

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι πρώτες μηχανές που δημιουργήθηκαν από τον άνθρωπο ήταν τα αυτόματα. Με την βοήθεια τους ο άνθρωπος προσπάθησε να μιμηθεί την φύση. Ο ρόλος των αυτομάτων στην πρόοδο της τεχνολογίας είναι μεγάλης σπουδαιότητας.

Η εργασία αυτή θα ξεκινήσει με μια επεξήγηση των βασικών εννοιών που θα χρησιμοποιηθούν όπως ανατροφοδότηση, ανοιχτά και κλειστά κυκλώματα. Στο πρώτο μέρος της, θα ασχοληθούμε με τα αυτόματα από την Αρχαιότητα μέχρι την Αναγέννηση. Οι πρώτοι που ασχολήθηκαν με τα αυτόματα ήταν ο Φίλωνας, ο Ήρωνας και ο Κτησίβιος τα αρχαία χρόνια. Τα συγγράμματα τους, από τα οποία κάποια σώθηκαν και κάποια όχι, συντηρήθηκαν μέσω των Αράβων και των Βυζαντινών και μεταφράστηκαν. Έπειτα ακολούθησαν οι εφευρέσεις των Αιγυπτίων και των Κινέζων.

Στο δεύτερο μέρος θα δούμε πως η θεωρία έγινε πράξη και οι ιδέες εφαρμόστηκαν σε μηχανικές εφευρέσεις έως το 1800μ.Χ. Το πρώτο σύστημα ανατροφοδότησης που εφευρέθηκε στη σύγχρονη Ευρώπη είναι ο ρυθμιστής θερμοκρασίας από τον Ολλανδό Cornelis Drebbel, τον οποίο χρησιμοποίησε σε έναν θερμοστατικό φούρνο. Έναν αυτόματο φούρνο που χρησιμοποιήθηκε ως επωαστήρας με την βοήθεια ενός θερμοστάτη. Ακολουθεί ο Ivan Polzunov με έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων και ο Dennis Papin με έναν ρυθμιστή πίεσης. Οι ρυθμιστές αυτοί χρησιμοποιήθηκαν σε μηχανές ατμού.

Έπειτα θα δούμε πως εφαρμόζεται η ανατροφοδότηση στους ανεμόμυλους από τον Edmund Lee και στο εκκρεμές του Abraham Luis Breguet. Τέλος έχουμε μια σημαντική εφεύρεση στην ιστορία ελέγχου. Το φυγοκεντρικό ταχύμετρο για τη ρύθμιση της ταχύτητας σε μια περιστροφική μηχανή ατμού από τον James Watt. Κλείνοντας θα γίνει μια αναφορά στην σύγχρονη εποχή και η εργασία θα τελειώσει με κάποια συμπεράσματα και σχόλια.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Ανατροφοδότηση, Εξέλιξη, Διάγραμμα βαθμίδας

ABSTRACT

The first machines produced by man were automata, by means of which he attempted to simulate nature. The role of automata in progress of technology is of great importance. This work will begin with an explanation of significances that will be used as feedback, open and closed loops. In the first part of work we will deal with automata from the Ancient Ages to Renaissance. The first people who involved with automata were Ctesibius, Philon and Heron in the Ancient Ages. Their writings, by that somebodies were saved and somebody not, have been preserved of Arabs and Byzantines and translated. Afterwards the inventions of Egyptians and Chinese followed.

In the second part we will see how the theory became action and ideas was applied in mechanic inventions until 1800A.D. The first feedback control system which was invented in modern times Europe is the thermostatic furnace of Cornelis Drebbel. An automatic furnace used as an incubator with the help of thermostat. Then it was Ivan Polzunov with a float valve regulator and Dennis Papin with a pressure regulator. These regulators were used in steam engines.

Then we will see is the function of feedback to fantails from Edmund Lee and to the pendulum of Abraham Luis Breguet. Finally we have a significant discovery in the history of control. The centrifugal governor for the regulation of the speed in a twisted steam engine from James Watt. Then will become a report in the Modern Ages and it will finish with some conclusions and comments.

KEY WORDS

Feedback, Development, Block Diagram

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος.....	1
Abstract.....	2
1.Εισαγωγή.....	6
1.1 Βασικές έννοιες των συστημάτων ελέγχου.....	6
1.2 Τα διαγράμματα φραγμών.....	7
1.3 Παραδείγματα ανοιχτού και κλειστού συστήματος.....	7
1.4 Περίοδοι ιστορίας αυτόματου ελέγχου.....	9
2.Έλεγχος ανατροφοδότησης στην Ελληνιστική περίοδο.....	10
2.1 Κτησίβιος ο Αλεξανδρεύς.....	10
2.1.1 Αυτόματος καθρέφτης.....	10
2.1.2 Το υδραυλικό ωρολόγιο.....	12
2.1.3 Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα.....	14
2.1.4 Ύδραυλις.....	15
2.1.5 Αντλία.....	16
2.2 Φίλων του Βυζαντίου.....	18
2.2.1 Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα.....	18
2.2.2 Ελαιολυχνία.....	19
2.2.3 Αλυσιδωτή αντλία.....	21
2.3 Ήρων ο Αλεξανδρεύς.....	22
2.3.1 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων (Πνευματικά I.20).....	23
2.3.2 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων Πνευματικά (II.31).....	24
2.3.3 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων Πνευματικά (II.30).....	25
2.3.4 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων Πνευματικά (I.25).....	26
2.3.5 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων Πνευματικά (I.26).....	27
2.3.6 Αιολόσφαιρα.....	27
2.3.7 Αυτόματες Πύλες Ναού.....	29
2.3.8 Αυτόματα Θέατρα.....	30
2.4 Σχόλια.....	31
3. Ρυθμιστές βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων στην Αίγυπτο.....	33
3.1 Το ρολόι της Γάζας.....	33
3.2 Το ρολόι του ψευδό-Αρχιμήδη.....	34
3.3 Al-Jazzari.....	37
3.3.1 Το ρολόι του Al-Jazzari.....	38

3.3.2 Η παλινδρομική αντλία	40
3.3.3 Ανυψωτική μηχανή νερού.....	40
3.3.4 Το ρολόι ελεφάντων.....	41
3.4 Ibn al-Sa'ati.....	42
3.5 Al-Muradi	42
3.6 Banu Musa.....	43
3.6.1 Ρυθμιστές βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων.....	44
3.6.2 On-Of Έλεγχος.....	46
3.6.3 Η ελαιολυχνία σύμφωνα με τη αρχή του Φίλωνα.....	47
3.6.4 Αυτοσυμπληρούμενη λεκάνη.....	47
3.6.5 Ελεγχόμενος θερμολέβητας.....	48
3.6.6 Αυτοσυμπληρούμενο δοχείο με διπλή κωνική βαλβίδα.....	49
3.7 Σχόλια.....	50
4. Αυτόματος έλεγχος στην αρχαία Κίνα.....	51
4.1 Δίτροχο άρμα με προσανατολισμό.....	51
4.2 Καλαμάκια με ρυθμιστές.....	53
4.3 Ρυθμιστές επιπλεόντων σωμάτων.....	54
4.4 Σχόλια.....	55
5. Ρυθμιστές θερμοκρασίας.....	56
5.1 Cornelis Drebbel.....	56
5.2 Antoine Ferchault Riamur, Prince de Conti.....	58
5.3 William Henry.....	59
5.4. S. Bonnemain.....	60
6. Ρυθμιστής βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων.....	61
6.1 James Brindley	61
6.2 Ivan Polzunov	61
6.3 Sutton Thomas Wood	63
6.4 Boulton & Watt.....	64
7. Ρυθμιστές πίεσης.....	65
7.1 Denis Papin.....	65
7.2 Robert Delap	67
7.3 Matthew Murray.....	68
7.4 Boulton&Watt.....	69
8. Οι ανεμόμυλοι.....	70
8.1 Edmund Lee.....	70
9. Το “αρμονικό” εκκρεμές.....	72

Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ
ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 2000 ΧΡΟΝΙΑ

9.1 Abraham-Louis Breguet	72
10. Το φυγοκεντρικό ταχύμετρο.....	74
10.1 James Watt.....	74
11. Επίλογος.....	77
11.1 Επιρροές των εφευρετών.....	77
11.2 Σύγχρονη εποχή.....	78
Βιβλιογραφία.....	80

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα αυτόματα, όπως μπορούμε να δούμε μέσα από την ιστορία τους έχουν αναμφίβολα ένα σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη του ανθρώπου. Χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλη την τεχνολογία. Θα ξεκινήσουμε δίνοντας κάποιους ορισμούς για να κατανοήσουμε τις έννοιες για τις οποίες θα ασχοληθούμε.

1.1 Βασικές έννοιες των συστημάτων ελέγχου

Σύστημα αυτόματου ελέγχου είναι ένα σύστημα με διάφορα συνδεδεμένα μέρη μεταξύ τους, έτσι ώστε να συμπεριφέρεται κατά ένα προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο. Τα συστήματα αυτά τα χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες: Στα ανοιχτά και στα κλειστά συστήματα. Η βασική διαφορά τους είναι ότι στα μεν πρώτα, η είσοδος δεν είναι συνάρτηση της εξόδου ενώ στα δε δεύτερα είναι. Τα συστήματα διαφέρουν στην αρχή λειτουργίας τους. Η διαφορά αυτή οφείλεται στην τροφοδοσία πληροφοριών από την έξοδο στην είσοδο του συστήματος. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται *ανατροφοδότηση*.

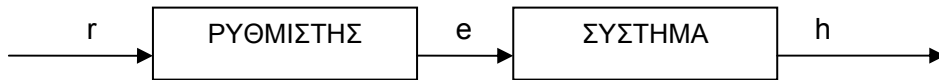
Ένα σύστημα ανατροφοδότησης είναι ένα σύστημα που συγκρίνει την έξοδό του με μια επιθυμητή τιμή, και έπειτα αυτόματα λαμβάνει διορθωτικά μέτρα. Σε ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου το σήμα εισόδου δεν παράγεται κατευθείαν από μια γεννήτρια αλλά είναι η έξοδος ενός πρόσθετου συστήματος που το ονομάζουμε ρυθμιστή ή ελεγκτή. [8,22]

Αυτόματος έλεγχος είναι ο κλάδος της επιστήμης και τεχνολογίας που ασχολείται με την θεωρητική και πρακτική μελέτη των συστημάτων που προαναφέρθηκαν. Κατά την θεωρητική μελέτη, το σύστημα περιγράφεται με το μαθηματικό μοντέλο του και κατά την πρακτική μελέτη, τα μαθηματικά συμπεράσματα υλοποιούνται με κατάλληλες διατάξεις.

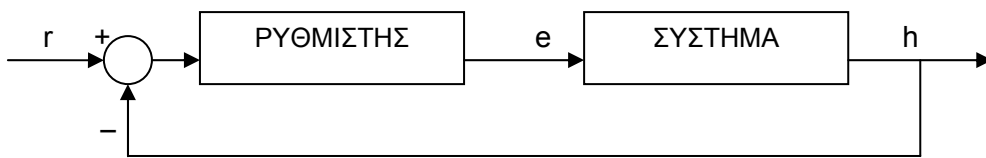
Στόχος του αυτόματου ελέγχου είναι η ανάπτυξη μεθόδων και διατάξεων που ρυθμίζουν τις μεταβλητές εξόδου ενός συστήματος έτσι ώστε να λάβουν ορισμένες επιθυμητές τιμές ή τιμές που να κυμαίνονται μέσα σε επιθυμητά όρια, παρά τις μεταβολές στις οποίες υπόκεινται οι παράμετροι του συστήματος λόγω απρόβλεπτων τυχαίων εσωτερικών ή εξωτερικών παραγόντων.[8,22]

1.2 Τα διαγράμματα βαθμίδας

Το διάγραμμα βαθμίδας είναι ένα σημαντικό γραφικό εργαλείο για την εφαρμοσμένη μηχανική συστημάτων ελέγχου. Το διάγραμμα αποτελείται από τις βαθμίδες και τα βέλη που τις συνδέουν. Κάθε βαθμίδα αντιπροσωπεύει κάποια διαδικασία ή δράση στο σύστημα, ενώ τα βέλη δείχνουν τη ροή της ενέργειας ή των πληροφοριών μέσω του συστήματος. [8,22]



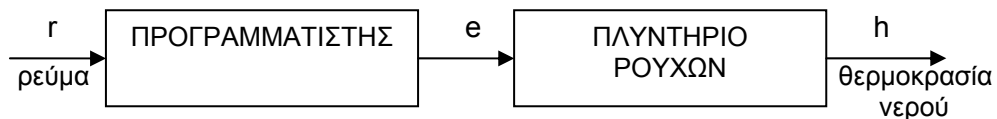
Σχήμα 1. Ανοιχτό σύστημα



Σχήμα 2. Κλειστό σύστημα

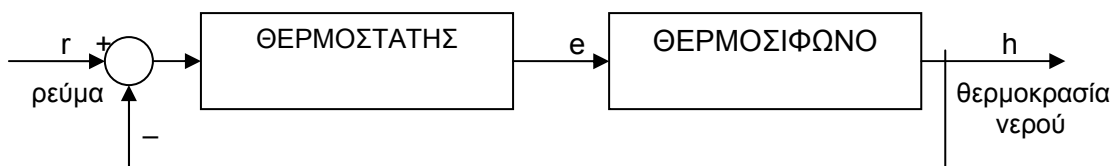
1.3 Παραδείγματα ανοιχτού και κλειστού συστήματος

Ένα παράδειγμα ανοιχτού συστήματος είναι το πλυντήριο ρούχων. Χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής που θέτει το σύστημα σε κάποιες λειτουργίες όπου η έξοδος του συστήματος δεν λαμβάνεται υπόψη. (Σχήμα 3) [8]



Σχήμα 3. Το πλυντήριο ρούχων ως ανοιχτό σύστημα ελέγχου
(Παρασκευόπουλος,8)

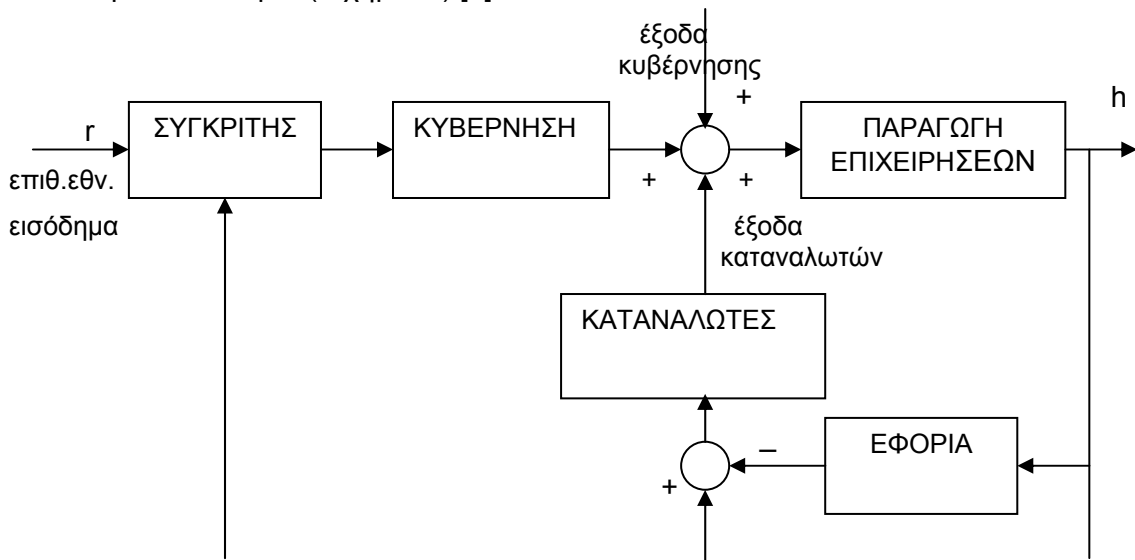
Ενώ ένα παράδειγμα κλειστού συστήματος είναι το θερμοσίφωνο. Χρησιμοποιείται ένας ρυθμιστής που κρατάει την θερμοκρασία του νερού σε μια προκαθορισμένη θερμοκρασία. (Σχήμα 4) [8]



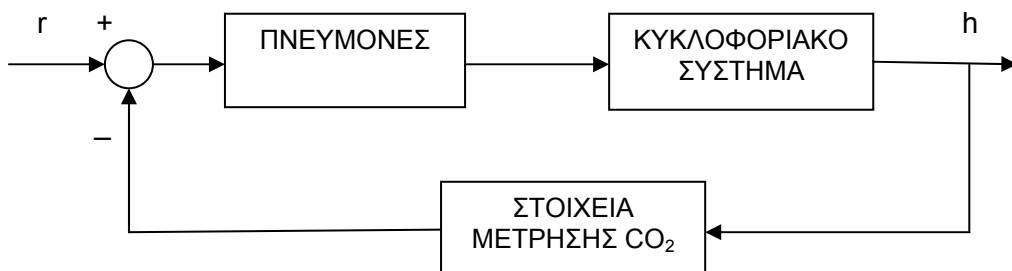
Σχήμα 4. Το θερμοσίφωνο ως κλειστό σύστημα ελέγχου
(Παρασκευόπουλος,8)

Η είσοδος που είναι το ρεύμα, επηρεάζεται από την έξοδο που είναι η θερμοκρασία του νερού. Οπότε η έξοδος ενός ανοικτού συστήματος αποκλίνει από την επιθυμητή κατάσταση ενώ στο κλειστό σύστημα λόγω της ανατροφοδότησης έρχεται στην επιθυμητή κατάσταση.

Οι τεχνικές που χρησιμοποιούμε στα συστήματα αυτόματου ελέγχου βρίσκουν εφαρμογή σε όλους σχεδόν τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας, όπως για παράδειγμα στην οικονομία, στις ανθρωπιστικές επιστήμες, στην βιολογία και σε άλλους κλάδους. Στην οικονομία μπορούμε να μελετήσουμε το εθνικό εισόδημα με ένα κλειστό σύστημα ελέγχου. (Σχήμα 5) Μια άλλη μορφή ανατροφοδότησης χρησιμοποιείται στις εταιρίες με στόχο να μεγιστοποιήσουν το κέρδος τους και την ικανοποίηση των πελατών τους. Οι ψυχολόγοι έχουν εξετάσει το ρόλο της ανατροφοδότησης στην ανθρώπινη συμπεριφορά και την εκμάθηση, και οι βιολόγοι μελετούν τον ρόλο της ανατροφοδότησης στο ανθρώπινο σώμα. (Σχήμα 6) [8]



Σχήμα 5. Σχηματικό διάγραμμα εθνικού εισοδήματος(Παρασκευόπουλος,8)



Σχήμα 6. Το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου ως σχηματικό διάγραμμα (Παρασκευόπουλος,8)

1.4 Περίοδοι ιστορίας αυτόματου ελέγχου

Η ιστορία του αυτόματου ελέγχου μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις κύριες περιόδους:

- i) Αρχικός έλεγχος: 300 π. Χ- 1800μ.Χ
- ii) Η προκλασική περίοδος: 1800μ.χ -1940μ.Χ
- iii) Η κλασική περίοδος: 1940μ.χ-1960μ.Χ
- iv) Σύγχρονος έλεγχος: 1960μ.Χ- τώρα [10,23]

Εμείς θα ασχοληθούμε με τον αρχικό έλεγχο. Σκοπός μας είναι βρούμε την προϊστορία των αυτομάτων, να κατανοήσουμε τις βασική έννοια της ανατροφοδότησης, να δούμε ποιοι και πως συνδέθηκαν και επηρεάστηκαν μέσα από τις μελέτες και συσκευές τους και σε ποιες αρχές στηρίχτηκαν. Επίσης να βάλουμε σε μια χρονολογική σειρά τα γεγονότα και να συνδέσουμε διάφορους τεχνολογικούς κλάδους.

2.ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΑΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟ

Στην αρχαία Ελλάδα ξεκίνησε η έννοια της ανατροφοδότησης. Το ευνοϊκό περιβάλλον για τις επιστήμες της Αλεξάνδρειας επέτρεψε μαθηματικούς και μηχανικούς όπως ο Κτησίβιος, ο Φίλων και ο Ήρων να ασχοληθούν με την επινόηση και την κατασκευή μηχανών οι οποίες θεωρούνται ως πρόδρομοι των σημερινών συστημάτων αυτόματου ελέγχου.

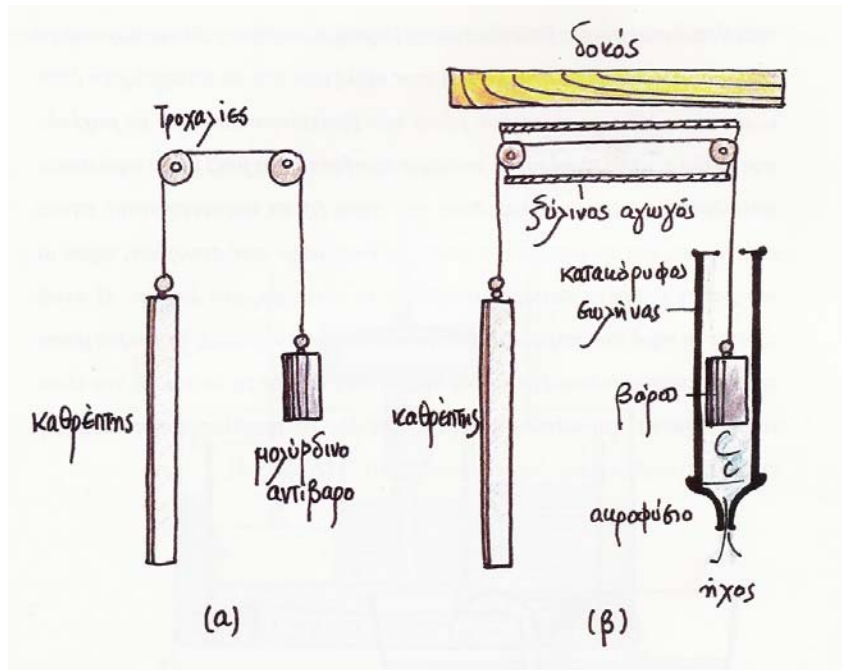
2.1 Κτησίβιος ο Αλεξανδρεύς

Μεγάλος μαθηματικός και εφευρέτης της αρχαίας Ελλάδας στους αρχαίους χρόνους. Έζησε στην Αλεξάνδρεια το 285-222π.Χ. Διακρίθηκε κυρίως στην πολεμική μηχανική. Αναφέρεται με λαμπρά λόγια από τον Φίλιωνα τον Βυζαντινό, τον Ήωνα και τον Βιτρούβιο. Ο Βιτρούβιος τον θεωρούσε ισάξιο με τον Αρχιμήδη. [9,15,26]

Τα συγγράμματα του Κτησίβιου άφησαν εποχή, δυστυχώς όμως κανένα δεν διασώθηκε. Τα σπουδαιότερα από αυτά ήταν τα " Μηχανικά Υπομνήματα " και η "Μηχανική". Το μηχανικό πνεύμα του Κτησίβιου προσπάθησε να συνδυάσει την πίεση του αέρα με την πίεση του νερού. Υπάρχουν πολλές εφευρέσεις που αποδίδονται σ' αυτόν, όπως η ύδραυλις (μουσικό όργανο), ένα είδος ρολογιού, οι ανυψώσεις του νερού με τη βοήθεια του αέρα και διάφοροι καταπέλτες.[24,26,28]

2.1.1 Αυτόματος καθρέφτης

Ο Βιτρούβιος περιγράφει αρχικά με ιδιαίτερο θαυμασμό τον ξακουστό "αυτόματο" καθρέφτη του. Ο Κτησίβιος ήθελε να κρεμάσει στο μαγαζί του πατέρα του έναν καθρέφτη του οποίου η ανύψωση θα γινόταν με την βοήθεια ενός κρυμμένου κορδονιού. Στο σχήμα 7 βλέπουμε τον καθρέφτη αυτόν.



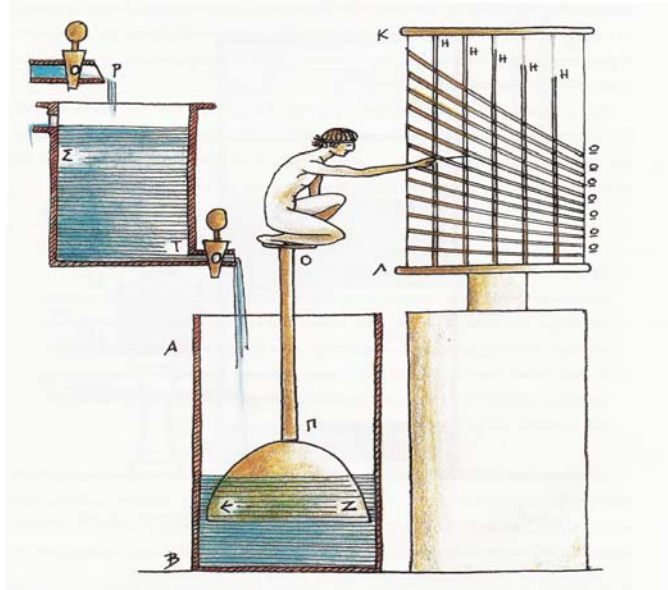
Σχήμα 7. Ο αυτόματος καθρέφτης του Κτησίβιου (Καλλιγερόπουλος,5)

Κάτω από το δοκάρι της οροφής στερέωσε ένα ξύλινο σωλήνα στον οποίο μέσα έβαλε ένα σύστημα τροχαλιών. Κατά μήκος του σωλήνα έβαλε σπάγκο, τον οποίο οδήγησε προς την γωνία του τοίχου, όπου και έφτιαξε έναν κατακόρυφο μικρό σωλήνα. Μέσα σ'αυτον έβαλε μια μολύβδινη μπάλα που ήταν δεμένη στον σπάγκο και ήταν φτιαγμένη έτσι ώστε να μπορεί να κατεβαίνει μέσα στον μικρό σωλήνα. Όταν το βάρος έπεφτε μέσα στο στενό αγωγό, συμπιέζε με φυσικό τρόπο τον περιεχόμενο αέρα και καθώς η πτώση του ήταν γρήγορη εξανάγκαζε την μάζα του συμπιεσμένου αέρα να βγει από την διέξοδο έξω. Έτσι παραγόταν ένας ξεχωριστός ήχος από το τράνταγμα. [1]

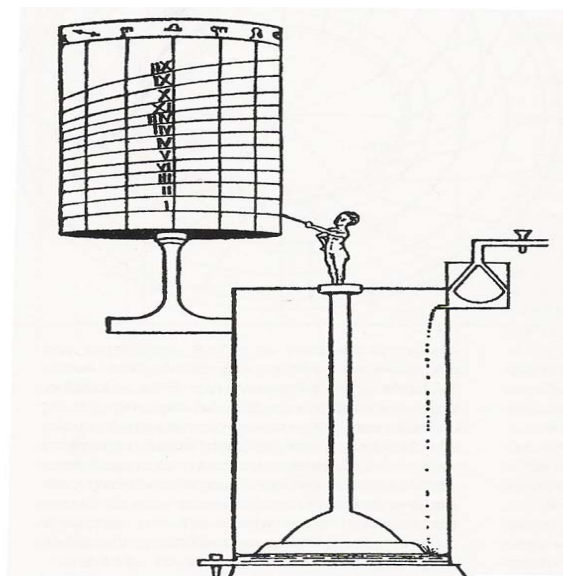
Από την περιγραφή όμως αυτή συμπεραίνουμε ότι δεν πρόκειται εδώ για αυτόματο μηχανισμό ανύψωσης του καθρέφτη, αλλά απλά για αξιοποίηση των τριβών στις τροχαλίες, έτσι ώστε ο καθρέφτης να ισορροπεί σε διάφορα ύψη με τη βοήθεια ενός αντισταθμιστικού μολύβδινου βάρους. Προφανώς δεν υπάρχει εδώ ούτε αυτοματισμός ούτε αυτοέλεγχος του συστήματος.[5]

2.1.2 Το υδραυλικό ωρολόγιο

Ο Κτησίβιος μπορεί να θεωρηθεί ως εφευρέτης της πρώτης συσκευής ανατροφοδότησης. Το υδραυλικό ρολόι του αποτελείται από διάτρητους σωλήνες χρυσού (ή από πολύτιμους λίθους) επειδή αυτές οι ουσίες δεν φθείρονται από την δράση του νερού και δεν μαζεύουν σκουπίδια ώστε να βουλώνουν. Στα σχήματα 8 και 9 παρατηρούμε το ρολόι του Κτησίβιου.[15,26]



Σχήμα 8. Το υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου (Καλλιγερόπουλος,5)



Σχήμα 9. Το υδραυλικό ρολόι του Ήρωνα(Βιτρούβιος,1)

Η λειτουργία του ήταν η εξής: από ένα στόμιο έτρεχε νερό με σταθερή ροή μέσα σε ένα μεγάλο δοχείο που υπήρχε ένας πλωτήρας ο οποίος ανυψωνόταν με το γέμισμα του δοχείου. Σ' αυτόν τοποθετούνται ένας κανόνας και επίσης ένας δίσκος που μπορούσαν να περιστραφούν. Στον κανόνα υπήρχε ένα αγαλματίδιο που λειτουργούσε ως δείκτης και έδειχνε τις ώρες πάνω σε μία κατακόρυφη στήλη, η κλίμακα της οποίας μεταβαλλόταν με προσθήκη ή αφαίρεση σφηνών ανάλογα με τις αυξομειώσεις της διάρκειας των ωρών.

Στον κανόνα ήταν επίσης προσαρμοσμένος ένας οδοντωτός τροχός που κινούσε ένα κατακόρυφο τύμπανο, με χαράξεις κάθετες για τους μήνες και εγκάρσιες -όχι όμως παράλληλες- για τις ώρες, έτσι ώστε να συνυπολογίζεται η μεταβολή της διάρκειας των ωρών ανά μήνα. Στον οδοντωτό τροχό ήταν επίσης συνδεδεμένα άλλα τύμπανα και μηχανισμοί που προκαλούσαν διάφορες πολύπλοκες κινήσεις, τα λεγόμενα πάρεργα. Ο μηχανισμός αυτός λειτουργούσε με χειριστή ο οποίος μια φορά την ημέρα τροφοδοτούσε με νερό και τοποθετούσε το τύμπανο με τις ώρες στην σωστή ημερομηνία.

