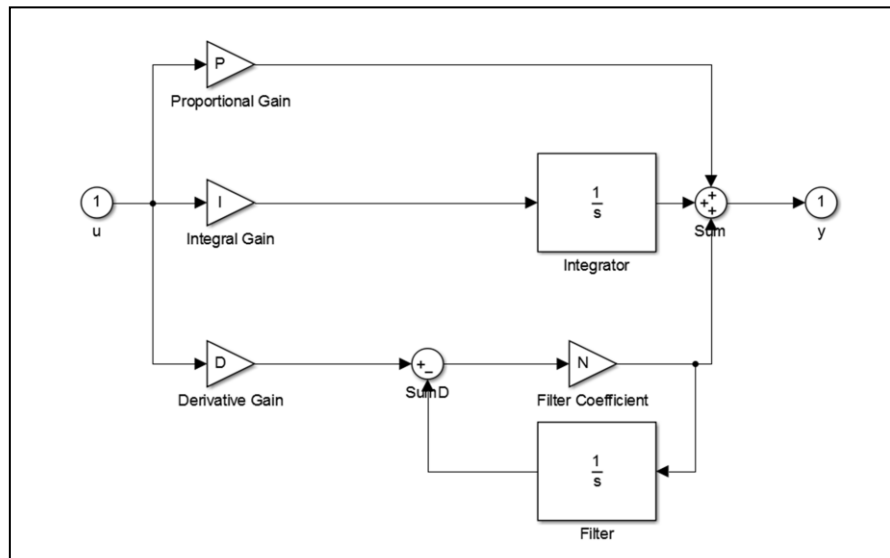




ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**"ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΕ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟ ΕΜΒΟΛΟ ΜΕ  
ΧΡΗΣΗ SIMULINK "**



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:  
ΜΑΛΤΕΖΟΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΑΜ: 44255

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:  
Δρ.ΜΙΧΑΗΛ ΠΑΠΟΥΤΣΙΔΑΚΗΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2019

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Μαλτέζος Ευάγγελος, του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 44255 φοιτητής του Τμήματος **Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**, του **Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής** πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού δμήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών

Ημερομηνία

## Περίληψη

Στη παρούσα εργασία ασχολούμαστε με το θέμα του έλεγχου θέσης ενός υδραυλικού εμβόλου, με τη βοήθεια του Matlab και συγκεκριμένα του Simulink, όπου εκεί σχεδιάσαμε το προς έλεγχο σύστημα. Θέλουμε να ελέγξουμε τη θέση του εμβόλου με ελεγκτή PID ή και συνδυασμούς αυτού (Σκέτο P ή PI). Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική ανάδρομη στα αυτόματα συστήματα από την αρχαιότητα και σιγά, σιγά ερχόμαστε σε νεότερους χρόνους, περνώντας στη βιομηχανική επανάσταση και φτάνοντας στο σήμερα με την εξέλιξη του αυτοματισμού γενικότερα να είναι στα ύψη. Προχωρώντας στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα υδραυλικά συστήματα, στην υδραυλική μηχανική και υδρομηχανική με ορισμούς και αναφορές πρωίμων δοκιμών της υδραυλικής σε Ελλάδα-Περσία και Ρώμη. Συνεχίζουμε την αναφορά στα υδραυλικά συστήματα με πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αλλά και με παραδείγματα εφαρμογής τους, όπως εκσκαφείς, φορτωτές, ανελκυστήρες κλπ. Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού δίνεται και το σύστημα της εργασίας μαζί με κάποια τυπικά υδραυλικά εξαρτήματα. Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας, γίνονται οι δοκιμές για την εύρεση του καλύτερου ελεγκτή (P-PI-PID) με βάση τα χαρακτηριστικά του συστήματος και σύγκριση των αποτελεσμάτων για κάθε μέθοδο έλεγχου, με σκοπό τον καλύτερο έλεγχο του εμβόλου.

## Abstract

In this paper we deal with the issue of controlling the position of a hydraulic piston, with the help of Matlab and Simulink in particular, where we designed the system to be tested. We want to check the position of the piston with a PID controller or its combinations (Plain P or PI). In the first chapter there is a historical retrograde to the automatic systems from antiquity and slowly, we come in later times, going through the industrial revolution and reaching today with the evolution of automation in general being soaring. Moving to the second chapter refers to hydraulic systems, hydraulic engineering and hydromechanics with definitions and reports of early tests of hydraulics in Greece-Persia and Rome. We continue to refer to hydraulic systems with advantages and disadvantages but also with examples of their application, such as excavators, loaders, elevators, etc. At the end of this chapter, the system of work is given along with some typical hydraulic components. In the third and final chapter of the work, tests are carried out to find the best controller (P-PI-PID) based on system characteristics and comparison of results for each control method, in order to better control the piston.

## Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup> .....	6
1.Ιστορική αναδρομή στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου .....	6
1.1 Αρχαία Χρόνια : .....	6
Ο Τάλως : .....	6
Η Πετομηχανή του Αρχύτα : .....	6
Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων : .....	7
Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς : .....	8
Αυτόματες πύλες ναού : .....	8
1.2 Βυζάντιο-Μεσαίωνας-Αναγέννηση : .....	8
Λεονάρντο Ντα Βίντσι : .....	9
Γενικά Στοιχεία .....	9
Μερικές από τις εφευρέσεις: .....	10
Αυτοκινούμενη Άμαξα : .....	10
Ιπτάμενες Μηχανές : .....	10
Ατομικό Ελικόπτερο : .....	11
James Watt : .....	11
1.3 Βιομηχανική Επανάσταση : .....	12
1.4 Μεταβιομηχανική Κοινωνία : .....	14
Big Dog : .....	14
Τεχνητό Δέρμα : .....	14
Εξωσκελετοί .....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup> .....	16
2.1 Ιστορία υδραυλικών συστημάτων : .....	16
2.1.α Υδραυλική και Υδρομηχανική : .....	17
1. Ελλάδα : .....	17
2. Αρχαία Περσία : .....	18
3. Καινοτομίες στην Αρχαία Ρώμη : .....	18
2.1.β Υδραυλική Μηχανική : .....	19
2.1.γ Υδραυλικά συστήματα : .....	20
Πλεονεκτήματα : .....	20
Μειονεκτήματα : .....	21
2.2 Εφαρμογές Υδραυλικών Συστημάτων : .....	21
Παραδείγματα Εφαρμογών Υδραυλικών Συστημάτων : .....	22
Εκσκαφείας : .....	22
Υδραυλικό σύστημα εκσκαφείας : .....	22
Φορτωτές : .....	24
Λειτουργία του φορτωτή : .....	24
Το σύστημα οδήγησης : .....	25
Αντλίες : .....	26
Ανελκυστήρας : .....	27

Το καλωδιακό σύστημα :.....	29
Υδραυλικός ανελκυστήρας με σκοινιά :.....	30
Γερανογέφυρες :.....	30
Λειτουργία γερανογέφυρας :.....	30
Βασικός εξοπλισμός σε υδραυλικό γερανό:.....	31
Η θέση του χειριστή :.....	34
Ανυψωτικά μηχανήματα-Περονοφόρα (Forklifts-Clarks) :.....	36
Το Υδραυλικό Σύστημα Περονοφόρου:.....	36
Λειτουργία των υδραυλικών ενός ανυψωτικού οχήματος :.....	37
2.3 Υδραυλικός Έλεγχος :.....	38
2.3.1 Σκοπιμότητα :.....	38
2.3.2 Τυπικό Υδραυλικό Φαινόμενο :.....	38
2.3.3 Τυπικά Υδραυλικά Εξαρτήματα :.....	40
2.4.1 Το Σύστημα της Εργασίας :.....	41
2.4.2 Ανάλυση Block Διαγραμμάτων :.....	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup> .....	46
Πειραματικό Στάδιο :.....	46
Βηματική απόκριση συστήματος και προδιαγραφές στο πεδίο του χρόνου .....	46
3.1: Ο ελεγκτής P .....	47
3.2: Ο ελεγκτής PI.....	50
Σύγκριση των ελεγκτών P και PI :.....	53
3.3: Ο ελεγκτής PID .....	54
Σύγκριση των ελεγκτών P - PI και PID :.....	58
Πηγές-Βιβλιογραφία.....	59

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

## 1. Ιστορική αναδρομή στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου

### 1.1 Αρχαία Χρόνια :

#### Ο Τάλως :

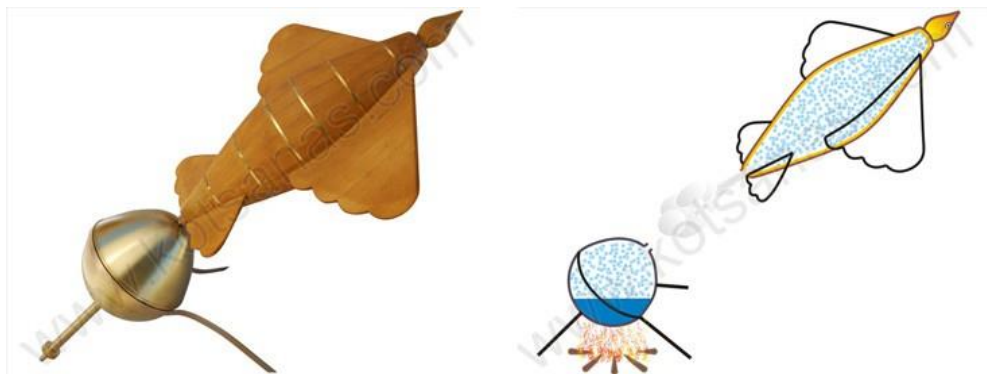
Το πρώτο “ρομπότ” το συναντάμε στην ελληνική μυθολογία και πιο συγκεκριμένα στην Κρήτη. Λέγεται ότι ο θεός Ήφαιστος δημιούργησε ένα τεράστιο χάλκινο ανθρωπόμορφο ον και το έκανε δώρο στο βασιλιά Μίνωα για την προστασία της Κρήτης. Στον Τάλω είχε ανατεθεί να επισκέπτεται τα χωριά του νησιού και να σιγουρεύεται ότι εφαρμόζονται οι νόμοι. Επιπλέον, είχε αναλάβει να κάνει κάθε μέρα το γύρο του νησιού και να αποτρέπει όσα εχθρικά πλοία ήθελαν να καταλάβουν την Κρήτη. Πιθανότατα, αυτός ο μύθος αποτέλεσε έμπνευση για αρκετούς μηχανικούς της αρχαιότητας, που προσπάθησαν να κατασκευάσουν «έξυπνες» μηχανές, που θα βοηθούσαν στην εξέλιξη της τότε καθημερινής ζωής .



Εικόνα 1.1 Ο μύθος του Τάλου

#### Η Πετομηχανή του Αρχύτα :

Γύρω στο 420 π.Χ. ο Αρχύτας δημιούργησε μία απ’ τις πρώτες αυτόπροωθούμενες ιπτάμενες μηχανές και δεν ήταν άλλη από το πρώτο τεχνητό περιστέρι. Το τεχνητό αυτό δημιούργημα σηκωνόταν στον αέρα πιθανότατα με τη βοήθεια κάποιου ελατηρίου ή βάρους σε μια τροχαλία. Όσο βρισκόταν στον αέρα, χρησιμοποιούσε ένα μπαλόνι το οποίο αποσυμπίεζε τον αέρα με δύναμη μέσω μιας οπής στο πίσω μέρος του περιστεριού (Με τον ίδιο τρόπο λειτουργούν και τα σημερινά αεροσκάφη). Λόγω του μικρού του βάρους το ομοίωμα περιστεριού πετούσε σχεδόν 200 μέτρα μέχρι να τελειώσει ο συμπιεσμένος αέρας.



Εικόνα 1.2 Η ιπτάμενη περιστέρα του Αρχύτα

### **Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων :**

Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων είναι ένας πολύπλοκος μηχανισμός, φτιαγμένος από χαλκό, ο οποίος βρίσκεται μέσα σε ξύλινο πλαίσιο. Ανακαλύφθηκε το 1900 μ.Χ. όπου βρέθηκε από ντόπιους σε σ' ένα ναύαγιο κοντά στα Αντικύθηρα, μαζί με άλλα ιστορικά ευρήματα . Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων θεωρείται ένα από τα πρώτα υπολογιστικά συστήματα. Είναι ένας ωρολογιακός μηχανισμός με δεκάδες οδοντωτούς τροχούς μεγάλης ακριβείας, που περιστρέφονται γύρω από πολλούς άξονες, όπως στα μηχανικά ρολόγια. Υποστηρίζεται ότι ήταν ένας αναλογικός υπολογιστής, σχεδιασμένος να υπολογίζει τις κινήσεις των πλανητών . Εκτιμάται ότι κατασκευάστηκε γύρω στο 87 π.Χ. από τον Γέμινο αστρονόμο της εποχής εκείνης . Οι αρχαιολόγοι που μελέτησαν τον μηχανισμό, πρόσεξαν ότι ένα από τα πέτρινα τεμάχιά του είχε ένα ενσωματωμένο οδοντωτό. Έτσι, θεωρείται η αρχαιότερη σωζόμενη διάταξη με γρανάζια. Ο Μηχανισμός των Αντικυθήρων αποτελεί σήμερα ένα από τα διακεκριμένα εκθέματα του Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου.



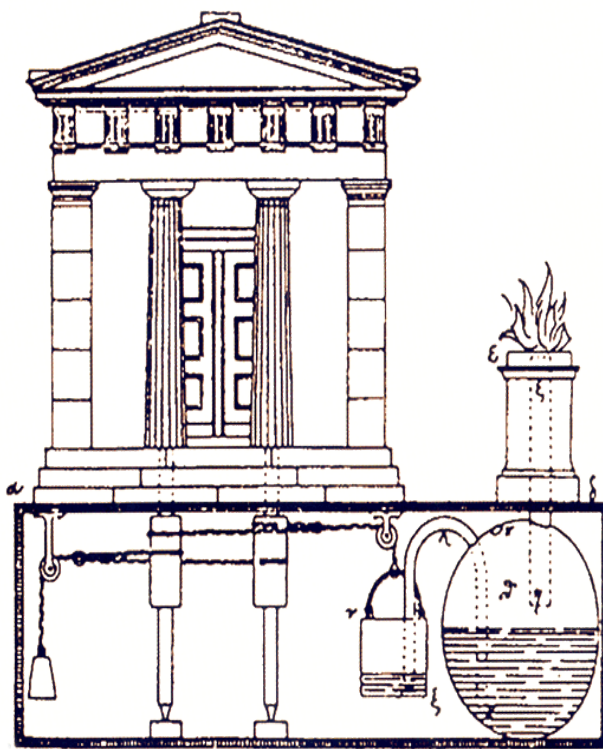
Εικόνα 1.3 Ο μηχανισμός σήμερα

## Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς :

Ο Ήρων, περίπου το 100 π.Χ., μελετά τις ιδιότητες των υγρών και των αερίων και επινοεί τον πρόδρομο της ατμομηχανής.

