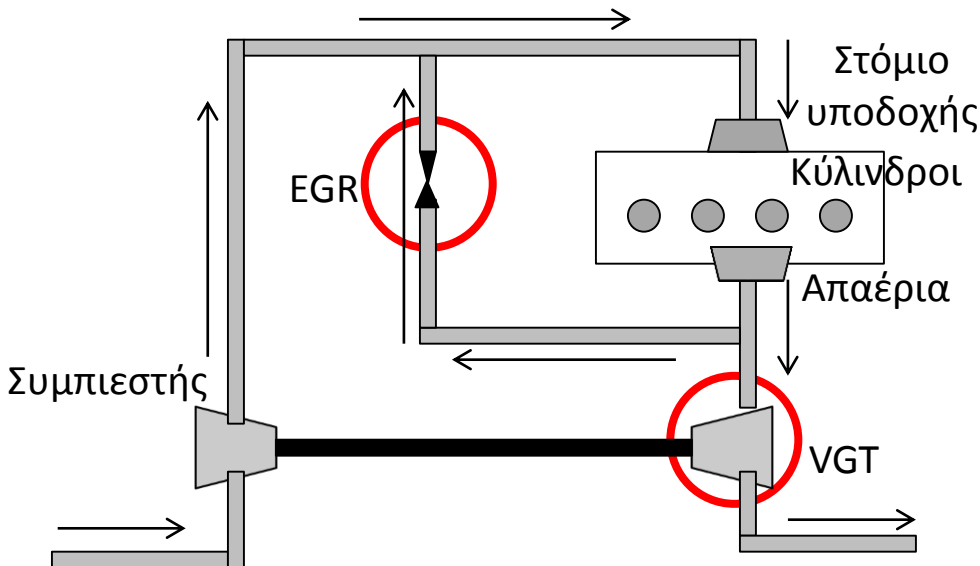


Έλεγχος κινητήρα Diesel

Στόχοι ελέγχου κινητήρα Diesel: (α) Απόδοση επιθυμητής ροπής κινητήρα, (β) ελαχιστοποίηση κατανάλωσης καυσίμου, (γ) ικανοποίηση προδιαγραφών στις εκπομπές απαερίων και θορύβου.

Χειραγωγούμενες μεταβλητές: EGR βάνα, VGT μεταβλητή.

Ρυθμιζόμενες μεταβλητές: Μαζική ροή φρέσκου αέρα (MAF), απόλυτη πίεση θυρίδας εισαγωγής αέρα (MAP).



EGR: exhaust gas recirculation valve, βάνα επανακυκλοφορίας απαερίων.

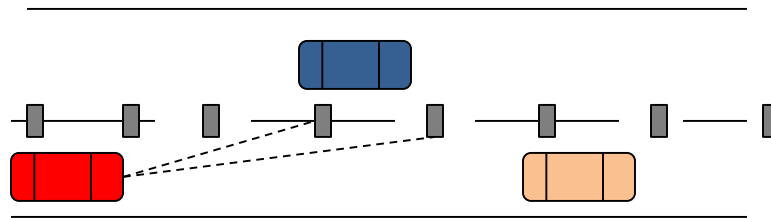
VGT: variable geometry turbocharger, αεριοσυμπιεστής μεταβλητής γεωμετρίας.

Ferreira H.J. et al, Annual Reviews in Control 31 (2007) 293-301.

Έλεγχος πλευρικής κίνησης οχήματος

Αυτόματος έλεγχος κατεύθυνσης για κίνηση εντός λωρίδων κυκλοφορίας (steering control for lane keeping).

- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή \rightarrow Απόκλιση από κατακόρυφο άξονα (γ) λόγω στροφής οδού.
- Χειραγωγούμενη μεταβλητή \rightarrow Γωνία στρέψης τροχών.