Όλος αυτός ο σύνθετος μηχανισμός του ωρολογίου δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει με ακρίβεια, αν δεν είχε εξασφαλίσει την αρχική σταθερή ροή του νερού. Για να το κάνει αυτό ο Κτησίβιος χρησιμοποίησε έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωματίων. Κατασκεύασε στον τόρνο δύο κώνους. Ο ένας συμπαγής και ο άλλος κοίλος(αρσενικός-θηλυκός), έτσι ώστε να ταιριάζουν ακριβώς ο ένας μέσα στον άλλον. Με ένα τέτοιο σύστημα πλωτήρα-ακροφυσίου μπορούσε η εισροή νερού στο δοχείο να γίνεται πιο γρήγορα ή πιο αργά. [1,26]

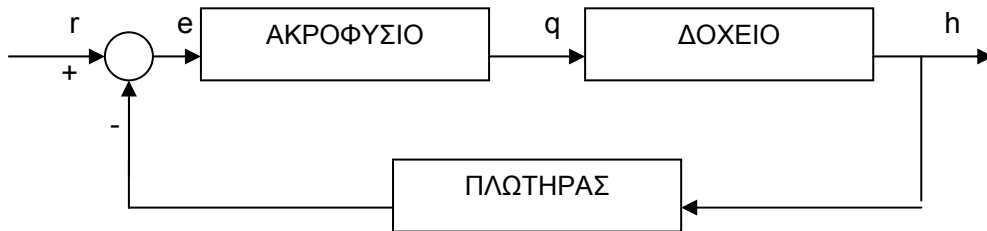
Το ρολόι ύδατος χρησιμοποιεί την ανατροφοδότηση για να κρατήσει τη δεξαμενή ανεφοδιασμού σε σταθερό επίπεδο. Αυτό είναι ίσως το αρχαιότερο γνωστό κλειστό σύστημα αυτόματου ελέγχου, ένα σύστημα που εξασφαλίζει σταθερή στάθμη και σταθερή ροή σε όλη τη διάρκεια της δυναμικής λειτουργίας του.

Δύο σημεία παραμένουν σκοτεινά. Το μήκος των ωρών (η προσωρινή ώρα που χρησιμοποιήθηκε στην αρχαιότητα ήταν μια δωδέκατη του διαστήματος μεταξύ της ανατολής και του ηλιοβασιλέματος) θεωρείται ότι είναι διευθετήσιμο για το χρόνο του έτους με την προσθήκη ή την αφαίρεση των σφηνών. Τίποτα δεν λέγεται για τη φύση και τη θέση αυτών των σφηνών. Πιθανώς παρεμβλήθηκαν στο στόμιο, που περιορίζει τη ροή του νερού. Δεδομένου ότι αυτή η μέθοδος προκάλεσε κατά γενική ομολογία δυσκολίες, μια διευθετήσιμη κλίμακα υιοθετήθηκε και βαθμολογήθηκε για τις διαφορετικές εποχές του έτους. [12,13,15]

Η δεύτερη ερώτηση αφορά τη ρύθμιση για την παροχή του ρολογιού με το νερό. Εάν αποτελούνταν από μόνο ένα απλό σκεύος ανεφοδιασμού που εγκαταστάθηκε προς τα πάνω και γέμιζε στην έναρξη, η μείωση στο ποσοστό ροής που προκαλείται από τη στάθμη του νερού θα είχε προκαλέσει λάθη. Επομένως, το νερό πρέπει να ρέει αργά και

σταθερά.

Το διάγραμμα βαθμίδας του συστήματος στο σχήμα 10 παρουσιάζει έναν κλειστό βρόχο. Η μόνη εξωτερική διαταραχή είναι η πίεση στην παροχή νερού. Η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων εκπληρώνει μια διπλή λειτουργία: Σαν επιπλέον σώμα εξυπηρετεί να αντιληφθεί την έξοδο, ενώ το ανώτερο μέρος του στο ρόλο μιας κωνικής βαλβίδας εκτελεί τη δράση ελέγχου.

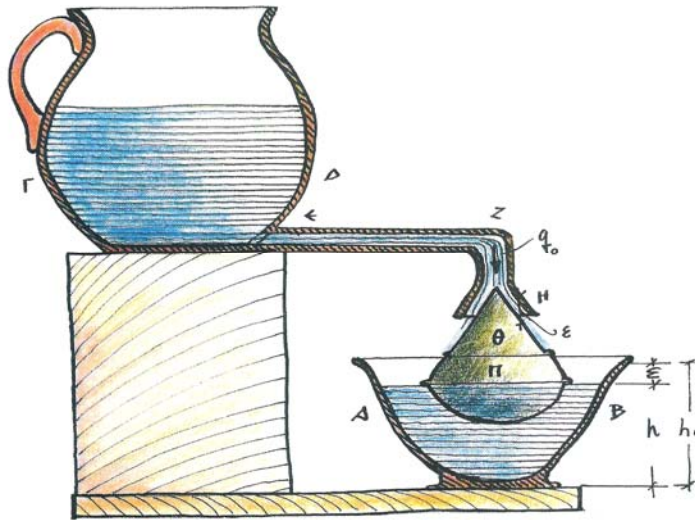


Σχήμα 10. Το διάγραμμα βαθμίδας του υδραυλικού ρολογιού του Κτησίβιου

Ο A.G.Drachmann επισημαίνει ότι ο Έρων, κληρονόμος του Κτησίβιου, δεν γνώριζε τις βαλβίδες επιπλεόντων σωμάτων αυτού του τύπου. Η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων του Έρων είναι ισοδύναμη σε γενικές γραμμές με του Κτησίβιου και έχουν τα ίδια διαγράμματα βαθμίδων. Οι ανομοιότητες στην εξωτερική εμφάνιση οφείλονται τις διαφορές στην εφαρμογή και στην έλλειψη χειρογράφων του. Η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων του Κτησίβιου μπορεί επομένως να θεωρηθεί ως παλαιότερη γνωστή συσκευή ανατροφοδότησης.[13,15]

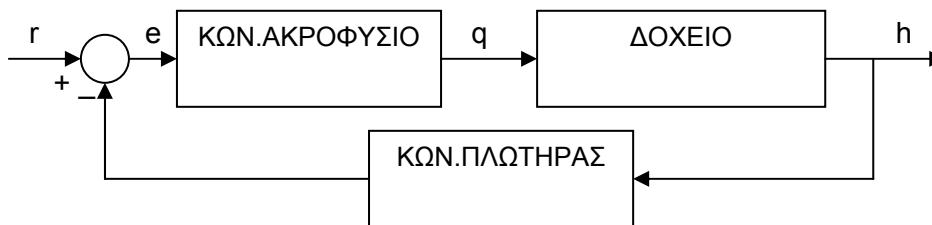
2.1.3 Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα

Έστω δοχείο AB γεμάτο υγρό. Το δοχείο έχει μέσα έναν κωνικό πλωτήρα ΘΠ που προσαρμόζεται σε αντίστοιχο κοίλο κωνικό ακροφύσιο ΖΗ, το οποίο με την σειρά του είναι συνδεδεμένο μέσω αυτής σωλήνα ΕΖ με το μεγάλο δοχείο ΓΔ. Αφαιρώντας υγρό με ένα κύπελλο από το δοχείο ΑΒ, ανοίγει η υδραυλική βαλβίδα και υγρό ρέει από το ακροφύσιο ΖΗ στο δοχείο μέχρι να συμπληρωθεί το υγρό που αφαιρέθηκε και να αποκατασταθεί η στάθμη του υγρού στο δοχείο.[1] (Σχήμα 11)



Σχήμα 11. Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα του Κτησίβιου
 (Καλλιγερόπουλος,5)

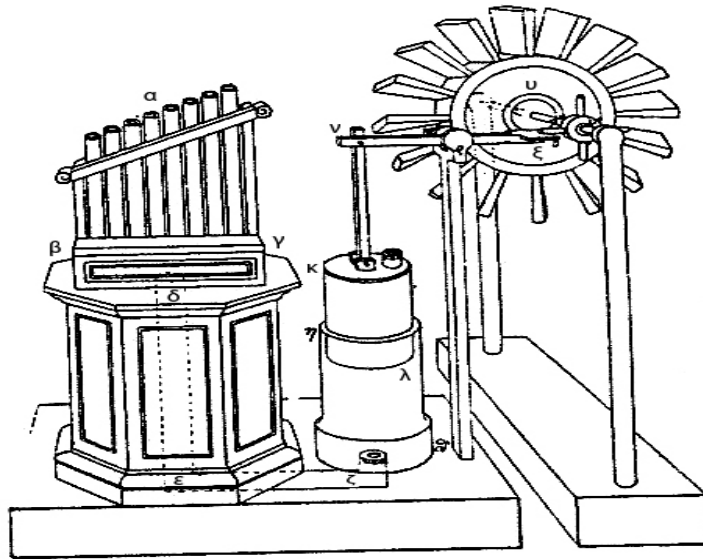
Το σύστημα είναι ένα κλειστό σύστημα ελέγχου με ελεγκτή τον κωνικό πλωτήρα. Στο σχήμα 12 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδας αυτής συσκευής αυτής.



Σχήμα 12. Το διάγραμμα βαθμίδας της συσκευής ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα του Κτησίβιου

2.1.4 Υδραυλίσ

Η υδραυλίσ είναι ένα μουσικό όργανο με σειρά αυλών. (Σχήμα 14) Μια νέα τεχνική που εξασφάλιζε με υδραυλικό τρόπο την σταθερή πίεση του αέρα. Το όργανο περιγράφεται αναλυτικά από τον Ήρωνα και τον Βιτρούβιο. Αποδίδεται και από τους δυο στον Κτησίβιο. Στο σχήμα 13 παρατηρούμε ότι η λειτουργία του βασίζεται σε ένα ρεύμα αέρα που οδηγείται μέσω του σωλήνα δεξ στους άλλους σωλήνες του αυλού από την αντλία ηθ. Όταν φυσάει, το έμβολο κλ παλινδρομεί με την βοήθεια του μοχλού νξ και του τύμπανου υ, που φέρει στην περιφέρεια του πτερύγια τα οποία περιστρέφονται με τον αέρα. [6,9,27]



Σχήμα 13. Η ύδραυλις του Κτησίβιου (Κηπουρός,6)



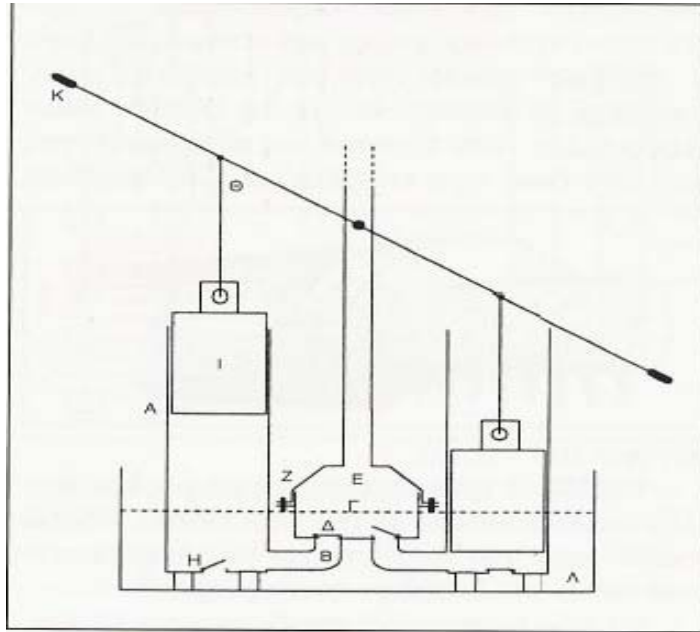
Σχήμα 14. Η ύδραυλις του Κτησίβιου (Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία,9)

2.1.5 Αντλία

Επίσης ο Κτησίβιος δημιούργησε μια μηχανή η οποία μπορεί να μεταφέρει το νερό σε μεγάλο ύψος. (Σχήμα 15)Κατασκευάζεται από ορείχαλκο. Αποτελείται από δύο όμοιους κυλίνδρους στους οποίους είναι προσαρμοσμένοι δύο σωλήνες. Οι σωλήνες αυτοί σχηματίζουν μια ανεστραμμένη διχάλα καθώς ενώνονται μεταξύ τους, συμβάλλοντας σε ένα δοχείο τοποθετημένο στην μέση. Στο εσωτερικό των κυλίνδρων υπάρχουν έμβολα που κινούνται παλινδρομικά με την βοήθεια ενός μοχλού. Η κίνηση των

εμβόλων δημιουργεί κενά αέρος και αναρρόφηση νερού το οποίο μέσω του σωλήνα μεταφέρεται από επάνω, έξω από τον χώρο που είναι βυθισμένη η αντλία. [9,13,27]

(Σχήμα 16)



Σχήμα 15. Η αντλία του Κτησίβιου (Βιτρούβιος,2)



Σχήμα 16. Η αντλία του Κτησίβιου(Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία,9)

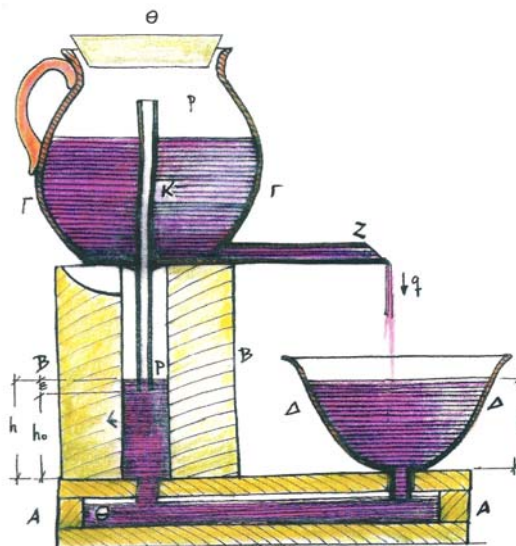
2.2 Φίλων του Βυζαντίου

Μεγάλος μηχανικός της Αλεξάνδρειας. Έζησε το 260-180π.Χ. Το έργο του μηχανικού Φίλωνα του Βυζαντίου για την κατασκευή λιμανιών, φρουρίων και πολιορκητικών μηχανών συνέβαλλε σημαντικά στην ενίσχυση της ναυτικής δύναμης των νησιών του Αιγαίου. Γίνεται αποδεκτό ότι ο Φίλωνας, τον οποίο ο Βιτρούβιος και ο Ήρωνας τον ονόμασαν Φίλωνα του Βυζαντίου, έζησε μια γενεά μετά από τον Κτησίβιο. Δεν είναι γνωστό πού πέρασε τη ζωή του όμως αναφέρεται η ύπαρξη του στη Ρόδο και στην Αλεξάνδρεια. [12,17,26]

Ο Φίλωνας είναι ο συντάκτης μιας εννιάμερης επιτομής των μηχανικών επιστημών. Μόνο κάποια μέρη αυτού έχουν διασωθεί, μεταξύ τους ένα βιβλίο στις πνευματικές συσκευές. Έγραψε το περίφημο εγχειρίδιο "Μηχανική Σύνταξις", το 5ο βιβλίο του οποίου με τίτλο "Πνευματικά" διασώθηκε σε αραβικό κείμενο και μεταφράστηκε στα γαλλικά από το βαρόνο Carra de Vaux στο Παρίσι το 1902.[15,24,26]

2.2.1 Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα

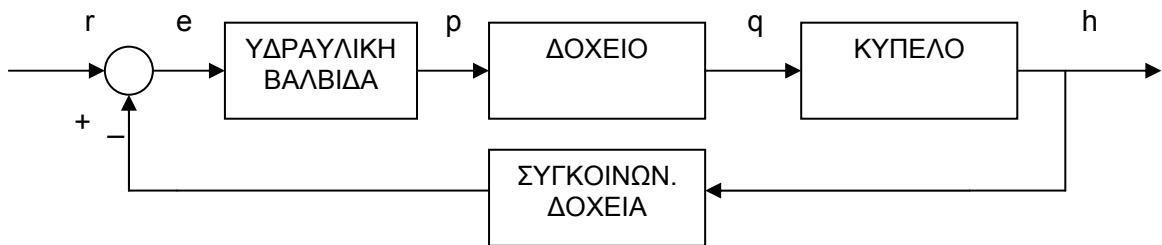
Η συσκευή αυτή αποτελείται από μία κοίλη παραλληλεπίπεδη ξύλινη βάση ΑΑ με κοίλωμα Θ, ένα επίσης κοίλο κυλινδρικό ξύλινο στήριγμα ΒΒ με κοίλωμα Ε, ένα μεγάλο δοχείο ΓΓ γεμάτο κρασί, στεγανά κλειστό στο στόμιο του θ, με έναν εσωτερικό κάθετο σωλήνα Κ που διαπερνά τη διάτρητη βάση του και ένα σωλήνα διαρροής Ζ στο ύψος του πυθμένα. Κάτω από το σωλήνα αυτόν βρίσκεται κύπελλο ΔΔ, διάτρητο στον πυθμένα του και σε επικοινωνία με το κοίλωμα Θ της βάσης ΑΑ. [1,28](Σχήμα 17)



Σχήμα 17. Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα του Φίλωνα (Καλλιγερόπουλος, 5)

Το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία εφ' όσον η στάθμη του κρασιού στο κύπελλο ΔΔ διατηρεί κλειστό το κάτω άνοιγμα Ρ του σωλήνα Κ και η υπό πίεση που δημιουργείται στο κενό του δοχείου ΓΓ δεν επιτρέπει ροή κρασιού από το στόμιο Ζ. Εάν όμως αφαιρέσουμε ορισμένη ποσότητα κρασιού από το κύπελλο, τότε το κάτω στόμιο Ρ του σωλήνα Κ θα απελευθερωθεί, η υπό πίεση στο κενό του δοχείου θα ανακάμψει και ίση ποσότητα κρασιού θα ρεύσει από το δοχείο ΓΓ μέσω του στομίου Ζ στο κύπελλο, μέχρις ότου αποκατασταθεί η αρχική ισορροπία.

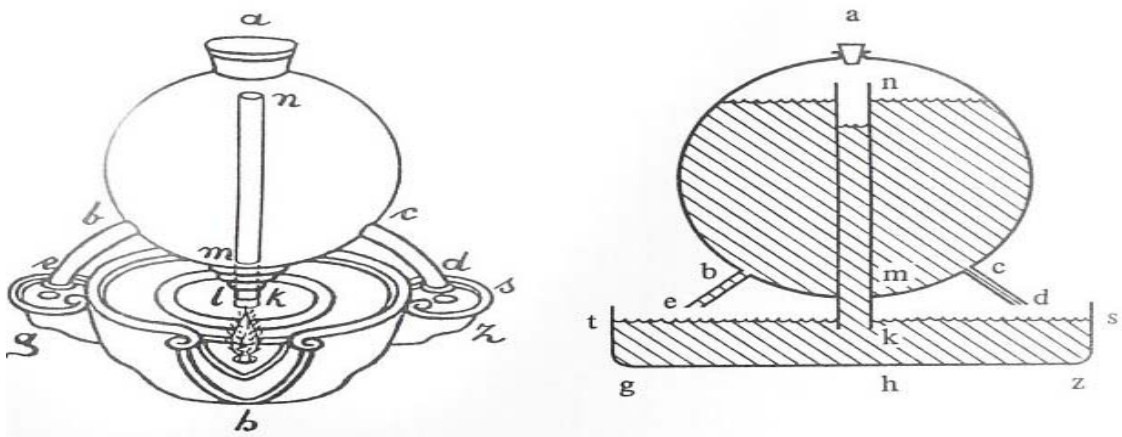
Στο σχήμα 18 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδας της συσκευής αυτής. Πρόκειται και εδώ για ένα κλειστό σύστημα ελέγχου της στάθμης. Η ανάδραση υλοποιείται μέσω των συγκοινωνούντων δοχείων και της υδραυλικής βαλβίδας που επιτρέπει ή όχι τη δίοδο του αέρα.[15]



Σχήμα 18. Το διάγραμμα βαθμίδας της συσκευής ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα του Φίλωνα

2.2.2 Ελαιολυχνία

Η ελαιολυχνία είναι ένα σύστημα ελέγχου επιπέδων. Ο Φίλωνας χρησιμοποιεί μια παρόμοια αρχή με αυτή του Κτησίβιου, την οποία εφάρμοσε σε μια ελαιολυχνία. Χρησιμοποίησε έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων για να κρατήσει ένα σταθερό επίπεδο πετρελαίου στο λαμπτήρα. (Σχήμα 19)



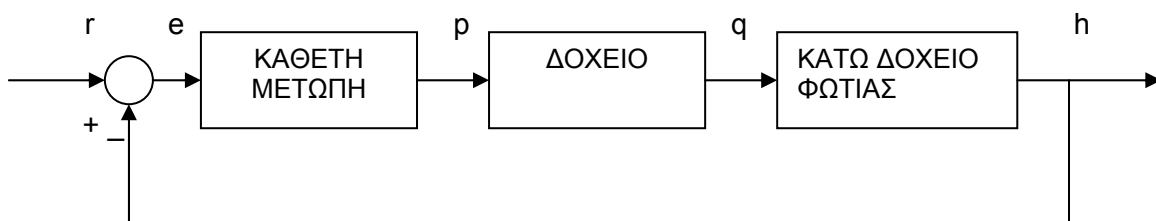
Σχήμα 19. Η ελαιολυχνία του Φίλωνα (Mayr, 15)

Ο λαμπτήρας αποτελείται από δύο δοχεία που ήταν γεμάτα με πετρέλαιο τα οποία ήταν το ένα πάνω από το άλλο. Το χαμηλότερο δοχείο, που ήταν ανοικτό στην κορυφή, περιείχε τα καύσιμα για το λαμπτήρα, ενώ το πάνω δοχείο που ήταν κλειστό, κράτησε τα καύσιμα που θα μεταφέρονταν στο χαμηλότερο, ως πετρέλαιο που καίγεται. Από την δεξαμενή εξέρχεται κατακόρυφος σωλήνας ο οποίος διαπερνά τον πυθμένα και φτάνει στην οροφή της δεξαμενής. Επίσης δύο τριχοειδείς σωλήνες ήταν εφαρμοσμένοι στον πυθμένα της δεξαμενής.[1]

Στην αρχική κατάσταση του σχήματος το σύστημα είναι σταθερό λόγω του ότι το στόμιο τροφοδοσίας a είναι κλειστό και στο χώρο n δεν εισέρχεται αέρας. Με την έναρξη λειτουργίας το υγρό καταναλώνεται με την καύση με αποτέλεσμα η στάθμη $t-s$ να κατέρχεται. Το υγρό του κεντρικού σωλήνα κατέρχεται χωρίς να μπορεί να αναπληρωθεί από την δεξαμενή. Όταν η στάθμη υποχωρήσει κάτω του σημείου k ο αέρας εισέρχεται από τον κατακόρυφο σωλήνα και επιτρέπει τη ροή του υγρού από τους τριχοειδείς σωλήνες. Η στάθμη της δεξαμενής ανέρχεται. Όταν φτάσει στο σημείο k φράσσει την είσοδο του αέρα. Ένα τμήμα του υγρού ανέρχεται στον κεντρικό σωλήνα έως ότου ισοσκελιστεί η υδροστατική πίεση και σταματά η ροή έως ότου επαναληφθεί το φαινόμενο.

Η κατάλληλη λειτουργία αυτής της συσκευής εξαρτάται από τη μορφή και τις διαστάσεις των σωλήνων. Η μετώπη πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε ο αέρας να μπορεί να αυξηθεί χωρίς αντίσταση μόλις έρχεται στο χαμηλότερο όριο του επιπέδου πετρελαίου. Οι σωλήνες εξόδου, αντίθετα, πρέπει να είναι αρκετά στενοί να αποτρέψουν τις αεροφυσαλίδες από την αύξηση από τις σχετικά μεγαλύτερες δυνάμεις της προσκόλλησης. [1,15]

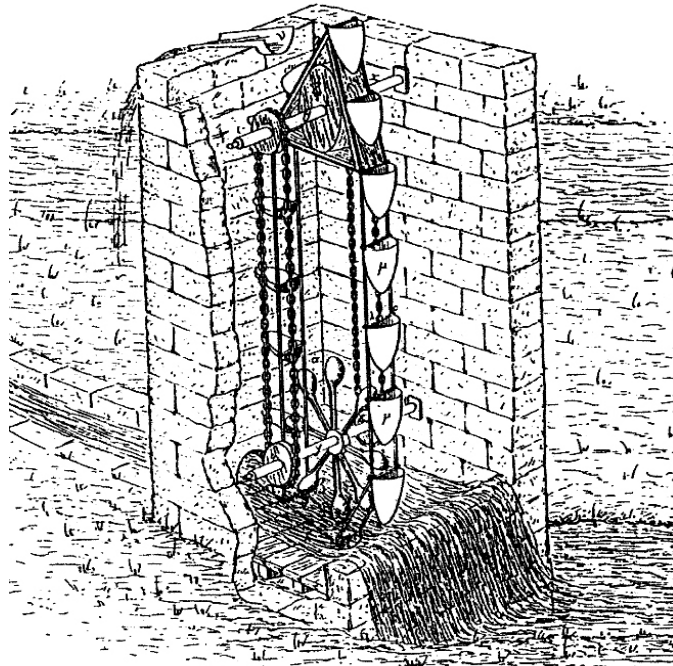
Το διάγραμμα βαθμίδας αυτού του συστήματος παρουσιάζει ένα σύστημα κλειστού βρόγχου.(Σχήμα 20) Τα χαρακτηριστικά της ανατροφοδότησης κρύβονται λεπτομερώς. Η συσκευή χρησιμοποιήθηκε πάλι από τον Ήρωνα, από τον Banu Musa από το Leonardo Da Vinci και αργότερα στη σύγχρονη γεωργία, στην κατανάλωση των γουρνών για τα ζώα.[1]



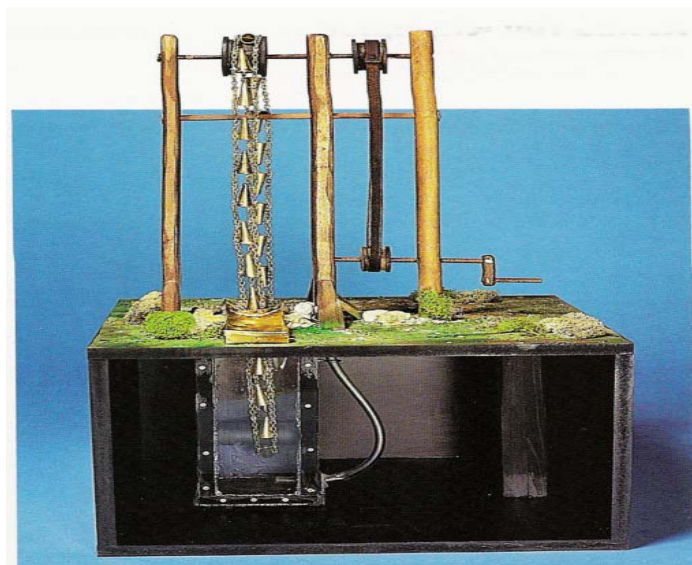
Σχήμα 20. Το διάγραμμα βαθμίδας της ελαιολυχνίας του Φίλωνα

2.2.3 Αλυσιδωτή αντλία

Η αντλία του Φίλωνα είναι κατασκευασμένη από ξύλο και αποτελείται από δέκα κάδους μεταφοράς νερού οι οποίοι στηρίζονται σε ξύλινο τροχό. (Σχήμα 21) Ο τροχός είναι εφοδιασμένος με ξύλινη φτερωτή, η οποία κινούμενη από τη ροή του ποταμού θέτει σε κίνηση και τον υπόλοιπο μηχανισμό. Με την αντλία αυτή επιτυγχάνεται η ανύψωση του νερού και η μεταφορά του στο επιθυμητό σημείο. [9](Σχήμα 22)



Σχήμα 21. Η αντλία του Φίλωνα (Philon, trans Carra de Vaux, 17)



Σχήμα 22. Η αντλία του Φίλωνα(Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία,9)

2.3 Ήρων ο Αλεξανδρεύς

Ο Ήρωνας ήταν Έλληνας, γεννήθηκε στην Αλεξάνδρεια και έδρασε στην Αίγυπτο. Αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές πηγές της γνώσης μας σχετικά με την αρχαία τεχνολογία. Ακόμα είναι ο πρώτος επιστήμονας της αρχαιότητας που πέτυχε να συνδυάσει συστηματικά τη θεωρία με την πράξη. Γι αυτό ουσιαστικά θεωρείται ο θεμελιωτής των τεχνικών επιστημών και ένας από τους πιο διακεκριμένους φυσικούς μηχανικούς και μαθηματικούς της αρχαιότητας.

Η απάντηση στο ερώτημα πότε έζησε ο Ήρων δεν έχει ακόμα δοθεί. Τον τοποθετούμε γύρω στα 125-200μ.Χ .Πολλοί εξέχοντες ιστορικοί έχουν προσπαθήσει να απαντήσουν στο ερώτημα αυτό, ωστόσο, οι απαντήσεις τους περισσότερο διαφέρουν παρά συμφωνούν. Για την έρευνά τους αυτή χρησιμοποίησαν ή πρόσωπα που συσχετίστηκαν με τον Ήρωνα (Αρχιμήδης, Κτησίβιος, Φίλωνας, κλπ) ή το τεχνικό, μηχανικό, φυσικό και μαθηματικό έργο του Ήρωνα ή το γλωσσικό ύφος των έργων του.

Ο Ήρωνας έζησε στην Αλεξάνδρεια σε μία εποχή που οι διανοούμενοι και οι ψευτοδιανοούμενοι είχαν επηρεαστεί από την μόδα της Αττικής διαλέκτου. Εξ άλλου λόγω της υποταγής της Αιγύπτου στη Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία έγινε πιο εύκολη η “ρύπανση” της Ελληνικής γλώσσας με την εισροή νέων Ιταλικών λέξεων και λατινισμών από τους διανοούμενους και τεχνοκράτες κατακτητές. Μέσα σ' αυτόν τον χωροχρόνο ο Ήρωνας σαν διευθυντής τεχνικής σχολής (του πρώτου Πολυτεχνείου του κόσμου) ήταν υποχρεωμένος να γράφει στη γλώσσα που θα καταλάβαιναν οι μαθητές του, κι αυτή δεν ήταν άλλη παρά η γλώσσα του λαού, η “κοινή”. [9, 28,41]

Οι Άραβες θαύμασαν τον Ήρωνα και μετέφρασαν τα έργα του, κι έτσι διασώθηκαν μέχρι τώρα. Είναι όμως περίεργο πως οι Άραβες που προήγαν τα μαθηματικά, την οπτική, την αστρονομία και τη χημεία της Αλεξανδρινής επιστήμης, δεν επεδίωξαν την εφαρμογή της μηχανικής και των εφαρμογών της, με τόσο πλούσιο υλικό που κληρονόμησαν από τον Ήρωνα.

Από το συγγραφικό του έργο, αυτό που δεν έχει χαθεί, έχει φθάσει σ' εμάς μεταποιημένο από τους διάφορους αντιγραφείς ή μεταποιητές. Τα σπουδαιότερα από τα διασωθέντα έργα του είναι τα εξής:

1. “Εκ των μαθηματικών”:Σ' αυτό το έργο εκτίθεται σε περίληψη η γεωμετρία του Ήρωνα.