### Αυτόματες πύλες ναού :

Ο Ήρων αξιοποίησε την ιδιότητα της διαστολής του θερμαινόμενου αέρα για να κατασκευάσει πύλες ναού που ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα. Ο ναός κατασκευάστηκε, έτσι ώστε, μόλις ανάβει φωτιά σε ένα βωμό, που βρίσκεται στην είσοδο του, οι πόρτες του ναού να ανοίγουν αυτόματα και μόλις σβήσει η φωτιά να κλείνουν. Όταν ανάβει η φωτιά στο βωμό, διαστέλλεται ο θερμαινόμενος αέρας στο δοχείο κάτω από αυτόν, πιέζει το νερό που βρίσκεται σε ένα στεγανό και σταθερό δοχείο πιο κάτω και το μεταφέρει σε ένα κινητό δοχείο, συνδεδεμένο μέσω τροχαλιών και αντίβαρων με τις πύλες του ναού. Ο Ήρων όντας μηχανικός και γεωμέτρης της εποχής κατασκεύασε αρκετές «αυτόματες μηχανές» όπως ένα αυτοκινούμενο τρίκυκλο, ένα αυτόματο περιστρεφόμενο άγαλμα και ένα σιντριβάνι που λειτουργούσε με πεπιεσμένο αέρα.



Εικόνα 1.5 Αυτόματες πύλες ναού

## 1.2 Βυζάντιο-Μεσαίωνας-Αναγέννηση :

Η παράδοση που είχε δημιουργήσει η Ελλάδα διατηρήθηκε και στο Βυζάντιο, με το πολύ γνωστό υδραυλικό ρολόι του Κτησίβιου, με τον Ηρακλή να χτυπά τις ώρες με το ρόπαλό του, ενώ γνωστός ήταν και ο χρυσός θρόνος του αυτοκράτορα Θεόφιλου ο οποίος στηριζόταν πάνω σε μηχανικά λιοντάρια που βρυχούνταν. Παράλληλα, τα έργα του Ήωνα είχαν μεταφραστεί στα αραβικά και είχαν διαδοθεί μέχρι τις Ινδίες. Εδώ καλό είναι να αναφερθεί η σημαντική συμβολή των Αράβων οι οποίοι τελειοποίησαν τα σχέδια των αρχαίων Ελλήνων κατά το μεσαίωνα. Αυτό επιβεβαιώνεται από το κέντρο μελετών Leonardo 3 του Μιλάνου, όπου μελέτησαν



ένα ξεχασμένο χειρόγραφο του 11ου αιώνα το οποίο περιέχει μελέτες δεκάδων «αυτομάτων». Πρόκειται δηλαδή για μεσαιωνικά ρομπότ που στη σημερινή εποχή σχεδιάζονται στον υπολογιστή με τη βοήθεια της τεχνολογίας τρισδιάστατης απεικόνισης. Έτσι, από τον 8ο αιώνα οι πρωταθλητές στο σχεδιασμό μηχανών σύνθετης τεχνολογίας έγιναν οι Άραβες οι οποίοι δημιούργησαν αυτόματα συστήματα κάθε είδους όπως για παράδειγμα υδραυλικά ρολόγια, μηχανικά πουλιά, ακόμα και μοντέλα ανθρωπόμορφων μηχανών. Μεταξύ του 15ου και 16ου αιώνα έφτασε στη δύση η σειρά του Λεονάρντο ντα Βίντσι να βγει στο προσκήνιο, ο οποίος κατασκεύασε μια ολόκληρη σειρά από εφευρέσεις κάποιες από τις οποίες αναφέρονται παρακάτω.



Εικόνα 1.6 Υδραυλικό ωρολόγιο Κτησιβίου

### **Λεονάρντο Ντα Βίντσι :**

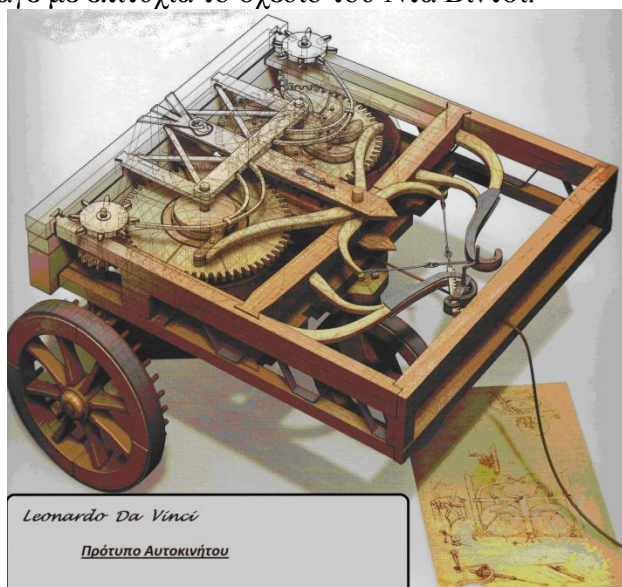
#### **Γενικά Στοιχεία :**

Κατά τη διάρκεια της ζωής του (1452-1519), ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι χαρακτηρίστηκε, συν των άλλων, και μηχανικός. Ισχυριζόταν ότι είναι σε θέση να δημιουργήσει όλα τα είδη των μηχανημάτων, τόσο για την προστασία όσο και για τη πολιορκία πόλεων. Όταν πήγε στην Βενετία το 1499, επινόησε ένα σύστημα κινητών οδοφραγμάτων για να προστατεύσει την πόλη από εχθρικές επιθέσεις. Επινόησε επίσης ένα σύστημα για την εκτροπή της ροής του ποταμού Άρνου. Στο έργο αυτό είχε τη σημαντική βοήθεια ενός ιταλού διπλωμάτη του Νικολό Μακιαβέλι. Ο Ντα Βίντσι εξέδιδε περιοδικά που περιλάμβαναν σχεδόν όλες τις εφευρέσεις του, τόσο τις πρακτικές όσο και τις μη. Μερικές από αυτές είναι μουσικά όργανα, υδραυλικές αντλίες, μηχανικές μανιβέλες αντιστροφής, πτερυγωτά βλήματα όλμων ένα κανόνι ατμού, τρυπάνια, γέφυρες, όπλα, πτητικές μηχανές καθώς και ένα μηχανικό λιοντάρι που περπατά μόνο του. Επίσης ο Ντα Βίντσι σχεδίασε και ένα ανθρωπόμορφο ρομπότ που έμοιαζε με ιππότη που φορούσε πανοπλία και μπορούσε να κουνά τα χέρια και το κεφάλι του.

## Μερικές από τις εφευρέσεις:

### Αυτοκινούμενη Άμαξα :

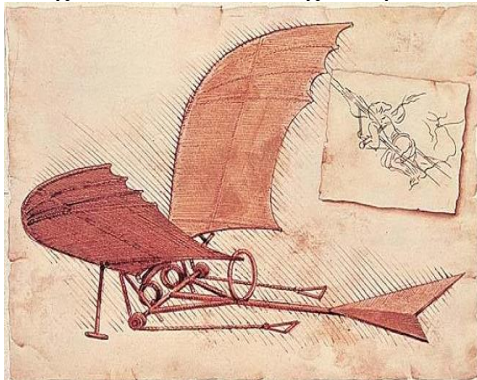
Ο Ντα Βίντσι σχεδίασε μια αυτοκινούμενη άμαξα η οποία κινούταν χωρίς να χρειάζεται ανθρώπινη παρέμβαση. Αυτό το κατόρθωμα του εφευρέτη θεωρήθηκε από πολλούς το πρώτο ρομπότ του κόσμου. Παρότι η άμαξα αρχικά υποθέεται ότι σχεδιαστική για ένα θεατρικό έργο, ο Ντα Βίντσι τη χρησιμοποιούσε για τις μετακινήσεις του . Η άμαξα κινούνταν με την δύναμη περιτυλιγμένων ελατήριων έχοντας και δυνατότητα πλοήγησης και φρένων. Όταν το φρένο ελευθερώνονταν η άμαξα ξεκινούσε και μέσω ενός προγραμματισμένου πηδαλίου προχωρούσε είτε ευθεία είτε προς προκαθορισμένες γωνίες. Η άμαξα ήταν τόσο μπροστά από την εποχή της που ξάφνιασε τους μελετητές έως τα τέλη του 20ου αιώνα . Αργότερα και συγκεκριμένα το 2006 το μουσείο ιστορίας και επιστήμης στην Φλωρεντία της Ιταλίας αναπαρήγαγε με επιτυχία το σχέδιο του Ντα Βίντσι.



Εικόνα 1.7 Πρότυπο αυτοκινήτου

### Ιπτάμενες Μηχανές :

Για μεγάλο διάστημα της ζωής του ο Λεονάρντο καταπιάστηκε με το φαινόμενο της πτήσης ,κάνοντας πολλές μελέτες για τη πτήση των πτηνών. Έκανε επίσης σχέδια για διάφορες ιπτάμενες μηχανές ,όπως ενός ορنيθοπτερου και ενός ελικοφόρου μηχανήματος. Μερικά από τα σχέδια του ,όπως για παράδειγμα αλεξίπτωτα , ερμηνεύτηκαν ,κατασκευάστηκαν και δοκιμάστηκαν, χρόνια αργότερα ,κάποια από αυτά με επιτυχία ενώ άλλα δεν είχαν πρακτική εφαρμογή.



Εικόνα 1.8 Ιπτάμενη μηχανή βασισμένη στις νυχτερίδες



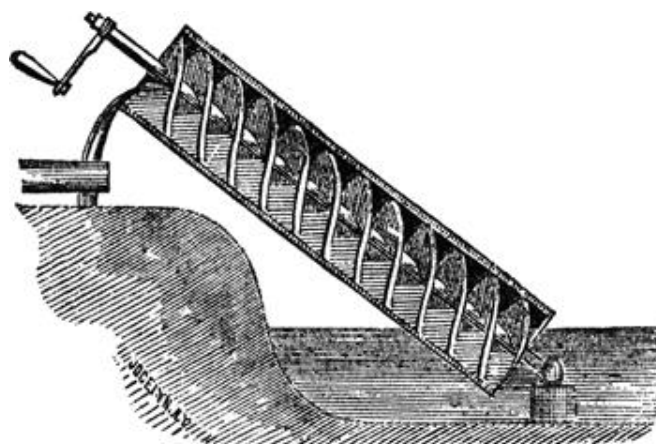
Εικόνα 1.9 Αλεξίπτωτο με πυραμδική δομή

### Ατομικό Ελικόπτερο :

Ανάμεσα στα πολλά σχέδια, του διακρίνεται το σχέδιο ενός ατομικού ελικοπτερου. Το σχέδιο της "αερικής βίδας" χρονολογείται το 1483. Με την ιδέα του αυτή ο Ντα Βίντσι προσπάθησε να δώσει μια εξήγηση για το κοχλία νερού του Αρχιμήδη (σχήμα 1.11) αλλά ως σκοπό είχε την πτήση. Το ελικόπτερο είχε σχήμα ελικοειδές και στο κέντρο του βρισκόταν μια μεγάλη βίδα. Οι "έλικες" ήταν φτιαγμένοι από λινό ύφασμα με βουλωμένους τους πόρους ,πράγμα το οποίο επαρκούσε ,ώστε με μια αρκετά γρήγορη κίνηση να πραγματοποιήσει σπειροειδείς κινήσεις για να ανυψωθεί.



Εικόνα 1.10 Ατομικό ελικόπτερο



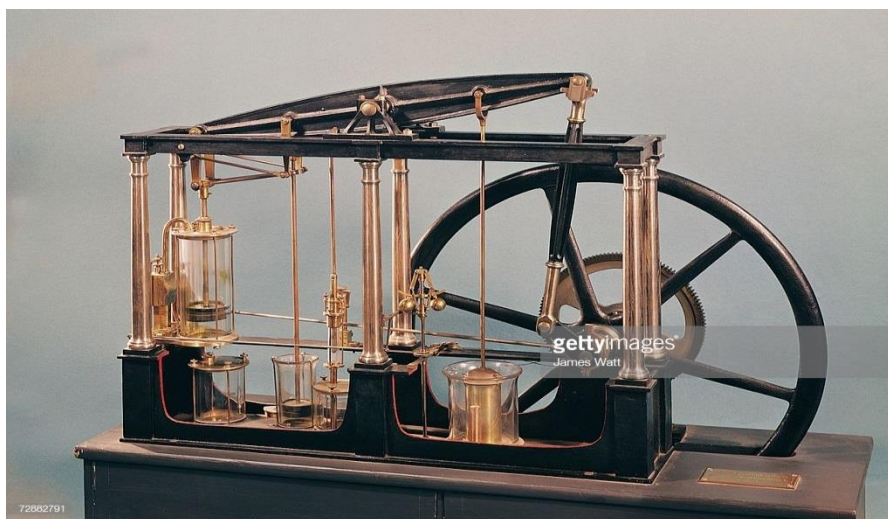
Εικόνα 1.11 Κοχλίας νερού του Αρχιμήδη  
Πηγή

By The original uploader Ianmacm at Αγγλικά Βικιπαίδεια. - Transferred from en.wikipedia to Commons. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2285256>

### James Watt :

Μεταγενέστερος του Ντα Βίντσι ήταν ο James Watt ο οποίος ονομάστηκε ο πατέρας της ατμομηχανής. Ο James Watt ήταν Σκοτσέζος μηχανουργός, μηχανικός και εφευρέτης. Γεννήθηκε τον Ιανουάριο του 1736. Από μικρή ηλικία ενδιαφέρθηκε για τα μαθηματικά και τη μηχανική. Όταν συμπλήρωσε το 19<sup>ο</sup> έτος της ηλικίας του πήγε στο Λονδίνο για να εργασθεί κοντά σε ένα γνωστό ,για την εποχή εκείνη, κατασκευαστή μαθηματικών οργάνων και μετά από ένα χρόνο εγκαταστάθηκε στη Γλασκόβη, όπου και προσλήφθηκε ως μηχανικός σε ένα πανεπιστήμιο.

Ονομάστηκε «πατέρας της ατμομηχανής» για τον τρόπο που χρησιμοποίησε τον ατμό για τη θέρμανση του κυλίνδρου, και για την εφεύρεση μιας ατμομηχανής που μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε αρκετές εφαρμογές. Επίσης, κατασκεύασε ένα πιστικό κοχλία καθώς και υδραργυρικά μανόμετρα. Με τις εφευρέσεις του αυτές οδήγησε τον κόσμο ένα βήμα πιο κοντά στη Βιομηχανική Επανάσταση. Το 1775 έγινε μέλος της Βασιλικής Εταιρίας του Λονδίνου και το 1808 μέλος του Ινστιτούτου της Γαλλίας. Για να τον τιμήσουν έδωσαν το όνομα του στη μονάδα μέτρησης της ισχύος, τη λεγόμενη Watt.



1.12 Ανακατασκευή της ατμομηχανής του Watt

### 1.3 Βιομηχανική Επανάσταση :

Η βιομηχανική επανάσταση είναι ιστορική περίοδος, κατά την οποία συνέβησαν ραγδαίες μεταβολές στις τέχνες, την οικονομία, τον πολιτισμό και την κοινωνία γενικότερα, οι οποίες οδήγησαν στην εκβιομηχάνιση (*industrialized*) της κοινωνίας στη Μεγάλη Βρετανία κατά τα έτη 1760 – 1860. Τις εξελίξεις αυτές ακλούθησαν και κοινωνίες ευρωπαϊκών κρατών και αυτό είχε ως αποτέλεσμα, κυρίως η αγροτική παραγωγή, στο μεγαλύτερο βαθμό της, να διαμορφωθεί σε βιομηχανική. Μεγάλη ήταν και η επιρροή που δέχτηκαν η Γαλλία και οι ΗΠΑ, αναλογικά πάντα με τη λειτουργία και ανάπτυξη, τόσο της οικονομίας όσο και της δομής της κοινωνίας.