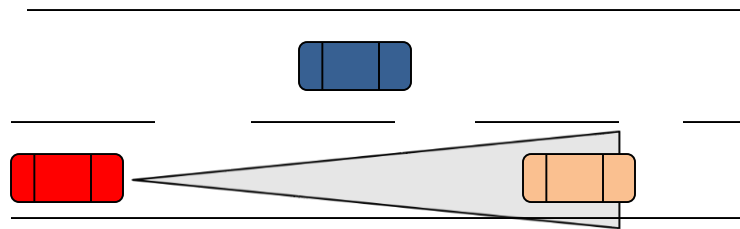
Αισθητήρας παρακολούθησης οδού για καθορισμό επιθυμητής πορείας.



Έλεγχος κίνησης οχήματος

Αυτόματος έλεγχος ταχύτητας (cruise control).

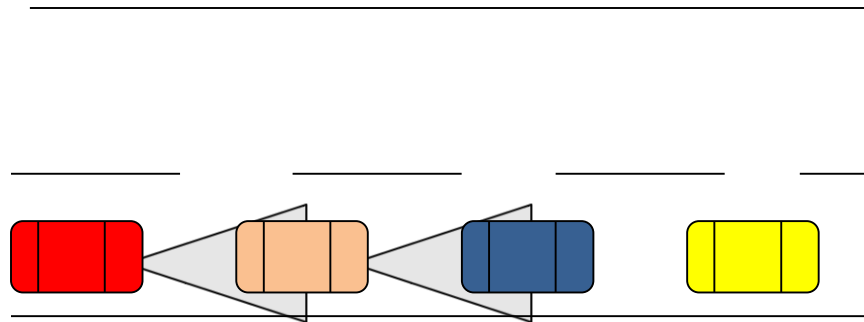
- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή → Ταχύτητα οχήματος (χωρίς προπορευόμενο όχημα).
- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή → Απόσταση από προπορευόμενο όχημα.
- Χειραγωγούμενη μεταβλητή → Παροχή καυσίμου, πέδηση.



Έλεγχος κίνησης οχημάτων σε ουλαμούς

Αυτόματος έλεγχος απόστασης (motion in platoons).

- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή \rightarrow Απόσταση οχήματος από προπορευόμενο όχημα.
- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή (για πρώτο όχημα) \rightarrow Ταχύτητα.
- Χειραγωγούμενη μεταβλητή \rightarrow Παροχή καυσίμου, πέδηση.