2. Από τα έργα του Ήρωνα στη φυσική τα σπουδαιότερα είναι: το “περί κενού” και τα “κατοπτρικά” με στοιχεία οπτικής. Το έργο διασώθηκε από τη λατινική μετάφραση του Δομινικανού μοναχού Γουλιέλμου. Το έργο του “περί διόπτρας” με στοιχεία τοπογραφικών μετρήσεων. Αυτό αναφέρεται στη γεωδαισία η οποία διδάσκει τις επιστημονικές μεθόδους, με τις οποίες μπορούμε να μετρήσουμε εκτάσεις του πλανήτη μας. [6,24,26]

3. Τα σημαντικότερα έργα του Ήρωνα, τα αναφερόμενα στη μηχανική και τις εφαρμογές της είναι τα ακόλουθα: Τα “πνευματικά”, ή “περί πίεσεως και πιεστηρίων”, σε δυο βιβλία με τα αυτόματα πνευματικά και υδραυλικά. Περί “αυτοματοποιητικών” με τα αυτόματα θέατρα και Τα “Βελοποικιά” ή “περί κατασκευής τηλεβόλων” που περιέχει τη θεωρία της βολής και αναλύει τα ελληνιστικά βαλλιστικά όπλα.

Τα χαμένα του έργα είναι τα εξής:

1. “Καμαρικά”
2. “Περί ζυγίων”,
3. “Αστρολάβον”

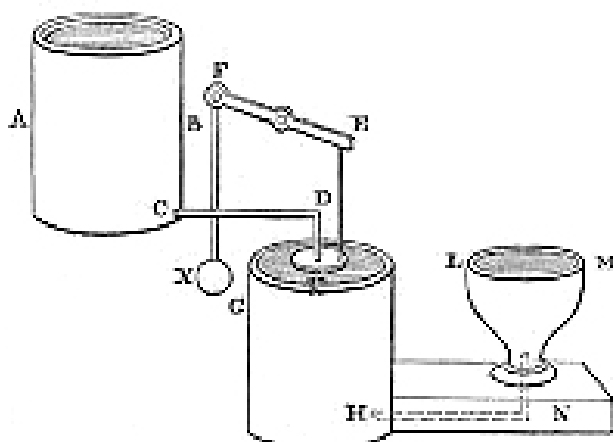
4. “Περί υδρίων ωροσκοπίων” (ρολόγια που η λειτουργία του βασίζεται στην υδροστατική πίεση).

Ο εκδοτικός οίκος B.G Teubner της Λειψίας έχει εκδώσει από 1899μ.Χ-1914μ.Χ τα διασωθέντα έργα σε πέντε τόμους.

Θα αναλύσουμε κάποιες από τις συσκευές που περιγράφονται στα Πνευματικά (I,20, II,30, και II,31) και μπορούν να θεωρηθούν ότι προέρχονται από την βαλβίδα επιπλέοντος σώματος του Κτησίβιου.[15]

2.3.1 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων (Πνευματικά I.20)

Έστω AB ένα σκεύος που περιέχει τόσο νερό όσο πιθανόν θα απαιτηθεί, και CD ένας σωλήνας που το συνδέει κάτω με ένα άλλο σκεύος GH. Κοντά στον σωλήνα βάζουμε ένα μοχλό EF, και στην άκρη E βάζουμε ένα επιπλέον σώμα. Στην άλλη άκρη F αφήνουμε μια αλυσίδα να στερεωθεί εφοδιασμένη με ένα μολύβδινο βάρος. Όταν έρθει το νερό από σκεύος το επιπλέον σώμα που είναι βαρύτερο από το βαρίδιο, θα βυθίσει και θα ανοίξει το σωλήνα, έτσι ώστε το νερό να μπορεί να ρεύσει πάλι μέσα και να σηκώσει το επιπλέον σώμα. [10,25](Σχήμα 23)



Σχήμα 23. Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα(25)

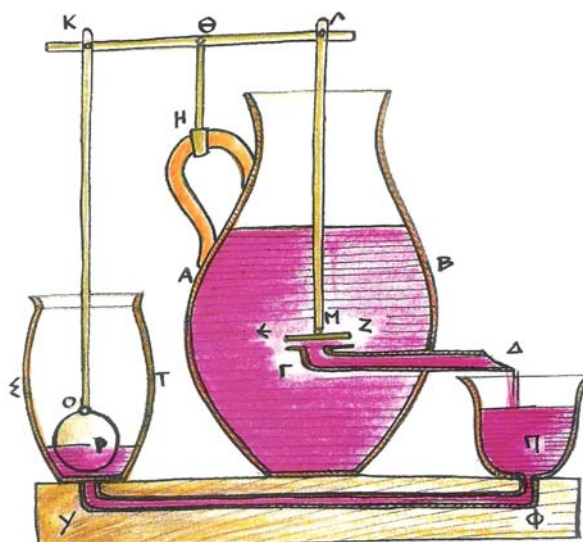
Έστω LM να είναι ένα κύπελλο που τοποθετείται σε κατάλληλη θέση, το χείλος του οποίου είναι στο ίδιο επίπεδο με την επιφάνεια του νερού στο κατώτερο σκεύος. Αφήνουμε το σωλήνα HN να κατευθυνθεί από αυτό στο κατώτατο σημείο του κυπέλλου.

Όταν κύπελλο είναι πλήρες, αν σύρουμε το νερό από αυτό, θα μειώσουμε συγχρόνως το νερό στο σκεύος και το επιπλέον σώμα που βυθίζεται θα ανοίξει τον σωλήνα, έτσι ώστε το νερό να ρέει και στο σκεύος και στο κύπελλο. Έτσι θα σηκώσει πάλι το επιπλέον σώμα, και η ροή θα σταματήσει.[10,25]

Το σύστημα είναι επομένως ισοδύναμο με τη ρύθμιση του Κτησίβιου. Η ακτίνα ισορροπίας με το αντίβαρο έχει μόνο τη λειτουργία να καθοδηγήσει το επιπλέον σώμα κατάλληλα. Οι μεταβλητές διαταραχής είναι το επίπεδο στη δεξαμενή ανεφοδιασμού και το ποσοστό στα οποία το υγρό λαμβάνεται από το ρυθμισμένο σκάφος.[15]

2.3.2 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων (Πνευματικά II.31)

Η επόμενη συσκευή είναι παρόμοια λειτουργία με το προηγούμενο αλλά βελτιώνεται πολύ με τεχνικές λεπτομέρειες. (Σχήμα 24) Όπως πριν, το πρόβλημα ένα σταθερό υγρό επίπεδο λύνεται από μια βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων. Μια καινοτομία, εντούτοις, είναι ο πλήρης χωρισμός των λειτουργιών της αντίληψης (επιπλέον σώμα) και αυτή της δράσης ελέγχου (βαλβίδα) μέσω αυτού το σύστημα έχει γίνει τυπικά ένα σύστημα ανατροφοδότησης υπό τη σύγχρονη έννοια.[1]

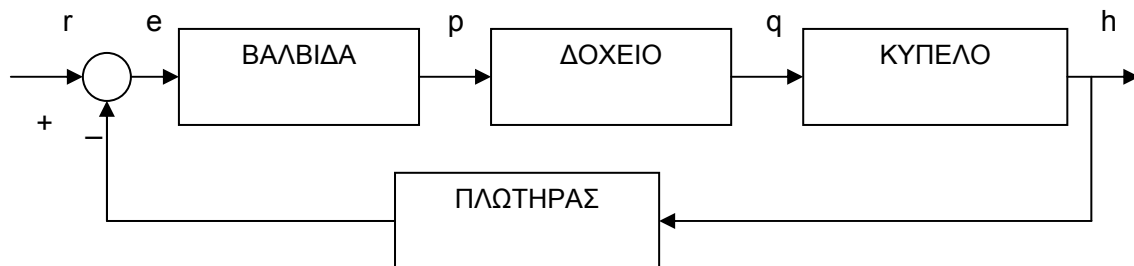


Σχήμα 24. Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα-Πνευματικά II.31
(Καλλιγερόπουλος,5)

Από το στόμιο ενός αγγείου ένα ποτήρι γεμίζει κρασί. Όσο κρασί παίρνουμε από το ποτήρι τόσο θα ρεύσει σ' αυτό από το στόμιο του αγγείου. Όταν τα αγγεία Π και ΣΤ είναι κενά, ο πλωτήρας Ρ ακουμπάει τον πυθμένα του αγγείου ΣΤ και το στόμιο ΓΔ μένει

ανοιχτό. Το κρασί τότε ρέει από αυτό και στα δύο δοχεία ΣΤ και Π, οπότε ανυψώνεται ο πλωτήρας και κλείνει το στόμιο, έως ότου πάλι αφαιρέσουμε κρασί από το ποτήρι.

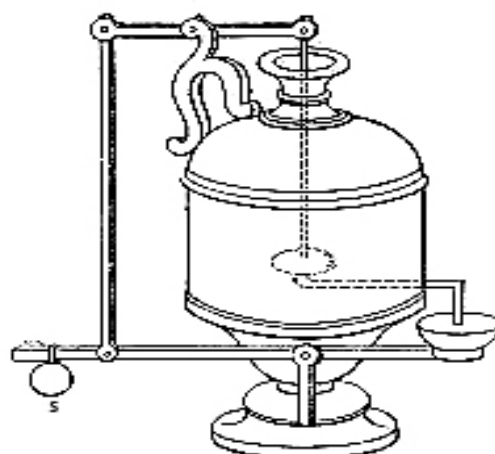
Το διάγραμμα βαθμίδας στο σχήμα 25 παρουσιάζει κλειστό βρόχο, σχεδόν όμοιο με αυτόν του προηγούμενου συστήματος. Βασικά, αυτό το σύστημα είναι το ίδιο όπως αυτό που βρίσκεται στα σημερινά τύμπανα λεβήτων ή τις επίπεδες δεξαμενές για τις τουαλέτες.[15]



Σχήμα 25. Το διάγραμμα βαθμίδας του ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα(Πνευματικά Ι.20)

2.3.3 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων (Πνευματικά ΙΙ.30)

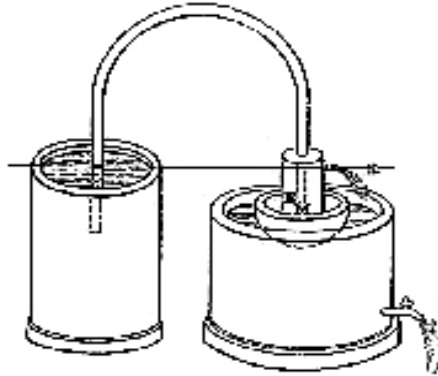
Μια παραλλαγή είναι ο διανομέας κρασιού που ελέγχεται από ένα βάρος. (Σχήμα 26) Η ελεγχόμενη μεταβλητή δεν είναι εδώ το επίπεδο αλλά το βάρος του βάζου κρασιού. Μετρείται από μια ισορροπία όπου τη μεταβλητή εντολής αλλάζουν εύκολα με την ολίσθηση του βάρους S. Η σύγκριση μεταξύ του επιθυμητού και πραγματικού βάρους πραγματοποιείται από μια αφαίρεση των ροπών ενώ το υπόλοιπο της συσκευής παραμένει αμετάβλητο έναντι του τελευταίου.[10,25]



Σχήμα 26. Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα,(25)

2.3.4 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων (Πνευματικά Ι.25)

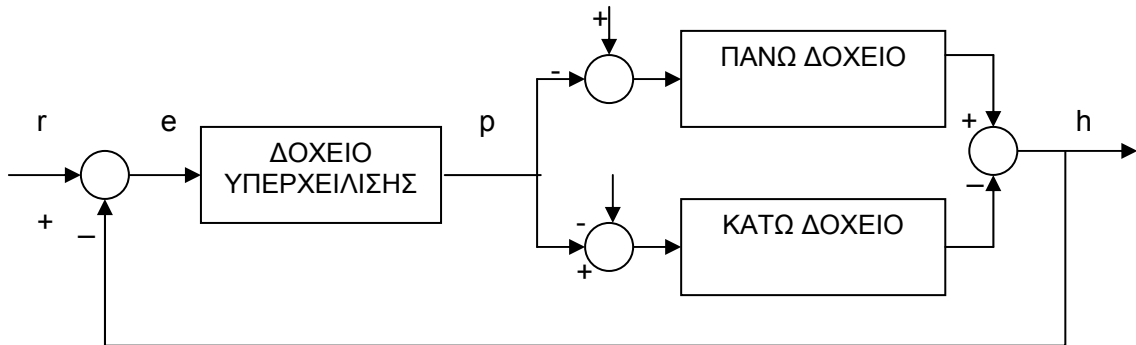
Εμφανίζεται μια ρύθμιση που παρουσιάζει όλα τα χαρακτηριστικά της συστήματος ελέγχου ανατροφοδότησης. (Σχήμα 27) Ένα σιφόνι, που συνδέει δύο σκάφη που έχουν τα ρευστά επίπεδα διαφορετικών υψών, επιπλέει στο χαμηλότερο των δύο, όπου είναι συνδεδεμένος με ένα μικρό σκάφος υπερχειλίσσης. Συνεπώς το υγρό θα ρεύσει από το πιο υψηλό στο χαμηλότερο επίπεδο έως ότου καθιερώνεται μια προκαθορισμένη διαφορά επιπέδων. [10,25]



Σχήμα 27. Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα(25)

Το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει αυτήν την διαφορά επιπέδων μεταξύ των δύο σκαφών σε σχέση με χαμηλότερο ένα από τα δύο. Οι διαταραχές θα ήταν η προσθήκη του υγρού στον ανώτερο, ή η αφαίρεση του υγρού από το χαμηλότερο σκάφος. Η επιθυμητή διαφορά επιπέδων καθορίζεται από την απόσταση μεταξύ της υπερχειλίσσης και της ίσαλης γραμμής του επιπλέοντος σώματος, ενώ το πραγματικό ανώτερο επίπεδο αντιστοιχεί σε αυτό στο μικρό σκάφος υπερχειλίσσης.

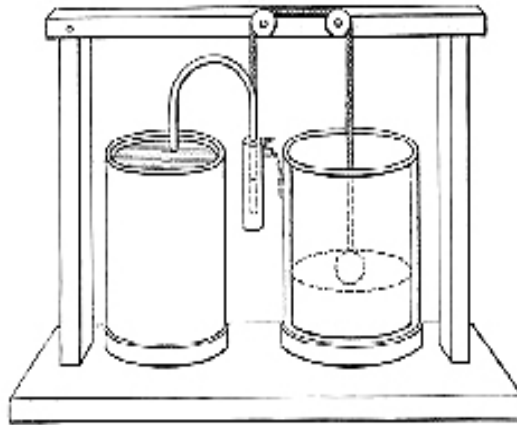
Το διάγραμμα βαθμίδας στο σχήμα 28 παρουσιάζει κλειστό βρόχο. Αυτή η εφεύρεση είναι μια συσκευή ανατροφοδότησης μιας σημασίας συγκρίσιμης με αυτήν του Φίλωνα στη ελαιολυχνία του αλλά δεδομένου ότι είναι μόνο μια επίδειξη μιας φυσικής αρχής μη εφαρμόσιμης σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο στόχο δεν έλαβε καμία περαιτέρω προσοχή. [15]



Σχήμα 28. Το διάγραμμα βαθμίδας του ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα(Πνευματικά Ι.20)

2.3.5 Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων (Πνευματικά 1.26)

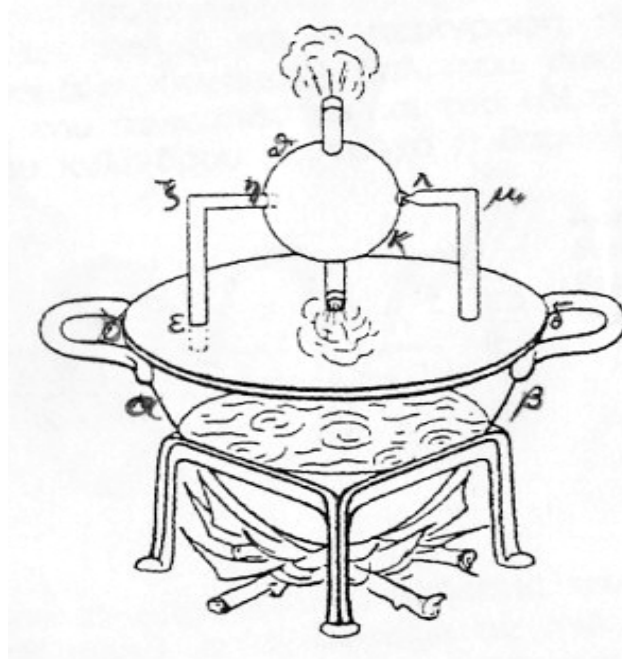
Οι μικρές τροποποιήσεις των προηγούμενων συσκευών οδήγησαν στη ρύθμιση αυτή της οποίας ο σκοπός είναι ακόμα πιο εξεζητημένος. (Σχήμα 29) Το ποσοστό εκροής του κρασιού από μια συσκευή είναι να υπάρξει μια σταθερή αναλογία στο ποσοστό εισαγωγής του νερού σε ένα άλλο σκεύος. Ο κλειστός βρόχος διακόπτεται, και το επίσημο χαρακτηριστικό της ανατροφοδότησης χάνεται. [15]



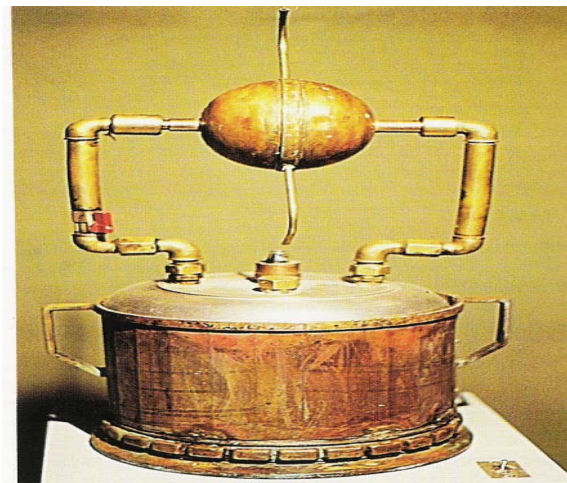
Σχήμα 29. Ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα(25)

2.3.6 Αιολόσφαιρα

Αν και υπάρχουν ενδείξεις για απλή χρήση του ατμού από τον Αρχιμήδη και τον Φίλωνα, η ανακάλυψη της ατμομηχανής ανήκει αποκλειστικά στον Ήρωνα, ο οποίος προέβη σε αυτή την επινόηση έχοντας μελετήσει σε βάθος την θεωρία "περί της υλικής υποστάσεως του αέρα". Στην ιστορία της μηχανικής η περιστροφική ατμομηχανή του Ήρωνα αναφέρεται σαν Αιολόσφαιρα ή Αιόλου Πύλη ή Ατμοστήλη. Η συσκευή αυτή αξιοποιεί την πίεση του ατμού και την μετατρέπει σε κινητήρια περιστροφική δύναμη.[6,9] (Σχήμα 30 και 31)



Σχήμα 30. Η Αιολόσφαιρα του Ήρωνα (Κηπουρός,6)



Σχήμα 31. Η Αιολόσφαιρα του Ήρωνα(Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία,9)

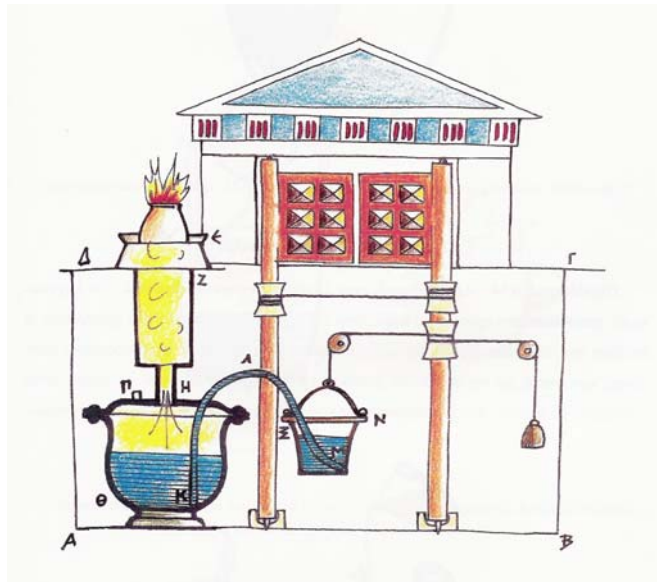
Λειτουργήσε ως εξής: Ο λέβητας $\alpha\beta$ περιέχει μια ποσότητα νερού και κλείνει αεροστεγώς με το καπάκι $\gamma\delta$. Θερμαίνουμε τον λέβητα κι έτσι παράγονται ατμοί που οδηγούνται μέσω του σωλήνα $\epsilon\zeta$ στην σφαίρα $\theta\kappa$. Έπειτα εξέρχονται από δύο σωλήνες που είναι τοποθετημένοι σε ορθή γωνία, στα άκρα μιας διαμέτρου. Έτσι η σφαίρα περιστρέφεται γύρω από τον άξονα $\eta\lambda$ από ένα ζεύγος δυνάμεων που αναπτύσσεται στα ελεύθερα άκρα των σωλήνων.

Σ' αυτό το πείραμα βασίζεται και η λειτουργία των μηχανών δι' αντιδράσεως που στηρίζεται στο αξίωμα διατηρήσεως της ορμής και έχει εφαρμογή στα αεριοθούμενα σκάφη. Επίσης αποτελεί αναμφίβολα πρόδρομο της ατμομηχανής. Το εντυπωσιακό είναι

ότι η λειτουργία αυτή (κίνηση δι' εκτονώσεως αερίου) είναι ίδια με την θεωρία της πρόωσης των σύγχρονων πυραύλων και αεριοθουμένων.[6,26]

2.3.7 Αυτόματες Πύλες Ναού

Ο Ήρωνας αξιοποιεί στο μηχανισμό αυτό τη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα κάτω από τον βωμό. Ο ρυθμιστής αυτός είχε σχεδιαστεί έτσι ώστε η πύλη του ναού άνοιγε αυτόματα όταν άναβε η φωτιά στον βωμό και έκλεινε όταν έσβηνε η φωτιά. (Σχήμα 32)



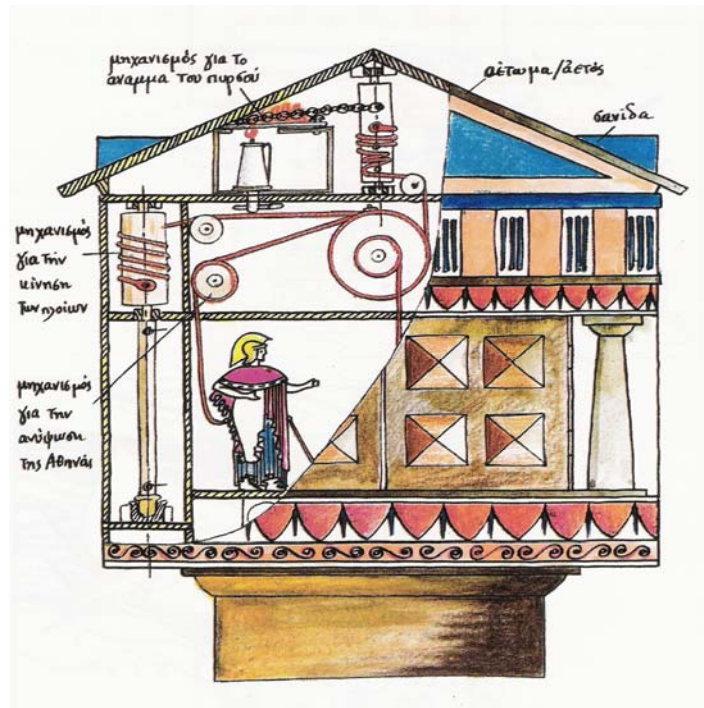
Σχήμα 32. Οι αυτόματες πύλες του Ήρωνα (Καλλιγερόπουλος,5)

Ο αυτοματισμός επιτυγχανόταν ως εξής: Η φωτιά ζέσταινε τον αέρα κάτω από τον βωμό. Ο ζεστός αέρας έσπρωχνε το νερό από το ένα δοχείο στο άλλο. Το πρώτο δοχείο παρέμενε ακίνητο ενώ το δεύτερο ήταν κρεμασμένο με σκοιινιά που ήταν τυλιγμένα κατάλληλα σε έναν μηχανισμό με αντίβαρο.

Όταν το δεύτερο δοχείο ήταν άδειο, ο μηχανισμός αυτός κάτω από το βάρος του αντίβαρου κρατούσε την πύλη κλειστή. Όταν στο δεύτερο δοχείο έμπαινε αρκετό νερό από το πρώτο δοχείο, τότε το δεύτερο δοχείο κατέβαινε προς τα κάτω ενώ το αντίβαρο ανέβαινε προς τα πάνω με αποτέλεσμα ο μηχανισμός με τα σκοιινιά να ανοίγει την πύλη. Όταν έσβηνε η φωτιά, το νερό από το δεύτερο δοχείο επέστρεφε στο πρώτο δοχείο και το αντίβαρο κατέβαινε προς τα κάτω ενώ το δεύτερο δοχείο ανέβαινε προς τα πάνω με αποτέλεσμα να κλείνει η πύλη. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιούταν για να εντυπωσιάζει τους πιστούς δεδομένου ότι το σύστημα αυτοματισμού ήταν κρυμμένο στο έδαφος.[6,9,13]

2.3.8 Αυτόματα Θέατρα

Τα σταθερά αυτόματα τα περιγράφει ο Ήρωνας ως εξής: Πάνω σε ένα μικρό στύλο τοποθετείται μία σκηνή θεάτρου που διαθέτει πόρτες ικανές να ανοίγουν και που περιέχει διάταξη μορφών που αναπαριστούν ένα μύθο. (Σχήμα 33)



Σχήμα 33. Τα αυτόματα θέατρα του Ήρωνα (Καλλιγερόπουλος,5)

Οι πόρτες ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα και κάθε φορά νέες μορφές παρουσιάζονται μέχρις ότου ολοκληρωθεί η παράσταση. Και οι μορφές που εμφανίζονται ζωγραφισμένες στον πίνακα όλες να φαίνεται ότι κινούνται, εάν ο μύθος το απαιτεί, άλλες σαν να δουλεύουν με σκεπάρνια, με σφυριά ή με πελέκια και να προκαλούν με κάθε κτύπο κρότο σαν τον αληθινό.

Για τη λειτουργία των σταθερών αυτομάτων, ο Ήρωνας αναφέρει μηχανισμούς, για την αυτόματη εμφάνιση της Αθηνάς, για την παραγωγή του ήχου της βροντής, για να ανοίγουν και να κλείνουν αυτόματα οι πόρτες του θεάτρου σε προγραμματισμένα χρονικά διαστήματα, για τις κινήσεις των μορφών που δουλεύουν με τα σφυριά, για τη διαδοχική αλλαγή των σκηνικών, για την κίνηση των δελφινιών και τον παράπλου των πλοίων, για το ανάμμα του πυρσού, για την πτώση του κεραυνού και την εξαφάνιση του ειδώλου του Αίαντα. [4,9,26]

Τα κινητά αυτόματα περιγράφονται ως εξής: Κατασκευάζονται ναοί ή βωμοί μετρίου μεγέθους, ικανοί να μετακινούνται αυτόματα και να στέκονται μετά σε καθορισμένες θέσεις. Όταν ανάψει φωτιά στον βωμό, οι φιγούρες θα αρχίσουν να χορεύουν. Οι βωμοί πρέπει να ναι διαφανείς. Στην μέση του βωμού, ένας σωλήνας τοποθετείται κάθετος στη

βάση του και ενώνονται μ' αυτόν τον σωλήνα στο κάτω μέρος του μικρότεροι σωλήνες κάθετα ο ένας στον άλλο, στις αντίθετες κατευθύνσεις. Μια ρόδα στην οποία στέκονται οι φιγούρες, στερεώνεται επίσης στο σωλήνα. [8] (Σχήμα 34)



Σχήμα 34. Τα κινητά θέατρα του Ήρωνα (Καλλιγερόπουλος,5)

Όταν η θυσία ανάβει, ο αέρας αναπτύσσει θερμότητα, που θα περάσει μέσω του σωλήνα ψηλά και θα ωθήσει δύναμη στους μικρούς σωλήνες. Όταν συναντήσει αντίσταση από τα πλάγια του βωμού, θα αναγκάσει το σωλήνα και να περιστραφεί. Επομένως και τις φιγούρες. Τέτοια αυτόματα με τη μορφή ναών είχαν επάνω τους μορφές, όπως το Διόνυσο ή τη Νίκη, που μπορούσαν να περιστρέφονται, είχαν Βάκχες που χόρευαν κάτω από τον ήχο τυμπάνων και κυμβάλων, είχαν βωμούς όπου ξάφνου άναβαν αυτόματα φωτιές και πάλι αυτόματα λουλούδια στεφάνωναν το ναό και με συστήματα υδραυλικά έτρεχε γάλα ή κρασί σε τακτά χρονικά διαστήματα.[4,5]

2.4 Σχόλια

Το αρχικό κίνητρο για τον έλεγχο ανατροφοδότησης στην αρχαιότητα ήταν η ανάγκη για τον ακριβή προσδιορισμό του χρόνου. Έτσι ο Κτησίβιος δημιουργεί έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων για ένα ρολόι ύδατος. Αργότερα ο Φίλωνας και ο Ήρωνας τον χρησιμοποίησαν και σε άλλες εφαρμογές. Η μοίρα του ρυθμιστή βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων είναι πολύ σημαντική.

Όποιος ψάχνει για τις εφαρμογές αυτής της εφεύρεσης θα απογοητευθεί. Η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων όπως εφαρμόζεται στον έλεγχο επιπέδων είναι συνολικά απύσχα

από την τεχνολογική λογοτεχνία της Ευρώπης μεταξύ του 12ου και του 18ου αιώνα. Γιατί η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων αγνοήθηκε τόσο στην Ευρώπη μέχρι τον 18ο αιώνα; Είναι ασύλληπτο ότι αγνοήθηκε τυχαία ή παρανοήθηκε. Κάποιος αναγκάζεται να καταλήξει στο συμπέρασμα ότι ο ρυθμιστής επιπέδων βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων απορρίφθηκε συνειδητά από τους μηχανικούς της αναγέννησης και μπαρόκ. [15]

3. ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΠΙΠΛΕΟΝΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΑΙΓΥΠΤΟ

Περισσότερα από εκατό χειρόγραφα από τα “Πνευματικά” του Ήρωνα συντηρούνται τα οποία προετοιμάστηκαν μετά τον 12 αιώνα. Καμία άμεση αναφορά στα “Πνευματικά” δεν είναι γνωστή στη λογοτεχνία των προ-ισλαμικών χρόνων. Το βιβλίο βρήκε αναγνώστες μόνο στον ισλαμικό κόσμο. Αυτό φαίνεται από δύο εργασίες γραπτές σε ένα αληθινά παρόμοιο πνεύμα: Το βιβλίο του Al-Jazzari στους έξυπνους μηχανισμούς, και το “Kittib al-Ifiyal” των Banu Musa. Η ισλαμική αραβική τεχνολογία έχει ως βάση την ελληνική τεχνολογία.