Τυπικές εφαρμογές των ρομπότ στη βιομηχανία περιλαμβάνουν τη φόρτωση – εκφόρτωση προϊόντων τη βαφή την κοπή κ.τ.λ. Τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της βιομηχανικής επανάστασης θεωρούνται η εφεύρεση της ατμομηχανής και ο σιδηρόδρομος στη Μεγάλη Βρετανία. Το πρώτο τρένο άρχισε να λειτουργεί το 1825 στη Μεγάλη Βρετανία, ενώ τα επόμενα χρόνια κατασκευάστηκε σιδηροδρομικό δίκτυο στη Μεγάλη Βρετανία, αλλά και τη Γαλλία. Ουσιαστικά ο σιδηρόδρομος έφερε την επανάσταση στις μεταφορές.

Επανάσταση δεν έγινε μόνο στις χερσαίες συγκοινωνίες, αλλά και στις θαλάσσιες με τη χρήση του ατμόπλοιου το οποίο έκανε τις μεταφορές ασφαλείς και γρήγορες. Άλλα μεγάλα επιτεύγματα ήταν η μηχανή εσωτερικής καύσης, η παραγωγή ηλεκτρισμού και ο τηλεγράφος.

Το 1961 κατασκευάζεται και μπαίνει σε λειτουργία το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ. Σύμφωνα με έναν ευρέως αποδεκτό ορισμό, χρονολογούμενο από το 1980, ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι μια επαναπρογραμματιζόμενη μηχανή σχεδιασμένη να μετακινεί αντικείμενα, εργαλεία ή διατάξεις μέσω μιας ποικιλίας προγραμματιζόμενων κινήσεων, για την εκτέλεση εργασιών.

Ο ορισμός, αποδίδει τη σημερινή χρήση των ρομπότ στη βιομηχανία, η οποία αποτελεί έναν αναπτυγμένο τομέα εφαρμογής της ρομποτικής τεχνολογίας και των προϊόντων της.

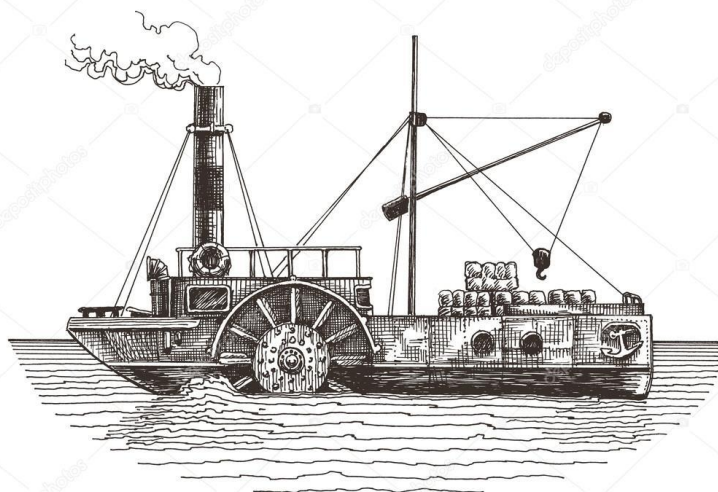
Χάρη στη βιομηχανική επανάσταση ξεκίνησε και η δημιουργία συσκευών για να βελτιστοποιηθεί η παραγωγή ενέργειας . Για την ατμομηχανή φτιάχτηκε ο ρυθμιστής, στον οποίο όταν επιδρούσε ένα φορτίο και επιβραδυνόταν, προκαλούσε αύξηση της παροχής ατμού στη μηχανή, και αντίθετα όταν το φορτίο μειωνόταν ,την περιορίζε.

Με τον κινητήρα εσωτερικής καύσης του 19<sup>ου</sup> αιώνα, εισήχθη ο νεωτερισμός της ανακύκλωσης, με την μορφή εμβόλων που έπαιρναν την αρχική τους θέση μετά από κάθε κύκλο εργασίας.

Στα τέλη του 19<sup>ου</sup> και στις αρχές του 20ού αιώνα υπήρξε μεγάλη αύξηση στο πλήθος των μηχανοκίνητων συσκευών σε βιομηχανικές διεργασίες. Αυτές οι μηχανές αρχικά απαιτούσαν ανθρώπινη παρουσία, για την επεξεργασία των αντικειμένων και τη λειτουργία στις μηχανές, αργότερα, μόνο στην επεξεργασία των αντικειμένων και πιο μετά, στα μέσα στις 20ού αιώνα, δεν απαιτούσαν καν την παρουσία του ανθρώπου. Ακολούθησαν μηχανές αυτόματης επανάληψης λειτουργικών κύκλων (αυτόματα πλυντήρια) και μηχανές με κάποιον βαθμό αυτοπρογραμματισμού (αυτόματοι ανελκυστήρες).



Εικόνα 1.13 : Επανάσταση στις μεταφορές με το σιδηρόδρομο



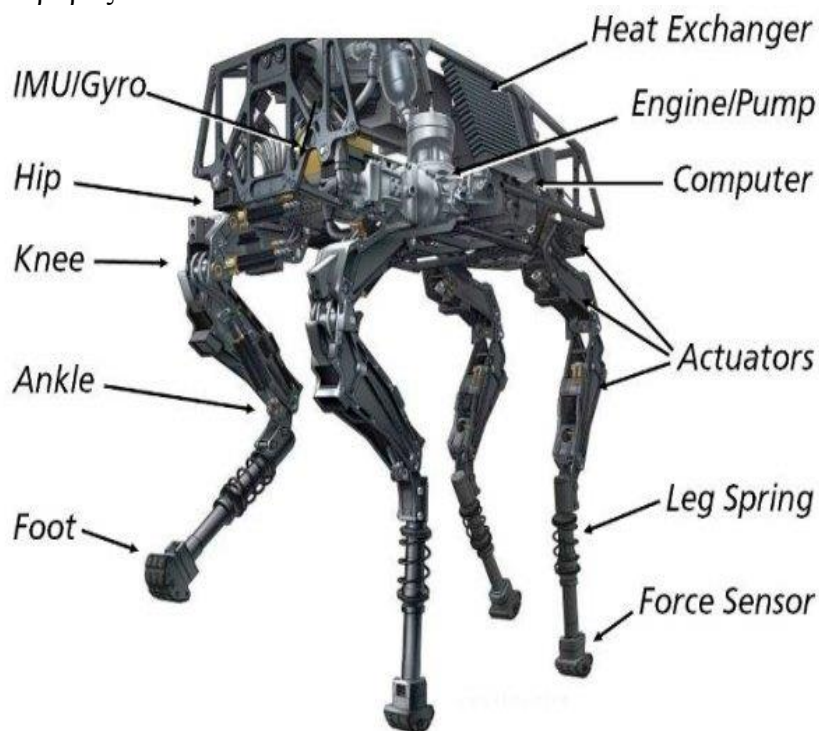
Εικόνα 1.14 Ατμόπλοιο

## 1.4 Μεταβιομηχανική Κοινωνία :

Φτάνοντας στο σήμερα, χαρακτηριστικό της βιομηχανικής κοινωνίας είναι η είσοδος της μηχανής στην παραγωγή. Κεντρικό χαρακτηριστικό της μεταβιομηχανικής κοινωνίας είναι η χρήση των υπολογιστών και των νέων τεχνολογιών (αυτοματισμοί, ρομποτική, δορυφόροι) στην παραγωγή και τις υπηρεσίες. Με τη βοήθεια της πληροφορικής αυξάνεται η παραγωγικότητα σε όλους τους τομείς και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα προϊόντα να παράγονται γρηγορότερα και με μικρότερο κόστος. Επειδή η πληροφορική και οι νέες τεχνολογίες είναι γνώσεις, η μεταβιομηχανική κοινωνία θεωρείται κοινωνία της γνώσης, δείχνει περισσότερο ενδιαφέρον στις νέες εφευρέσεις και στην τεχνογνωσία. Οι νέες τεχνολογίες (εξελιγμένοι υπολογιστές, ρομποτική, τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι) είναι τα επιτεύγματα της μεταβιομηχανικής κοινωνίας. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά παραδείγματα σύγχρονης τεχνολογίας.

### Big Dog :

Το Big Dog είναι ένα ρομπότ που σχεδιάστηκε από την Boston Dynamics για τον αμερικανικό στρατό το οποίο μπορεί να μεταφέρει πολεμοφόδια σε στρατιώτες που βρίσκονται σε δύσβατες περιοχές, εκεί που δεν μπορούν να πάνε φορητά και αυτοκίνητα του στρατού. Έχει ύψος 76cm, μήκος 91cm, ζυγίζει 110 κιλά και μπορεί να μεταφέρει βάρος 150 κιλών.

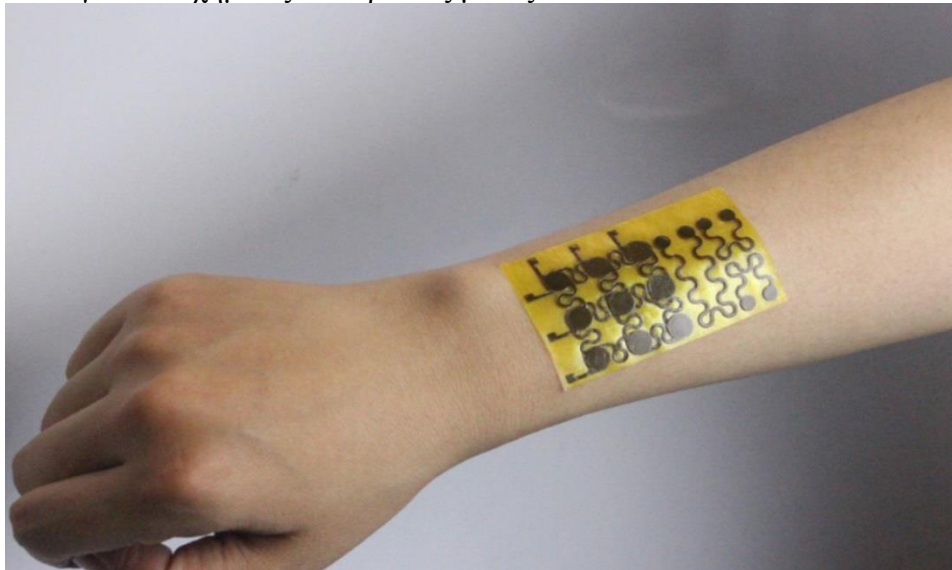


Εικόνα 1.13 Big Dog

### Τεχνητό Δέρμα :

Ερευνητές του πανεπιστημίου Berkeley και Stanford, κατάφεραν να δημιουργήσουν το "e-skin" ένα ηλεκτρονικό ανακυκλώσιμο δέρμα που θα μπορεί και επιτρέπει στα ρομπότ να χρησιμοποιούν τα χέρια τους σαν να ήταν άνθρωποι. Το τεχνητό αυτό δέρμα μπορεί να νιώσει και το πιο απαλό άγγιγμα. Το e-skin είναι φτιαγμένο από εύκαμπτα υλικά ημιαγωγών που του επιτρέπουν να διπλώνει και να εφάπτεται σε κυρτές επιφάνειες, όπως για παράδειγμα δάχτυλα, αλλά δεν είναι τόσο ελαστικό όσο το ανθρώπινο δέρμα. Οι ερευνητές κατάφεραν να του ενσωματώσουν ένα λεπτό στρώμα αισθητήρων για τη μέτρηση της πίεσης, της θερμοκρασίας, της

υγρασίας και της ροής του αέρα. Στο μέλλον η τεχνολογία αυτή θα βρει πολλαπλές εφαρμογές όπως για παράδειγμα στη φροντίδα των ανθρώπων από ρομπότ (μέτρηση θερμοκρασίας σώματος). Τέλος αυτό που κάνει το δέρμα αξιοσημείωτο, είναι ότι μπορεί να επουλώνεται από μόνο του μέσω μιας ταινίας που μοιάζει με επίδεσμο στον οποίο γίνονται χημικές αντιδράσεις μεταξύ των ενώσεων που τον αποτελούν.



Εικόνα 1.14 E-Skin

#### **Εξωσκελετοί :**

Οι εξωσκελετοί είναι τομέας της ρομποτικής που ασχολείται με την κατασκευή σκελετών οι οποίοι τοποθετούνται εξωτερικά από το σώμα του ανθρώπου οι οποίοι επεκτείνουν τις ανθρώπινες ιδιότητες. Για παράδειγμα μπορούμε να σηκώσουμε παραπάνω βάρος χωρίς πολύ κόπο ή να τρέξουμε πιο γρήγορα χωρίς όμως να νιώθουμε κούραση. Η τεχνολογία αυτή ανταποκρίνεται κυρίως σε άτομα με ειδικές ανάγκες όπως παραπληγικούς ή γενικά άτομα καθηλωμένα σε αναπηρικά καροτσάκια, βρίσκει όμως και εφαρμογές στις βιομηχανίες αυτοκινήτων όπου το βάρος των αντικειμένων είναι μεγάλο ,αλλά ακόμα και στο στρατό σε διάφορες δύσκολες επιχειρήσεις όπου χρειάζεται οι στρατιώτες να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις με βαρύ φορτίο.