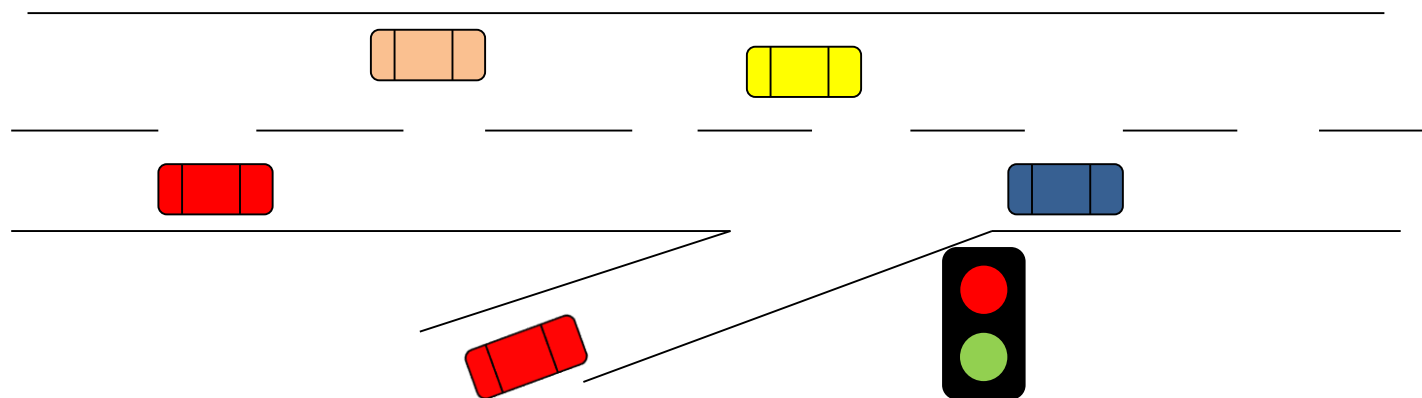


Έλεγχος φόρτου κυκλοφορίας αυτοκινητοδρόμων

- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή → Σταθερή ροή κυκλοφορίας, αποφυγή κυκλοφοριακής συμφόρησης - «μποτιλιαρίσματος».
- Χειραγωγούμενη μεταβλητή → Όρια ταχύτητας (δυναμικά μεταβαλλόμενα σημεία αναφοράς).



Δυναμικά όρια ταχύτητας.



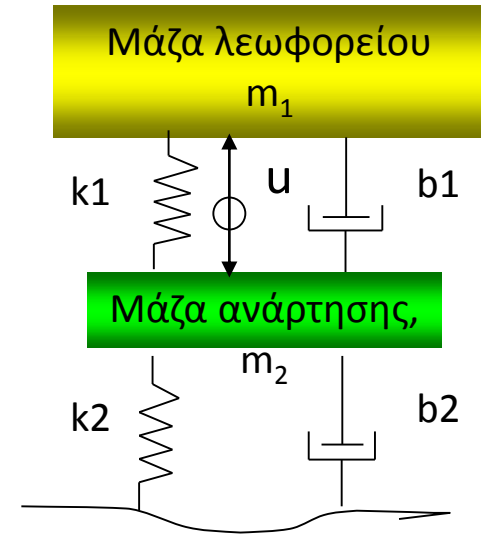