3.1 Το ρολόι της Γάζας

Ένας πρόδρομος των ισλαμικών μνημειακών ρολογιών είναι το μεγάλο μαγικό ρολόι της Γάζας που περιγράφεται από τον Procorius στο πρώτο μισό του 6ου αιώνα μ.Χ. Δυστυχώς, η περιγραφή του δεν είναι πολύ χρήσιμη, γιατί περιορίζεται στο εξωτερικό του ρολογιού, χωρίς να πει τίποτα για το τεχνικό μέρος. (Σχήμα 35)



Σχήμα 35. Το ρολόι της Γάζας (Καλλιγερόπουλος,5)

Το ρολόι βρέθηκε στο κέντρο της πόλης. Ήταν περίπου 6 μέτρα υψηλό και 2,7 μέτρα φαρδύ, και διενεργούσε διάφορες αυτόματες μυθολογικές επιδείξεις κάθε ώρα. Λειτουργούσε με το δωδεκάωρο σύστημα. Σε κάθε ώρα μια φιγούρα του Ηρακλή εμφανιζόταν από μια σειρά από δώδεκα πόρτες, κρατώντας ένα αντικείμενο που αντιπροσώπευε μία από τις δώδεκά ώρες. Ένας αετός που τοποθετεί το επάνω από αυτόν, έγερνε κάτω και έβαζε ένα στεφάνι νικητή για να δηλώσει την επιτυχή ολοκλήρωση από την εν λόγω εργασία. Μετά η φιγούρα του Ηρακλή έφευγε πάλι πίσω από εκεί που είχε εμφανιστεί. [5]

Το ρολόι ανακοίνωνε επίσης τις ώρες από τον ήχο, που χτυπά μια έως έξι φορές σε δύο κύκλους ανά ημέρα. Στην εξωτερική εμφάνιση το ρολόι της Γάζας ήταν παρόμοιο με τα πρόσφατα Αραβικά ρολόγια, και αναρωτιόμαστε μήπως έμοιαζε και στο εσωτερικό του. Ο Procorius δεν ανέφερε οποιαδήποτε γραμμή παροχής νερού. Η χρήση της βαλβίδας επιπλεόντων σωμάτων δεν πρόκειται επομένως να οριστεί. [5]

3.2 Το ρολόι του ψευδό-Αρχιμήδη

Το πρώτο των τριών μεγάλων Αραβικών εγχειριδίων ωρολογοποιίας είναι η εργασία του Αρχιμήδη στην κατασκευή ρολογιών, με την πιο πρόωρη αναφορά σε αυτό από τον Fihrist Al-Nadim. Από το λογοτεχνικό ύφος και την τεχνική σχεδίων του αυτό το βιβλίο ρολογιών φαίνεται να είναι μια ισλαμική εργασία βασισμένη στην ελληνορωμαϊκή τεχνολογία.

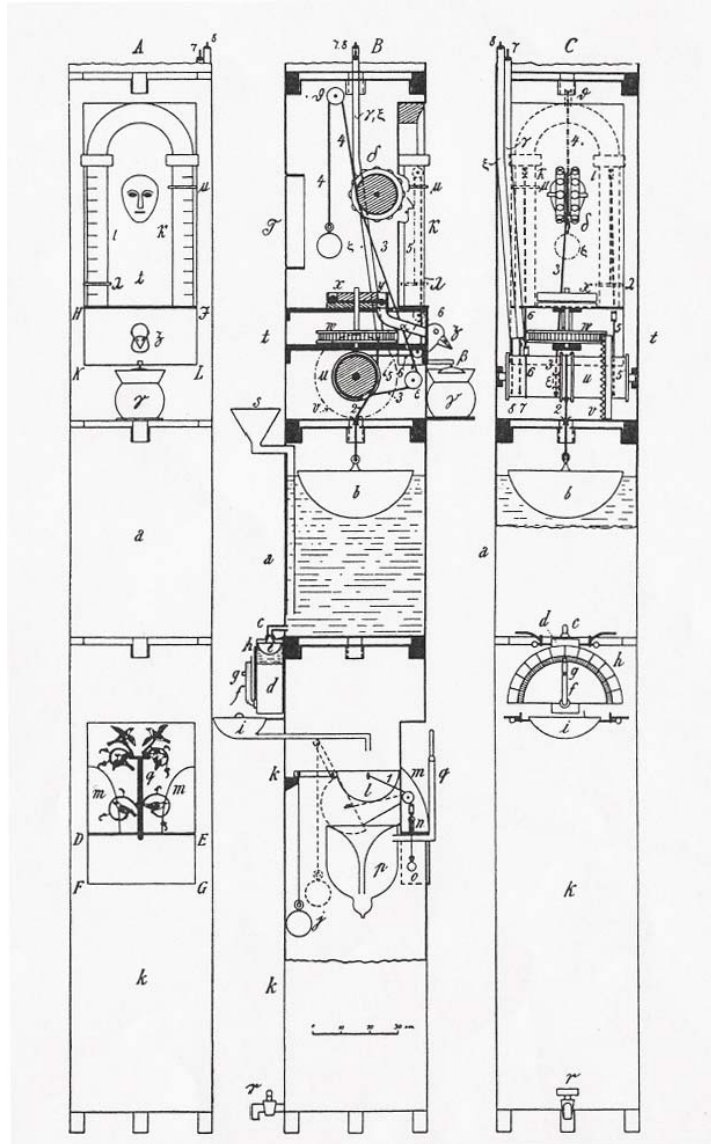
Δεν γράφτηκε από το μεγάλο Αρχιμήδη τον Συρακούσιο αλλά από κάποιον ανώνυμο συντάκτη στον οποίο θα αναφερθούμε ως ψευδό-Αρχιμήδη. Γράφτηκε στην αραβική γλώσσα και η εργασία έχει επιζήσει σε τρία χειρόγραφα. Μια γερμανική έκδοση προετοιμάστηκε το 1915μ.Χ από τους Eilhard Wiedemann και Friedrich Hauser. Αυτοί οι μεταφραστές, και οι δύο φυσικοί στο επάγγελμα, θεωρήθηκαν αναρμόδιοι για να αναλύσουν το βιβλίο από τη φιλολογική άποψη.[15]

Τα θέματα της ηλικίας των χειρογράφων και η προέλευση του ίδιου του βιβλίου είναι ακόμα ανοικτά. Ο Wiedemann και ο Hauser θεώρησαν την εργασία βυζαντινής προέλευσης, ενώ ο Drachmann τείνει να την αποδώσει σε έναν ισλαμιστή εφευρέτη. Η εργασία έλαβε ευνοϊκά σχόλια από τον Fihrist, στα δύο μεγάλα ωρολογιακά βιβλία από τον Al-Jazzari και τον Ibn al-Sa'ati, αλλά και στις εργασίες από τρεις άλλους Άραβες συγγραφείς. Ο Ibn al-Akfiini παραδείγματος χάριν, γράφοντας σχετικά με το θέμα των ρολογιών, δηλώνει ότι το βιβλίο του Αρχιμήδη αποτελεί τη βάση για την κατανόησή τους.

Η περιγραφή του περίπλοκου ρολογιού είναι τόσο λεπτομερής που ο Wiedemann

Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ
ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ ΣΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ 2000 ΧΡΟΝΙΑ

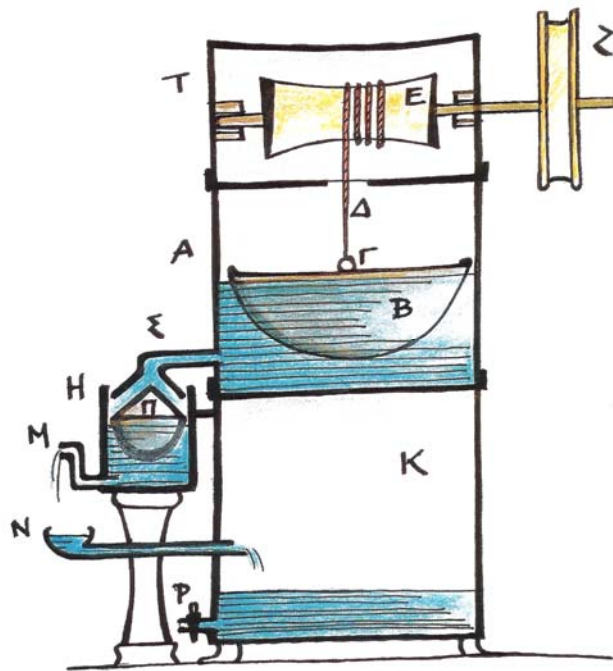
και ο Hauser ήταν σε θέση να το αναδημιουργήσουν σχεδόν τέλεια. Το ρολόι ήταν περίπου 4 μέτρα ψηλό και είχε μια τετραγωνική βάση περίπου 50 εκατοστά. (Σχήμα 36) Έκανε μια περιστροφή κάθε 12 ώρες. Το μήκος των ωρών ρυθμιζόταν σύμφωνα με την εποχή. Ο χρόνος φαινόταν συνεχώς σε έναν πίνακα. Ποικίλοι μηχανισμοί τέθηκαν στην κίνηση κάθε ώρα. Ανάλογα με την ώρα, ένας αριθμός από μπίλιες θα έπεφταν από το ράμφος ενός πουλιού επάνω σε ένα κύμβαλο, ένα κεφάλι γοργόνας θα κυλούσε τα μάτια του, ή ένα φίδι θα εκφόβιζε ένα σμήνος των πουλιών, και διάφορα άλλα. [15,11,20]



Σχήμα 36. Το ρολόι του ψευδο-Αρχιμήδη (Wiedemann E, Hauser F, 20)

Η περιγραφή του κινητήριου μηχανισμού του ωρολογίου είναι συνοπτικά η εξής: Κατασκευάζεται από χαλκό ένα υδροδοχείο A. Γεμίζεται με νερό και τοποθετείται σε αυτό

ένας πλωτήρας Β σε σχήμα ανάστροφου ημισφαιρίου. Ο πλωτήρας καλύπτεται από πάνω με κάλυμμα στο οποίο συνδέεται μια αλυσίδα Δ προσαρμοσμένη σε τύμπανο Ε, που προσδίδει κίνηση στον κινητήριο τροχό Ζ. Κατόπιν κατασκευάζεται δεύτερο μεγαλύτερο δοχείο, ο υδροσυλλέκτης Κ που προσαρμόζεται κάτω από το πρώτο υδροδοχείο Α και συλλέγει το νερό, το οποίο αδειάζει από μία στρόφιγγα. (Σχήμα 37) [5,26]



Σχήμα 37. Το ρολόι του ψευδο-Αρχιμήδη (Καλλιγερόπουλος,5)

Επίσης τοποθετείται πάνω στο υδροδοχείο Α ακόμη ένα δοχείο Τ, στο οποίο βρίσκεται το τύμπανο και άλλοι μηχανισμοί που προκαλούν κινήσεις διαφόρων ειδών. Το τύμπανο Ε είναι προγραμματισμένο να πραγματοποιεί ανά ημέρα (δηλαδή από ανατολή σε δύση) μία πλήρη περιστροφή, καθώς ο πλωτήρας Β ολοκληρώνει την κατακόρυφη διαδρομή του μέσα στο υδροδοχείο Α. Το δοχείο σταθερής ροής αποτελεί εδώ ένα κλειστό σύστημα ελέγχου της ροής του υδροδοχείου και εξασφαλίζει μian ομαλή, δηλαδή γραμμική, μεταβολή της στάθμης του νερού σε αυτό. [5,26,29]

Η πτώση του πλωτήρα στο υδροδοχείο, δηλαδή η εξασφάλιση σταθερής ροής του νερού από το υδροδοχείο επιτυγχάνεται ως εξής: Κατασκευάζεται δοχείο σταθερής ροής Η που περιέχει πλωτήρα Π με κωνικό εξόγκωμα στην επιφάνεια του. Το εξόγκωμα αυτό ταιριάζει στο στόμιο ενός κοίλου κυρτού σωλήνα Σ, που εισάγεται στο υδροδοχείο. Από το περιστόμιο Μ του δοχείου εκρέει το νερό. Κάτω από το περιστόμιο το νερό συλλέγεται σε μια κοιλότητα που ονομάζεται τηγάνιο Ν και διοχετεύεται στον υδροσυλλέκτη. Το δοχείο

σταθερής ροής αποτελεί εδώ κλειστό σύστημα ελέγχου της ροής του υδροδοχείου και εξασφαλίζει μια ομαλή δηλαδή γραμμική μεταβολή της στάθμης του νερού σε αυτό.

Στη λειτουργία και την εκτέλεση αυτός ο ρυθμιστής επιπέδων επιπλεόντων σωμάτων είναι ίδιος με αυτόν του Κτησίβιου. Επομένως είναι και αυτή μια συσκευή ανατροφοδότησης. Κρίνοντας από το λογοτεχνικό ύφος του και την τεχνική σχεδίων του, το βιβλίο ρολογιών του ψευδό-Αρχιμήδη φαίνεται να είναι μια ισλαμική εργασία. Η επιρροή της αρχαιότητας, εντούτοις, είναι εμφανής.[5,15,26]

Η αρχαία κληρονομιά είναι ακόμα εμφανέστερη σε τεχνικά θέματα. Οι αυτόματες επιδείξεις του ρολογιού χρησιμοποιούν τα ίδια μηχανικά στοιχεία με τις συσκευές του Φίλωνα και του Ήρωνα. Το ράμφος του πουλιού που ρίχνει βώλους, καθώς επίσης και η ομάδα πουλιών και το φίδι, είχαν ήδη χρησιμοποιηθεί από τους μηχανικούς στην Ελληνιστική περίοδο. Το κεφάλι γοργόνας επίσης που εμφανίζεται στο ρολόι της Γάζας προέρχεται από την ελληνική μυθολογία. Επίσης η συσκευή για το μήκος των ωρών σύμφωνα με τον Βιτρούβιο είχε εφευρεθεί από τον Κτησίβιο.

Είναι συζητήσιμο εάν το βιβλίο συνολικά είναι μια μετάφραση από τα ελληνικά ή εάν είναι μια αραβική έκθεση σχετικά με την παραδοσιακή τεχνολογία ρολογιών. Οπότε μπορεί να υπάρξει αμφιβολία ότι το ρολόι του ψευδό-Αρχιμήδη, και η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων που χρησιμοποιείται σε αυτό, αντιπροσωπεύουν μια κληρονομιά από την ελληνική και ρωμαϊκή αρχαιότητα. Το βιβλίο του ψευδό-Αρχιμήδη έχει δύο δηλωμένους μιμητές που οι ίδιοι έγραψαν εκτενή βιβλία για τα ρολόγια, τον Al-Jazzari και τον Ibn al-Sa'ati, που εργάστηκαν προφανώς χωρίς γνώση ο ένα για τον άλλον.[15]

3.3 Al-Jazzari

Ο Al-Jazzari εμφανίζεται να ζει μετά το 1181μ.Χ στο Amid που βρίσκεται στο πάνω μέρος του ποταμού Τίγρη και να εργάζεται στο δικαστήριο Urtuqids ως κατασκευαστής οργάνων. Με εντολή του βασιλιά του, έγραψε έναν απολογισμό των διάφορων ειδών συσκευών που είχε δημιουργήσει. Το βιβλίο του "Θεωρία και πράξη των ευφυών μηχανικών συσκευών" ολοκληρώθηκε το 1206μ.Χ. Στην αρχή του βιβλίου εξετάζει την κατασκευή των ρολογιών ύδατος. Μια Γερμανική μετάφραση, που βασίζεται σε ένα χειρόγραφο που βρίσκεται στην Οξφόρδη(MS.Grav.27) και σε δύο άλλα που βρίσκονται στο Leiden(Nos.1025&1026), δημοσιεύθηκε στα μέσα του 1915μ.Χ από τον Eilhard Wiedemann. Ο Wiedemann ήξερε για την ύπαρξη επτά περαιτέρω χειρογράφων. Αυτός ο μεγάλος αριθμός συντηρημένων αντιγράφων πιστοποιεί τη δημοτικότητα της εργασίας. [15,33]

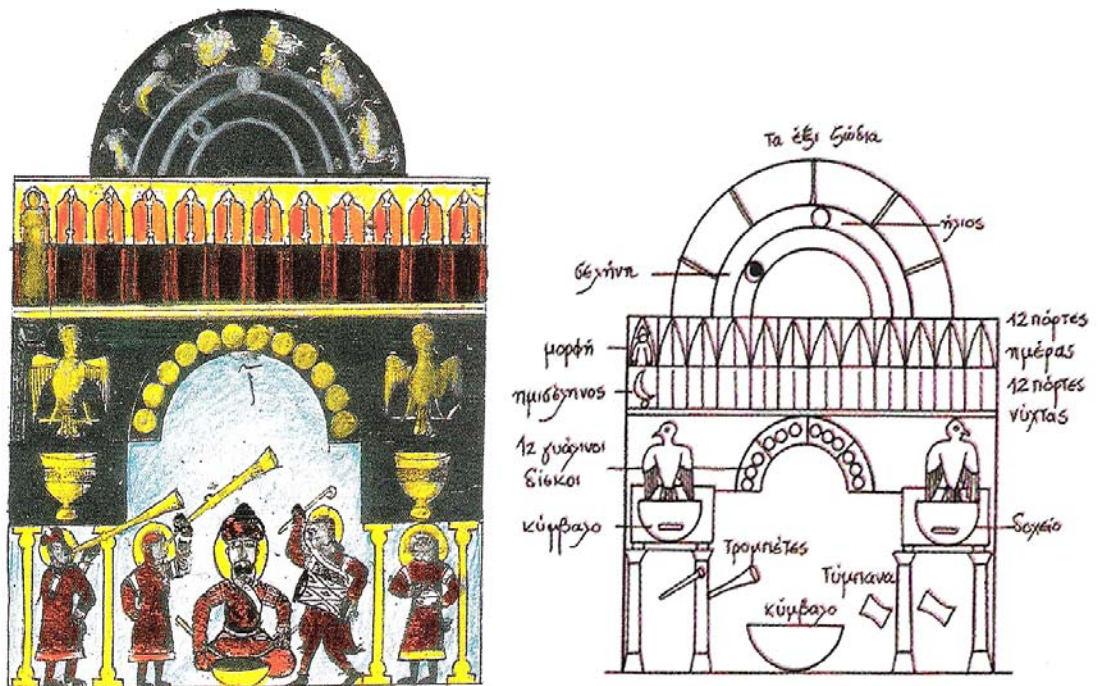
Η υψηλή ποιότητα του χειρογράφου και των απεικονίσεων είναι ενδεικτική. Το ύφος του βιβλίου μοιάζει έντονα με αυτό ενός σύγχρονου προσωπικού εγχειριδίου, στην

αμεσότητα της γλώσσας του και στο ρεαλισμό των απεικονίσεών του. Ο συντάκτης δίνει πολλές πρακτικές συμβουλές για την τεχνολογική λεπτομέρεια, και προειδοποιεί ενάντια στα λάθη που έχουν γίνει. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αφορά το μήκος των ωρών στο ρολόι του ψευδο-Αρχιμήδη. Δοκιμάζει συστηματικά και απορρίπτει τις διάφορες θεωρητικές κλίμακες βαθμολόγησης, βρίσκοντας ικανοποιητικά αποτελέσματα μόνο μέσω της εμπειρικής βαθμολόγησης.

Στο κεφάλαιο που αναφέρεται σε ρολόγια ύδατος περιγράφει δέκα ρολόγια ύδατος που ήταν πραγματικά χτισμένα . Το ένα αποτελείται από ένα κωνικό σκάφος του τύπου της αιγυπτιακής κλεψύθρας, το άλλο επιτυγχάνει τη σταθερή στάθμη ύδατος από μια συσκευή υπερχειλίσης, ενώ τα τελευταία τέσσερα είναι ρολόγια κεριών. Τα πρώτα δύο ρολόγια είναι παραλλαγές της ίδιας βασικής αρχής. Ακολουθώντας τον ψευδο-Αρχιμήδη ρυθμίζονται από τις βαλβίδες επιπλεόντων σωμάτων. [14,15,33]

3.3.1 Το ρολόι του Al-Jazzari

Στο σχήμα 38 βλέπουμε το ρολόι αυτό.



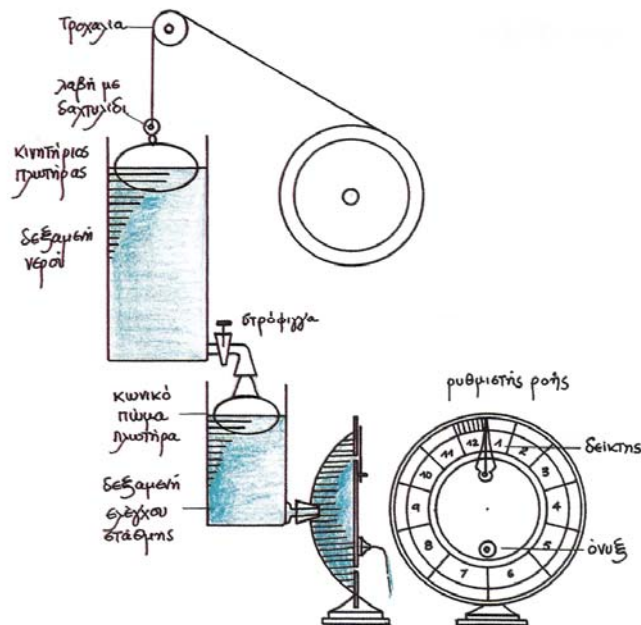
Σχήμα 38. Το ρολόι του Al-Jazzari (Καλλιγερόπουλος,5)

Στο κέντρο του ρολογιού υπάρχει μια πύλη πάνω από την οποία βρίσκονται δώδεκα

πόρτες για τις δώδεκα ώρες της μέρας και κάτω τους άλλες δώδεκα πόρτες για τις ώρες της νύχτας. Μπροστά τους κινείται ένα μισοφέγγαρο. Δεξιά και αριστερά από την πύλη δύο αετοί κρατούν από ένα κύμβαλο και ένα δοχείο. Στο μέσο της πύλης υπάρχει ημικύκλιο με δώδεκα γυάλινους δίσκους ενώ μπροστά στην πύλη υπάρχουν μορφές μουσικών με τρομπέτες τύμπανα και κύμβαλα. Στην κορυφή υπάρχει ημικύκλιο που δείχνει έξι από τα δώδεκα ζώδια, τον Ήλιο και την Σελήνη. [5,30]

Στην διάρκεια της ημέρας το μισοφέγγαρο περνά αργά μπροστά από τις πόρτες. Στην αρχή η πρώτη επάνω πόρτα ανοίγει και μια μορφή εμφανίζεται, ενώ η πρώτη κάτω πόρτα αλλάζει χρώμα, τα δύο πουλιά μετακινούνται και στέκονται πάνω από τα δύο δοχεία, δύο μπάλες πέφτουν από τα ράμφη τους, χτυπούν το κύμβαλο και ακούγονται από μακριά, ενώ αμέσως μετά επιστρέφουν στην θέση τους. Αυτό συμβαίνει κάθε ώρα. Στην κορυφή μετακινείται ο Ήλιος την μέρα και η Σελήνη την νύχτα ενώ παράλληλα ανάβουν οι γυάλινοι δίσκοι και ακούγονται οι ήχοι των μουσικών οργάνων όπως και την μέρα.

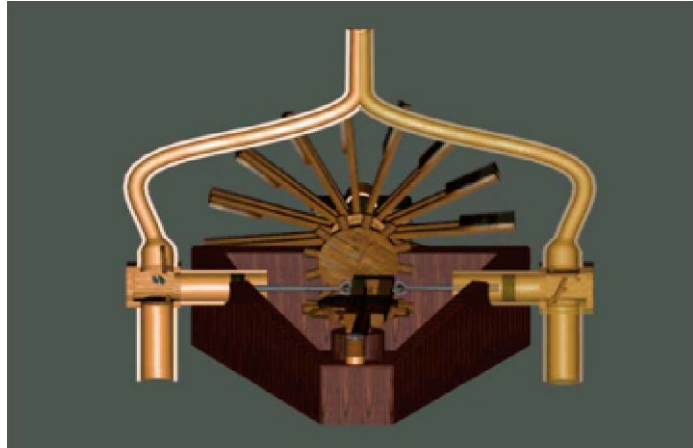
Ο κινητήριος μηχανισμός του υδραυλικού αυτού ρολογιού περιέχει δεξαμενή με έναν πλωτήρα, δεύτερη δεξαμενή σταθερής ροής με κωνική βαλβίδα και δίσκο ρύθμισης της ροής έτσι ώστε η μεγαλύτερη διάρκεια της μέρας να είναι 14 ώρες και 30 λεπτά, ενώ η μικρότερη 9 ώρες και 30 λεπτά αντίστοιχα. (Σχήμα 39) [5,14,30]



Σχήμα 39. Το ρολόι του Al-Jazzari (Καλλιγερόπουλος,5)

3.3.2 Η παλινδρομική αντλία

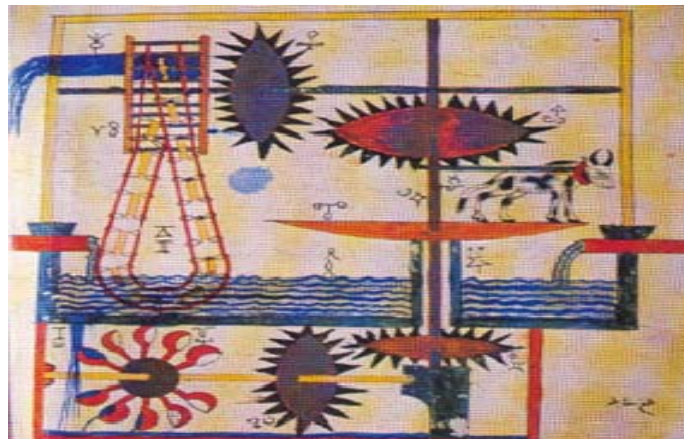
Στο σχήμα 40 βλέπουμε την παλινδρομική αντλία του Al-Jazzari. Η αντλία αποτελείται από δύο κυλίνδρους χαλκού που περιέχουν έμβολα. Τα δύο έμβολα συνδέονται μέσω μιας ράβδου η οποία είναι ενωμένη σε έναν ταλαντευμένο βραχίονα που περιστρέφεται στη βάση της αντλίας. Η ρόδα οδηγείται από έναν υδραυλικό τροχό ή από ζωική κίνηση. [30]



Σχήμα 40. Η παλινδρομική αντλία του Al-Jazzari (30)

3.3.3 Ανυψωτική μηχανή νερού

Στο σχήμα 41 βλέπουμε μια ακόμη κατασκευή του Al-Jazzari, μια ανυψωτική μηχανή νερού. Η πηγή ενέργειας ως είσοδος είναι ο ποταμός και η έξοδος είναι η στήλη του νερού. Ο ποταμός ασκεί μια δύναμη στην σέσουλα, η οποία παρέχει τη δύναμη έλξης προκαλώντας την περιστροφή της ρόδας και του άξονα. Με την περιστροφή του άξονα, κάθε δόντι ωθεί την συνδεδεμένη ράβδο προς τα κάτω. Οι συνδεδεμένοι ράβδοι περιστρέφονται στο κέντρο. Καθώς το βάρος μολύβδου κινείται προς τα πάνω, τραβά το έμβολο δημιουργώντας το κενό που απορροφά το νερό. [5,14,30]

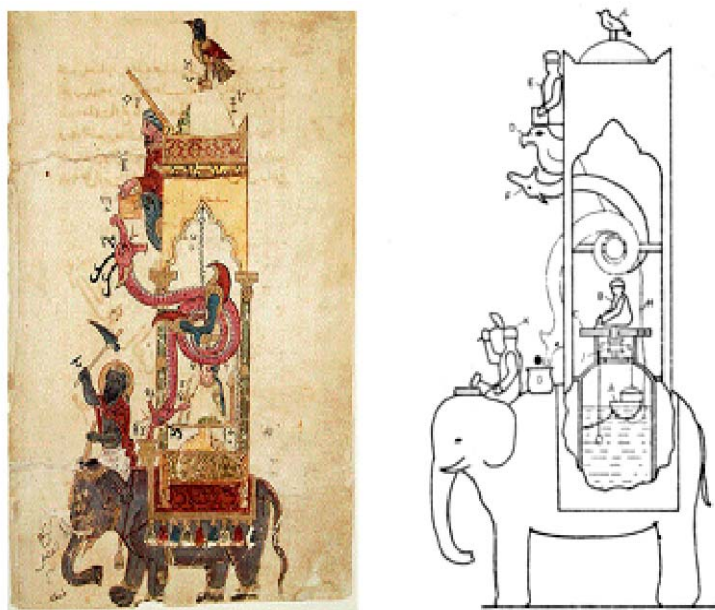


Σχήμα 41. Ανυψωτική μηχανή νερού του Al-Jazzari(30)

3.3.4 Το ρολόι ελεφάντων

Στο σχήμα 42 βλέπουμε το ρολόι ελεφάντων. Το ρολόι ελεφάντων είναι ένα παράδειγμα των πολλών έξοχων συσκευών κατά τη διάρκεια της μουσουλμανικής εποχής. Είναι ένα από τα πιο θεαματικά ρολόγια που εφευρέθηκαν και υπολογίζεται να είναι περίπου 4 πόδια μακρύ και 6 πόδια ψηλό. Τα χαρακτηριστικά του ρολογιού ελεφάντων αποτελούνται από διάφορους μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη εφαρμοσμένη μηχανική. Το μπρούτζινο αυτό ρολόι τίθεται σε λειτουργία τα ξημερώματα, λειτουργεί όλη την ημέρα και δείχνει ανά μισή ώρα μέχρι και δεκατεσεράμιση ώρες συνολικά.

Ένας άντρας μέσα στην εξέδρα που βρίσκεται στην πλάτη του ελέφαντα, δείχνει με δείκτη αναλογικά την ώρα σε κυκλικό δίσκο. Κάθε μισή ώρα το πουλί στην κορυφή του τρούλου τραγουδάει, μια μορφή στο μπαλκόνι του πύργου κινείται, από το κεφάλι ενός γερακιού πέφτει μια σφαίρα στο στόμα φιδιού και καταλήγει σε ένα δοχείο παράγοντας ταυτόχρονα ήχο κυμβάλου. Ο αριθμός στο δοχείο αποτελεί οπτική ένδειξη της ώρας. Μια άλλη μορφή με πέλεκυ και κόπανο κινεί τα χέρια, χτυπά τον ελέφαντα και παράγει ήχους. Την νύχτα η λειτουργία του ρολογιού συνεχίζεται με ένδειξη των νυχτερινών ωρών.[5,30]



Σχήμα 42. Το ρολόι ελεφάντων του Al-Jazzari(30)

3.4 Ibn al-Sa'ati

Στο βιβλίο πάνω στην κατασκευή ενός ρολογιού και την χρήση του από τον Al-Khurasani έχουμε πάλι αναφορά στο ρολόι ύδατος του ψευδό-Αρχιμήδη. Ο συντάκτης του, που αναφέρεται συνήθως από τους συγχρόνους του ως Ibn al-Sa'ati (γιος ρολογά),

γράφει για ένα ρολόι στην ανατολική πύλη (που ονομάζεται Bab Jairun, δηλαδή Πύλη των ωρών) του κύριου μουσουλμανικού τεμένους της Δαμασκού.