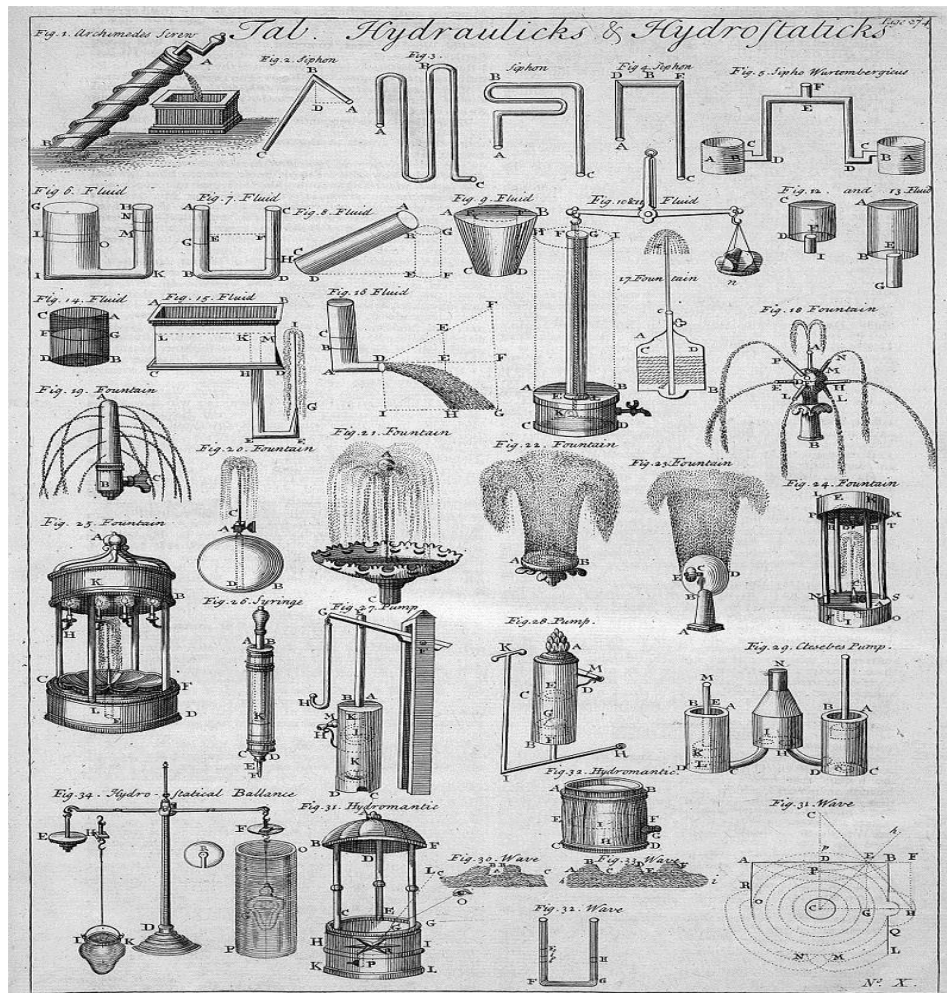


Εικόνα 1.15 Εξωσκελετός για τη βοήθεια ατόμων με αναπηρίες

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>0</sup>

### 2.1 Ιστορία υδραυλικών συστημάτων :

Από τα αρχαία χρόνια ο άνθρωπος προβληματίστηκε αλλά και ασχολήθηκε με την υδραυλική, χαρακτηριστικοί είναι οι σχετικοί μύθοι στην Ελληνική Μυθολογία, (άλλοι του Ηρακλή: Λερναία Ύδρα, Κόπρος του Αυγεία και άλλοι σχετιζόμενοι με ποταμούς), που όμως μόλις κατά τους τρεις τελευταίους αιώνες συνετέλεσε τα μέγιστα στη μεταμόρφωση της οικονομίας πολλών χωρών ιδίως της Δύσης. Παρά τη μακραίωνη αυτή ιστορία της, μόλις τις τελευταίες δεκαετίες κατάφερε η υδραυλική να απελευθερωθεί από τον εμπειρικό της χαρακτήρα και να καταστεί πραγματική τεχνική επιστήμη. Εν όψει μάλιστα της παράλληλης επιστημονικής και τεχνικής προόδου του ανθρώπου αφενός, αλλά και της συνεχιζόμενης αύξησης των αναγκών του αφετέρου, το μέλλον της υδραυλικής διαγράφεται λαμπρότερο. Αυτοί οι δύο παραπάνω λόγοι συντελούν στη δημιουργία τεράστιων υδραυλικών έργων για την αλλαγή της φύσης, με στόχο τη καλύτερη και περισσότερη αξιοποίηση υδάτινων πόρων σε άγονες περιοχές.



Εικόνα 2.1 Υδραυλική και Υδροστατική

«Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=619533>»



### 2.1.a Υδραυλική και Υδρομηχανική :

Υδραυλική ονομάζεται η εφαρμοσμένη υδρομηχανική.

Αποτελεί τεχνική επιστήμη με κύριο αντικείμενο την εκμετάλλευση των υγρών.

Ενώ η υδρομηχανική (υδροστατική και υδροδυναμική) ασχολείται με τις ιδιότητες, τους νόμους που διέπουν τα υγρά γενικά και το νερό ειδικότερα, "εν ηρεμία" και "εν κινήσει", η υδραυλική πραγματεύεται τους τρόπους χαλιναγώγησης, αξιοποίησης και εκμετάλλευσης των υδάτων.

Η υδραυλική είναι η τεχνολογία (και εφαρμοσμένη επιστήμη) που χρησιμοποιεί τη μηχανική, τη χημεία και άλλες επιστήμες που αφορούν τις μηχανικές ιδιότητες και τη χρήση υγρών. Η μηχανική υγρών παρέχει τη θεωρητική βάση για το υδραυλικό σύστημα, το οποίο επικεντρώνεται στην εφαρμοσμένη μηχανική χρησιμοποιώντας τις ιδιότητες των υγρών. Στις εφαρμογές υγρής ισχύος, το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για την παραγωγή, τον έλεγχο και τη μετάδοση ισχύος με τη χρήση υγρών υπό πίεση. Τα υδραυλικά θέματα κυμαίνονται από ορισμένα τμήματα της επιστήμης και τα περισσότερα από τα τμήματα μηχανικής και καλύπτουν έννοιες όπως η ροή των σωλήνων, η κατασκευή φραγμάτων, η ρευστοποίηση και τα κυκλώματα ελέγχου ρευστών. Το ελεύθερο υδραυλικό σύστημα επιφάνειας είναι ο κλάδος των υδραυλικών συστημάτων που ασχολείται με την ελεύθερη ροή των επιφανειών, όπως συμβαίνει σε ποτάμια, κανάλια, λίμνες, εκβολές ποταμών και θάλασσες.

Οι πρώιμες χρήσεις της υδροληψίας χρονολογούνται από τη Μεσοποταμία και την αρχαία Αίγυπτο, όπου άρχισε η άρδευση από την 6η χιλιετία π.Χ. όπου και χρησιμοποιήθηκαν ρολόγια νερού από τις αρχές της 2ης χιλιετίας π.Χ. Άλλα πρώιμα παραδείγματα ύδρευσης περιλαμβάνουν το σύστημα Qanat στην αρχαία Περσία και το σύστημα νερού Tufran στην αρχαία κεντρική Ασία.

#### 1. Ελλάδα :

Οι Έλληνες δημιούργησαν εξελιγμένα συστήματα ύδρευσης και υδραυλικής ενέργειας. Ένα παράδειγμα είναι η κατασκευή από τον Ευπαλίνο, με δημόσια σύμβαση, ενός καναλιού ποτίσματος για τη Σάμο, τη σήραγγα του Ευπαλίνου. Ένα πρώιμο παράδειγμα χρήσης του υδραυλικού τροχού, ίσως το νωρίτερο στην Ευρώπη, είναι ο τροχός Περαχώρα (3ος αιώνας π.Χ.). Η κατασκευή των πρώτων υδραυλικών αυτόματων μηχανημάτων από τον Κτησίβιο (άκμασε γύρω στο 270 π.Χ.) και τον Ήρωνα της Αλεξάνδρειας είναι αξιοσημείωτη. Ο Ήρων περιγράφει μια σειρά μηχανών εργασίας που χρησιμοποιούν υδραυλική ισχύ, όπως η αντλία δύναμης, η οποία είναι γνωστή από πολλές ρωμαϊκές τοποθεσίες ότι έχει χρησιμοποιηθεί για την άντληση νερού και σε πυροσβεστικούς κινητήρες .



Εικόνα 2.2 Ατμομηχανική αντλία

## 2. Αρχαία Περσία :

Οι Πέρσες έχτισαν ένα περίπλοκο σύστημα υδραυλικών, κανάλια και φράγματα γνωστά ως το ιστορικό υδραυλικό σύστημα Shushtar. Το έργο, το οποίο ξεκίνησε ο βασιλιάς Δαρείος ο Μέγας και ολοκληρώθηκε από μια ομάδα ρωμαίων μηχανικών που είχαν αιχμαλωτιστεί από τον βασιλιά Sassanian Sharur τον πρώτο. Το έργο αυτό ανακηρύχθηκε από την UNESCO ως «αριστούργημα δημιουργικής ιδιοφυίας». Οι μηχανικοί αυτοί ήταν και οι εφευρέτες του Qanat, ενός υπόγειου υδραγωγείου. Αρκετοί και μεγάλοι αρχαίοι κήποι του Ιράν αρδεύτηκαν χάρη στο σύστημα αυτό.



Εικόνα 2.3 Υδραυλικό σύστημα Shushtar

«[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shushtar\\_Historical\\_Hydraulic\\_System\\_Darafsh\\_\(6\).jpg#/media/File:Shushtar\\_Historical\\_Hydraulic\\_System\\_Darafsh\\_\(6\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Shushtar_Historical_Hydraulic_System_Darafsh_(6).jpg#/media/File:Shushtar_Historical_Hydraulic_System_Darafsh_(6).jpg)»

## 3. Καινοτομίες στην Αρχαία Ρώμη :

Στην Αρχαία Ρώμη αναπτύχθηκαν πολλές διαφορετικές υδραυλικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των δημόσιων υδραυλικών εγκαταστάσεων, των αναρίθμητων υδραγωγείων, της ισχύος με νερόμυλους και της υδραυλικής εξόρυξης. Οι Ρωμαίοι ήταν από τους πρώτους που χρησιμοποίησαν το σιφόνι για να μεταφέρουν το νερό στις κοιλάδες και χρησιμοποίησαν τη μέθοδο της σίγασης (μέθοδος εξόρυξης χρυσού χρησιμοποιώντας τη ροή του νερού) σε μεγάλη κλίμακα για να αναζητήσουν και στη συνέχεια να εξάγουν μεταλλεύματα.

Η υδραυλική εξόρυξη χρησιμοποιήθηκε στα χρυσωρυχεία της βόρειας Ισπανίας, η οποία κατακτήθηκε από τον Αυγουστιανό το 25 π.Χ. Το χρυσωρυχείο του Las Medulas ήταν ένα από τα μεγαλύτερα των μεταλλείων και χρησιμοποίησε τουλάχιστον 7 μεγάλα υδραγωγεία, όπου τα ρέματα νερού βοήθησαν στη διάβρωση των μαλακών κοιτασμάτων τα οποία κατόπιν πλύθηκαν για τη συλλογή του πολύτιμου χρυσού.



Εικόνα 2.4 Υδραυλική εξόρυξη στη California έτη μεταξύ 1857 και 1870

Γενικά μηχανή ή μηχανήμα ονομάζεται οποιοδήποτε εργαλείο ή μέσον που μπορεί να διευκολύνει την ανθρώπινη εργασία ή που μπορεί να αυξήσει τη δύναμη ή την αποτελεσματικότητά της. Επίσης οποιαδήποτε συσκευή που χρησιμοποιείται για την παραγωγή έργου, είτε μεταδίδοντας είτε μετατρέποντας άλλη μορφή ενέργειας σε παραγωγή έργου. Ακόμη μπορεί να εννοείται και κάθε ευφυής επινόηση. Οι υδραυλικές μηχανές μετατρέπουν την κινητική ενέργεια ενός υγρού σε κίνηση, κυρίως του νερού σε ενέργεια μηχανική και αντίστροφα.

### **2.1.β Υδραυλική Μηχανική :**

Η υδραυλική μηχανική είναι η εφαρμογή των αρχών της μηχανικής ρευστών σε προβλήματα που σχετίζονται με τη συλλογή, την αποθήκευση, τον έλεγχο, τη μεταφορά, τη ρύθμιση, τη μέτρηση και τη χρήση του νερού. Η υδραυλική μηχανική ασχολείται με τη ροή και τη μεταφορά ρευστών, κυρίως νερού και αποχέτευσης. Ένα χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι η εκτεταμένη χρήση της βαρύτητας ως κινητήρια δύναμη για να προκαλέσει την κίνηση των υγρών. Αυτός ο τομέας σχετίζεται στενά με το σχεδιασμό γεφυρών, φραγμάτων και καναλιών, καθώς και με την υγειονομική και περιβαλλοντική μηχανική. Πριν ξεκινήσει ένα σχέδιο υδραυλικής μηχανικής, πρέπει να υπολογιστεί πόσο νερό εμπλέκεται. Ο υδραυλικός μηχανικός αναπτύσσει πραγματικά εννοιολογικά σχέδια για τα διάφορα χαρακτηριστικά που αλληλεπιδρούν με το νερό, όπως διαρροές και έργα εξόδου για φράγματα, οχετούς για αυτοκινητόδρομους, κανάλια και συναφείς κατασκευές για έργα άρδευσης και εγκαταστάσεις ψύξης για θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Ο χώρος εφαρμογής της υδραυλικής μηχανικής είναι τεράστιος. Τα αρδευτικά, τα αποστραγγιστικά και τα αντιπλημμυρικά έργα, η ύδρευση και αποχέτευση, η παντός είδους εκμετάλλευση της υδραυλικής δύναμης, τα λιμενικά έργα, οι θαλάσσιες ποτάμιες και λιμναίες συγκοινωνίες, οι διώρυγες και λοιπά αποτελούν αντικείμενα της υδραυλικής. Συνεπώς η συμβολή της στην ανάπτυξη του πολιτισμού θεωρείται σημαντική.

## 2.1.γ Υδραυλικά συστήματα :

Με τον όρο υδραυλικά συστήματα εννοούμε συστήματα μεταφοράς ισχύος που αποτελούνται από αντλίες, σωληνώσεις, επιστόμια και υδραυλικούς κινητήρες, περιστροφικούς ή παλινδρομικούς, που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ροπής ή δύναμης.[1]

Τα υδραυλικά συστήματα αυτομάτων αξιοποιούν τα υδραυλικά ρευστά για να μεταδώσουν κίνηση και δύναμη. Παρότι έχουν δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλων δυνάμεων έχουν πολλές φορές αργές αντιδράσεις. Τα συστήματα αυτά συναντώνται σχεδόν σε οποιοδήποτε σύστημα, που χρειάζεται μετάδοση ισχυρών δυνάμεων. Στη βιομηχανία τα υδραυλικά συστήματα συναντώνται συνήθως σαν υποσυστήματα άλλων αυτοματισμών μικτού τύπου, που αναλαμβάνουν τις κινήσεις και τη μετάδοση δυνάμεων.

Η σύγχρονη βιομηχανία χρησιμοποιεί υδραυλικά συστήματα με αυξανόμενους ρυθμούς. Υπάρχουν δε στον κόσμο μία σειρά από υψηλά εξειδικευμένες εταιρείες που παράγουν το σχετικό εξοπλισμό. Για τη μοντελοποίηση υδραυλικών συστημάτων, την ανάλυσή τους και τον σχεδιασμό υδραυλικών συστημάτων ελέγχου είναι απαραίτητη η κατανόηση των νόμων και των αρχών που περιγράφουν τη ροή των ρευστών σε αγωγούς ροής, σε υδραυλικά έμβολα, υδραυλικές βαλβίδες και γενικά σε υδραυλικά συστήματα παραγωγής ενέργειας.

Οι κύριες μονάδες κάθε υδραυλικού συστήματος είναι : α) Η μονάδα παροχής υδραυλικής ισχύος. Περιλαμβάνει δοχείο λαδιού, αντλία και ηλεκτρικό κινητήρα για την κίνησή της. β) Βαλβίδες ελέγχου ροής και πίεσης και γ) επενεργητές γραμμικούς (κύλινδροι) ή περιστροφικούς (κινητήρες) για την μετατροπή της υδραυλικής ισχύος σε ωφέλιμο έργο. Τα υδραυλικά συστήματα λειτουργούν σε πολύ υψηλότερες πιέσεις από τα πνευματικά και συνεπώς ενδείκνυνται για εφαρμογές όπου απαιτείται να εξασκηθούν μεγάλες δυνάμεις. Η πίεση λειτουργίας μπορεί να φτάσει μέχρι και 500 bar. Εξάλλου επειδή το χρησιμοποιούμενο μέσο είναι πρακτικά ασυμπίεστο, τα υδραυλικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις όπου απαιτείται ακρίβεια ελέγχου κίνησης.

[1] Ορισμός από το βιβλίο: Ρούτουλας Τ. Αθανάσιος , ‘ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ-ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ’ , Σύγχρονη Εκδοτική Ε.Π.Ε., 2008

Εδώ καλό είναι να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων.