Αρίθμηση και ρύθμιση εισερχόμενων οχημάτων.



Ενεργητική ανάρτηση οχήματος

Στόχοι ελέγχου:

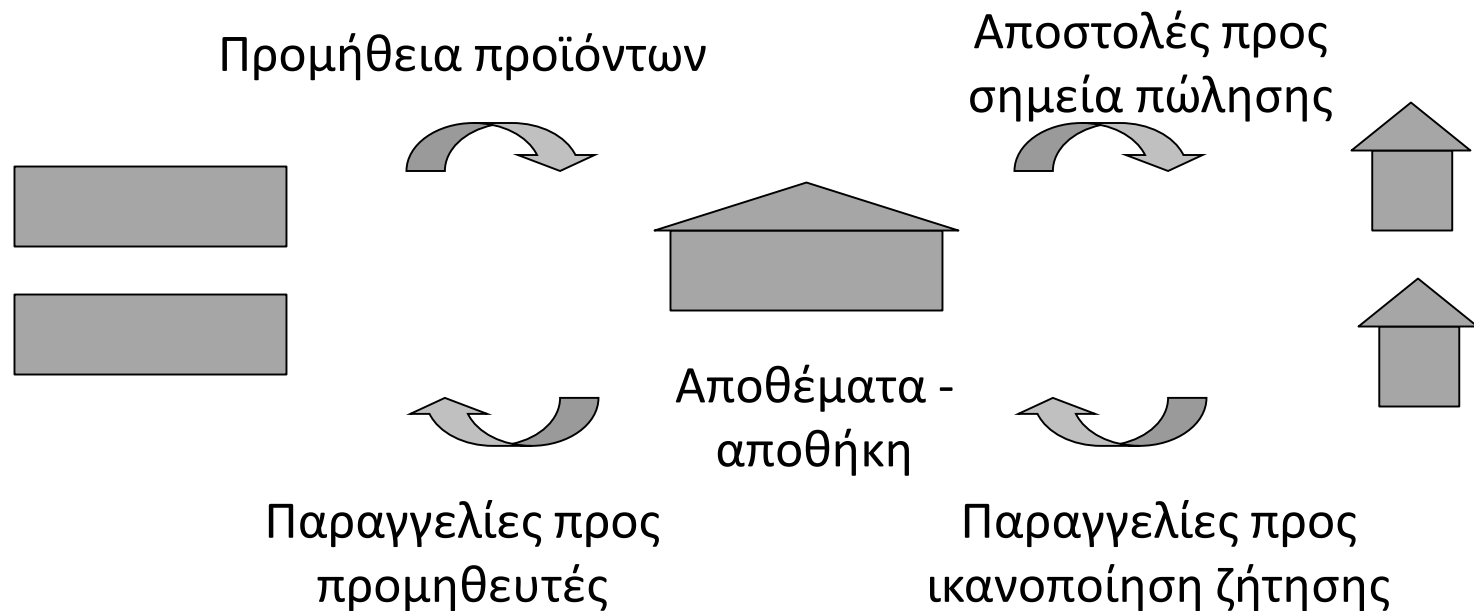
- Πρόσφυση στο οδόστρωμα (ασφάλεια).
- Μείωση ταλαντώσεων στους επιβάτες (άνεση).
 - Ρυθμιζόμενη μεταβλητή \rightarrow Πλάτος ταλάντωσης, κατακόρυφη επιτάχυνση οχήματος.
 - Χειραγωγούμενη μεταβλητή \rightarrow Ασκούμενη δύναμη στις αναρτήσεις.