Χτίστηκε την περίοδο της βασιλείας του σουλτάνου Al-Malik al-'Adil (1146μ.Χ-1173μ.Χ), πιθανώς μετά από μια πυρκαγιά το 1168μ.Χ, από τον πατέρα του Ibn al-Sa'ati. Μετά τον θάνατό του, διάφορες προσπάθειες να το επισκευάσουν είχαν αποτύχει, μέχρι που ο Ibn al-Sa'ati το έκανε πράξη. Αν και δεν ήταν ούτε τεχνίτης ρολογιών ούτε μηχανικός, αλλά μάλλον φυσικός και συγγραφέας, το πέτυχε. [15]

Για τους επόμενους ενδιαφερόμενους έγραψε ένα εγχειρίδιο οδηγιών για τη συντήρηση και την επισκευή του ρολογιού, το οποίο ολοκληρώθηκε το 1203μ.Χ. Από αυτήν την εργασία μόνο ένα χειρόγραφο είναι γνωστό ότι υπάρχει στην Κωνσταντινούπολη και τώρα συντηρείται στην Gotha. Μια γερμανική μετάφραση δημοσιεύθηκε από τον Eilhard Wiedemann. Το στυλ του Ibn al-Sa'ati προδίδει ότι δεν ήταν μηχανικός. Αποφεύγει τις απεικονίσεις και έχει πολλή φιλολογική ανάλυση. Τίποτα δεν είναι γνωστό για την επίδραση του βιβλίου.

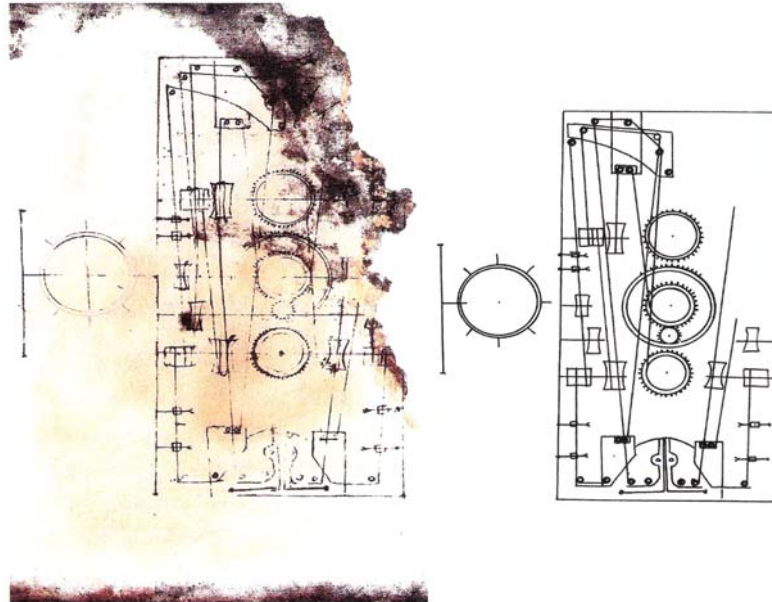
Ο Wiedemann αναφέρει μια περιληπτική βιογραφία του Ibn Abi Usaybi'ah. Το ρολόι του έχει συζητηθεί από διάφορους άραβες συγγραφείς. Μεταξύ τους είναι διάφοροι αυτόπτες μάρτυρες που είδαν το ρολόι σε λειτουργία το 1184μ.Χ και το 1326μ.Χ. Ο τελευταίος μάρτυρας δεν θεώρησε ότι λειτουργεί αυτόματα, αλλά σκέφτηκε ότι ένα κρυμμένο άτομο στο εσωτερικό του κινεί ολόκληρο τον μηχανισμό. Ο Ibn al-Sa'ati αναγνωρίζει την εξάρτησή του ψευδός- Αρχιμήδη επάνω του.[15,20]

3.5 Al-Muradi

Το βιβλίο των μυστικών σχετικά με τα αποτελέσματα των σκέψεων στο 11ο αιώνα είναι η πιο πρόωρη περιγραφή σε Αραβικά των ρολογιών ύδατος. Αυτό το βιβλίο εξετάζει τα ρολόγια ύδατος και άλλες συσκευές χρησιμοποιώντας τα αυτόματα. Η πραγματεία αποτελείται από 31 πρότυπα των οποίων 5 είναι ουσιαστικά πολύ μεγάλα παρόμοια με εκείνα τα ρολόγια που χρησιμοποιούν τα αυτόματα. Η κίνηση προέρχεται από ρόδες νερού και εξαρτάται από την ένταση της ροής του νερού.

Υπάρχουν δεκαεννέα ρολόγια, τα οποία καταγράφουν τη μετάβαση των χρονικών ωρών από τις μετακινήσεις των αυτομάτων. Αυτό που είναι ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα είναι η υιοθέτηση του υδραργύρου που θα επανεμφανιστεί στα ευρωπαϊκά ρολόγια από τον 13^ο αιώνα και μετά. Δυστυχώς, το μόνο γνωστό χειρόγραφο αυτού είναι παραμορφωμένο και δεν είναι δυνατό να καταλάβει κανείς πώς λειτούργησαν τα ρολόγια. (Σχήμα 43) [5,15]

Το "Libros del Saber" είναι μια εργασία που γράφεται στα ισπανικά στο δικαστήριο από τον Alfonso of Castille το 1277μ.Χ και αποτελείται από μεταφράσεις των αραβικών εργασιών. Ο Al-Zarqali έχτισε δύο μεγάλα ρολόγια ύδατος στο Τολέδο τον 11^ο αιώνα.[5,15]



Σχήμα 43. Το ρολόι του Al-Muradi(Καλλιγερόπουλος,5)

3.6 Banu Musa

Οι Banu Musa ήταν τρία αδέρφια: Ο Jafar Muhammad ,ο Ahmad και ο Al-Hasan Musa από το Shakir.Ο Jafar Muhammad ασχολήθηκε κυρίως με την γεωμετρία και την αστρονομία, ο Ahmad με την μηχανική και ο Al-Hasan με την γεωμετρία. Είναι αδύνατο να γραφτούν χωριστές βιογραφίες των τριών αδερφών, οι οποίοι είναι συνήθως γνωστοί ως Banu Musa.Ήταν μεταξύ των πρώτων αράβων επιστημόνων που μελέτησαν τις ελληνικές μαθηματικές εργασίες και έθεσαν τα θεμέλια της αραβικής σχολής των μαθηματικών.

Υπάρχουν επίσης πολλές διαφορές που, αν και εκ πρώτης όψεως μπορεί να μην φανούν σημαντικές, παρείχαν τα πρώτα βήματα μιας νέας προσέγγισης στα μαθηματικά. Για παράδειγμα οι Έλληνες δεν είχαν σκεφτεί το εμβαδόν και τον όγκο σαν αριθμούς, αλλά είχαν συγκρίνει μόνο τις αναλογίες τους.[15,32]

Έζησαν τον 9^ο αιώνα στο δικαστήριο Abbasid ως χαλίφες στη Βαγδάτη. Εξ αιτίας της διάκρισης τους στην επιστήμη έγιναν υψηλοί κρατικοί ανώτεροι υπάλληλοι. Η επιστημονική εργασία τους (ένας κατάλογος από τον F. Hauser περιέχει 21 τίτλους) εξετάζει κυρίως τα μαθηματικά και φυσικά θέματα. Για παράδειγμα αυτοί είναι οι συντάκτες μιας πραγματείας στη γεωμετρία, που μεταφράστηκε στα λατινικά τον 12^ο αιώνα από τον

Gherardo di Cremona στο Τολέδο. Ίσως είναι περισσότερο γνωστή η συμβολή τους στην τεχνολογία.

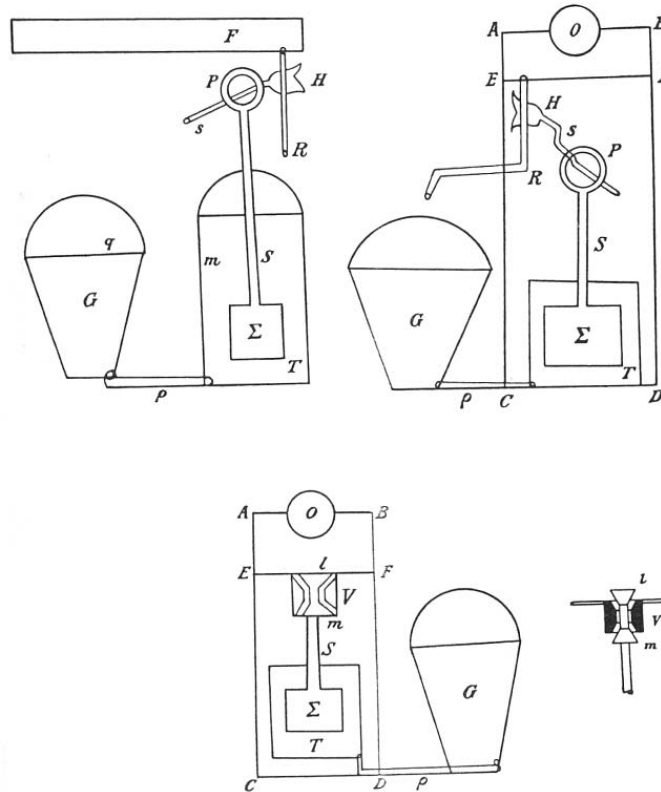
Οι Banu Musa είχαν σημαντική συμβολή στην μετάφραση Ελληνικών κειμένων στα Αραβικά. Χρησιμοποίησαν την πολιτική δύναμή τους και τον προσωπικό πλούτο τους για να αγοράσουν τα βιβλία και για να μισθώσουν τους μεταφραστές. Δεν είναι γνωστό ακριβώς πότε τα βιβλία του Φίλωνα και του Ήρωνα “τα Πνευματικά” μεταφράστηκαν στα Αραβικά. Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας του Ήρωνα πιθανόν ήταν ήδη μεταφρασμένο από τον Hunayn ibn Ishaq. Έτσι ο Φίλωνας και ο Ήρωνας έγιναν γρήγορα γνωστοί. Διάφορες αραβικές εγκυκλοπαίδειες έχουν αφιερώσει άρθρα σε αυτούς.

Το “Kitab al-Ifiyal” (Το βιβλίο των έξυπνων μηχανισμών), γράφτηκε το 830μ.Χ. Το βιβλίο αυτό ακολουθεί τα βήματα του “Πνευματικά” του Φίλωνα και του Ήρωνα οι οποίοι δεν αναφέρονται ποτέ με τα ονόματά τους αλλά το περιεχόμενο του είναι σαφής ένδειξη της επιρροής τους. Το βιβλίο αυτό είναι βασισμένο σε έναν αριθμό αρχαίων εφευρέσεων όπως το σιφόνι, η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων, η ελαιολυχνία του Φίλωνα και άλλα πολλά. [15,32]

Οι περισσότερες από τις συσκευές ήταν σκάφη υγρών με κάποιο ειδικό χαρακτηριστικό γνώρισμα. Μόνο μερικές είναι χρήσιμες υπό τη σύγχρονη έννοια. Το “Kitab al-Ifiyal” μαθεύτηκε γρήγορα στον ισλαμικό κόσμο. Οι μεταφραστές του “Kitab al-Ifiyal”, E. Wiedemann and F. Hauser, γνώριζαν για δύο χειρόγραφα, ένα που βρέθηκε στο Βατικανό (No. 317), το άλλο εν μέρει στην Gotha (Pertsch cat. No. 1349), εν μέρει στο Βερολίνο (Mq. 739 Ahlwardt No. 5562), και εν μέρει στο Leiden (Cat. vol. 3, No. 1019, 169 Gol). Μεταξύ των εκατό συσκευών του “Kitab al-Ifiyal” βρίσκουμε τέσσερις εφαρμογές της αρχής της ελαιολυχνίας Φίλωνα και οκτώ βαλβίδες επιπλεόντων σωμάτων σαν του Ήρωνα.[15,32]

3.6.1 Ρυθμιστές βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων

Η πρώτη ρύθμιση στο σχήμα 44 είναι χαρακτηριστική για αυτήν την ομάδα. Το νερό τρέχει από το σημείο F μέσω του σωλήνα R στη γούρνα T. Ένα επιπλέον σώμα S στη γούρνα συνδέεται με τη βαλβίδα από το σύνδεσμο S-s-P έτσι ώστε τη βαλβίδα θα ανοίξει με ένα επιπλέον σώμα και αντίστροφα, διατηρώντας κατά συνέπεια μια σταθερή στάθμη ύδατος στη γούρνα. Η ρύθμιση προτείνεται για τη χρήση στα αγροκτήματα στα ζώα.[15,39]



Σχήμα 44. Ρυθμιστές βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων των Banu-Musa (Mayr,15)

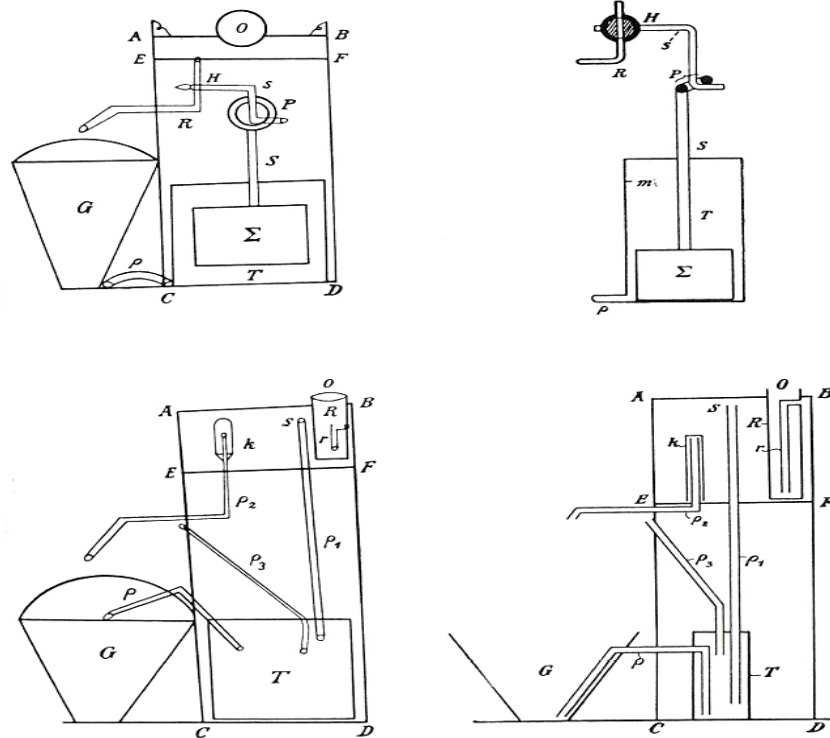
Η συσκευή φαίνεται να εμπνέεται άμεσα από τη βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων του Ήρωνα. Η μόνη διαφορά, εκτός από την αλλαγμένη εφαρμογή, είναι το σχέδιο της βαλβίδας. Ο Ήρωνας σχεδίαζε μια βαλβίδα με το κράτημα ενός επίπεδου πιάτου στο τέλος του σωλήνα Αυτό ήταν επαρκές μόνο όταν χρησιμοποιείται για χαμηλή πίεση ύδατος. Η σταθερή δύναμη που απαιτήθηκε για να κρατήσει τη βαλβίδα κλειστή έπρεπε να παρασχεθεί από το επιπλέον σώμα.

Το βιβλίο των αδελφών παρουσιάζει διάφορα άλλα προοδευτικά σχέδια βαλβίδων. Σε γενικές γραμμές, αυτός ο πρώτος ρυθμιστής επιπέδων είναι ισοδύναμος με αυτόν του Ήρωνα και τα δύο συστήματα έχουν τα ίδια διαγράμματα βαθμίδων. Η δεύτερη συσκευή στο σχήμα 44 περιγράφει μια διαφορετική εφαρμογή της ίδιας σύλληψης. Αντί του ύδατος από έναν ποταμό ρυθμίζει το υγρό που περιλαμβάνεται σε μια δεξαμενή. Η τρίτη συσκευή στο σχήμα 44 ανήκει στην ίδια ομάδα. Η βαλβίδα θα κλείσει όχι μόνο όταν το σκάφος είναι πλήρες αλλά και όταν είναι κενό. [15,32]

3.6.2 On-Off Έλεγχος

Χαρακτηριστικά είναι τα συστήματα στο σχήμα 45. Ένα σταθερό επίπεδο του υγρού επιτυγχάνεται εδώ με τον ακόλουθο τρόπο: Όταν το επίπεδο φθάνει σε ένα ανώτερο όριο, παύει ο ανεφοδιασμός και παραμένει σταματημένο ακόμα και αφού αρχίζει να πέφτει το επίπεδο. Μόνο όταν φθάσει σε ένα χαμηλότερο όριο ανεφοδιάζεται πάλι για να ξαναγεμίσει το σκάφος.

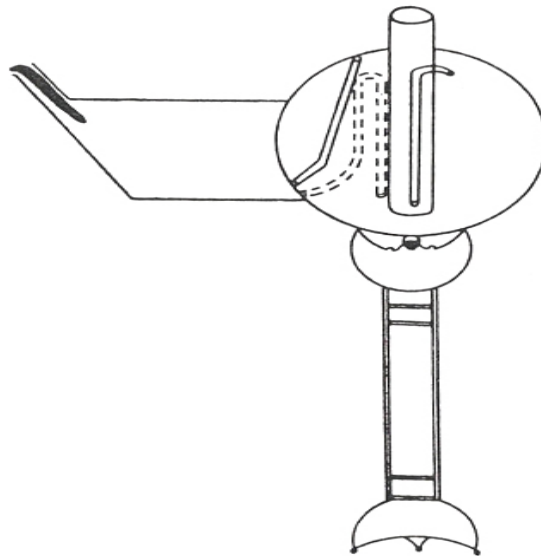
Ο έλεγχος, δεν είναι σταθερός: δεν φθάνει ποτέ σε ένα σημείο ισορροπίας αντ' αυτού το επίπεδο κυμαίνεται μεταξύ ενός ανώτερου και χαμηλότερου ορίου. Ο ασταθής τρόπος λειτουργίας δεν αποκλείει το σύστημα ως συσκευή ανατροφοδότησης. Το σύστημα διαμορφώνει έναν κλειστό βρόχο. Το διάγραμμα βαθμίδας αυτών των συσκευών δεν διαφέρει από εκείνα του σχήματος 44. Τα συστήματα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται ευρέως στη σύγχρονη τεχνολογία και αναφέρονται συνήθως ως "on-off" συστήματα ελέγχου. [15,32]



Σχήμα 45. On Off ρυθμιστές των Banu Musa (Mayr, 15)

3.6.3 Η ελαιολυχνία σύμφωνα με τη αρχή του Φίλωνα

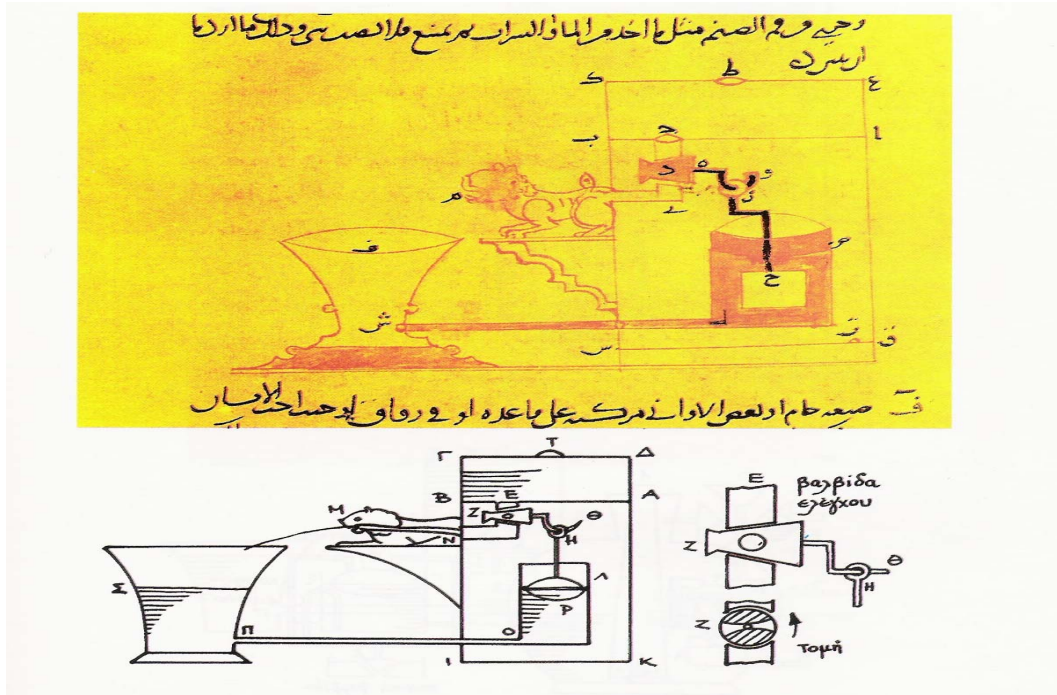
Οι Banu Musa είχαν επίσης προφανώς μιμηθεί την ελαιολυχνία του Φίλωνα με έξυπνες βελτιώσεις. Ένας έξυπνος συνδυασμός σιφονιών έχει προστεθεί στο αρχικό σύστημα από το οποίο ο λαμπτήρας μπορεί εύκολα να ξαναγεμιστεί ακόμη και ενώ καίει. Στο σχήμα 46 βλέπουμε την ελαιολυχνία τους.[15]



Σχήμα 46. Η ελαιολυχνία των Banu-Musa (Mayr,15)

3.6.4 Αυτοσυμπληρούμενη λεκάνη

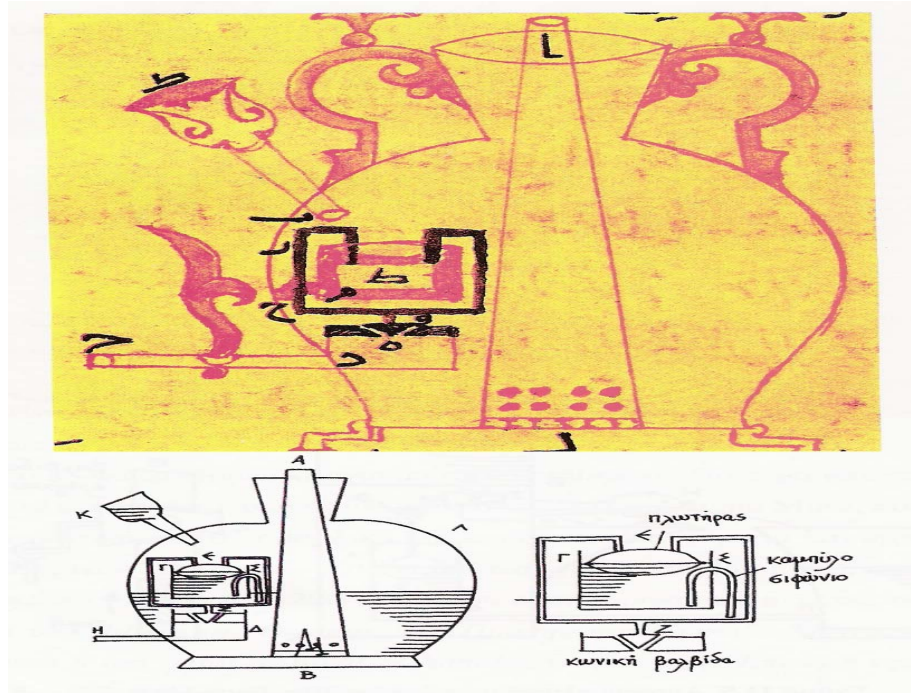
Ο μηχανισμός αποτελείται από ένα υδραυλικό σύστημα ελέγχου ροής που περιέχει στροφαλοφόρο άξονα και περιστροφική βαλβίδα. Όταν η στάθμη στο δοχείο Σ μειωθεί, ο στροφαλοφόρος μηχανισμός ανοίγει την βαλβίδα ελέγχου Z και η λεκάνη αυτοσυμπληρώνεται. (Σχήμα 47) [5]



Σχήμα 47. Η αυτοσυμπληρούμενη λεκάνη των Banu-Musa (Καλλιγερόπουλος,5)

3.6.5 Ελεγχόμενος θερμολέβητας

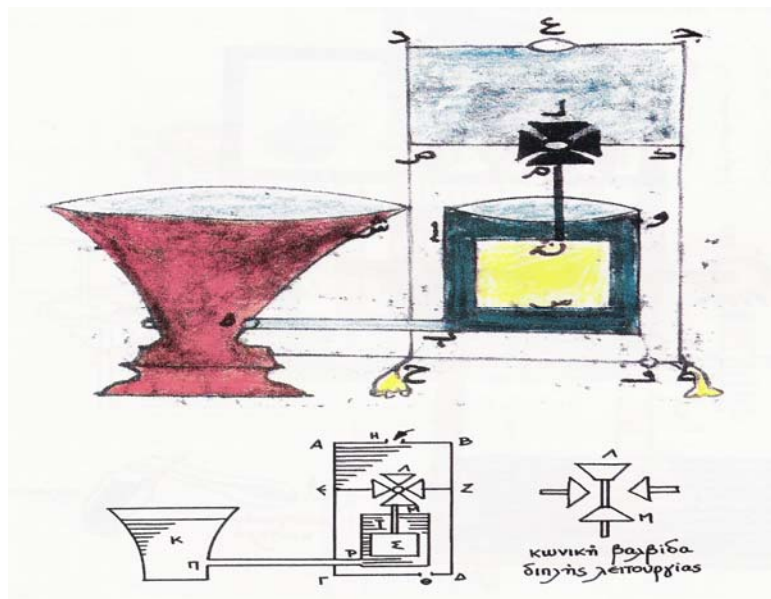
Ο θερμολέβητας εδώ παρέχει ζεστό νερό όταν του προσθέσουμε κρύο νερό. Ο μηχανισμός αυτός περιέχει γνωστά μηχανικά στοιχεία ελέγχου όπως ο πλωτήρας σαν του Ήρωνα , το καμπύλιο σιφώνιο σαν του Φίλωνα και η κωνική βαλβίδα σαν του Κτησίβιου. (Σχήμα 48) Η παροχή κρύου νερού στο λεβητάριο Γ προκαλεί ανύψωση του πλωτήρα Ε, άνοιγμα της κωνικής βαλβίδας Ζ και εκροή ζεστού νερού από το στόμιο Η. Μετά την πλήρωση του δοχείου Γ, το κρύο νερό αδειάζει από το καμπύλο σιφώνιο Σ στον θερμολέβητα Λ και η κωνική βαλβίδα Ζ κλείνει.[5]



Σχήμα 48. Θερμολέβητας των Banu-Musa (Καλλιγερόπουλος,5)

3.6.6 Αυτοσυμπληρούμενο δοχείο με διπλή κωνική βαλβίδα

Η κωνική αυτή βαλβίδα διπλής λειτουργίας ανοίγει ή κλείνει την παροχή νερού από την δεξαμενή ΑΒΕΖ στο δοχείο Τ, με το ύψος της στάθμης του νερού στο αυτοσυμπληρούμενο δοχείο Κ. Η επινοήση αυτή αποτελεί μια ακόμα λύση στο πρόβλημα του ελέγχου της στάθμης ενός υγρού. (Σχήμα 49) [5]



Σχήμα 49. Αυτοσυμπληρούμενο δοχείο των Banu-Musa (Καλλιγερόπουλος,5)

3.7 Σχόλια

Έχουμε δείξει ότι η αρχαία εφεύρεση της βαλβίδας επιπλεόντων σωμάτων παρέμεινε ζωντανή σαν συστατικό των ρολογιών ύδατος έως τα τέλη της ισλαμικής περιόδου. Στην περιοχή μεταξύ της ανατολικής Μεσογείου και βόρειας Μεσοποταμίας, η μογγολική εισβολή στην Βαγδάτη που έγινε το 1258μ.χ, σταμάτησε την δημιουργική πολιτιστική ζωή.

Στη μωαμεθανική Ισπανία, η οποία τώρα έγινε το διανοητικό κέντρο του Ισλάμ, οι βαλβίδες επιπλεόντων σωμάτων δεν φαίνονται να έχουν χρησιμοποιηθεί. Πολλά από τα επιτεύγματα που γίνονται στην εφαρμοσμένη μηχανική και την τεχνολογία δεν τα γνώριζε ο ισλαμικός κόσμος.

Κατά τη διάρκεια εκείνης της περιόδου, οι μηχανικοί και οι τεχνικοί εκτελούν την εργασία τους επαρκώς αλλά δεν γράφουν ή δεν δημοσιεύουν τις ανακαλύψεις τους και τα επιτεύγματα τους. Οι δεξιότητες και η γνώση τους μεταδίδεται από στόμα σε στόμα χωρίς καταγραφή. Στις λίγες περιπτώσεις όπου οι μηχανικοί και οι τεχνικοί έχουν γράψει την εργασία τους και τις παρατηρήσεις τους, τα χειρόγρατά τους έχουν χαθεί ή καταστραφεί. [15]

4. ΑΥΤΟΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΚΙΝΑ

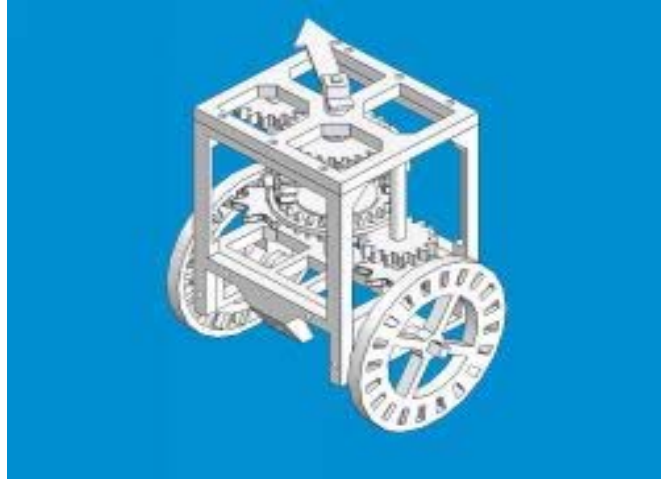
Η σημαντική συμβολή της αρχαίας Κίνας στην τεχνολογία μας εγείρει το ερώτημα αν αναπτύχθηκαν στο κράτος αυτό οποιοδήποτε μηχανισμοί ή τεχνικές ανατροφοδότησης. Ο Joseph Needham δεν έχει προσκομίσει αρκετά στοιχεία για μια καταφατική απάντηση, αλλά μερικές αρχαίες κινεζικές εφευρέσεις αξίζουν να εξεταστούν ακόμα κι αν αποτυγχάνουν να χρησιμοποιήσουν την ανατροφοδότηση. Αρκετά δίτροχα άρματα με προσανατολισμό φαίνεται να έγιναν κατά τη διάρκεια των αιώνων, καθώς επίσης και “καλαμάκια” με ρυθμιστές τα οποία ρύθμιζαν την κατανάλωση κρασιού των συμμετεχόντων σε μια οίνοποσία.