### Πλεονεκτήματα :

1. Οι υδραυλικοί κινητήρες έχουν μικρότερο όγκο και μάζα σε σχέση με τους ηλεκτρικούς κινητήρες.
2. Είναι αρκετά άκαμπτα όποτε σταθεροποιείται το φορτίο με μικρή κατανάλωση ενέργειας.
3. Έχουν αρκετά μεγάλη ταχύτητα αντίδρασης η οποία συντελείται από τη μεγάλη ακαμψία και τις μικρές μάζες. Λόγο αυτού, πολλές φορές σε ορισμένες εφαρμογές η χρησιμοποίηση υδραυλικού συστήματος είναι αποκλειστική.
4. Έχουν μηχανισμούς ανθεκτικούς σε υγρασία και γενικά σε διαβρωτικό περιβάλλον, λόγο καλής στεγανότητας για να αντιμετωπιστεί η υψηλή πίεση λαδιού που υπάρχει μέσα στους μηχανισμούς.
5. Έχουν τη δυνατότητα εύκολης αλλαγής των στροφών ενός άξονα μέχρι μηδενικής τιμής.

6. Τέλος δίνουν τη δυνατότητα αλλαγής της χρήσιμης ροπής στρέψης ή της δύναμης ,όπως επιθυμεί ο χρήστης, αλλάζοντας τη πίεση λειτουργίας του συστήματος. Η μέγιστη αυτή πίεση περιορίζεται με ασφαλιστικές βαλβίδες.

Βασικό πλεονέκτημα των υδραυλικών συστημάτων είναι με σιγουριά η καλή σχέση ισχύος προς το βάρος που τα καθιστά ανυπέρβλητα σε εφαρμογές κίνησης μεγάλων φορτίων ή εφαρμογές που απαιτούν υψηλές επιταχύνσεις.

### **Μειονεκτήματα :**

1. Λόγο κινδύνου διαρροής ρευστών μπορεί να δημιουργηθεί ρυπαρό περιβάλλον γύρο από το σύστημα.
2. Είναι ευαίσθητα στη μόλυνση του υδραυλικού ρευστού, από σωματίδια ή από άλλο ρευστό, που μπορεί να εισέλθουν σε αυτό. Αυτό αποτελεί μεγάλο μειονέκτημα όποτε τα συστήματα αυτά απαιτούν μεγάλη καθαριότητα τόσο στην εγκατάσταση όσο και στην συντήρησή τους.
3. Λόγο μεγάλης αποθηκευμένης ενέργειας υπάρχει πάντα κίνδυνος διάρρηξης του συστήματος.
4. Σημαντικό μειονέκτημά τους είναι και το υψηλό τους κόστος.

## **2.2 Εφαρμογές Υδραυλικών Συστημάτων :**

Οι εφαρμογές των υδραυλικών συστημάτων είναι αρκετές και παρακάτω συνοψίζονται σε πέντε βασικές κατηγορίες. Παρακάτω στο κεφάλαιο θα αναλυθούν μερικές από τις εφαρμογές αυτές.

### **Βιομηχανία:**

Τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία μέσα από μηχανήματα επεξεργασίας πλαστικών, στη χαλυβουργία και στις εφαρμογές πρωτογενούς μεταλλικής εξόρυξης, στις αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής, στις βιομηχανίες εργαλειομηχανών, στις χαρτοβιομηχανίες, στους φορτωτές, στους υδραυλικούς θραυστήρες (πρέσες), σε μηχανήματα κλωστοϋφαντουργίας και φυσικά σε ρομποτικά συστήματα.

### **Κινητική υδραυλική:**

Τα υδραυλικά συστήματα βρίσκουν ευρεία εφαρμογή σε βαριές εργαλειομηχανές όπως τα τρακτέρ, τα σύστημα άρδευσης, τα χωματουργικά μηχανήματα, ο εξοπλισμός χειρισμού υλικών(Clarks,Φορτωτές), τα επαγγελματικά οχήματα, ο εξοπλισμός διάνοιξης σήραγγας(Drills for tunnels), στο σιδηροδρομικό εξοπλισμό, σε μηχανήματα κατασκευής (Εκσκαφείς), σε δακτυλίους γεώτρησης και τέλος στα συστήματα των ανελκυστήρων.

### **Αυτοκίνητα:**

Η υδραυλική χρησιμοποιείται και στα αυτοκίνητα στο σύστημα των φρένων, τα αμορτισέρ και το σύστημα διεύθυνσης του αμαξιού.

### **Θαλάσσιες εφαρμογές:**

Στις θαλάσσιες εφαρμογές καλύπτει ως επί το πλείστον όλα τα πλοία, τα σκάφη αλιείας και το ναυτικό εξοπλισμό. Παραδείγματος χάρη ,όλα τα ποντοπόρα πλοία

έχουν σύστημα καθαρισμού των υδάτων και τα αλιευτικά υδραυλικό σύστημα για το αυτόματο μάζεμα των δικτύων.

#### **Εξοπλισμός αεροδιαστημικής:**

Στα αεροπλάνα υπάρχει εξοπλισμός και υδραυλικά συστήματα που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του πηδαλίου, το σύστημα προσγείωσης, τα φρένα και τον έλεγχο πτήσης. Τα ίδια συστήματα χρησιμοποιούνται και σε πυραύλους και σε διαστημόπλοια.

### **Παραδείγματα Εφαρμογών Υδραυλικών Συστημάτων :**

#### **Εκσκαφές :**

##### **Υδραυλικό σύστημα εκσκαφέα :**

Το υδραυλικό σύστημα του εκσκαφέα λειτουργεί μετατρέποντας τη μηχανική ενέργεια από τον κινητήρα σε ηλεκτρική ενέργεια για την αντλία υδραυλικού υγρού και τη προωθεί στη βαλβίδα ελέγχου για να ρυθμίσει τον κύλινδρο και τον υδραυλικό κινητήρα.

Όλες οι κινήσεις και οι λειτουργίες ενός υδραυλικού εκσκαφέα επιτυγχάνονται με τη χρήση υδραυλικού υγρού, με υδραυλικούς κυλίνδρους και υδραυλικούς κινητήρες. Λόγω της γραμμικής ενεργοποίησης των υδραυλικών κυλίνδρων, ο τρόπος λειτουργίας τους είναι θεμελιωδώς διαφορετικός από τους εκσκαφείς με καλώδιο που χρησιμοποιούν βαρούλκα και σχοινιά από χάλυβα για να πραγματοποιήσουν τις κινήσεις.

Οι υδραυλικοί εκσκαφείς συνδυάζουν συνήθως την ισχύ του κινητήρα με τρεις υδραυλικές αντλίες. Οι δύο κύριες αντλίες τροφοδοτούν λάδι σε υψηλή πίεση (έως και 5000 psi) για τους βραχίονες, τον κινητήρα ταλάντωσης, τους κινητήρες και τα εξαρτήματα, ενώ η τρίτη είναι μια αντλία χαμηλότερης πίεσης (περίπου 700 psi) για πιλοτική ρύθμιση των βαλβίδων καρουλιών. Αυτό το τρίτο κύκλωμα επιτρέπει μειωμένη σωματική προσπάθεια για τη λειτουργία και τον χειρισμό του εκσκαφέα. Γενικά οι 3 αντλίες που χρησιμοποιούνται στους εκσκαφείς αποτελούνται από 2 αντλίες εμβόλων μεταβλητής μετατόπισης και μία αντλία με γρανάζια. Η διάταξη των αντλιών στον εκσκαφέα αλλάζει από κατασκευαστή σε κατασκευαστή χρησιμοποιώντας διαφορετικές μορφές.

Με βάση τη λειτουργία, το υδραυλικό σύστημα του εκσκαφέα μπορεί να ομαδοποιηθεί σε τρεις κατηγορίες:

#### **1. Hydraulic Cylinder (Υδραυλικός κύλινδρος)**

Υδραυλικός κύλινδρος που οδηγεί το εργαλείο εργασίας και αποτελείται από τρεις τύπους :

α. Boom Cylinder (Κύλινδρος εκτόξευσης)

β. Arm/ Stick Cylinder (Κύλινδρος Βραχίονα)

γ. Bucket Cylinder (Κύλινδρος κάδου)



Εικόνα 2.5 Μέρη υδραυλικού συστήματος εκσκαφέα

## 2. Swing Motor και Swing Drive

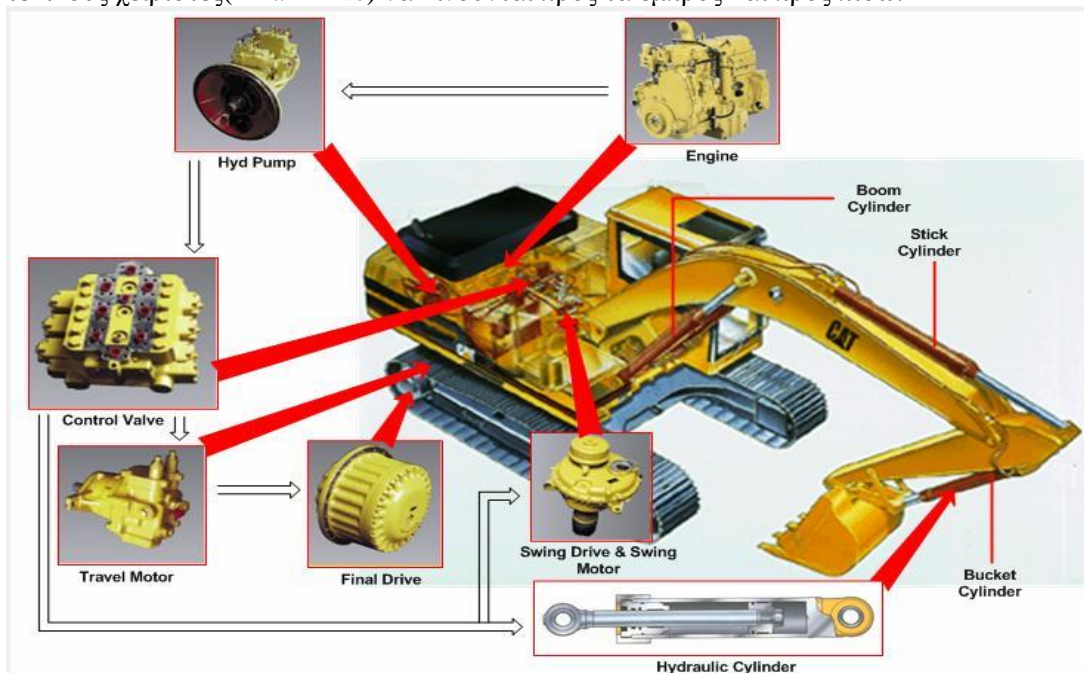
Το υδραυλικό λάδι, το οποίο ελέγχεται από τη βαλβίδα ελέγχου(Control Valve), επιτρέπει στον κινητήρα περιστροφής(Swing Motor) και στον κινητήρα οδήγησης(Swing Drive) να συνεργαστούν περιστρέφοντας έναν εκσκαφέα 360 μοιρών.



Εικόνα 2.6 Swing Drive(αριστερά) και Swing Motor(δεξιά)

## 3. Travel Motor and Final Drive

Το υδραυλικό λάδι, το οποίο ελέγχεται από τη βαλβίδα ελέγχου και τον περιστρεφόμενο σύνδεσμο, επιτρέπει στους μηχανισμούς κίνησης του οχήματος(Travel Motor) και στους τελικούς χειριστές(Final Drive) να κινούνται προς τα εμπρός και προς πίσω.



Εικόνα 2.7 Υδραυλικό σύστημα στον εκσκαφέα

## Φορτωτές :

Υπάρχουν δυο ειδών φορτωτές οι ελαστικοφόροι (Skid steer loaders) και οι φορτωτές πολλαπλών εδαφών (Multi terrain loaders). Ανάλογα με τις ανάγκες της εργασίας χρησιμοποιούμε και το ανάλογο είδος φορτωτή. Όταν το μέρος που θέλουμε να δουλέψουμε είναι εύκολα προσβάσιμο τότε χρησιμοποιούμε το πρώτο φορτωτή και σε άλλη περίπτωση το δεύτερο. Οι ελαστικοφόροι φορτωτές έχουν τροχούς, ενώ οι φορτωτές πολλαπλών εδαφών έχουν ερπύστριες.



Εικόνα 2.8 Ελαστικοφόρος (αριστερά) και Πολλαπλών εδαφών (δεξιά) φορτωτές

Οι ερπύστριες έχουν κάποια πλεονεκτήματα σε σχέση με τους τροχούς :

- Αυξημένη πρόσφυση (ειδικά σε ολισθηρές συνθήκες όπως λάσπη ή χιόνι).
- Χαμηλή πίεση εδάφους και υψηλή πλευση.
- Ο σχεδιασμός των ερπυστριών αποτρέπει τη ζημιά του δαπέδου.
- Μειωμένη συμπίκνωση εδάφους.

Οι φορτωτές αυτοί είναι κομμάτια μηχανήματα και δεδομένου ότι τροφοδοτούνται εξ ολοκλήρου από υδραυλικές αντλίες, δεν υπάρχει μηχανική μετάδοση.

Ο φορτωτής έχει ένα πεντάλ γκαζιού, το οποίο, όπως και το πεντάλ γκαζιού στο αυτοκίνητό μας, το επιταχύνει. Κάνει επίσης και τους βραχίονες του να κινούνται πιο γρήγορα.

## Λειτουργία του φορτωτή :

Η λειτουργία του φορτωτή είναι απλή. Υπάρχουν δύο χειριστήρια: Το αριστερό χειριστήριο ελέγχει την κατεύθυνση του οχήματος και το δεξί ελέγχει τον φορτωτή. Κάθε ένα από τα χειριστήρια ελέγχει τις υδραυλικές βαλβίδες που ρυθμίζουν τη ροή του υδραυλικού υγρού, είτε στους υδραυλικούς κινητήρες, που τροφοδοτούν τους τροχούς, είτε στους υδραυλικούς κυλίνδρους που τροφοδοτούν τον φορτωτή.