Έλεγχος αποθεμάτων

Στόχοι ελέγχου: Διατήρηση αποθεμάτων για ικανοποίηση πελατών και μείωση κόστους εφοδιαστικής αλυσίδας.

- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή → Εξασφάλιση επιθυμητής ποσότητας προϊόντος.
- Χειραγωγούμενη μεταβλητή → Δημιουργία – καταχώρηση παραγγελιών.



Έλεγχος οικονομίας

Στόχοι ελέγχου για φορέα άσκησης νομισματικής πολιτικής από Ευρωπαϊκή Κεντρική Τράπεζα ή Κεντρική Τράπεζα ΗΠΑ:
Πληθωρισμός – ανάπτυξη χωρών Ευρωζώνης/ΗΠΑ.

- Ρυθμιζόμενη μεταβλητή → Δείκτης πληθωρισμού και ρυθμός ανάπτυξης Ακαθάριστου Εγχώριου Προϊόντος (ΑΕΠ).
- Χειραγωγούμενη μεταβλητή → Παρεμβατικό επιτόκιο διατραπεζικής αγοράς (κόστος κεφαλαίων).

Νομισματική πολιτική: Παρεμβατικό επιτόκιο κεφαλαίων, r .

Κανόνας ελέγχου $r = p + 0.5 (\% \text{ ΑΕΠ}_{\text{αποκλιση}}) + 0.5 (p-2) + 2$

Taylor JB,

<http://www.stanford.edu/~johntayl/Papers/Discretion.pdf>

Οικονομικοί δείκτες

Πληθωρισμός, p

Ανάπτυξη ΑΕΠ, GDP

↑
Στόχος ΑΕΠ_{target}

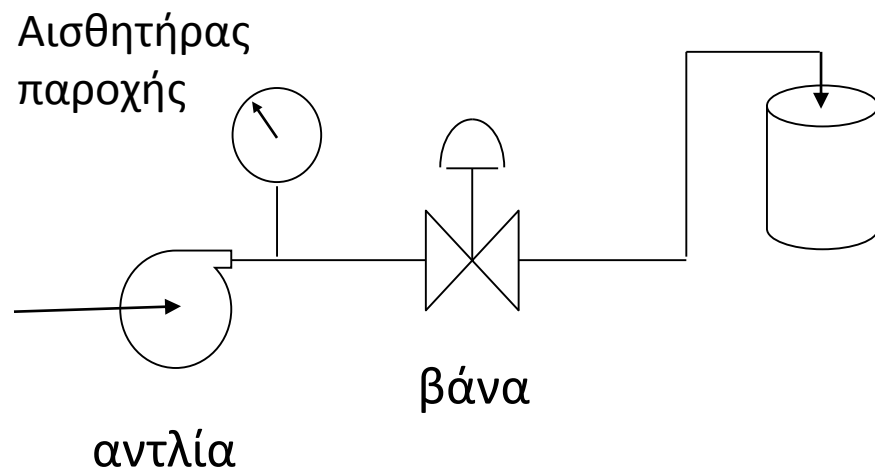


Πρακτική άσκηση 1

Εφαρμόζεται χειροκίνητος έλεγχος.

- α. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας ενός τυπικού αισθητήρα παροχής.
- β. Εξηγήστε πώς επηρεάζει ο ενεργοποιητής τη ρυθμιζόμενη μεταβλητή.
- γ. Εξηγήστε τη σωστή δράση αν επιθυμείτε να αυξήσετε τη ρυθμιζόμενη μεταβλητή.

Έλεγχος παροχής.

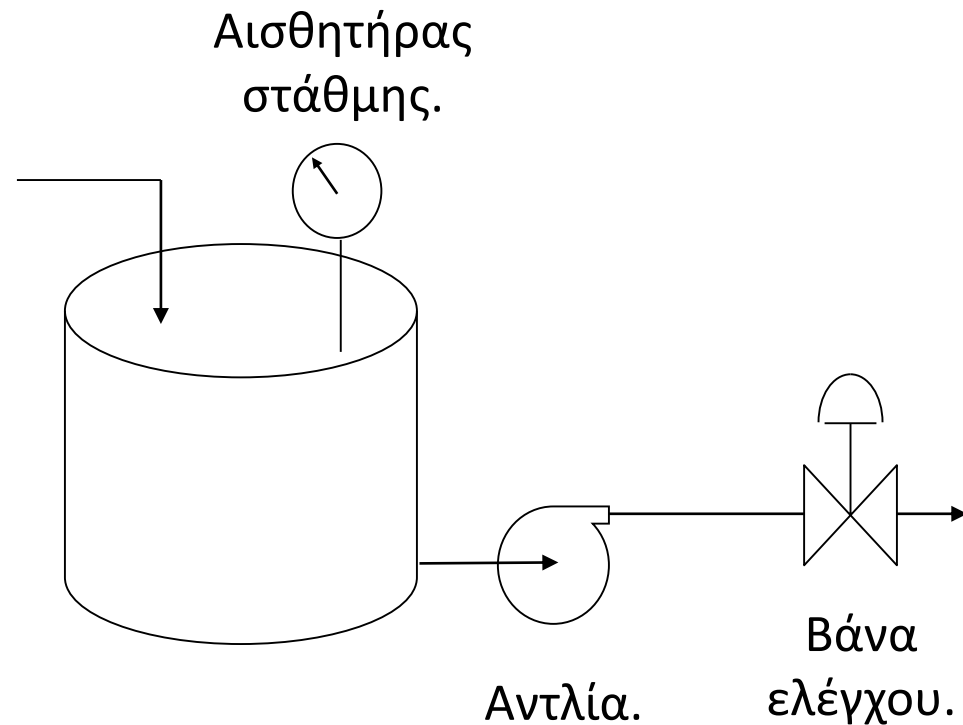


Πρακτική άσκηση 2

Εφαρμόζεται χειροκίνητος έλεγχος.

- α. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας ενός τυπικού αισθητήρα στάθμης υγρού.
- β. Εξηγήστε πώς επηρεάζει ο ενεργοποιητής τη ρυθμιζόμενη μεταβλητή.
- γ. Εξηγήστε τη σωστή δράση της βάνας ελέγχου αν επιθυμείτε να αυξήσετε τη ρυθμιζόμενη μεταβλητή.

Έλεγχος στάθμης δεξαμενής.