4.1 Δίτροχο άρμα με προσανατολισμό

Πρόκειται για ένα δίτροχο άρμα που φέρει ένα όρθιο ανθρώπινο άγαλμα. Με τη βοήθεια ενός ειδικού μηχανισμού δείχνει συνεχώς νότια, ανεξάρτητα από τον προσανατολισμό του άρματος. (Σχήματα 50, 51, 52) Επιτρέπει έτσι στον ταξιδιώτη να κρατήσει μια ευθεία πορεία ανεξάρτητα με τα εξωτερικά ορόσημα. Ο σκοπός της συσκευής είναι να δείξει τον πραγματικό προσανατολισμό του οχήματος. Δύο ερωτήσεις προκύπτουν αμέσως: Γιατί έδειχνε τον νότο, και πόση ακρίβεια είχε. Ο νότος ήταν η αγαπημένη κατεύθυνση των Κινέζων. Όσον αφορά την ακρίβεια πρέπει να παραδεχτούμε πως χωρίς κανονικές ρυθμίσεις κάθε μηχανισμός θα έσφαλλε αργά ή γρήγορα. Στο σχήμα βλέπουμε δύο τέτοια άρματα. [15,16,34]

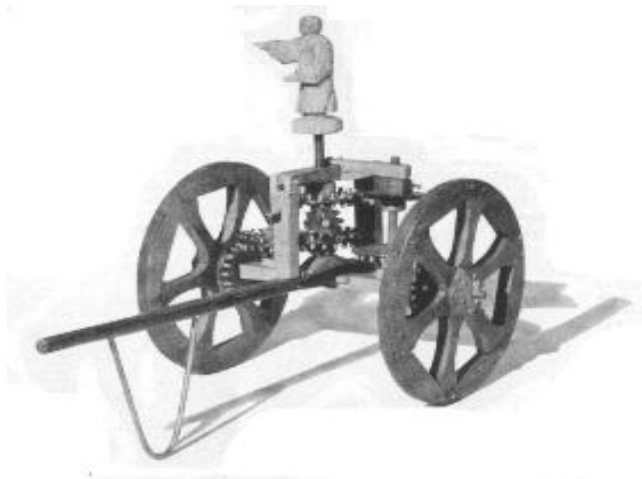


Σχήμα 50. Δίτροχο Άρμα με προσανατολισμό (34)



Σχήμα 51. Δίτροχο Άρμα με προσανατολισμό (34)

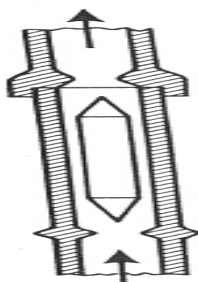
Η λειτουργία του είναι η εξής: Διαβάζεται η ένδειξη από τον οδηγό ο οποίος αρχίζει έπειτα τις απαραίτητες διορθώσεις. Αυτό που οδηγεί είναι ένα κατευθυντικό σύστημα ελέγχου του οποίου ο έλεγχος γίνεται από έναν άνθρωπο, με άλλα λόγια ένα σύστημα με χειρωνακτική ανατροφοδότηση. Το ερώτημα είναι αν το άρμα είναι μια συσκευή ανατροφοδότησης. Ο Needham παρατηρεί ότι το άρμα αυτό είναι από τις πρώτες μηχανές που συμπεριλαμβάνει την πλήρη αρνητική ανατροφοδότηση. Φυσικά, ο οδηγός πρέπει να περιληφθεί στο βρόχο. Οποιαδήποτε ανθρώπινη δράση μπορεί να ερμηνευθεί ως περίπτωση του ελέγχου ανατροφοδότησης. Κατά συνέπεια το άρμα αυτό δεν αποτελεί καμία συσκευή ανατροφοδότησης εξ ορισμού.[15,16,34]



Σχήμα 52. Δίτροχο Άρμα με προσανατολισμό (34)

4.2 Καλαμάκια με ρυθμιστές

Γυρίζουμε σε ένα σύστημα ανατροφοδότησης πληροφοριών που περιλαμβάνει πάλι ένα ανθρώπινο στοιχείο, αλλά με μια διαφορά. Εδώ το άτομο δεν έχει τις λειτουργίες της αντίληψης και της διορθωτικής δράσης. Επομένως διαδραματίζει το ρόλο της διαταραχής. Ο σκοπός της συσκευής που φαίνεται στο σχήμα 53, είναι να περιοριστούν οι αυθαίρετες ανθρώπινες ενέργειες.



Σχήμα 53. Καλαμάκια με ρυθμιστές (Mayr,15)

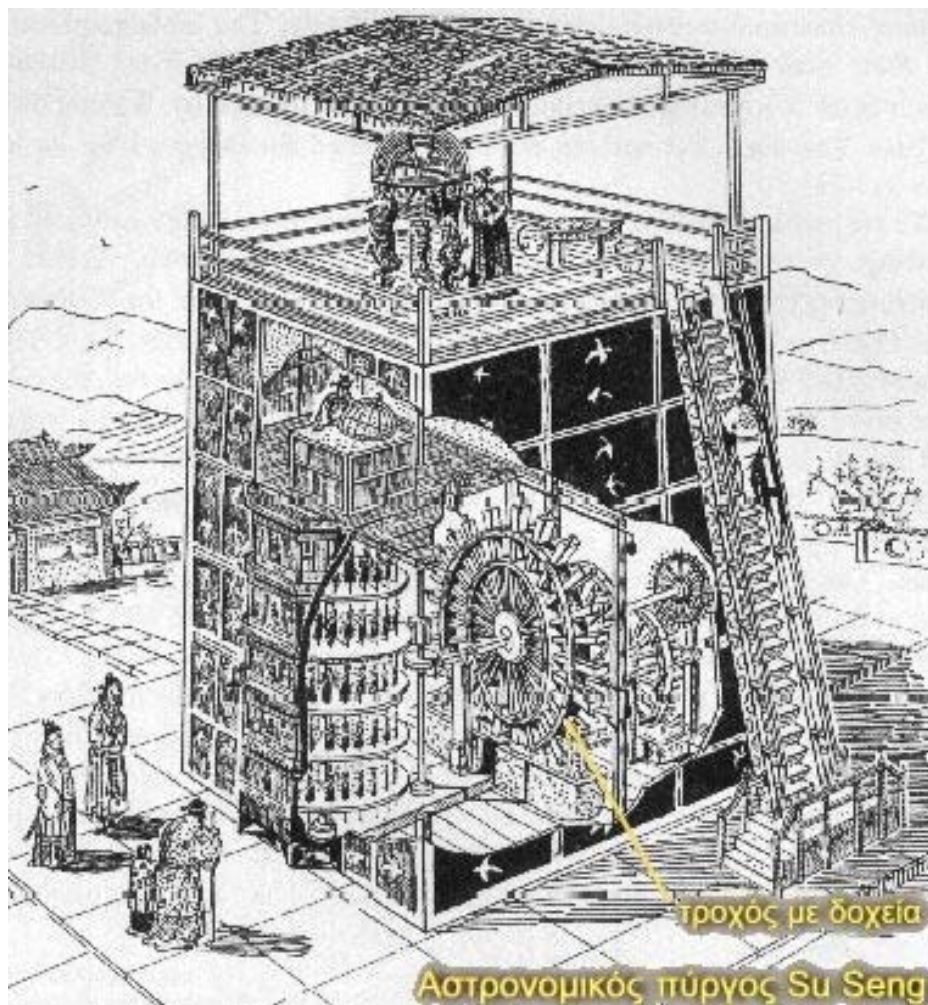
Η συσκευή αυτή, ρυθμίζει την κατανάλωση κρασιού των συμμετεχόντων σε μια οινοποσία. Η έκθεση σχετικά με τα “καλαμάκια” αυτά από τους ντόπιους Ch'i Tung στην νότια και νοτιοδυτική Κίνα δίνεται στο περιοδικό ταξιδιού Ling Wai Tai Ta από τον Chou Ch'u-Fei .Η λειτουργία του είναι η εξής: Δύο άτομα πίνουν κρασί μέσω ενός σωλήνα μπαμπού, και το εσωτερικό αυτό έχει ένα κινητό πώμα. Το πώμα αυτό έχει το σχήμα μικρού ψαριού και είναι φτιαγμένο από ασήμι. Ο φιλοξενούμενος και ο οικοδεσπότης μοιράζονται τον ίδιο σωλήνα. Εάν το κινητό πώμα κλείσει την τρύπα το κρασί δεν θα έρθει επάνω. Έτσι εάν ένας ρουφά πάρα πολύ αργά ή πάρα πολύ γρήγορα, οι τρύπες αυτόματα θα κλείσουν και κανένας δεν θα πιεί. Η συσκευή, σχεδιάστηκε για να διατηρήσει ένα σταθερό ποσοστό ροής.

Ιστορικά ο μηχανισμός αυτό είναι μοναδικός. Οι ντόπιοι Ch'i Tung ήταν αρκετά απομονωμένοι από τις επιρροές των ξένων πολιτισμών λόγω της γεωγραφικής θέσης τους οπότε η εφεύρεση πρέπει να είναι δική τους. Στην Ευρώπη, οι συσκευές ελέγχου αυτού του τύπου ήταν κατοχυρωμένες με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, ίσως για πρώτη φορά, από τον Achille Elie Joseph Soulas το 1841μ.Χ.[15,31]

4.3 Ρυθμιστές επιπλεόντων σωμάτων

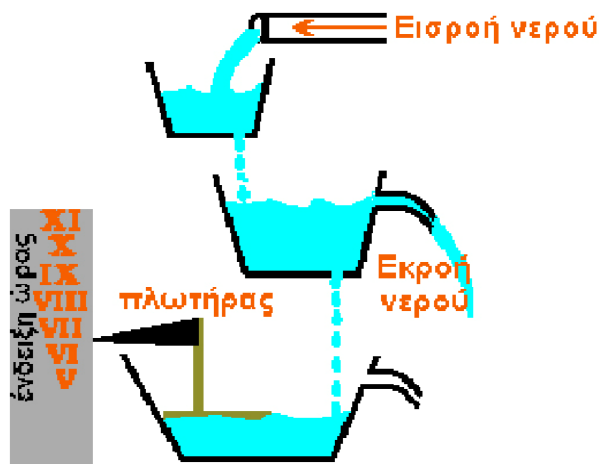
Σύμφωνα με τον Needham τα κινέζικα ρολόγια ύδατος δεν χρησιμοποιούν τους ρυθμιστές επιπέδων επιπλεόντων σωμάτων. Σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία υπάρχουν δύο μηχανές που φαίνονται να αναφέρονται σε τέτοιους ρυθμιστές, αλλά στην πιο προσεκτική εξέταση αποδεικνύουν ότι εξετάζουν κάτι άλλο.

Στο σχήμα 54 έχουμε το ακριβές μνημειακό ρολόι του Su Seng. Βασίστηκε στη συνεχή ροή του νερού από μια σταθερή ισόπεδη δεξαμενή επάνω σε έναν υδραυλικό τροχό που είχε στην περιφέρειά του μικρά δοχεία. Καθώς περιστρεφόταν ο τροχός, κάθε δοχείο γέμιζε με νερό. Όταν το νερό έφτανε σε κάποια στάθμη το βάρος του, κινούσε κατά ένα βήμα τον τροχό κι έτσι προέκυπτε κίνηση με ρυθμό μονάδας χρόνου. Ο χρόνος μπορούσε με τον τρόπο αυτό να κρατηθεί σωστά. [15,31]



Σχήμα 54. Το μνημειακό ρολόι του Su Seng(36)

Στο σχήμα 55 βλέπουμε μια άλλη περίπτωση. Το ρολόι νερού του Wang P'u. Το ρολόι αυτό περιγράφεται τον 13^ο αιώνα στο βιβλίο Yang Chia με τίτλο "Liu Ching T'u" (πρώτα δημοσιεύτηκε γύρω στο 1155μ.Χ). Στο ρολόι αυτό διάφορα σκάφη αντιστάθμισης συνδυάζονται με ένα σκάφος υπερχείλισης. Ένας δείκτης που επιπλέει στο χαμηλότερο επίπεδο έχει τα χαρακτηριστικά μιας βαλβίδας επιπλεόντων σωμάτων αλλά ο σκοπός του δεν είναι να διατηρήσει ένα σταθερό επίπεδο, αλλά να σταματά μόνο την παροχή νερού στο ρολόι. Έπειτα, ο δείκτης αυτός δείχνει σε έναν πίνακα την ώρα.[15]



Σχήμα 55. Το ρολόι νερού του Wang P'u (36)

4.4 Σχόλια

Η μαγνητική πυξίδα χρησιμοποιήθηκε παγκόσμια λόγω της πρακτικής αξίας της (πρώτα αναφέρθηκε στην Ευρώπη 1188μ.χ). Το δίτροχο άρμα με προσανατολισμό αντιπροσωπεύει μόνο τον κινέζικο πολιτισμό.

Ενώ οι Κινέζοι στηρίχθηκαν στην τριβή για να κρατήσουν την κατεύθυνση, τα σύγχρονα σχέδια χρησιμοποιούν τα υψηλά γυροσκοπία ταχύτητας. Οι Ιάπωνες shinan, οι Κορεάτες chinam και οι Κινέζοι chih-nan χρησιμοποιούν την έννοια "point south". Κυριολεκτικά είναι ιδιωματισμοί που χρησιμοποιούνται για να εκφράσουν "για να διδάξει, να καθοδηγήσει, να καθοδηγήσει". [15]

5. ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Ο ρυθμιστής της θερμοκρασίας είναι αναμφισβήτητα μια από τις πιο σημαντικές εφευρέσεις την περίοδο 1500-1800μ.Χ. Το πρώτο σύστημα ανατροφοδότησης που ανακαλύφθηκε στη σύγχρονη Ευρώπη είναι ο ρυθμιστής θερμοκρασίας από τον Ολλανδό Cornelis Drebbel. Το άλμα όμως από μια αυτοσχεδιαζόμενη εργαστηριακή συσκευή σε μια κατασκευαζόμενη πρακτική συσκευή έγινε από τον Γάλλο Bonnemain. Ενώ η εφεύρεση του Drebbel παρέμεινε σχεδόν άγνωστη, επιζώντας μόνο μέσω διεσπαρμένου υλικού, η εργασία του Bonnemain περιγράφηκε στην πρώτη θέση των Αγγλικών, Γερμανικών και Γαλλικών περιοδικών, φθάνοντας σχεδόν στα χέρια του κάθε ενδιαφερόμενου.

5.1 Cornelis Drebbel

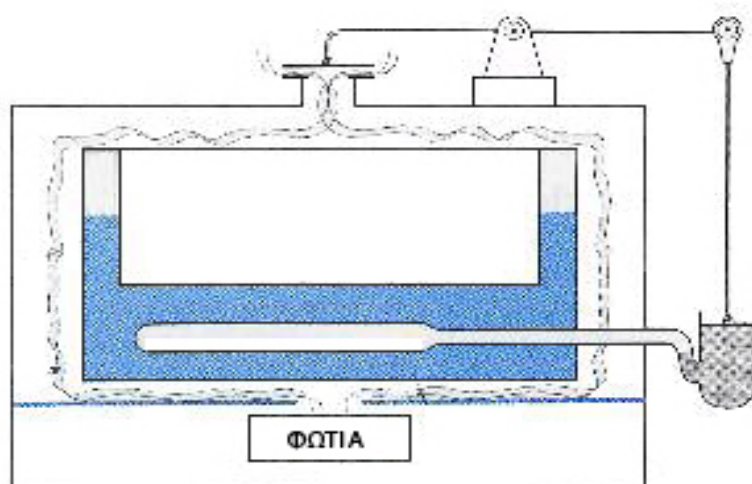
Ο Cornelis Drebbel (1572-1633) προερχόταν από το Alkmaar της Ολλανδίας. Ήταν μηχανικός και χημικός και πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στην υπηρεσία των βασιλιάδων James I και Charles I της Αγγλίας. Μεταξύ 1610 και 1612 υπηρέτησε στο δικαστήριο του αυτοκράτορα Rudolf II στην Πράγα, μαζί με το διάσημο Johannes Kepler. Έγινε γνωστός για μια συσκευή διαρκούς κίνησης που στην ουσία ήταν ένα θερμοσκόπιο που διατηρούσε μια συνεχή αν και αργή κίνηση λόγω των διακυμάνσεων θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας. Κατόπιν ήταν μεταξύ των πρώτων που δημιούργησαν τηλεσκόπια και μικροσκόπια. Σαν χημικός ανακάλυψε τα πυροτεχνικά υλικά, και ήξερε σύμφωνα με ισχυρισμούς πώς να παράγει το οξυγόνο. Τέλος, έλεγε πως είχε φτιάξει ένα υποβρύχιο για να πραγματοποιεί τις καταδύσεις του. [15,37]

Αρκετές σύγχρονες δευτερεύουσες πηγές είναι γνωστές, για την εφεύρεση του θερμοστατικού φούρνου περίπου το 1600 ο οποίος εξοπλίζεται με αυτόματο έλεγχο θερμοκρασίας. Αρχεία του ίδιου δεν υπάρχουν πάνω την κατασκευή του, αλλά υπάρχουν πολλές αναφορές σ'αυτόν. Για την κατασκευή του φούρνου αυτού, παρακινήθηκε από την πεποίθησή του ότι τα μέταλλα βάσεων θα μπορούσαν να μετατραπούν σε χρυσό με το κράτημα τους σε μια σταθερή θερμοκρασία για μεγάλες χρονικές περιόδους.

Χρησιμοποίησε επίσης αυτόν τον ρυθμιστή θερμοκρασίας σε έναν επωαστήρα για την εκκόλαψη των κοτόπουλων. Η μόνη αναφορά στο θερμοστατικό του φούρνο κατά τη διάρκεια της ζωής του είναι ένα ημερολόγιο από τον N.C.Fabri de Peiresc το 1624. Σύντομα μετά από το θάνατο του Drebbel, ο Hildebrand Prusen και ο Howard Strachy, ως εκτελεστές τις διαθήκης του, πήραν αγγλικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στους φούρνους του Drebbel.[15,37]

Στο σχήμα 56 παρατηρούμε την συσκευή που αποτελείται από ένα δοχείο που περιέχει την φωτιά. Το δοχείο έχει έναν άξονα εξαερισμού στην κορυφή του οποίου

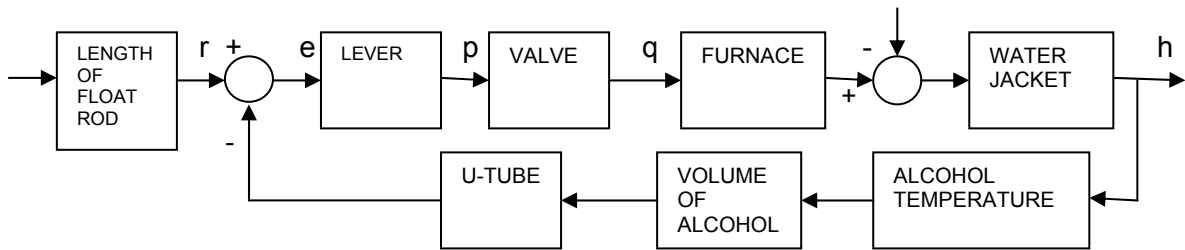
υπάρχει ένα καπάκι. Μέσα στο δοχείο είναι το διπλό περιτοιχισμένο κιβώτιο επωαστήρων που είχε το νερό μεταξύ των τοίχων του. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι ένα σκάφος γυαλιού που βρίσκεται μεταξύ των τοίχων στο νερό και περιέχει υδράργυρο. Ο αισθητήρας αυτός καταλήγει σε ένα μικρό δοχείο έξω από το αρχικό δοχείο, που περιέχει υδράργυρος το οποίο μέσω μιας ράβδου και μέσω τροχαλίας συνδέεται με το καπάκι που βρίσκεται στην κορυφή του μεγάλου δοχείου.[15,37]



Σχήμα 56. Ο επωαστήρας του Drebbel(37)

Όταν η θερμοκρασία στο κιβώτιο αυξάνεται, η αυξανόμενη πίεση του θερμαινόμενου οιοπνεύματος ωθεί επάνω τον υδράργυρο στο εξωτερικό μικρό δοχείο, ο οποίος ωθεί στη συνέχεια επάνω την ράβδο που χαμηλώνει και κλείνει το καπάκι. Όταν η θερμοκρασία ελαττωθεί, η πίεση μειώνεται, η πτώση υδραργύρου χαμηλώνει την ράβδο και επομένως ανοίγει το καπάκι επιτρέποντας στην φωτιά να κάψει περισσότερο. Όπως ήταν αναμενόμενο, η εφαρμογή αληθείας δεν πλήρωσε τους λογαριασμούς, αλλά ο φούρνος τροποποιήθηκε σύντομα για να χρησιμεύσει ως ένας επωαστήρας για κοτόπουλα.

Το σχήμα 57 παρουσιάζεται το διάγραμμα βαθμίδας του ρυθμιστή θερμοκρασίας στον επωαστήρα. Η επιθυμητή θερμοκρασία και η ανάλογη ευαισθησία μπορούν να ρυθμιστούν. Διαταραχές, όπως οι διακυμάνσεις στον ανεφοδιασμό καυσίμων και η κατανάλωση θερμότητας, μπορεί να εμφανιστούν. Ιδιαίτερα αξιοπρόσεκτη είναι η κατασκευή του ανιχνευτή θερμοκρασίας από τον οποίο το σύστημα ανατροφοδότησης πληροφοριών είναι κλειστό.[15,37]



Σχήμα 57. Το διάγραμμα βαθμίδας του επωαστήρα του Drebber(Mayr,15)

5.2 Antoine Ferchault Reaumur, Prince de Conti

Ο επόμενος εφευρέτης ενός ρυθμιστή θερμοκρασίας ήταν ο φυσικός ReneAntoine Ferchault de Reaumur(1683-1757). Στην τελευταία δεκαετία ζωής του πειραματίστηκε παρακινούμενος από την επιθυμία του να βελτιώσει την τεχνητή εκκόλαψη των κοτόπουλων. Παρουσίασε διάφορες δημοσιεύσεις από το 1747 ως το 1757. Οι επωαστήρες του, ήταν σκόπιμα απλοί, γιατί επιδίωξε τις μεθόδους που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους αγρότες. Ένας επισκέπτης του, ο Prince de Conti, στη θέα των φούρνων, πρότεινε μια βελτίωση που είναι πράγματι ισάξια του ρυθμιστή θερμοκρασίας του Drebber.

Η εργασία του Reaumur είναι διπλά σημαντική. Όχι μόνο δείχνει σοβαρά ότι τέτοιοι ρυθμιστές ήταν άγνωστοι μέχρι τότε, αλλά και ως διευθυντής της Βασιλικής Ακαδημίας των Φυσικών Επιστημών, είχε επαφή με τους περισσότερους από τους επιστήμονες της εποχής του. Ο Prince de Conti είχε προτείνει να παρεμβάλλει στο εσωτερικό του φούρνου κάποια συσκευή που θα άνοιγε έναν εξαεριστήρα μόλις έφτανε σε μια ορισμένη θερμοκρασία έτσι ώστε ο θερμός αέρας να μπορεί να δραπέτευσει και ο κρύος αέρας να εισαχθεί προκειμένου να πέσει η θερμοκρασία. [15]

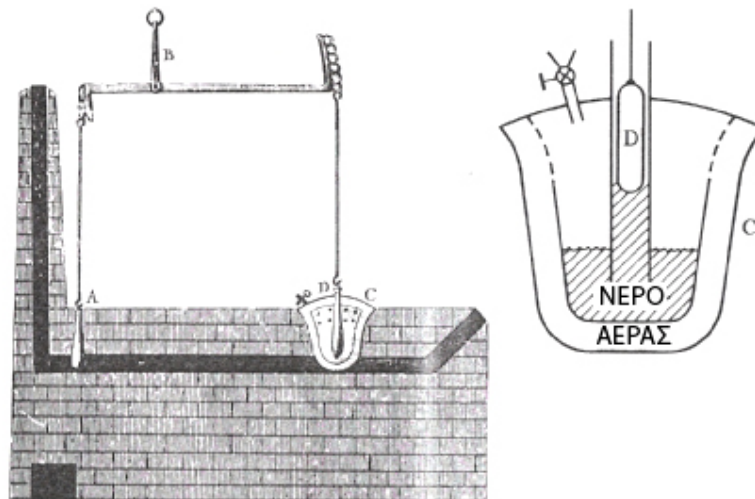
Έπειτα, ο Reaumur συζήτησε διάφορους σχεδιασμούς των ανιχνευτών θερμοκρασίας που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο ρυθμιστή, αρχίζοντας από δύο ρυθμίσεις που προτάθηκαν από τον Jacques de Romas (1713-1776).Στον πρώτο, η θερμική διαστολή μιας απλής ράβδου σιδήρου ενισχύεται από τους κατάλληλους μοχλούς σε τέτοιο βαθμό όπου θα μπορούσε να προσαρμόσει τον ρυθμιστή. Στην δεύτερη, ένα μπουκάλι που είναι γεμάτο με υγρό κρέμεται οριζόντια σε μια ασταθή ισορροπία. Όταν το υγρό φτάσει σε μεγάλες θερμοκρασίες, η ισορροπία του μπουκαλιού διαταράσσεται, προκαλώντας μια κίνηση που χρησιμοποιείται έπειτα για τη δράση ελέγχου.

Ο Reaumur πρόβλεψε καλύτερες προοπτικές για δύο άλλες ρυθμίσεις, και οι δύο βασισμένες στη θερμική επέκταση των υγρών ή αέριων σε ένα μπουκάλι στην κορυφή του οποίου ένα πώμα θα κινείται πάνω ή κάτω ως μετρητής της θερμοκρασίας. Τέτοιοι ανιχνευτές θερμοκρασίας ήταν προβληματικοί. Αν το πώμα δεν σφραγιζόταν καλά, θα ήταν ανακριβείς. Αν το πώμα ήταν πάρα πολύ σφιχτό, δεν θα μπορούσαν να κινήσουν

τον ρυθμιστή. Τέτοιες συσκευές θα λειτουργούσαν υπό τους εργαστηριακούς όρους, αλλά δεν θα ήταν αρκετά αξιόπιστες για την εμπορική χρήση. Στο χρόνο όπου ασχολήθηκε με τις εφευρέσεις του ο Reaumur κοντά στα 30 του χρόνια, είχε ολοκληρώσει ήδη μια λαμπρή σταδιοδρομία σαν στρατιωτικός διοικητής στις Άλπεις στο Savoy και Piedmont (1744-1745). Έχει εγκωμιαστεί ως ένα από τα διαφωτισμένα πνεύματα του αιώνα. [15]

5.3 William Henry

Ένας άλλος ρυθμιστής θερμοκρασίας εφευρέθηκε στην Αμερική στην παραμονή της επανάστασης. Ο εφευρέτης του ήταν ο William Henry από το Lancaster της Pennsylvania (1729-1786). Το σχήμα 58 δείχνει ένα σύστημα εφαρμοσμένο σε έναν φούρνο.



Σχήμα 58. Ο ρυθμιστής θερμοκρασίας του Henry (Mayr, 15)

Στον φούρνο αυτό ο αγωγός θερμού αέρα A είναι συνδεδεμένος με το αισθητήριο όργανο θερμοκρασίας D το οποίο βρίσκεται σε ένα χάλκινο δοχείο που έχει μέσα αέρα. Όταν ανεβαίνει η θερμοκρασία αυξάνεται ο αέρας και η στάθμη του νερού ανεβαίνει στον κάθετο σωλήνα. Το επιπλέον σώμα D μέσω κατάλληλης σύνδεσης κινεί το A. Ο στρόφιγγας επιτρέπει το νερό να ξαναγεμίσει το C. Ο Henry προτείνει την συσκευή για χρήση της σε χημικούς φούρνους, σε βιομηχανίες χάλυβα, σε θερμοκήπια, επωαστήρες.

Η συσκευή είναι παρόμοια με εκείνες του Drebbel και του Reaumur, αλλά διαφέρει στο σχεδιασμό του αισθητήριου οργάνου θερμοκρασίας. Ο ανιχνευτής θερμοκρασίας και στις δύο αποτελείται από ένα επιπλέον σώμα που κινείται σε ένα ενδιάμεσο ρευστό και ενεργεί επάνω σε μια διάταξη απόσβεσης σωλήνων. Ο Henry μπορεί να είχε εμπνευστεί

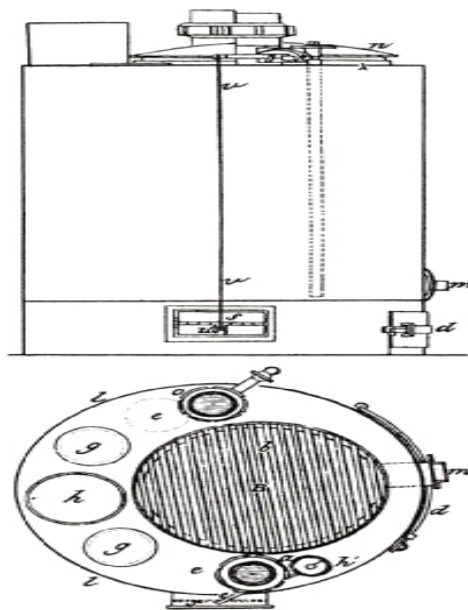
από τον de Monconys ή τον Reaumur, όπως επίσης γνώριζε και την εργασία του Drebbel από την επίσκεψη του στην Αγγλία.[15]

5.4. S. Bonnemain

Ήταν όχι πριν από 1777, όταν ένας ρυθμιστής θερμοκρασίας κατάλληλος για βιομηχανική χρήση αναπτύχθηκε από τον Bonnemain(1743-1828) ο οποίος τον χρησιμοποίησε για έναν επωαστήρα. Λίγα είναι γνωστά για τη ζωή του Bonnemain. Ακόμη και το μικρό όνομά του είναι άγνωστο. Πέρασε το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του στο Παρίσι σαν φυσικός και μηχανικός.

Το 1777 ανήγγειλε στην Βασιλική Ακαδημία των Φυσικών Επιστημών μια παρατήρηση σχετικά με την εκκόλαψη των νεογνών κοτόπουλων. Το 1783 έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τον ρυθμιστή θερμοκρασίας του. Ανάμεσα στο 1778 και στο 1794 δημιούργησε ένα προοδευτικό αγρόκτημα κοτόπουλων στα περίχωρα του Παρισιού, όπου με τη βοήθεια του θερμοστατικού επωαστήρα που κατασκεύασε, μεγάλωσε πολλά κοτόπουλα και τα πουλούσε στο Παρίσι. Η επιχείρηση σταμάτησε κατά τη διάρκεια της επανάστασης επειδή τελείωσε απότομα η τροφή και έτσι η πελατεία μειώθηκε. Το 1823 έλαβε επαίνους για μερικούς από τους μηχανισμούς του.