Όταν πιέζουμε προς τα εμπρός το αριστερό χειριστήριο, οι τέσσερις τροχοί αρχίζουν να περιστρέφονται, ή στην περίπτωση του φορτωτή πολλαπλών εδαφών, και οι δύο ερπύστριες αρχίζουν να γυρίζουν. Εάν κρατήσουμε το μοχλό ωθούμενο προς τα εμπρός και το μετακινήσουμε προς τα αριστερά, το μηχάνημα στρέφεται προς τα αριστερά. Αυτό γίνεται με την επιβράδυνση ή τον σταμάτημα των δύο αριστερών



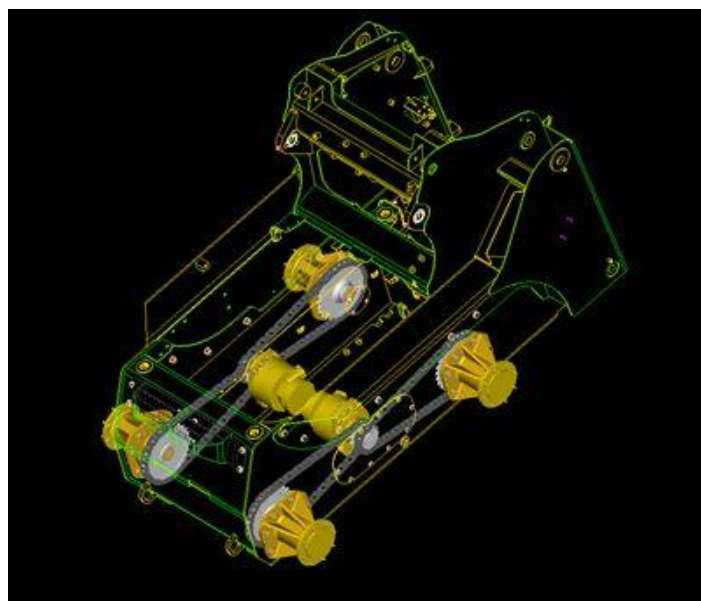
τροχών ή της αριστερής ερπύστριας. Όσο πιο αριστερά πατάμε το μοχλό, τόσο πιο αργά θα μετακινηθούν οι αριστεροί τροχοί-ερπύστριες. Το αντίθετο ισχύει όταν θέλουμε να μετακινηθούμε προς τα πίσω. Εάν τραβήξουμε το μοχλό όλο προς τα πίσω, το μηχανήμα πηγαίνει ευθεία προς τα πίσω, αλλά εάν μετακινήσουμε το μοχλό προς τα αριστερά, οι δεξιές ρόδες-ερπύστριες θα επιβραδυνθούν προκαλώντας το μηχανήμα να στρίψει δεξιά. Εάν κεντράρουμε το μοχλό και έπειτα τον σπρώξουμε προς τα αριστερά, οι αριστεροί τροχοί-ερπύστριες θα μετακινηθούν προς τα πίσω και οι δεξιότεροι τροχοί-ερπύστριες θα μετακινηθούν προς τα εμπρός - με αυτόν τον τρόπο ο φορτωτής καταφέρνει να κινηθεί-γυρίσει στη μικρότερη δυνατή περιοχή. Το δεξί χειριστήριο ελέγχει τους βραχίονες του φορτωτή και τον κάδο. Τραβώντας το μοχλό πίσω σηκώνονται οι βραχίονες και σπρώχνοντας τον προς τα εμπρός χαμηλώνουν. Μετακινώντας το μοχλό προς τα αριστερά κλίνει ο κάδος προς τα επάνω και μετακινώντας τον προς τα δεξιά κλίνει προς τα κάτω.

Ένα από τα χαρακτηριστικά των φορτωτών αυτών είναι η συσκευή αντικραδασμού. Οι αντλίες που τροφοδοτούν τους τροχούς-ερπύστριες και τα εργαλεία, μπορούν να ανιχνεύσουν το φορτίο, έτσι ώστε να μην υπερβαίνουν την ισχύ του κινητήρα.

### **Το σύστημα οδήγησης :**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, το σύστημα οδήγησης στους φορτωτές δεν έχει καμία μετάδοση. Αντ'αυτού, χρησιμοποιεί αντλίες και υδραυλικούς κινητήρες για την παροχή ισχύος στους τροχούς-ερπύστριες. Στον ελαστικοφόρο φορτωτή, κάθε πλευρά του οχήματος τροφοδοτείται από έναν υδραυλικό κινητήρα. Κάθε ένας από τους δύο κινητήρες (ένας για κάθε πλευρά) συνδέεται με έναν οδοντωτό τροχό (γρανάζι) και κάθε γρανάζι συνδέεται με δύο αλυσίδες σε κάθε τροχό. Οι οδοντωτοί τροχοί και οι αλυσίδες εξυπηρετούν δύο σκοπούς: Διανέμουν την ισχύ από ένα υδραυλικό μοτέρ και στους δύο τροχούς και παρέχουν μείωση της ταχύτητας για να αυξήσουν τη ροπή στους τροχούς.

Οι αλυσίδες και οι οδοντωτοί τροχοί βρίσκονται μέσα στο πλαίσιο σφραγισμένα και βυθίζονται σε λάδι που τους παρέχει την απαραίτητη λίπανση. Κάθε αλυσοτροχός είναι συνδεδεμένος σε ένα κόμβο μέσω ενός μικρού άξονα. Ο άξονας διέρχεται από αρκετά στεγανοποιητικά στοιχεία πριν συνδεθεί με τον κόμβο που συγκρατεί τον τροχό.



Εικόνα 2.9 Σύστημα οδήγησης φορτωτή

## Αντλίες :

Υπάρχουν συνολικά τέσσερις υδραυλικές αντλίες συνδεδεμένες στον κινητήρα:

- Δύο αντλίες μεταβλητής μετατόπισης τοποθετημένες σε ένα περίβλημα που παρέχουν υδραυλική ισχύ για τους δύο υδραυλικούς κινητήρες.
- Μια αντλία σταθερής μετατόπισης που παρέχει υδραυλική ισχύ για τους βραχίονες και τα εξαρτήματα του φορτωτή.
- Μία μικρότερη αντλία σταθερής μετατόπισης παρέχει υδραυλική ισχύ για την κυκλοφορία του υδραυλικού υγρού μέσω των φίλτρων και παρέχει πίεση στα κατευθυντήρια χειριστήρια.



Εικόνα 2.10 Τέσσερις υδραυλικές αντλίες που συνδέονται με τον κινητήρα

Αυτή η διάταξη επιτρέπει στον φορτωτή να κάνει καλή χρήση της ισχύος του κινητήρα χωρίς να τον σταματήσει. Ένας κινητήρας σβήνει όταν το φορτίο πάνω του είναι μεγαλύτερο από την ισχύ που μπορεί να παράξει. Σε υδραυλικά μηχανήματα όπως αυτά, η ισχύς που παράγει ο κινητήρας πρέπει να εξισορροπηθεί με την ισχύ που χρησιμοποιεί το υδραυλικό σύστημα. Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράξει ο κινητήρας εξαρτάται από την ταχύτητα στην οποία εκτελείται (μεγαλύτερη ταχύτητα μεγαλύτερη ισχύς).

Μεταξύ των αντλιών που τροφοδοτούν τους τροχούς και την αντλία που τροφοδοτεί τα εργαλεία εργασίας, το υδραυλικό σύστημα μπορεί να απαιτήσει περισσότερη ισχύ από τον κινητήρα από ό, τι μπορεί να παράξει. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε ο χειριστής να μπορεί να εφαρμόσει την πλήρη ισχύ του κινητήρα είτε στους τροχούς είτε στα εργαλεία πχ. κάδος, σε οποιαδήποτε στιγμή.

Η ισχύς που χρησιμοποιείται από μια υδραυλική αντλία είναι ίση με την πίεση πολλαπλασιασμένη με την παροχή του υγρού της. Στις μηχανές Caterpillar, η αντλία εφαρμογής είναι μια αντλία σταθερής μετατόπισης. Σε αυτόν τον τύπο αντλίας, ο ρυθμός ροής καθορίζεται από την ταχύτητα της αντλίας (η οποία ισούται με την ταχύτητα του κινητήρα) και την μετατόπισή της (τον όγκο των κυλίνδρων στην αντλία). Όσο γρηγορότερα μια αντλία περιστρέφεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η παροχή. Η πίεση καθορίζεται από τις εργασίες που εκτελεί ο χειριστής. Για παράδειγμα, η πίεση είναι υψηλή όταν ο χειριστής σκάβει έναν λάκκο, από ένα σωρό με χώμα και είναι χαμηλή όταν γέρνει τον κάδο για να βγάλει το φορτίο. Αυτή η αντλία έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε με τη μέγιστη πίεση και τον ρυθμό ροής της, να μην σταματάει τον κινητήρα. Όμως, αν οι υδραυλικές αντλίες που οδηγούν τους τροχούς

έπρεπε να αντλήσουν οποιαδήποτε ισχύ, ενώ η αντλία εφαρμογής είναι στη μέγιστη πίεση και ροή, ο κινητήρας θα μπορούσε να σταματήσει. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο οι αντλίες για τους τροχούς, είναι αντλίες μεταβλητής μετατόπισης.

Όταν ο χειριστής δεν χρησιμοποιεί ένα εργαλείο πχ. τον κάδο, οι αντλίες μπορούν να λειτουργήσουν με τη μέγιστη μετατόπισή τους, χρησιμοποιώντας την πλήρη ισχύ του κινητήρα για να οδηγήσουν τους τροχούς-ερπύστριες. Η ταχύτητα του μηχανήματος καθορίζεται από τον ρυθμό ροής του ρευστού από τις αντλίες, ενώ η ροπή καθορίζεται από την πίεση.

Κατά τη διάρκεια μιας εργασίας, όπως η φόρτωση ενός σωρού χώματος σε ένα φορτηγό, ο χειριστής χρησιμοποιεί πολύ την ισχύ του κινητήρα για να σπρώξει το μηχανήμα στο σωρό. Καθώς ο χειριστής αρχίζει να ανεβάζει τον κάδο, τα υδραυλικά παίρνουν το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος του κινητήρα για να βγάλουν τον κάδο από το σωρό. Εάν η αντλία που είναι υπεύθυνη για τα εργαλεία, έφτιαχνε την πίεση και τη ροή για αυτή τη λειτουργία, ενώ οι αντλίες οδήγησης εξακολουθούσαν να αντλούν ενέργεια, ο κινητήρας θα σταματούσε. Για να αποφευχθεί αυτό, οι μηχανές Caterpillar μειώνουν αυτόματα τη μετατόπιση των αντλιών. Αυτό κρατάει τον κινητήρα από το να τεθεί εκτός λειτουργίας, διατηρώντας παράλληλα τη ροπή στους τροχούς-ερπύστριες με μειωμένη ταχύτητα.

### **Ανελκυστήρας :**

Η έννοια του ανελκυστήρα είναι απίστευτα απλή, είναι απλά ένας θάλαμος που συνδέεται με ένα σύστημα ανύψωσης. Συνδέοντας ένα κομμάτι σχοινιού με ένα κιβώτιο έχουμε έναν βασικό ανελκυστήρα.

Φυσικά, οι σύγχρονοι ανελκυστήρες επιβατών και φορτίων είναι πολύ πιο περίπλοκοι από αυτό. Χρειάζονται προηγμένα μηχανικά συστήματα για να χειριστούν το σημαντικό βάρος του θαλάμου του ανελκυστήρα και του φορτίου του. Επιπλέον, χρειάζονται μηχανισμοί ελέγχου έτσι ώστε οι επιβάτες να μπορούν να χειριστούν τον ανελκυστήρα και συσκευές ασφαλείας για να λειτουργήσουν όλα ομαλά.

Υπάρχουν δύο μεγάλα σχέδια ανελκυστήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα: οι υδραυλικοί ανελκυστήρες και οι ανελκυστήρες με σκοινιά.

Τα συστήματα υδραυλικών ανελκυστήρων ανυψώνουν το θάλαμο χρησιμοποιώντας ένα υδραυλικό έμβολο, ένα έμβολο με ρευστό τοποθετημένο μέσα σε έναν κύλινδρο.

Μπορούμε να δούμε πώς λειτουργεί αυτό το σύστημα στο παρακάτω διάγραμμα [2.11].

Ο κύλινδρος συνδέεται με ένα σύστημα άντλησης υγρών (συνήθως υδραυλικά συστήματα όπως αυτό, χρησιμοποιούν λάδι, αλλά θα λειτουργούσαν και με άλλα ασυμπίεστα ρευστά). Το υδραυλικό σύστημα έχει τρία μέρη:

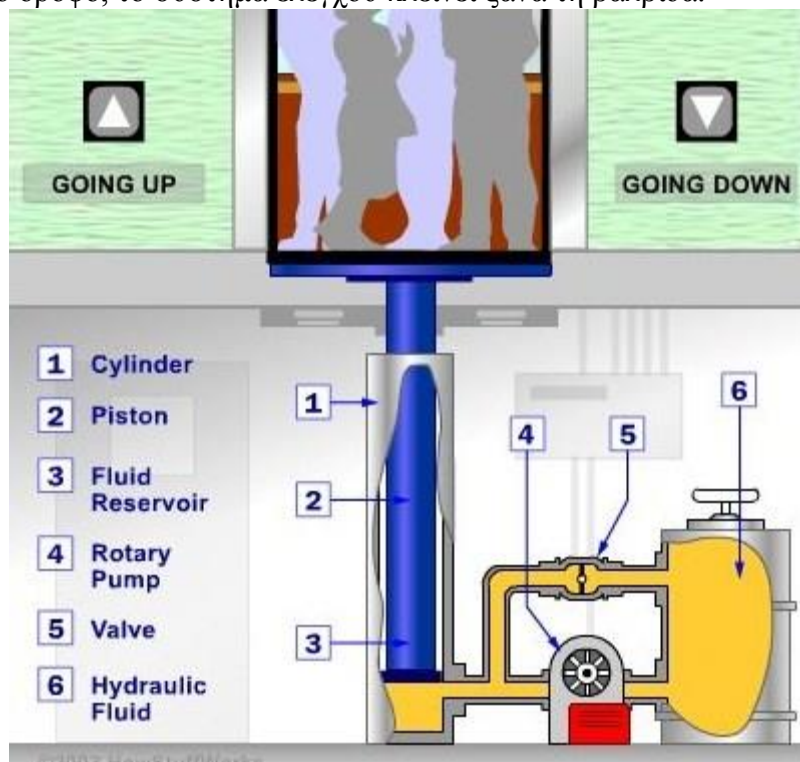
- Μια δεξαμενή (η δεξαμενή υγρών)
- Μια αντλία, που τροφοδοτείται από ηλεκτρικό κινητήρα
- Μια βαλβίδα μεταξύ του κυλίνδρου και της δεξαμενής

Η αντλία ωθεί το ρευστό από τη δεξαμενή σε ένα σωλήνα που οδηγεί στον κύλινδρο. Όταν ανοίξει η βαλβίδα, το πεπιεσμένο ρευστό θα πάρει τη διαδρομή με την ελάχιστη

αντίσταση και θα επιστρέψει στη δεξαμενή υγρού. Αλλά όταν η βαλβίδα είναι κλειστή, το πεπιεσμένο υγρό δεν έχει να πάει πουθενά εκτός από τον κύλινδρο. Καθώς το υγρό συλλέγεται στον κύλινδρο, ωθεί το έμβολο προς τα πάνω, ανυψώνοντας το θάλαμο του ανελκυστήρα.

Όταν ο θάλαμος προσεγγίσει το σωστό πάτωμα, το σύστημα ελέγχου στέλνει ένα σήμα στον ηλεκτροκινητήρα για να σταματήσει σταδιακά την αντλία. Με την αντλία σβηστή, δεν εισέρχεται πλέον ρευστό στον κύλινδρο, αλλά το υγρό που βρίσκεται ήδη στον κύλινδρο δεν μπορεί να διαφύγει (δεν μπορεί να ρεύσει προς τα πίσω μέσω της αντλίας και η βαλβίδα είναι ακόμα κλειστή). Το έμβολο στηρίζεται λόγω του υγρού και ο θάλαμος παραμένει εκεί που είναι.

Για να χαμηλώσει ο θάλαμος, το σύστημα ελέγχου του ανελκυστήρα στέλνει ένα σήμα στη βαλβίδα. Η βαλβίδα λειτουργεί ηλεκτρικά με ένα βασικό σωληνοειδές διακόπτη. Όταν ο διακόπτης ανοίξει τη βαλβίδα, το υγρό που έχει συλλεχτεί στον κύλινδρο, μπορεί να ρεύσει μέσα στη δεξαμενή υγρού. Το βάρος του θαλάμου και το φορτίο του, ωθούν προς τα κάτω στο έμβολο, το οποίο οδηγεί το ρευστό μέσα στη δεξαμενή και έτσι ο θάλαμος κατεβαίνει σταδιακά. Για να σταματήσει ο θάλαμος σε χαμηλότερο όροφο, το σύστημα ελέγχου κλείνει ξανά τη βαλβίδα.