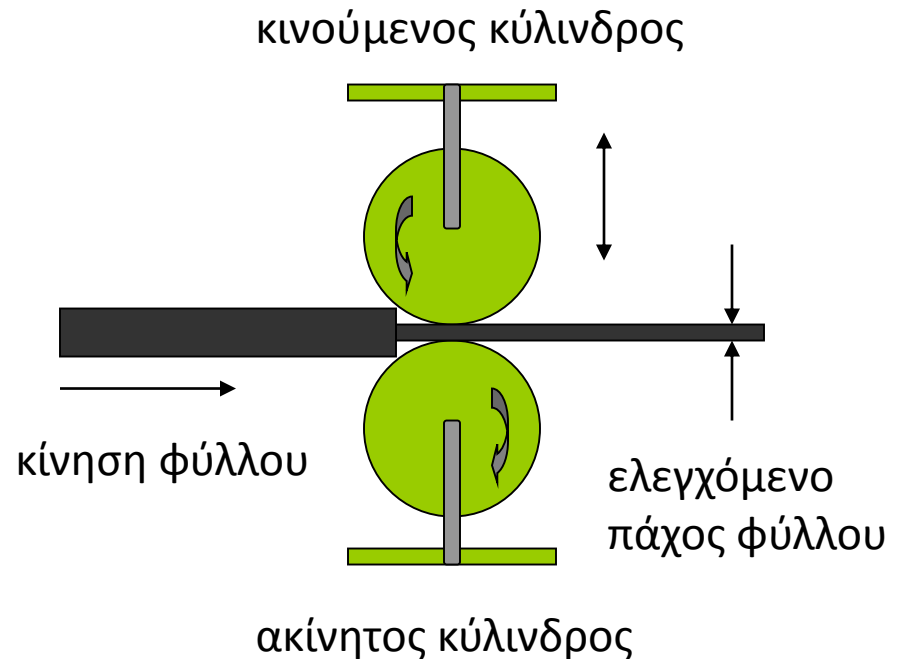


Πρακτική άσκηση 3

Εφαρμογή αυτόματου ελέγχου.