Το σχήμα 59 παρουσιάζει την γενική ρύθμιση. Είναι ένας σύγχρονος κλίβανος που αυτορυθμίζει την ροή του αέρα με δυο σωλήνες διαφορετικού κράματος όπου η διαστολή του σωλήνα δημιουργεί το άνοιγμα και κλείσιμο της θυρίδας εισαγόμενου αέρα καύσης και κατά συνέπεια την παραγόμενη ποσότητα θερμοκρασίας. [15,37]



Σχήμα 59. Η γενική ρύθμιση του ρυθμιστή θερμοκρασίας του Bonnemain (Mayr, 15)

6. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΒΑΛΒΙΔΩΝ ΕΠΙΠΛΕΟΝΤΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ

Η βαλβίδα επιπλεόντων σωμάτων στην αρχαιότητα είχε επιζήσει μέσω του αραβικού κόσμου, αλλά και μετά από το 1575 που είχε γίνει επίσης γενικά γνωστή στη δύση μέσω των διάφορων μεταφράσεων των "Πνευματικών" του Ήρωνα. Οι βαλβίδες επιπλεόντων σωμάτων φαίνεται να εισάγονται στην Αγγλία περίπου το 1740.

6.1 James Brindley

Ο James Brindley (1716-1772), γεννήθηκε στο Thornsett του Derbyshire, και πέρασε ένα μεγάλο μέρος της ζωής του στο Leek του Staffordshire. Απόκτησε μόνο την βασική εκπαίδευση. Αυτό δεν τον εμπόδισε να γίνει ένας από τους πιο ξεχωριστούς μηχανικούς του 18^{ου} αιώνα. Καθιέρωσε σύντομα μια φήμη για την ευστροφία και την ικανότητα στην επισκευή πολλών διαφορετικών ειδών μηχανών.

Η φήμη του τον βοήθησε να τον προσέξει ο 3^{ος} δούκας του Bridgewater ο οποίος έψαχνε έναν τρόπο να βελτιώσει τη μεταφορά του άνθρακα από τα ορυχεία του στο Worsley του Manchester. Η πιο γνωστή εφαρμογή ενός ρυθμιστή βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων στην κατασκευή λεβητών ατμού περιγράφεται σε ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον James Brindley. Έγινε διάσημος ως μηχανικός γεφυριών, καναλιών και υδραγωγείων. Το 1758 περίπου, κατασκεύασε μια μηχανή ατμού στο Fenton Vivian στο Staffordshire για το οποίο πήρε βρετανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. [15]

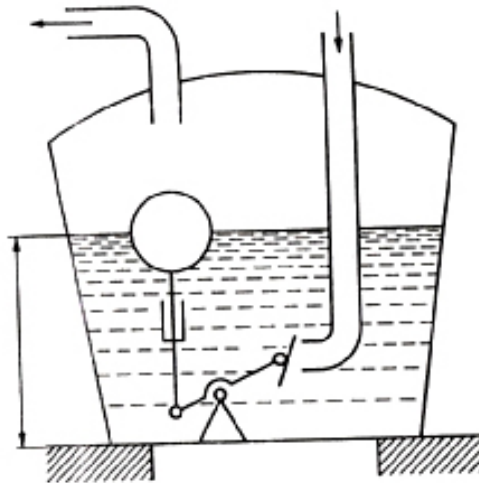
6.2 Ivan Polzunov

Ο Ivan Polzunov γεννήθηκε στο Turinsk. Αφού αποφοίτησε το 1842, εργάστηκε ως μαθητευόμενος μηχανικός με τον Nikolay Bakharev. Από το 1848 εργάστηκε στο Barnaul. Στη βιβλιοθήκη του Barnaul βρήκε τις εργασίες του Mikhail Lomonosov, που τις μελέτησε μόνος του, όπως και τις περιγραφές των σύγχρονων μηχανών ατμού του I. Shlatter.

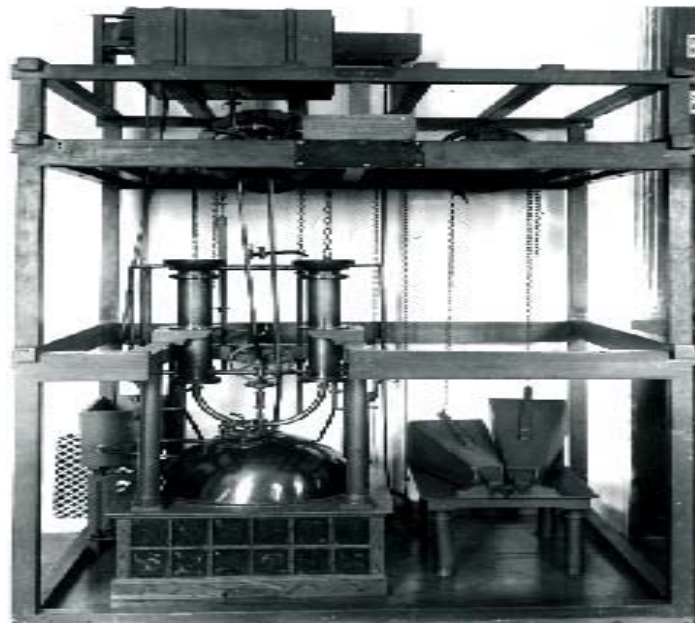
Το 1765 στη Ρωσία σε ένα ορυχείο άνθρακα στο Barnaul, στο Altai της Σιβηρίας ανέπτυξε έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων νερού για μια μηχανή ατμού. Είχε δύο κυλίνδρους αντί ενός κινουμένου ζυγού. Επίσης χρησιμοποίησε ένα ασυνήθιστο σύστημα κίνησης, που θα μπορούσε να ξεμονταριστεί εντελώς στα συστατικά του. Ο Ivan Polzunov πιστώνεται με τη δημιουργία της πρώτης μηχανή ατμού στην Ρωσία και της πρώτης δικύλινδρης μηχανής στον κόσμο. Ο Polzunov εξόπλισε το λέβητα ατμού του με έναν ρυθμιστή επιπέδων επιπλεόντων σωμάτων. Δυστυχώς, οι αρχικές απεικονίσεις είναι τόσο δυσδιάκριτες που η συσκευή μπορεί να γίνει κατανοητή μόνο με την ενίσχυση ενός σχηματικού σχεδιασμού από ένα σύγχρονο ρωσικό εγχειρίδιο.

Τα σχήματα 60 και 61 δείχνουν την συσκευή αυτή: Από την κορυφή ρέει νερό μέσω ενός σωλήνα μέσα στο σκεύος στο οποίο υπάρχει ένα επιπλέον σώμα που συνδέεται με

μια μικρή ζυγαριά. Όταν ανεβαίνει η στάθμη του νερού φράσσεται το κάτω άκρο του σωλήνα και κατά συνέπεια ανεβαίνει το επιπλέον σώμα. Αυξάνεται η άνωση του και έπειτα η πίεση του άκρου του σωλήνα μεγαλώνει. Το σύστημα ισορροπεί όταν η άνωση είναι ίση με την πίεση του εισερχόμενου νερού. [15,37,38]



Σχήμα 60. Ο ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Polzunov (Mayr,15)



Σχήμα 61. Ο λέβητας του Polzunov (37)

Στο διάγραμμα βαθμίδας, η συσκευή του δεν διαφέρει από τα γνωστά παλαιότερα συστήματα. Όμως η ρύθμιση είναι αρκετά διαφορετική από τις παλιές. Επειδή δεν

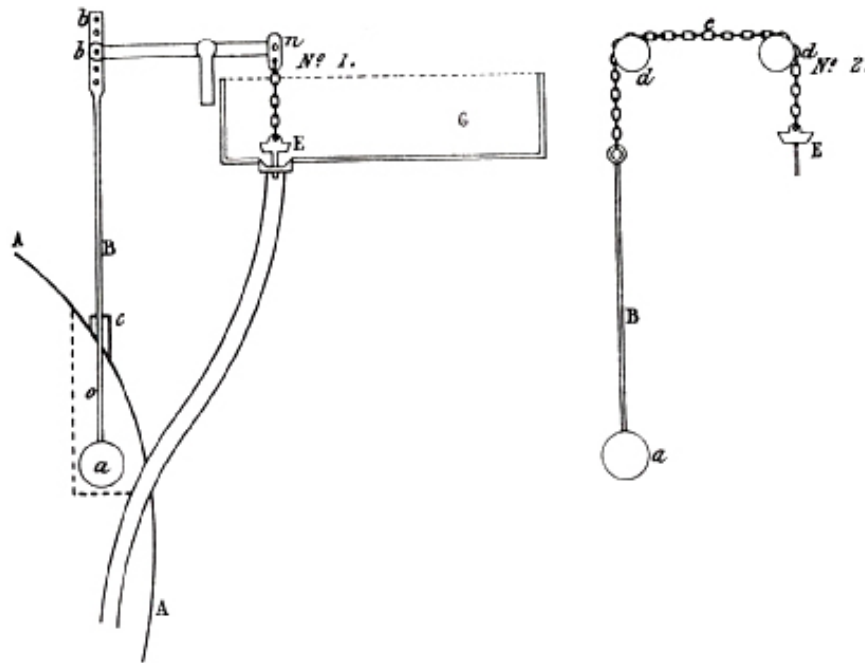
υπήρχαν τεχνικοί, ο Polzunov έπρεπε να κάνει ένα μεγάλο μέρος της χειρωνακτικής εργασίας ο ίδιος. Το αποτέλεσμα ήταν μια εντυπωσιακή μηχανή και θα μπορούσε να ήταν πολύ καλύτερη από μια χαρακτηριστική αγγλική μηχανή.

Ο Polzunov 38 ετών, πέθανε από υπερκόπωση ακριβώς όταν τελείωσε τη μηχανή. Η μηχανή λειτούργησε και χρησιμοποιήθηκε για κάποιο χρόνο, όμως αργότερα ξεχάστηκε μέχρι το 1882, όταν ο A.N.Voyeykon ανακάλυψε τα έγγραφα του Polzunov στο Barnaul. Ένα μοντέλο από τη μηχανή ατμού του Ivan Polzunov είναι στο μουσείο Barnaul. [15]

6.3 Sutton Thomas Wood

Το 1784 ο Sutton Thomas Wood χρησιμοποίησε έναν ρυθμιστή βαλβίδων επιπλεόντων σωμάτων για μια μηχανή ατμού στο ζυθοποιείο του. Ο Sutton Thomas Wood πήρε βρετανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τον ρυθμιστή που έφτιαξε. Είναι ίσως αξιοπρόσεκτο ότι αναφέρεται ήδη στο επιπλέον σώμα προς το τέλος της περιγραφής του, ως ρυθμιστής. Ο ρυθμιστής σαν λέξη έγινε αργότερα ο κοινός όρος για τις συσκευές ελέγχου κλειστών βρόγχων όλων των ειδών, ένας προκάτοχος του όρου του ελέγχου ανατροφοδότησης.

Τεχνικά στον ρυθμιστή ο Wood παρουσιάζει εντυπωσιακή ομοιότητα με αυτήν του Έρωνα. Παρατηρούμε, ότι για την ίδια εφεύρεση δόθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για δεύτερη φορά μετά από τον Brindley. Μεταξύ των παλαιότερων βρετανικών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας δεν είναι ασυνήθιστο κάτι τέτοιο. (Σχήμα 62) [15,37]



Σχήμα 62. Ο ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων του Wood (Mayr, 15)

6.4 Boulton & Watt

Το γεγονός ότι το 1784 ο Sutton Thomas Wood πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων προφανώς δεν καθιερώνει την προτεραιότητα του Wood. Δείχνει, εντούτοις, ότι η συσκευή δεν ήταν ακόμα γνωστή. Ο Boulton & ο Watt αρχικά δεν τον υιοθέτησαν. Αλλά σύντομα υιοθέτησαν την εφεύρεση. Ο Georg Reichenbach (1772-1826) πέρασε το καλοκαίρι του 1791 μελετώντας στο Soho την μηχανή ατμού του Watt.

Ένα εντυπωσιακό ακριβές ελεύθερο σκίτσο της μηχανής που έφτιαξε, δεν παρουσιάζει έναν ρυθμιστή επιπλεόντων σωμάτων, αλλά το ημερολόγιό του περιλαμβάνει μια πολύ σαφή περιγραφή του. Ο ρυθμιστής επιπλεόντων σωμάτων ήταν έως τότε μέρος του τυποποιημένου εξοπλισμού των λεβήτων ατμού του Watt. Για τον Reichenbach η συσκευή ήταν προφανώς νέα. [15]

7. ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΠΙΕΣΗΣ

Αμέσως μετά τους ρυθμιστές επιπλεόντων σωμάτων, μια άλλη κατηγορία ρυθμιστών εμφανίστηκε στους λέβητες ατμού. Οι ρυθμιστές πίεσης. Δεν ήταν πραγματικά εξ ολοκλήρου νέοι, γιατί είχαν έναν προκάτοχο: τη βαλβίδα ασφάλειας του Denis Papin.

7.1 Denis Papin

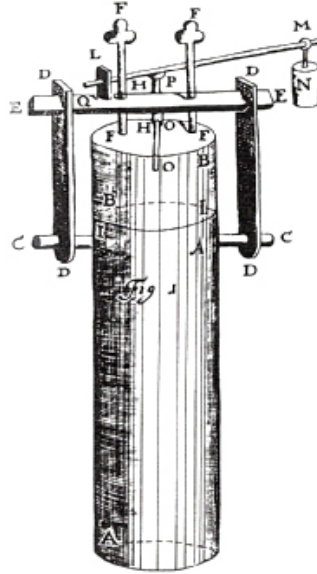
Ο Denis Papin ήταν Γάλλος φυσικός, μαθηματικός και εφευρέτης. Ήταν γνωστός για την πρωτοποριακή εργασία του με την δύναμη του ατμού. Φοίτησε σε ένα σχολείο Ιησουϊτών στο Blois το 1661 και έπειτα στο πανεπιστήμιο του Angers. Ο Papin πήγε στο Λονδίνο το 1675 και εργάστηκε με τον Boyle. Παρέμεινε σε αυτήν την θέση μέχρι το 1679 που έγινε βοηθός του Hooke στην Βασιλική κοινωνία.

Το 1681 έφυγε για την Ιταλία όπου ήταν διευθυντής των πειραμάτων στην Κρατική Ακαδημία Φυσικών Επιστημών στη Βενετία μέχρι το 1684. Μετά πήγε στην Αγγλία και στο Hesse-Kassel όπου διορίστηκε καθηγητής μαθηματικών στο πανεπιστήμιο του Marburg. Εκεί διαφώνησε με τους συναδέλφους του. Έγινε γνωστός για τις εργασίες του ως εφευρέτης, ιδιαίτερα με την εργασία του στη μηχανή ατμού. Ο Papin, στην άφιξή του στο Λονδίνο, βρέθηκε χωρίς πόρους και σχεδόν χωρίς φίλους. Οι αιτήσεις μέσω του Sir Hans Sloane στη βασιλική κοινωνία για επιχορήγηση χρημάτων έγιναν μάταια. Υπήρξαν θρησκευτικοί λόγοι για τους οποίους ο Papin δεν μπορούσε να επιστρέψει στη Γαλλία. Ήταν Καλβινιστής και μετά από το διάταγμα του Δάντη έγινε εξόριστος από την Γαλλία. Στη Λειψία το 1690, παρατηρώντας τη μηχανική δύναμη της ατμοσφαιρικής πίεσης, δημιούργησε ένα πρότυπο ενός εμβόλου μηχανής ατμού, το πρώτο του είδους του. [15]

Συνέχισε να εργάζεται στις μηχανές ατμού για τα επόμενα δεκαπέντε έτη. Το 1705 ανέπτυξε μια δεύτερη μηχανή ατμού με τη βοήθεια του Gottfried Leibniz. Οι λεπτομέρειες της μηχανής δημοσιεύθηκαν το 1707. Ο Papin επέστρεψε στο Λονδίνο το 1707. Αρκετά από τα έγγραφα του τέθηκαν ενώπιον της βασιλικής κοινωνίας μεταξύ του 1707 και του 1712 χωρίς την αναγνώριση ή την πληρωμή του, για την οποία παραπονέθηκε. Οι ιδέες του περιέλαβαν μια περιγραφή της ατμοσφαιρικής μηχανής ατμού του 1690, παρόμοια με αυτήν που χτίστηκε και που τέθηκε στη χρήση από τον Thomas Newcomen το 1712, πιθανόν συμπτωματικά το έτος θανάτου του Papin. Σαν φίλος του Leibniz, ο Papin ήταν σε διαφωνία με τον Isaac Newton.

Άλλες εφευρέσεις του Papin είναι η κατασκευή ενός υποβρυχίου και ενός αεροβόλου πιστολιού. Το όνομά του είναι συνδεδεμένο με την κύρια οδό της εγγενούς πόλης του Blois, και τιμήθηκε η μνήμη του με ένα άγαλμα χαλκού. Το 1681 ο Papin εφηύρε μια βαλβίδα ασφάλειας (Σχήμα 63)την χρησιμοποίησε ως ρυθμιστή πίεσης στη μηχανή ατμού του. Ο ατμός που οδηγεί τη μηχανή πρέπει να είναι σε μια σταθερή πίεση. Στην κορυφή η

βαλβίδα ήταν ζυγισμένη προκειμένου να τεθεί η πίεση του λέβητα στο επιθυμητό επίπεδο.
[15,37]

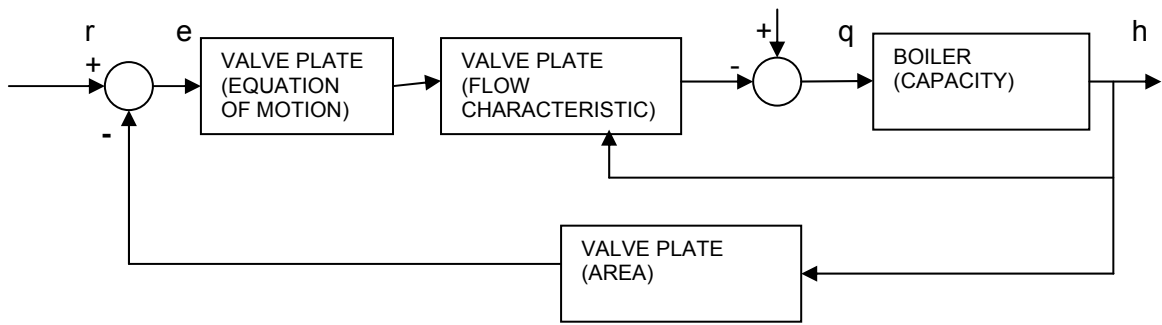


Σχήμα 63. Η πρώτη ατμομηχανή του Papin (Mayr, 15)

Η βαλβίδα χρησιμοποιήθηκε για να συγκρίνει την πραγματική πίεση (μέσα στο λέβητα) με την επιθυμητή πίεση (το βάρος). Εάν η ανοδική πίεση του λέβητα υπερέβη το βάρος, η βαλβίδα θα άνοιγε. Ο ατμός θα απελευθερωνόταν έως ότου έφτανε το σύστημα σε ισορροπία. Εάν η πραγματική πίεση δεν υπερέβη το βάρος, η βαλβίδα δεν άνοιγε και η πίεση μέσα στο λέβητα θα συνέχιζε να αυξάνεται.

Ο Papin σχεδίασε μια βαλβίδα ασφάλειας για να αποτρέψει την πίεση του ατμού στα επικίνδυνα επίπεδα. Η βαλβίδα ασφάλειας προορίστηκε αρχικά ως ρυθμιστής πίεσης. Αργότερα έγινε ένα τυποποιημένο γνώρισμα για τις μηχανές ατμού (λέβητες). Η εφεύρεση της βαλβίδας ασφάλειας αποδίδεται ομόφωνα στον Papin αφού οι προκάτοχοι του δεν είναι γνωστοί. Το 1705, όταν ο Leibniz έστειλε στον Papin ένα σκίτσο μιας μηχανής ατμού, αυτός άρχισε πάλι και έγραψε τη νέα τέχνη της άντλησης νερού με τη χρησιμοποίηση του ατμού.

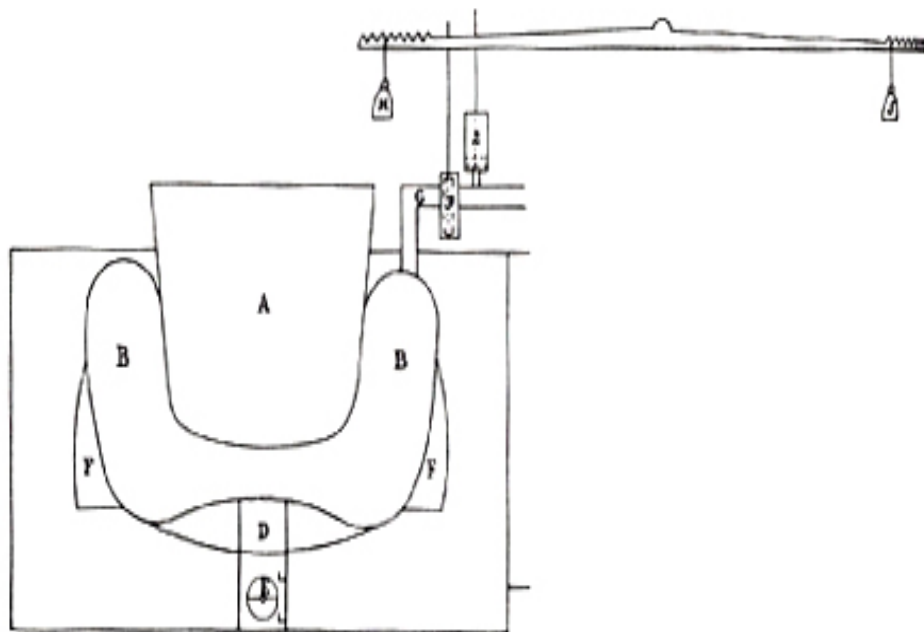
Το διάγραμμα βαθμίδας παρουσιάζει ένα κλειστό σύστημα ανατροφοδότησης. Η πραγματική πίεση ατμού, που μετατρέπεται σε μια ανοδική δύναμη, συγκρίνεται με την επιθυμητή πίεση που αντιπροσωπεύεται από το φορτίο στη βαλβίδα. Εάν η πραγματική πίεση είναι μεγαλύτερη, το καπάκι βαλβίδων ανοίγει, ο ατμός θα δραπετεύσει, και η πίεση θα πέσει. (Σχήμα 64) [15,37]



Σχήμα 64. Το διάγραμμα βαθμίδας της πρώτης ατμομηχανής του Papin (Mayr, 15)

7.2 Robert Delap

Ένας πιο περίπλοκος ρυθμιστής πίεσης περιγράφεται σε βρετανικό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1799, χορηγείται στον Robert Delap από το Banville της Ιρλανδίας. Η εφεύρεση πάσχει από ανεπάρκεια που θα έπρεπε να υπάρχει για να μπορέσει να λειτουργήσει επαρκώς. (Σχήμα 65) [15,37]

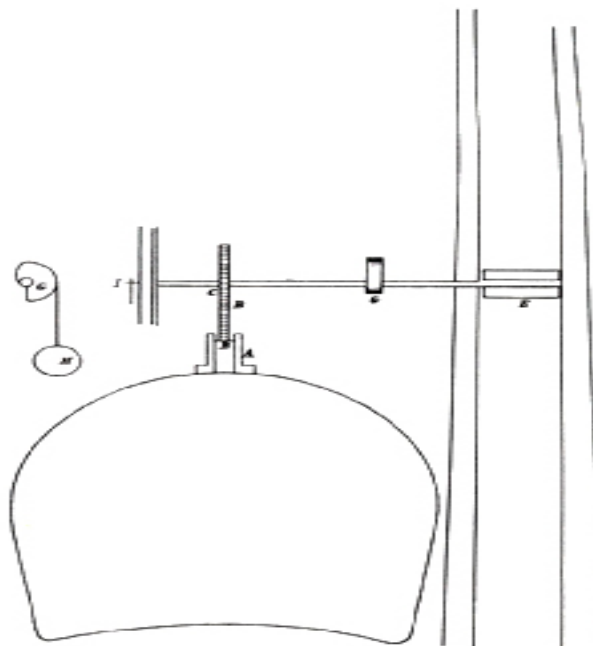


Σχήμα 65. Ο ρυθμιστής πίεσης του Delap (Mayr, 15)

7.3 Matthew Murray

Γεννήθηκε στο Newcastle-upon-Tyne το 1765. Τον Ιούνιο του 1790 μαζί με τον Samuel Fenton και τον David Wood, έφτιαξαν την επιχείρηση μηχανής ατμού Fenton, Murray & Wood. Το εμπόριο αυξήθηκε και από την αρχή του 19^{ου} αιώνα, η επιχείρηση του Murray ήταν πρόκληση για τον Boulton & Watt στη Μεγάλη Βρετανία. Το 1812 ο Matthew Murray σχεδίασε και έφτιαξε ατμομηχανές για τη πρώτη γραμμή του παγκόσμιου σιδηροδρόμου στο Leeds. Ήταν μια ιδιαίτερα επιτυχής επιχείρηση. Ο Matthew Murray θεωρήθηκε ως ένας από τους καλύτερους μηχανικούς.

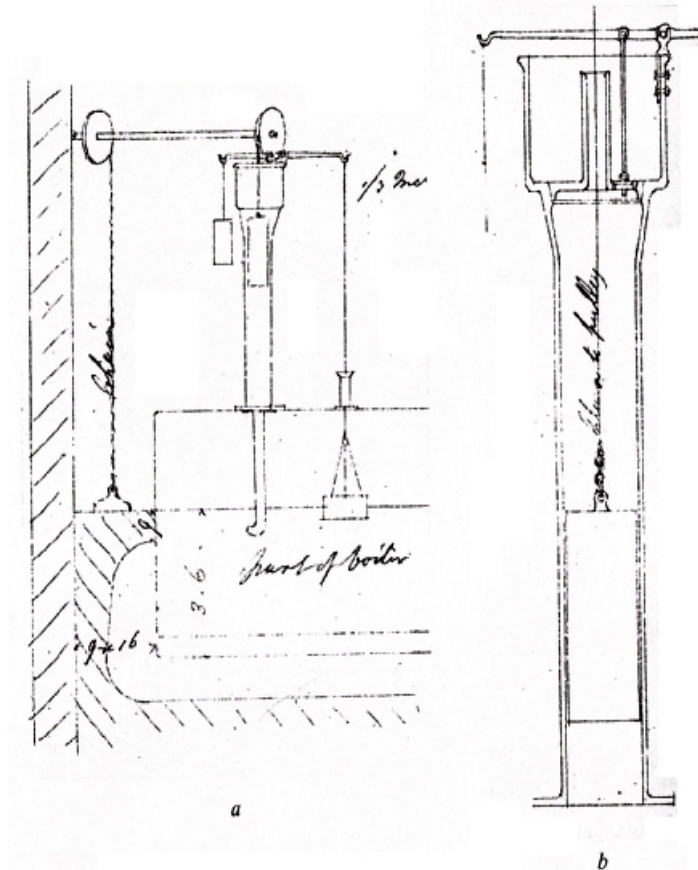
Ο Matthew Murray πέθανε το 1826. Η εργασία του αναφέρεται σπάνια στα κείμενα στην ιστορία της τεχνολογίας. Αντίθετα από τους ανταγωνιστές του ο Murray δεν ασχολήθηκε στενά με τα δικαιώματα διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας στις πολλές εφευρέσεις του. Τρεις μήνες μετά από τον Delap (16 Ιουλίου, 1799) ο Matthew Murray στο Leeds έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σε έναν ρυθμιστή πίεσης. (Σχήμα 66) [15,37]



Σχήμα 66. Ο ρυθμιστής πίεσης του Murray (Mayr, 15)

7.4 Boulton&Watt

Ένας τρίτος ρυθμιστής πίεσης εμφανίζεται πρώτος το 1803 σε δύο σχέδια που γίνονται από την εταιρία των Boulton & Watt . (Σχήμα 67)



Σχήμα 67. Ο ρυθμιστής πίεσης του Watt (Mayr,15)

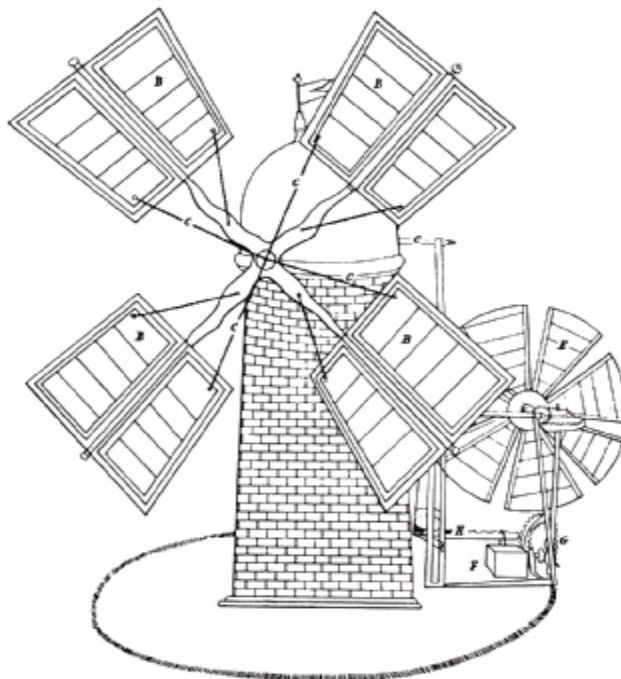
Η πίεση ατμού στο λέβητα μετριέται με τη βοήθεια της υδάτινης στήλης σε έναν κάθετο σωλήνα που περνά μέσω του τοίχου λεβήτων. Το κατώτατο σημείο του σωλήνα βυθίζεται στο νερό του λέβητα, ενώ η κορυφή του είναι ανοικτή στην ατμόσφαιρα. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης νερού στο σωλήνα και αυτής του λέβητα γενικά είναι το μέτρο της πίεσης. Οι λέβητες του Watt λειτούργησαν μόνο στις πολύ μικρές πιέσεις. Αυτός ο ρυθμιστής φαίνεται να αποδεικνύεται πρακτικός. [15]

8. Οι ανεμόμυλοι

Επιπλέον με τους ρυθμιστές που είδαμε μέχρι τώρα έχουμε μια διαφορετική κατηγορία ρυθμιστών συστημάτων ελέγχου. Τους ρυθμιστές στους ανεμόμυλους, η οποία έχει ιστορική σημασία ως προκάτοχος του φυγοκεντρικού ταχύμετρου του James Watt. Οι κατασκευές των ανεμόμυλων είχαν σημαντική επιρροή επάνω στην τεχνολογία του 18ου αιώνα.