Εικόνα 2.11 Υδραυλικός Ανελκυστήρας

Αυτό το σύστημα είναι απίστευτα απλό και εξαιρετικά αποτελεσματικό, αλλά έχει κάποια μειονεκτήματα.

Το κύριο πλεονέκτημα των υδραυλικών συστημάτων είναι ότι μπορούν να πολλαπλασιάσουν εύκολα, τη σχετικά ασθενή δύναμη της αντλίας, για να παράξουν την ισχυρότερη δύναμη που απαιτείται, για την ανύψωση του θαλάμου του ανελκυστήρα.

Αλλά αυτά τα συστήματα υποφέρουν από δύο σημαντικά μειονεκτήματα :

Το κύριο πρόβλημα είναι το μέγεθος του εξοπλισμού. Για να μπορεί ο θάλαμος του ανελκυστήρα να φτάσει σε υψηλότερους ορόφους, πρέπει το έμβολο να γίνει μεγαλύτερο. Επιπλέον ο κύλινδρος πρέπει να είναι λίγο πιο μακρύτερος από το έμβολο, αφού το έμβολο πρέπει να είναι σε θέση να κατέβει τελείως όταν ο θάλαμος βρίσκεται στον κάτω όροφο. Με λίγα λόγια, περισσότεροι όροφοι, σημαίνουν μεγαλύτερο κύλινδρο. Το πρόβλημα είναι ότι ολόκληρη η κυλινδρική δομή πρέπει να μπει κάτω από τον πυθμένα του ανελκυστήρα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να σκάψουμε βαθύτερα καθώς χτίζουμε ψηλότερα.

Το άλλο μειονέκτημα των υδραυλικών ανελκυστήρων είναι, ότι δεν είναι αρκετά αποδοτικοί. Απαιτείται πολλή ενέργεια για να ανέβει ο θάλαμος του ανελκυστήρα αρκετούς ορόφους, και σε ένα βασικό υδραυλικό ανελκυστήρα, δεν υπάρχει τρόπος για να αποθηκεύσουμε αυτήν την ενέργεια. Η ενέργεια της θέσης (δυναμική ενέργεια) λειτουργεί μόνο για να ωθήσει το ρευστό πίσω στη δεξαμενή. Για να ανέβει και πάλι ο θάλαμος, το υδραυλικό σύστημα πρέπει να παράξει ξανά όλη την ενέργεια.

Το σύστημα του ανελκυστήρα με σκοινιά ξεπερνά και τα δυο αυτά προβλήματα.

### **Το καλωδιακό σύστημα :**

Το πιο δημοφιλές σχέδιο ανελκυστήρα είναι ο ανελκυστήρας με σκοινιά. Στους ανελκυστήρες με σκοινιά, ο θάλαμος ανυψώνεται και χαμηλώνει με σκοινιά έλξης από χάλυβα και δεν σπρώχνεται από κάτω όπως στους υδραυλικούς.

Τα συρματόσκοινα συνδέονται με το θάλαμο του ανελκυστήρα και περιστρέφονται γύρω από μια τροχαλία. Η τροχαλία κρατά τα συρματόσκοινα ανυψώσεως, οπότε όταν περιστρέφεται η τροχαλία, κινούνται και αυτά μαζί της.

Η τροχαλία συνδέεται με έναν ηλεκτροκινητήρα. Όταν ο κινητήρας στρέφεται κατά μια μεριά, η τροχαλία ανυψώνει το θάλαμο και όταν ο κινητήρας γυρίζει από την άλλη, η τροχαλία τον χαμηλώνει.

Στους ανελκυστήρες χωρίς ταχύτητες, ο κινητήρας περιστρέφει απευθείας τη τροχαλία.

Στους ανελκυστήρες με ταχύτητες, ο κινητήρας γυρίζει ένα γρανάζι που περιστρέφει την τροχαλία.

Τυπικά, η τροχαλία, ο κινητήρας και το σύστημα ελέγχου στεγάζονται όλα σε ένα μέρος πάνω από τον άξονα του ανελκυστήρα. Τα συρματόσκοινα που ανυψώνουν το θάλαμο είναι επίσης συνδεδεμένα με ένα αντίβαρο, το οποίο κρέμεται στην άλλη πλευρά της τροχαλίας. Το αντίβαρο ζυγίζει περίπου το ίδιο, με το θάλαμο γεμισμένο, με 40 τοις εκατό της χωρητικότητας του. Με άλλα λόγια, όταν ο θάλαμος είναι 40 τοις εκατό γεμάτος (ένα μέσο ποσό), το αντίβαρο και ο θάλαμος είναι τέλεια ισορροπημένα.

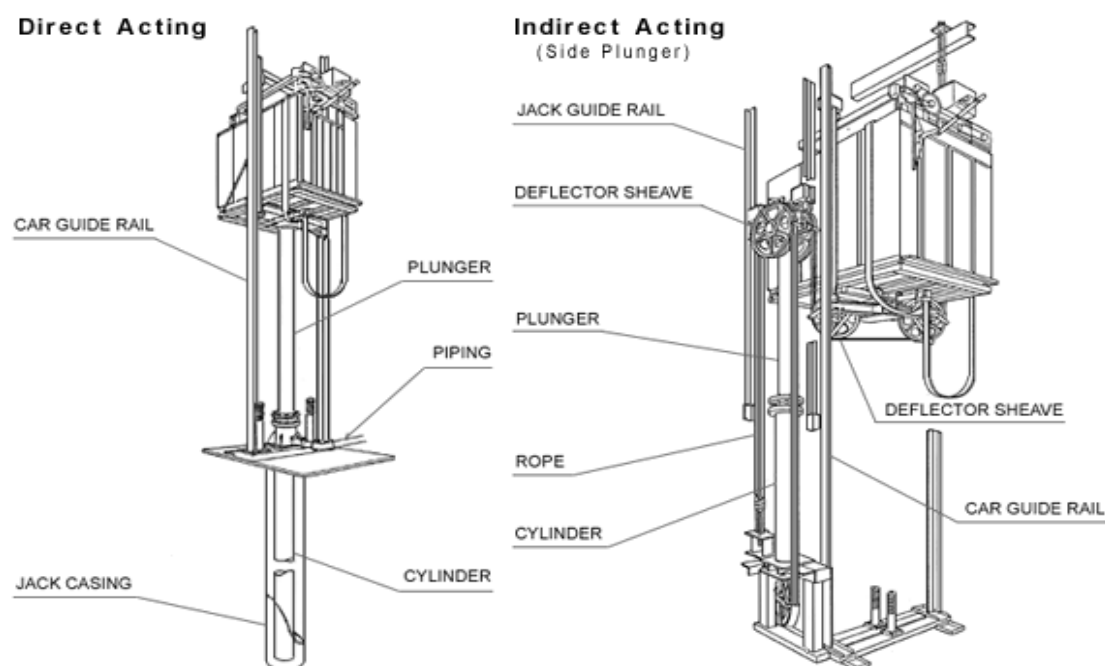
Στόχος αυτής της ισορροπίας είναι η εξοικονόμηση ενέργειας. Με ίσα φορτία σε κάθε πλευρά της τροχαλίας, απαιτείται λίγη δύναμη μόνο για την αλλαγή της ισορροπίας με τον ένα ή τον άλλο τρόπο. Βασικά, ο κινητήρας πρέπει μόνο να ξεπεράσει την τριβή γιατί το βάρος από την άλλη πλευρά κάνει το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας.

Τόσο ο θάλαμος του ανελκυστήρα όσο και το αντίβαρο ακουμπάνε σε ράγες οδήγησης κατά μήκος των πλευρών του φρεατίου του ανελκυστήρα. Οι ράγες κρατούν το θάλαμο και το αντίβαρο, από το να κουνάει εμπρός και πίσω και συνεργάζονται επίσης με το σύστημα ασφαλείας για να σταματήσουν το θάλαμο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.

Υπάρχει και η περίπτωση οι παραπάνω δυο τεχνικές να συνδυαστούν.

### Υδραυλικός ανελκυστήρας με σκοινιά :

Οι υδραυλικοί ανελκυστήρες με σκοινιά προσφέρουν το καλύτερο αποτέλεσμα σε αυτά τα συστήματα. Ο μηχανισμός βασίζεται σε μια υδραυλική αντλία ένα έμβολο και μια τροχαλία. Σε αυτή την περίπτωση, ένα βάθρο στηρίζει το έμβολο και συνδέεται με τον ανυψωτήρα χρησιμοποιώντας έναν αριθμό βραχιόνων. Περιλαμβάνουν επίσης τη χρήση καλωδίων από χάλυβα που επιτρέπουν σχετικά ομαλότερες διαδρομές.



Εικόνα 2.12 Υδραυλικός ανελκυστήρας με σκοινιά

### Γερανογέφυρες :

Οι υδραυλικοί γερανοί ή αλλιώς γερανογέφυρες, μπορεί να είναι απλοί στο σχεδιασμό, αλλά μπορούν να εκτελέσουν δύσκολες εργασίες, οι οποίες διαφορετικά θα φαίνονταν αδύνατες. Σε λίγα λεπτά, αυτά τα μηχανήματα είναι σε θέση να ανυψώσουν πολυτονικές δέσμες γεφυρών σε αυτοκινητόδρομους ή βαρύ εξοπλισμό σε εργοστάσια ή ακόμη και να ανεβάσουν σπίτια πάνω σε κορμούς.

### Λειτουργία γερανογέφυρας :

Οι περισσότεροι υδραυλικοί γερανοί χρησιμοποιούν αντλίες δύο γρاناζιών οι οποίες έχουν ένα ζεύγος διακλαδισμένων γραναζιών για να πιέσουν το υδραυλικό λάδι. Όταν η πίεση πρέπει να αυξηθεί, ο χειριστής σπρώχνει με το πόδι ένα γκάτζι για να τρέξει πιο γρήγορα η αντλία. Σε μια αντλία με γρανάζια, ο μόνος τρόπος να επιτευχθεί υψηλή πίεση είναι να λειτουργήσει ο κινητήρας σε πλήρη ισχύ.

Ένας γερανός 70 τόνων χρησιμοποιεί ένα πετρελαιοκινητήρα 12,7 λίτρων που μπορεί να παράξει μέχρι και 365 ίππους. Ο κινητήρας συνδέεται με τρεις αντλίες δύο γραναζιών, συμπεριλαμβανομένου:

- **Κύρια αντλία**

Αυτή η αντλία ελέγχει τη ράβδο του εμβόλου που ανεβάζει και κατεβάζει τον βραχίονα, καθώς και τα υδραυλικά τηλεσκοπικά τμήματα που τον επεκτείνουν. Η κύρια αντλία μπορεί να παράξει πίεση 1587.573kg(3,500 λίβρες) ανά τετραγωνική ίντσα (psi). Παράγει περισσότερη πίεση από τις άλλες δύο αντλίες, επειδή είναι υπεύθυνη για τη μετακίνηση πολύ περισσότερου βάρους.

- **Αντλία αντίβαρου πιλοτικής πίεσης**

Ένας υδραυλικός γερανός φορτίων χρησιμοποιεί αντίβαρα στο πίσω μέρος της καμπίνας για να τον κρατήσει από το να ανατραπεί. Τα αντίβαρα αυτά προστίθενται και αφαιρούνται με τη βοήθεια ενός υδραυλικού ανελκυστήρα που έχει τη δική του αντλία. Η αντλία με γρανάζια μπορεί να παράξει 1.400 psi(96.5266 bar).

- **Αντλία διεύθυνσης / ολίσθησης**

Μια αντλία ελέγχει το τιμόνι και τους σταθεροποιητές. Οι σταθεροποιητές χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση του γερανού κατά τη διάρκεια των εργασιών ανύψωσης. Επειδή λειτουργούν από την ίδια αντλία, η λειτουργία του τιμονιού και των σταθεροποιητών δεν εκτελείται ταυτόχρονα. Αυτή η αντλία παράγει 1,600 psi(110.3161 bar).

### **Βασικός εξοπλισμός σε υδραυλικό γερανό:**

- **Βραχίονας(Boom) :** Ο μεγάλος βραχίονας είναι κυρίως υπεύθυνος για την ανύψωση
- **Αντίβαρα(Counterweights) :** Βάρη πολλαπλών τόνων τοποθετημένα στο πίσω μέρος της καμπίνας, ώστε να αποφευχθεί η ανατροπή του γερανού κατά τις ανυψώσεις.
- **Αντλία δύο ταχυτήτων(Two-gear pump) :** Σύστημα υδραυλικής αντλίας που χρησιμοποιεί δύο περιστρεφόμενα γρανάζια για να πιέζει το πετρέλαιο.
- **Φλόκος(Jib) :** Δομή δικτυώματος που εκτείνεται έξω από το βραχίονα.
- **Σταθεροποιητές(Outriggers) :** Στηρίζουν το γερανό για να είναι ισορροπημένος.
- **Εξοπλισμός Rotex (Rotex Gear) :** Μεγάλο γρανάζι κάτω από την καμπίνα που επιτρέπει την περιστροφή του βραχίονα.
- **Δείκτης φορτίου στιγμιότυπου (Load Moment Indicator) :** Διάταξη φωτισμού που βρίσκεται στην καμπίνα λίγο πάνω από το επίπεδο των ματιών του χειριστή και αναβοσβήνει σε περίπτωση που επιτευχθούν τα όρια ανύψωσης του γερανού.



Εικόνα 2.13 Γερανογέφυρα  
«<https://www.stromag.com/key-markets/crane-and-hoist>»

Το πιο αναγνωρίσιμο τμήμα κάθε γερανού είναι ο βραχίονας. Αυτός είναι ένας χαλύβδινος βραχίονας που συγκρατεί το φορτίο. Ανεβαίνοντας από το πίσω μέρος της καμπίνας του χειριστή, ο βραχίονας είναι το βασικό κομμάτι του γερανού, επιτρέποντας στο μηχάνημα να ανεβάσει τα φορτία σε ύψη αρκετών δεκάδων μέτρων.

Οι περισσότεροι υδραυλικοί γερανοί έχουν έναν βραχίονα που έχει αρκετά τηλεσκοπικά τμήματα. Για παράδειγμα, ένας υδραυλικός γερανοφόρος Link-Belt των 70 τόνων διαθέτει έναν βραχίονα με τρία τηλεσκοπικά τμήματα. Αυτός ο συγκεκριμένος βραχίονας έχει μήκος 38,7 μέτρα. Ορισμένοι βραχίονες είναι εφοδιασμένοι με μια ακίδα (Φλόκος), η οποία είναι μια δομή πλέγματος που συνδέεται με το άκρο του βραχίονα. Στον γερανό 70 τόνων, η ακίδα έχει μήκος 20,4 μέτρα, δίνοντας του συνολικό μήκος 59,1 μέτρα. Καθώς ανυψώνεται το φορτίο, τα τμήματα επεκτείνονται στο επιθυμητό ύψος.

Οι καλωδιώσεις από χάλυβα κινούνται με ένα βαρούλκο, ακριβώς πίσω από την καμπίνα του χειριστή, που εκτείνονται πάνω και πέρα από το βραχίονα και το φλόκο. Κάθε γραμμή είναι σε θέση να κρατήσει ένα μέγιστο φορτίο 14.000 λίβρες (6.350 κιλά). Έτσι, ένας υδραυλικός γερανός 70 τόνων μπορεί να χρησιμοποιήσει έως και 10 καλωδιακές γραμμές για συνολικά 140.000 λίβρες (63.503 κιλά) ή 70 τόνους. Οι γραμμές «τρέχουν» πάνω από το βραχίονα και το φλόκο και προσκολλώνται σε μια μεταλλική σφαίρα 285 λιβρών (129 κιλά) που κρατά τις γραμμές τραβηγμένες όταν δεν υπάρχει φορτίο στο γάντζο.