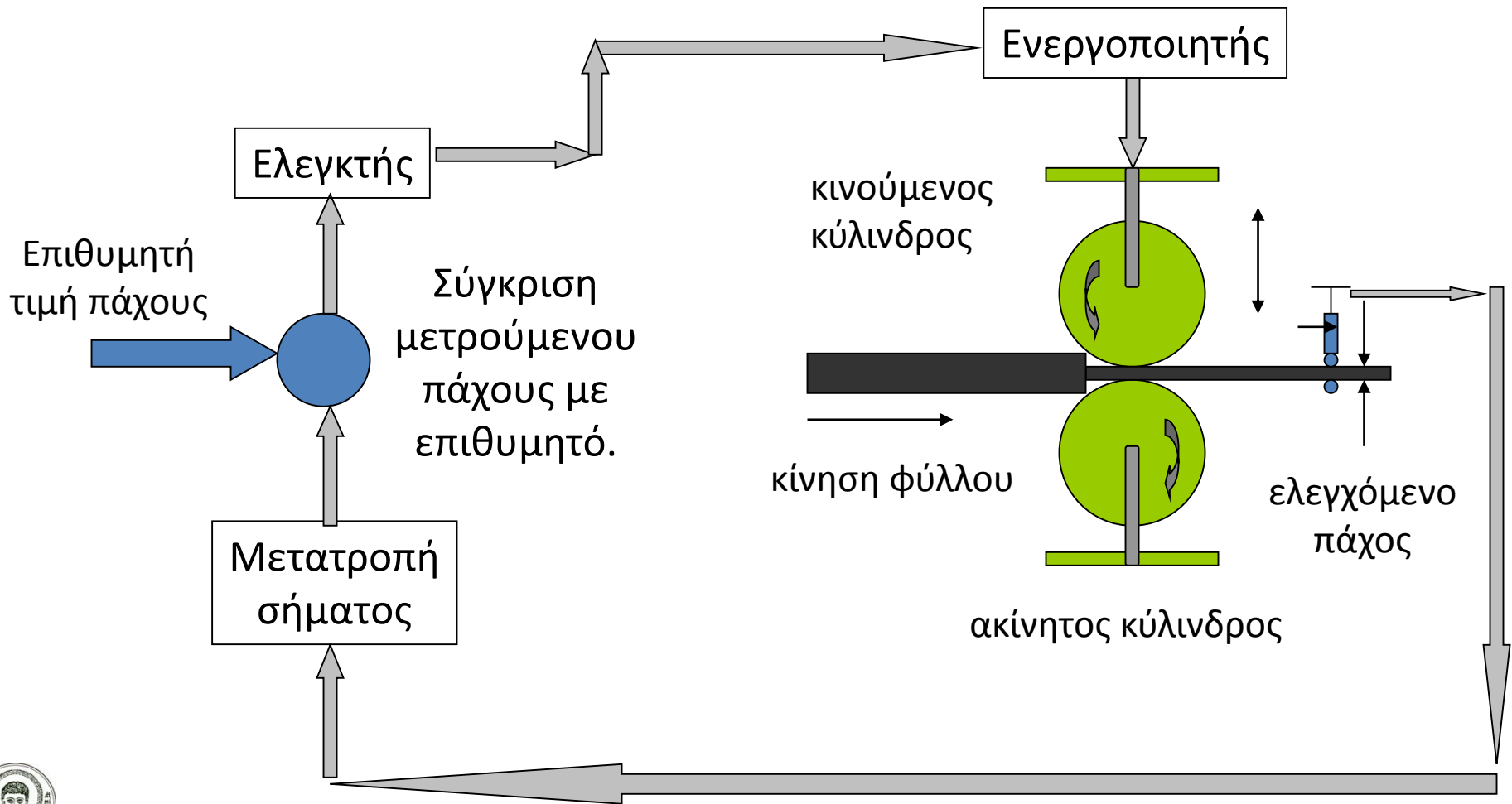
- α. Περιγράψτε την αρχή λειτουργίας ενός συστήματος ελέγχου πάχους χαλυβδόφυλλου.
- β. Εξηγήστε πώς επηρεάζει ο ενεργοποιητής τη ρυθμιζόμενη μεταβλητή.
- γ. Εξηγήστε τη σωστή δράση του ενεργοποιητή αν επιθυμείτε να αυξήσετε το πάχος του φύλλου.

Έλεγχος πάχους χαλυβδόφυλλων.



Πρακτική άσκηση 3

Έλεγχος πάχους χαλυβδόφυλλων.



Επίτευξη μαθησιακών στόχων

Στο τέλος αυτής της ενότητας ο/η εκπαιδευόμενος/η θα πρέπει να μπορεί να:

- Γνωρίζει πότε και γιατί απαιτείται ο αυτόματος έλεγχος σε ένα φυσικό σύστημα.
- Έχει κατανοήσει την έννοια της ανάδρασης στον αυτόματο έλεγχο.
- Αναγνωρίζει τα στοιχεία ενός βρόχου ανάδρασης.
- Προτείνει περιγραφικά την εγκατάσταση του κατάλληλου εξοπλισμού για την επίτευξη του αυτόματου ελέγχου.



Επίτευξη μαθησιακών στόχων

Στο τέλος αυτής της ενότητας ο/η εκπαιδευόμενος/η θα πρέπει να μπορεί να:

- Περιγράψει ποιοτικά τη λειτουργία ενός συστήματος αυτόματου ελέγχου σε μηχανολογικές, ηλεκτρολογικές και παραγωγικές διεργασίες και διατάξεις.





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Δρ Αθανάσιος Ι. Παπαδόπουλος
Δρ Αγγελική Μονέδα
Θεσσαλονίκη, Μαΐος 2014



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