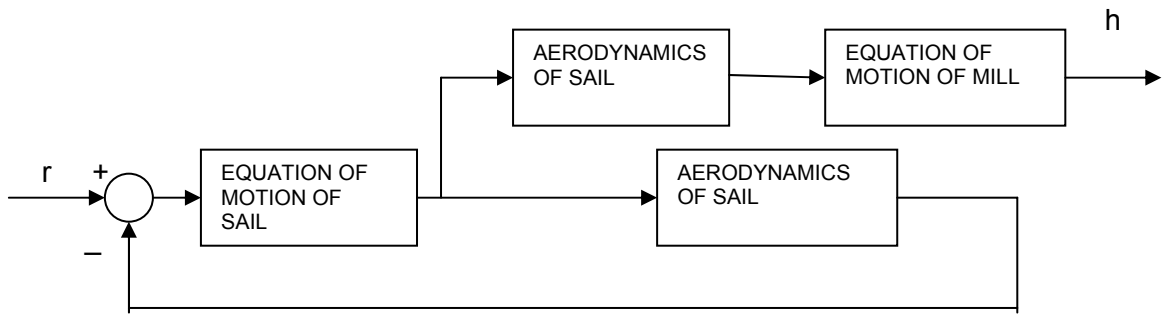
8.1 Edmund Lee

Το 1745 κατοχυρώθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σε έναν Άγγλο σιδηρουργό, τον Edmund Lee για μία μικρή ρόδα στο πίσω μέρος του ανεμόμυλου. Στο σχήμα 68 παρατηρούμε πως είναι σχεδιασμένο όλο το σύστημα έτσι ώστε αυτόματα ο ανεμόμυλος να είναι στραμμένος προς τον άνεμο. Η οπίσθια αυτή μικρή κινητή βοηθητική ρόδα είναι συνδεδεμένη με την πίσω πλευρά των ανεμόμυλων και χρησιμοποιείται για να φέρει την κύρια ρόδα στην σωστή θέση με τον αέρα. Τοποθετείται κάθετα στην κύρια ρόδα.



Σχήμα 68. Ο ανεμόμυλος του Lee (Mayr, 15)

Όταν η κύρια ρόδα είναι στραμμένη στον άνεμο, η βοηθητική οπίσθια ρόδα ευθυγραμμίζεται παράλληλα στον άνεμο και δεν περιστρέφεται. Αν η φορά του ανέμου αλλάξει τόσο ώστε η κεντρική ρόδα δεν κοιτάει ευθεία τον άνεμο, ο άνεμος θα κάνει το την μικρή ρόδα να περιστραφεί και θα έρθει να είναι παράλληλα στον άνεμο. Οπότε η κεντρική ρόδα θα βρίσκεται πάλι ευθεία στον άνεμο. Επομένως το σύστημα αυτόματα γυρνάει τον ανεμόμυλο έτσι ώστε να βρίσκεται ευθεία στον άνεμο. Ο ανεμόμυλος συμπεριλαμβάνει μια εφεύρεση που ελέγχει την ταχύτητά του παρά τις αλλαγές στην ταχύτητα αέρα. Στο σχήμα 69 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδας του. [15,19,21]



Σχήμα 69. Το διάγραμμα βαθμίδας του ρυθμιστή πίεσης του Lee(Mayr, 15)

9.Το “αρμονικό” εκκρεμές

Μια ακόμη ξεχωριστή κατηγορία αυτόματου ελέγχου είναι το “αρμονικό” εκκρεμές. Απευθύνεται στον συγχρονισμό των ρολογιών και οφείλεται στην ρύθμιση της ταχύτητας. Δεν δείχνει επίσης να συνδέεται ιστορικά με προηγούμενες αντιπροσωπευτικές εφευρέσεις.

9.1 Abraham-Louis Breguet

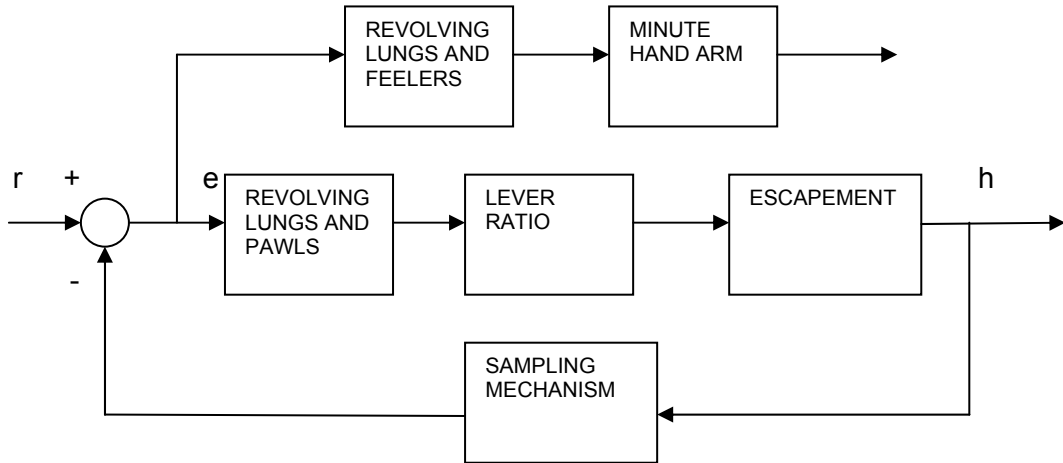
Ένα επίσης αξιόλογο παράδειγμα της ανατροφοδότησης είναι το “αρμονικό” εκκρεμές το ρολόι του Abraham-Louis Breguet (1747-1823). Ήταν Γάλλο-Ελβετός και έζησε στο Παρίσι από μικρός. Απέκτησε την φήμη του πρώτου κατασκευαστή ρολογιών της εποχής εκείνης. Τα ρολόγια του φημίζονταν από την μια για την ακρίβεια και την μηχανική λειτουργία τους και από την άλλη για την φινέτσα τους. Η επινόηση του χρονολογείται γύρω στο 1793.[40]

Εφεύρε ένα σύστημα ανατροφοδότησης κλειστών βρόγχων για να συγχρονίσει τα ρολόγια τσεπών. Ο όρος “αρμονικός” επιλέχτηκε από τον Breguet για να εκφράσει την έννοια της αρμονίας και της συμφωνίας. Τα μηχανικά ρολόγια κάνουν μια επαναλαμβανόμενη κυκλική κίνηση προκαθορισμένου χρόνου. Η κίνηση αυτή δεν είναι αποτέλεσμα της ανατροφοδότησης, επιτυγχάνεται απλώς με την προστασία του μηχανισμού από εξωτερικές διαταραχές όπως νερό, εναλλαγή θερμοκρασίας, βρωμιές. Η ταχύτητα του ρολογιού μπορεί να ποικίλει λίγο γυρνώντας έναν ρυθμιζόμενο μοχλό που υπάρχει εξωτερικά και καθορίζει την συχνότητα της ταλάντωσης. Ο συνηθισμένος τρόπος ρύθμισης ρολογιού είναι να βρούμε την σωστή θέση του ρυθμιζόμενου μοχλού εμπειρικά με δοκιμές και με σύγκριση με ένα άλλο χρονόμετρο γνωστής ακρίβειας. Παρατηρούμε ότι το ρολόι αυτό είναι ένας αντιπρόσωπος της ανατροφοδότησης.(Σχήμα 70) [15,40]



Σχήμα 70. Το εκκρεμές του Breguet (40)

Στο σχήμα 71 βλέπουμε το διάγραμμα βαθμίδας του το οποίο επιβεβαιώνει την ανατροφοδότηση. Το ρολόι αυτό είναι ένα ασυνεχές σύστημα ελέγχου. Αν και το ρολόι αυτό ενίσχυσε τη φήμη του Breguet, παρέμεινε σύνθετο και δαπανηρό στην κατασκευή του. Πούλησε μόνο πέντε ρολόγια, όλα διαφορετικά τα οποία αγοράστηκαν από τους βασιλιάδες και τους πρίγκιπες εκείνης της εποχής. [15,40]



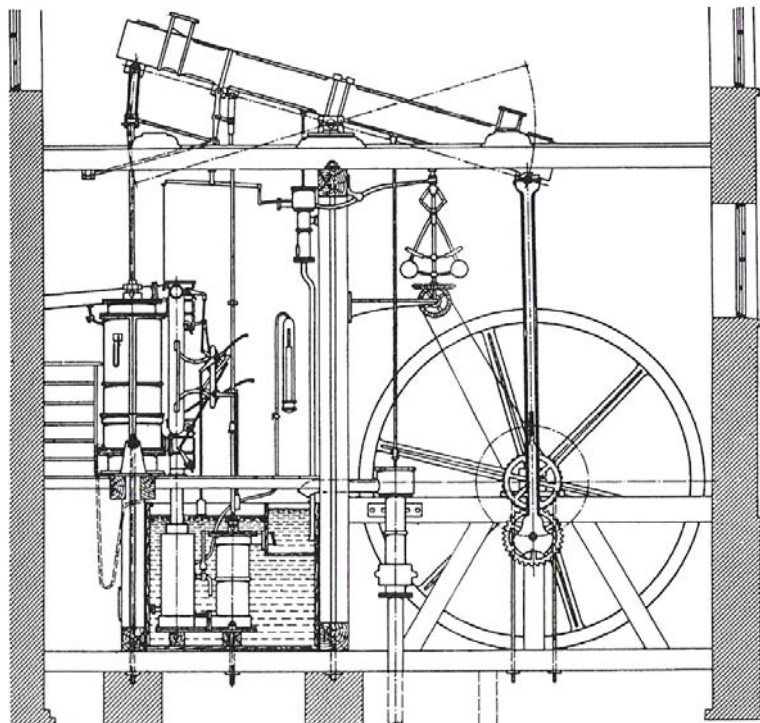
Σχήμα 71. Το διάγραμμα βαθμίδας του εκκρεμούς του Breguet(Mayr,15)

10. Το φυγοκεντρικό ταχύμετρο

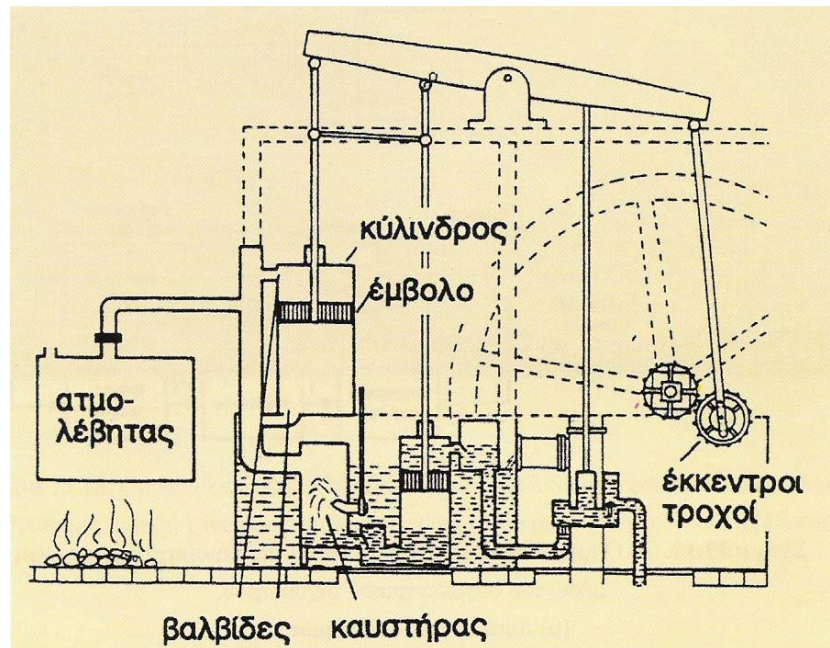
Τέλος ο James Watt έκανε μια σημαντική εφεύρεση στην ιστορία ελέγχου με τον φυγοκεντρικό κυβερνήτη. Μετά από αυτήν την εφεύρεση δημιουργήθηκαν πολλοί διαφορετικοί κυβερνήτες που κατοχυρώθηκαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας, αλλά ο φυγοκεντρικός κυβερνήτης του James Watt παρέμεινε ο επιτυχέστερος.

10.1 James Watt

Ο James Watt (1736 –1819) ήταν Σκοτσέζος εφευρέτης και μηχανικός του οποίου οι βελτιώσεις στις έως τώρα μηχανές ατμού ήταν θεμελιώδης. Η μηχανή ατμού του James Watt μετέτρεψε μια μηχανή περιορισμένης χρήσης σε μια αποδοτική, παραγωγική και με πολλαπλές εφαρμογές νέα μηχανή. Ήταν μια από τις βασικότερες πηγή ενέργειας στην Βιομηχανική επανάσταση. Το 1788 ο James Watt ολοκλήρωσε το σχέδιο του φυγοκεντρικού ταχύμετρου (κυβερνήτης ιπτάμενων σφαιρών) για τη ρύθμιση της ταχύτητας σε μια περιστροφική μηχανή ατμού. Στα σχήματα 72 και 73 βλέπουμε το σχέδιο του Watt. [5,10,15]



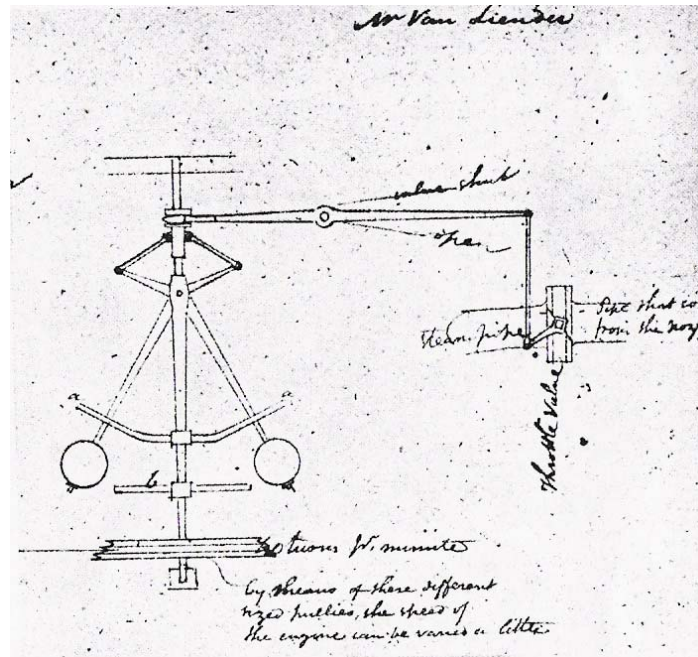
Σχήμα 72. Η μηχανή ατμού του Watt (Mayr, 15)



Σχήμα 73. Η ατμομηχανή του Watt (Καλλιγερόπουλος,5)

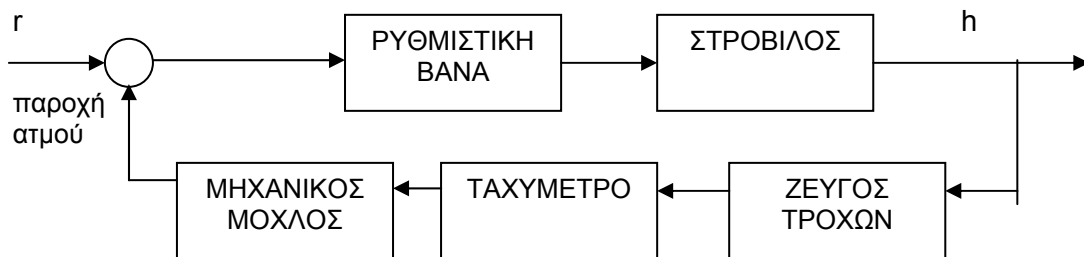
Η λειτουργία του είναι η εξής: Αποτελείται από δυο εκκρεμή, στα άκρα των οποίων συνδέεται από ένα βάρος, και τα οποία προσαρμόζονται στον άξονα περιστροφής της ατμομηχανής. Ο ρυθμιστής του Watt αποτελεί ένα από τα πρώτα επιτυχημένα παραδείγματα ανατροφοδότησης σύμφωνα με την οποία όταν αυξάνεται η τιμή της εξόδου ενός συστήματος, μειώνεται κατάλληλα η δράση του φυσικού μεγέθους (εισόδου) που ενεργοποιεί το σύστημα μειώνοντας έτσι όσο χρειάζεται την έξοδο του συστήματος.

Στον συγκεκριμένο ρυθμιστή όταν αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής του άξονα της μηχανής, τα σφαιρίδια απομακρύνονται από τον άξονα λόγω αύξησης της φυγόκεντρης δύναμης και ανέρχονται ανάλογα κλείνοντας την βαλβίδα εισόδου του ατμού. Έτσι η ταχύτητα της μηχανής μειώνεται. Αν η ταχύτητα μειωθεί πέρα από την επιθυμητή τομή της, τα σφαιρίδια κατέρχονται και ανοίγουν την βαλβίδα με αποτέλεσμα να αυξηθεί αντίστοιχα η ταχύτητα της μηχανής. Το αποτέλεσμα είναι η αυτόματη επαναφορά των στροφών στο επιθυμητό επίπεδο. [5,10,15]



Σχήμα 74. Ο φυγοκεντρικός κυβερνήτης του Watt (Mayr, 15)

Το σχήμα 75 παρουσιάζει το διάγραμμα βαθμίδας του φυγοκεντρικού ταχύμετρου. Ο Matthew Boulton και ο James Watt συνεργάστηκαν άριστα και κατασκεύαζαν μηχανές ατμού. Δημιούργησαν μια τεράστια επιχείρηση και αποδείχθηκαν άριστοι επιχειρηματίες. Το 1800 περίπου ο Boulton και ο Watt αποσύρθηκαν. Η διάσημη συνεργασία μεταφέρθηκε στους γιους τους.[15]



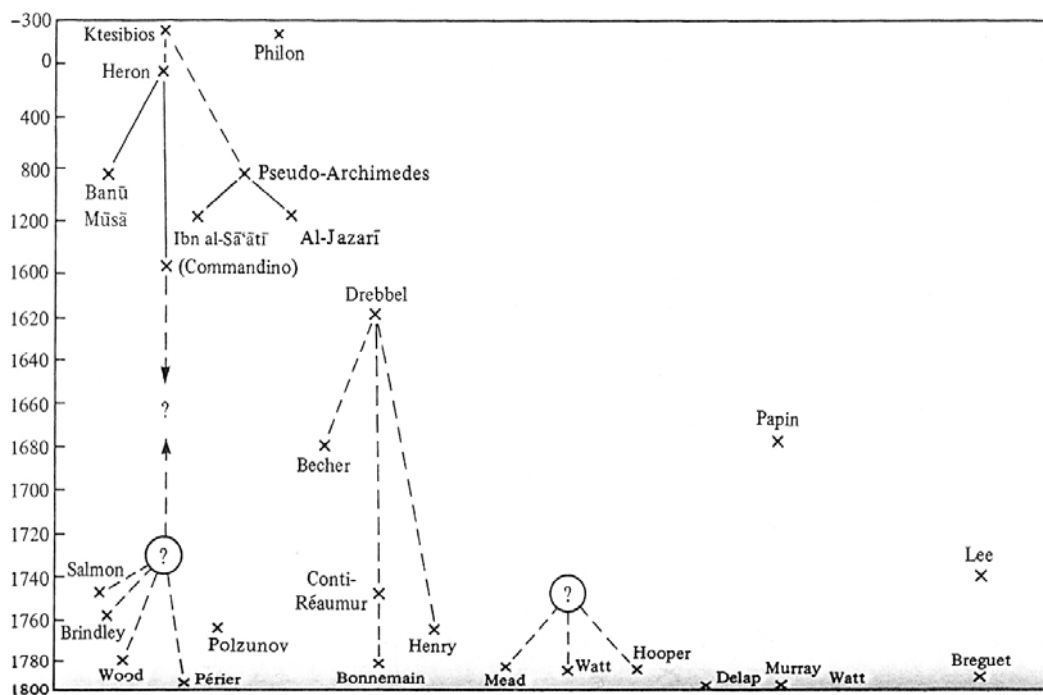
Σχήμα 75. Το διάγραμμα βαθμίδας ελέγχου στροφών της ατμομηχανής του Watt (Καλλιγερόπουλος,5)

11. Επίλογος

11.1 Σχόλια

Το αρχικό κίνητρο για τον έλεγχο ανατροφοδότησης στην Αρχαιότητα ήταν η ανάγκη του ανθρώπου για τον ακριβή προσδιορισμό του χρόνου. Η μεγάλη σχολή των Αλεξανδρινών μηχανικών κατά την Ελληνιστική περίοδο που εκπροσωπείται από τον Κτησίβιο, τον Φίλωνα και τον Ήρωνα έδωσε κάποιες λύσεις στο πρόβλημα αυτό. Οι μηχανικοί και δάσκαλοι αυτοί, μελετήθηκαν και μεταφράστηκαν από τους Άραβες. Ιδιαίτερα ασχολήθηκαν ο Al-Jazzari και οι Banu Musa.

Τέλος βασικό χαρακτηριστικό της Βιομηχανικής Επανάστασης είναι η εξέλιξη της Βιομηχανίας. Οι μηχανές εισέβαλαν στον χώρο παραγωγής και λειτούργησαν στην θέση του ανθρώπου. Δημιουργήθηκαν διάφοροι ρυθμιστές θερμοκρασίας, επιπλεόντων σωμάτων, πίεσης με σπουδαιότερο τον ρυθμιστή του James Watt σε μια μηχανή ατμού. Στο σχήμα 76 μπορούμε να δούμε τις επιρροές που είχαν οι εφευρέτες μεταξύ τους. Η συνεχόμενη γραμμή δείχνει την επιβεβαιωμένη συσχέτιση μεταξύ τους ενώ η διακεκομμένη γραμμή δείχνει την πιθανή συσχέτιση μεταξύ τους. Στην πρώτη στήλη φαίνονται οι εφευρέτες των ρυθμιστών επιπλεόντων σωμάτων. Στην δεύτερη στήλη βλέπουμε τους εφευρέτες των ρυθμιστών θερμοκρασίας. Στην τρίτη στήλη τους εφευρέτες των φυγοκεντρικών κυβερνητών. Στην τέταρτη στήλη τους εφευρέτες των ρυθμιστών πίεσης και στην τελευταία στήλη άλλου είδους ρυθμιστές.

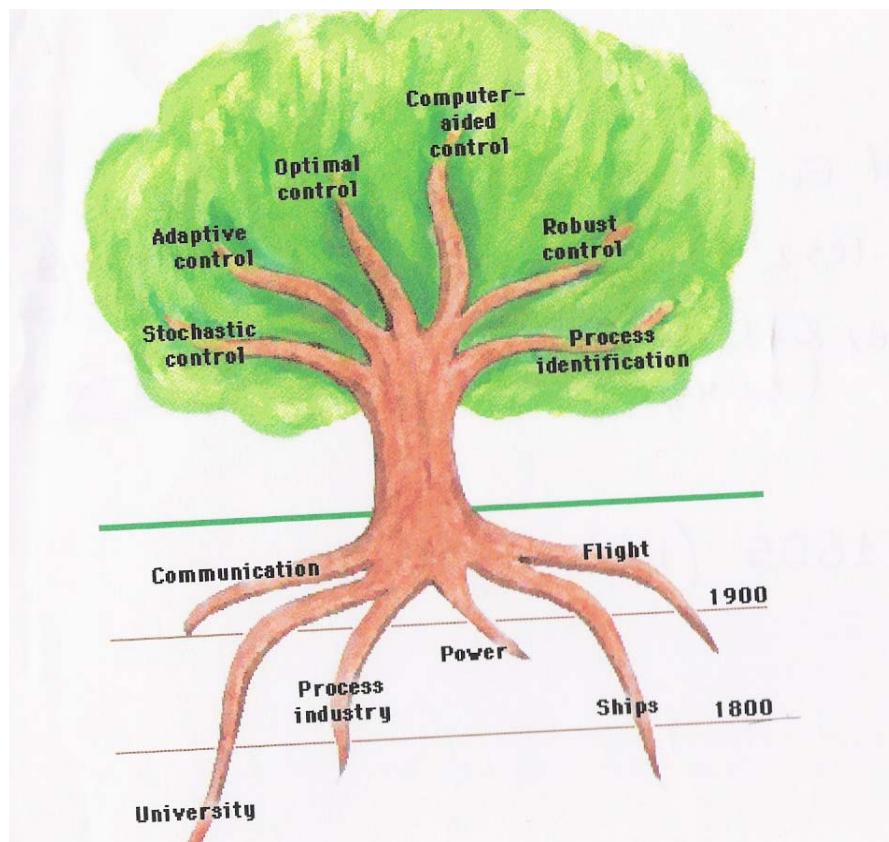


Σχήμα 76. Η συσχέτιση των εφευρετών (Mayr, 15)

11.2 Σύγχρονη εποχή

Ο σχεδιασμός των συστημάτων ελέγχου ανατροφοδότησης μέχρι τώρα ήταν περισσότερο τέχνη από επιστήμη. Στα μέσα του 1800μ.Χ τα μαθηματικά χρησιμοποιήθηκαν αρχικά για να αναλύσουν τη σταθερότητα των συστημάτων ελέγχου ανατροφοδότησης. Οι κλασικές μέθοδοι σχεδιασμού των κλειστών συστημάτων ελέγχου είναι η μέθοδος γεωμετρικού τόπου των ριζών του χαρακτηριστικού πολυωνύμου (Evans), η μέθοδος πολικών διαγραμμάτων (Nyquist), η μέθοδος λογαριθμικών διαγραμμάτων μέτρου και φάσης (Bode), και η μέθοδος διαγράμματος L δηλαδή του μέτρου σε συνάρτηση με την φάση όπου το μέτρο απεικονίζεται σε λογαριθμική κλίμακα (Nichols).[8,22]

Στο σχήμα 77 βλέπουμε ένα ιστορικό δέντρο του αυτόματου ελέγχου. Οι σύγχρονοι πλέον κλάδοι του αυτόματου ελέγχου είναι ο βέλτιστος έλεγχος (optimal control), ο προσαρμοστικός έλεγχος (adaptive control), ο πιθανολογικός έλεγχος (stochastic control), ο άμεσος υπολογιστικός έλεγχος (computer aided control), ο εύρωστος έλεγχος (robust control). Αποτελούν μια αξιόλογη περιοχή επιστημονικής έρευνας και τεχνολογικής ανάπτυξης.



Σχήμα 77. Σχηματικό δέντρο της εξέλιξης του αυτόματου ελέγχου (35)

Ο αυτόματος έλεγχος είναι πλέον αναγκαίος για την ζωή του ανθρώπου. Μια από τις πρώτες εφαρμογές της μηχανοποίησης και του αυτοματισμού είναι η ενσύρματη τηλεπικοινωνία. Στην βιομηχανία παραγωγής προϊόντων βασικές διεργασίες έχουν αυτοματοποιηθεί. Επίσης στις μεταφορές οι εφαρμογές του ελέγχου εκτείνονται από τον έλεγχο της οδικής κυκλοφορίας μέχρι τον έλεγχο της προσελήνωσης διαστημοπλοίων.

Ο αυτοματισμός έχει εισαχθεί στα συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο για την εξασφάλιση συνεχούς και ομαλής παραγωγής της ενέργειας, όσο και για την αποφυγή διακοπών σε μεγάλες περιοχές. Την κορύφωση του σύγχρονου αυτοματισμού αποτελεί ο κλάδος που ονομάζεται ρομποτική που ασχολείται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή ρομπότ.[8,22]

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΒΙΒΛΙΑ

- [1] Βιτρούβιου, *Περί Αρχιτεκτονικής*, Λέφας Π, Πλεθρου, Αθήνα 1997
- [2] Βιτρούβιου, *Δέκα Βιβλία*, Ζερεφός Σ., Παρατηρητής, Θεσσαλονίκη 1997
- [3] Ηρων ο Αλεξανδρεως, *The pneumatics*, trans. Bennet Woodcroft, London 1851
- [4] Καλλιγερόπουλος Δ., *Ήρωνος Αλεξανδρέως, Αυτοματοποιητική, Η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων*, Αθήνα 1996
- [5] Καλλιγερόπουλος Δ., *Ιστορία της τεχνολογίας και των αυτομάτων*, Αθήνα 2005
- [6] Κηπουρός Χρήστος Κ., Heiberg, J.L.(Johan Ludvig), *Ήρωνος Αλεξανδρέως: Ονόματα όρων γεωμετρικά*, Ελληνική Μαθηματική Εταιρία 1995
- [7] Κηπουρός Χρήστος Κ., *Ήρωνος Αλεξανδρέως μετρικά-Διόπτρα*, Ελληνική Μαθηματική Εταιρία 2000
- [8] Παρασκευοπουλος Ν., *Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο*, Αθήνα 2001
Τόμος Α Θεωρία
- [9] Τεχνικό Μουσείο Θεσσαλονίκης Εταιρία Μελέτης Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας., *Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία*, Θεσσαλονίκη 2000
- [10] Benett S., *A history of feedback engineering 1800-1930*, Peter Peregrinus, London 1979
- [11] Dijksterhuis, E. J. (Eduard Jan), *Archimedes*, Princeton University Press, 1987
- [12] Drachmann A.G., *The mechanical technology of Greek and Roman antiquity, a study of the literary sources*, Munksgraad, Copenhagen 1963
- [13] Drachmann A.G., *Ktesibios, Philon and Heron- A study in Ancient Pneumatics*, Munksgraad, Copenhagen, 1948
- [14] Hill D., *The book of knowledge of Ingenious Mechanical Devices* by Ibn al-Razzaz al Jazzari, D. Reidel, Holland 1974
- [15] Mayr O., *The origins of Feedback Control*, MIT Press, Cambridge, Mass 1970
- [16] Needham Joseph, *Science and Civilisation in China*, Cambridge 1954
- [17] Philon, *Pneumatica*, Arabic version, Arabic and French, trans. Carra de Vaux, Paris 1902
- [18] Philon, *Pneumatica*, Latin version, Latin and German, trans. W. Schmidt Leipzig, 1899
- [19] Rex Wailes, *The English Windmill*, London 1954

[20] Wiedemann E., Hauser F., *Uhr des Archimedes und zwei andere Vorrichtungen*, Halle 1918

[21] William Fairbairn, *Treatise on Mills and Millwork*, London 1861

[22] Εγκυκλοπαίδεια Britanica

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

[23] <http://arri.uta.edu/acs/history.htm>

[24] <http://www.ancient-technology.com/>

[25] <http://www.history.rochester.edu/steam/hero/index.html>

[26] <http://www.ekivolos.gr/i%20texnologia%20stin%20arxaia%20ellada.htm>

[27] http://www.tmth.edu.gr/el/expo/ancient_greek_technology.html

[28] <http://www.nea-acropoli.gr/civilisations/europe/hellas>

[29] <http://www.mcs.drexel.edu>- Archimedes Home Page

[30] <http://muslimheritage.com/topics/default.cfm?TaxonomyTypeID=103&TaxonomySubTypeID=24&TaxonomyThirdLevelID=-1&ArticleID=466>

[31] www.design.t.u-tokyo.ac.jp/lectures/creative_design_lab/2004/t40172.html

[32] http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Banu_Musa.html

[33] <http://www.alshindagah.com/marapr2005/jaziri.html>

[34] <http://www.odts.de>-Cousin's Curse

[35] <http://www.control.lth.se~lotta/tree.html>

[36] <http://sfr.ee.teiath.gr/historia/historia/graphics/30/30-36.jpg>

[37] <http://en.wikipedia.org>

[38] <http://uh.edu>-NO1616:Ivan Polzunov

[39] <http://www.indiana.edu/~rcapub/v20n3/13c.html>

[40] <http://www.breguet.com/welcome.php?withflash=enabled>

[41] <http://www.squidoo.com/inventionandinnovation/>