Εικόνα 2.14 Μεταλλική σφαίρα



Για να ελιχθεί το φορτίο, ο βραχίονας πρέπει να μπορεί να κινείται δεξιά και αριστερά, καθώς και πάνω-κάτω. Κάτω από την καμπίνα του χειριστή υπάρχει μια διάταξη Rotex με ένα περιστρεφόμενο ρουλεμάν το οποίο κινείται με 2 στροφές ανά λεπτό (rpm). Οδηγείται από έναν διαζονικό (δύο κατευθύνσεων) υδραυλικό κινητήρα, τοποθετημένο στην καμπίνα, και βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό κάλυμμα για την πρόληψη τραυματισμών. Η περιστροφή ελέγχεται από ένα υδραυλικό πεντάλ μέσα στο θάλαμο.



Εικόνα 2.15 Διάταξη Rotex

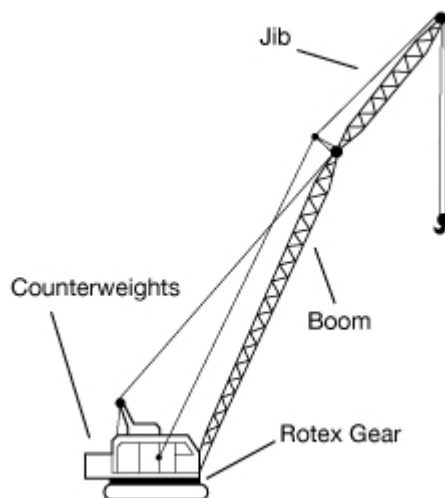
Οι υδραυλικοί γερανοί χρησιμοποιούνται για την ανύψωση των βαριών φορτίων σε μεγάλα ύψη και είναι σημαντικό το όχημα να είναι εντελώς σταθερό κατά τη διάρκεια της ανύψωσης. Τα ελαστικά των γερανών δεν προσφέρουν τη σταθερότητα που απαιτείται, έτσι ώστε χρησιμοποιούνται σταθεροποιητές που βοηθούν στην ισορροπία του, από το να κλίνει πάρα πολύ στη μία πλευρά ή στην άλλη. Οι σταθεροποιητές χρησιμοποιούν υδραυλικό σύστημα για να ανυψώνουν ολόκληρο το φορτηγό από το έδαφος. Αποτελούνται από τη δοκό και το πέλμα, το οποίο είναι το στήριγμα στο έδαφος. Μερικές φορές, "πλωτήρες" τοποθετούνται κάτω από το πέλμα για να μειωθεί η πίεση που δημιουργείται μεταξύ του γερανού μαζί με το φορτίο και του δαπέδου. Οι πλωτήρες είναι συνήθως ξύλινες σανίδες για να δημιουργήσουν μια βάση που είναι μεγαλύτερη από το ίδιο το πέλμα.



Εικόνα 2.16 Σταθεροποιητές

Οι ανυψωτήρες είναι μόνο ένας μηχανισμός που χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση του γερανού κατά τις εργασίες ανύψωσης. Υπάρχουν επίσης αποσπώμενα αντίβαρα που μπορούν να τοποθετηθούν στο πίσω μέρος του γερανού στην κάτω πλευρά της καμπίνας. Αυτά τα αντίβαρα εμποδίζουν το γερανό να αναποδογυρίσει προς τα εμπρός κατά τη λειτουργία. Η ποσότητα αντιστάθμισης που απαιτείται για ένα συγκεκριμένο φορτίο καθορίζεται από το βάρος του φορτίου και

την ακτίνα και τη γωνία του βραχίονα κατά τη λειτουργία. Ο γερανός Link-Belt των 70 τόνων έχει αντίβαρα τμηματοποιημένα ανά 4,000 λίβρες (1,814 κιλά). Τα αντίβαρα χρησιμοποιούνται μόνο κατά τις ανυψώσεις - μεταφορές και πρέπει να αφαιρεθούν πριν το όχημα οδηγηθεί σε κάποιο άλλο μέρος.



Εικόνα 2.17 Βασικά μέρη γερανού  
<https://www.klclutch.com/cranes/science-behind-boom-cranes/>

### Η θέση του χειριστή :

Παραπάνω είδαμε πώς λειτουργούν τα υδραυλικά και άλλα εξαρτήματα του υδραυλικού γερανού. Όλος ο εξοπλισμός αυτός ελέγχεται από τον χειριστή μέσα στην καμπίνα, ο οποίος βρίσκεται στην κορυφή του γερανού. Οι χειριστές γεραμών χρησιμοποιούν αρκετούς μηχανισμούς ελέγχου για να ανυψώσουν και να χαμηλώσουν τον βραχίονα, να περιστρέψουν την καμπίνα και το βραχίονα, να τυλίξουν και να ξετυλίξουν το βαρούλκο και να ελέγξουν τον υπόλοιπο περιφερειακό εξοπλισμό.

Ο υδραυλικός γερανός 70-τόνων Link-Belt διαθέτει δύο βασικούς τύπους χειριστηρίων για την κίνηση των φορτίων:

- Χειριστήρια : Υπάρχουν δύο χειριστήρια στη καμπίνα. Το ένα ελέγχει τη κίνηση του βραχίονα αριστερά δεξιά και το άλλο ελέγχει την κίνηση προς τα εμπρός και προς τα πίσω.
- Πετάλια ποδιού : Αυτά τα πεντάλ είναι υπεύθυνα για τη αναδίπλωση και την επέκταση των τηλεσκοπικών τμημάτων του βραχίονα. Επίσης ελέγχουν το ποσοστό πίεσης που παράγεται από την αντλία.

Τα χειριστήρια και τα ποδοκίνητα πεντάλ συνδέονται με υδραυλικούς εύκαμπτους σωλήνες που συνδέουν διάφορα υδραυλικά έμβολα στις βαλβίδες εξαγωγής. Η βαλβίδα καρουλιού (εξαγωγής) συνδέεται με την υδραυλική αντλία μέσω ενός τρίτου εύκαμπτου σωλήνα που τοποθετείται μεταξύ των δύο σωλήνων που εκτείνονται από τη βαλβίδα καρουλιού στο υδραυλικό έμβολο. Όταν πιέζεται ένα χειριστήριο προς

μία κατεύθυνση, ωθεί τη βαλβίδα να κλείσει έναν από τους υδραυλικούς σωλήνες που οδηγούν στο έμβολο και να ανοίξει τον άλλο. Με τον τρόπο που ωθείται το χειριστήριο, καθορίζεται αν το πιστόνι στο υδραυλικό έμβολο εισέρχεται ή εξέρχεται.



Εικόνα 2.18 Εσωτερικό καμπίνας

Το σύστημα βαλβίδων επιτρέπει στο χειριστή του γερανού να ελέγχει τα υδραυλικά έμβολα. Πριν από κάθε ανύψωση, ο χειριστής εισάγει δεδομένα σε έναν υπολογιστή μέσα στο θάλαμο, συμπεριλαμβανομένου του βάρους, του προς ανύψωση αντικειμένου, και του ύψους στο οποίο πρόκειται να ανυψωθεί. Αυτός ο υπολογιστής χρησιμεύει ως αντίγραφο ασφαλείας του χειριστή, προειδοποιώντας τον αν ο γερανός πιέζεται πέρα από την ικανότητά του. Χρησιμοποιώντας ένα συνδεδεμένο μέσο διαγραμμάτων στο θάλαμο, ο χειριστής καθορίζει επίσης τη γωνία ανύψωσης και την ακτίνα του βραχίονα. Αφού εισαχθούν όλα αυτά, ο υπολογιστής μπορεί να παρακολουθήσει την πρόοδο της εργασίας και να προειδοποιήσει τον οδηγό εάν ο γερανός πλησιάζει τους περιορισμούς του. Εάν ο βραχίονας είναι ανυψωμένος πολύ ψηλά για την ποσότητα φορτίου, θα ανάψει μια σειρά από λαμπάκια λίγο πάνω από το εσωτερικό του μπροστινού παραθύρου. Αυτά τα φώτα είναι οι προειδοποιητικές λυχνίες για το δείκτη φορτίου (Load Moment Indicator).



Εικόνα 2.19 Λυχνίες για το δείκτη φορτίου

Υπάρχουν τουλάχιστον δύο άλλοι άνθρωποι που χρειάζονται για να εκτελεστεί η εργασία σωστά, συμπεριλαμβανομένου ενός μηχανικού και ενός διαβιβαστή. Ο

μηχανικός είναι υπεύθυνος για να βεβαιωθεί ότι όλα τα μέρη του γερανού είναι στη θέση τους και ασφαλισμένα πριν από οποιαδήποτε ανύψωση. Αυτός ενεργεί επίσης ως παρατηρητής κατά τη διάρκεια της εργασίας για να εξασφαλίσει ότι η δουλειά εκτελείται σωστά. Ο διαβιβαστής, δίνει σήματα χειρός στο χειριστή για να βεβαιωθεί για την ομαλή μετακίνηση του φορτίου.

Οι υδραυλικοί γερανοί παρέχουν ωμή δύναμη για την μετακίνηση αντικειμένων, μηχανών η ακόμη και μεγάλων ζώων που διαφορετικά θα ήταν δύσκολο να μετακινηθούν. Χρησιμοποιώντας μια πολύ απλή αρχή της υδραυλικής, αυτά τα μηχανήματα κινούν χιλιάδες κιλά με σχετική ευκολία, καθιστώντας τα ένα ουσιαστικό συστατικό των περισσότερων κατασκευαστικών έργων και ένα μεγάλο παράδειγμα της δύναμης της βασικής φυσικής.

### **Ανυψωτικά μηχανήματα-Περονοφόρα (Forklifts-Clarks) :**

#### **Το Υδραυλικό Σύστημα Περονοφόρου:**

Στα περισσότερα περονοφόρα οχήματα, η δεξαμενή είναι ενσωματωμένη στο πλαίσιο του οχήματος.

Εκτός από τη δεξαμενή, τα εξαρτήματα του υδραυλικού συστήματος των ανυψωτήρων περιλαμβάνουν:

- Αντλία

Παράγει μια σταθερή ροή υδραυλικού υγρού για την παροχή της βαλβίδας ελέγχου. Τα περισσότερα περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα χρησιμοποιούν μια αντλία τύπου γρاناζιών. Η αντλία αποτελείται από ένα ζεύγος περιστρεφόμενων γρاناζιών που ωθούν το ρευστό στην αντίθετη κατεύθυνση της περιστροφής.

- Βαλβίδα ελέγχου

Ξεκινά και σταματά την κατεύθυνση του υγρού και ελέγχει τη κίνηση του ρευστού χρησιμοποιώντας καρούλια.

- Βαλβίδα ανακούφισης

Προστατεύει το υδραυλικό σύστημα από την υπερβολική πίεση.

- Γραμμή επιστροφής

Επιστρέφει το ρευστό στη δεξαμενή.

Οι τύποι υγρών που χρησιμοποιούνται στα υδραυλικά συστήματα περιλαμβάνουν υγρά με βάση το νερό, υγρά με βάση το πετρέλαιο ή συνθετικά υγρά. Τα υγρά με βάση το νερό είναι ανθεκτικά στη φωτιά, αλλά δεν παρέχουν τόσο λίπανση όσο και οι άλλοι τύποι. Τα υγρά με βάση το πετρέλαιο προσαρμόζονται στο υδραυλικό σύστημα με τη βοήθεια πρόσθετων ουσιών και είναι τα πιο δημοφιλή. Τα συνθετικά υγρά είναι χρήσιμα για συστήματα υψηλής θερμοκρασίας και υψηλής πίεσης.

## Λειτουργία των υδραυλικών ενός ανυψωτικού οχήματος :

Χρησιμοποιώντας κυλίνδρους, το υδραυλικό σύστημα περονοφόρου λειτουργεί πολύ παρόμοια με το παράδειγμα περιορισμένου υγρού[1]. Οι κύλινδροι είναι σφραγισμένοι σωλήνες με μια ενσωματωμένη ράβδο. Καθώς οι υδραυλικές γραμμές τοποθετούν υγρό υπό πίεση στο σωλήνα, η ράβδος ωθείται προς τα έξω καθώς το ρευστό ψάχνει για τη διαδρομή ελάχιστης αντίστασης. Η αντίσταση εισάγεται για τη κίνηση του ρευστού, μέσω των εύκαμπτων σωλήνων και των συνδέσεων, στα διάφορα εξαρτήματα που τροφοδοτούνται μέσω υδραυλικής πίεσης.

Οι σωληνώσεις αντλούν το υδραυλικό υγρό σε μια δεξαμενή. Η αντλία δημιουργεί την πίεση για να μετακινηθεί το ρευστό μέσω του υδραυλικού συστήματος του περονοφόρου.

[1] : Είναι οποιαδήποτε υγρά σε ένα κλειστό σύστημα. Τα περιορισμένα υγρά μπορούν να μετακινηθούν μέσα στο σύστημα, αλλά δεν μπορούν να εισέλθουν ή να εξέλθουν από το σύστημα

Τα υδραυλικά συστήματα είναι απαραίτητα σε αυτά τα μηχανήματα, γιατί το υδραυλικό σύστημα του περονοφόρου ανυψώνει, με ευκολία τις “δαγκάνες”, που φέρουν το φορτίο από το έδαφος . Το υδραυλικό σύστημα ενός περονοφόρου είναι η καρδιά της μηχανής, επειδή είναι υπεύθυνη για τη μετακίνηση των φορτίων. Από την εφεύρεσή του, το υδραυλικό σύστημα περονοφόρου έχει βοηθήσει τους ανθρώπους να καταφέρουν δύσκολες και βαριές εργασίες και να δημιουργήσουν μια δύναμη που δεν μπορεί να παραχθεί χωρίς τη βοήθεια αυτών των μηχανημάτων. πχ. Μετακίνηση μεγάλων εμπορευματοκιβωτίων.



Εικόνα 2.20 Περονοφόρο ανυψωτικό μηχανήμα (Clark)

## 2.3 Υδραυλικός Έλεγχος :

### 2.3.1 Σκοπιμότητα :

Ένα υδραυλικό σύστημα είναι ένα σύστημα ελέγχου της μετάδοσης ενέργειας που βασίζεται στη χρήση ενός υγρού. Μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια ενός κύριου κινητήρα σε ενέργεια ρευστού, ελέγχει την ενέργεια σε μια διαμόρφωση ρευστού και την μετατρέπει σε μηχανικό έργο στην επιλεγμένη θέση. Καθώς η ενέργεια ρευστού μεταδίδεται και ελέγχεται, η ισχύς μπορεί να ελέγχεται μέσω υδραυλικών βαλβίδων που κινούνται από χαμηλή ηλεκτρική ισχύ και χαμηλή υδραυλική ισχύ. Όταν συνδέεται με έναν υπολογιστή, το σύστημα μετάδοσης ενέργειας προσφέρει διάφορα επιθυμητά χαρακτηριστικά όπως υψηλή ισχύ εξόδου, συνεχή και ακριβή έλεγχο, απόκριση υψηλής ταχύτητας κλπ.

Τα βασικά πλεονεκτήματα ενός υδραυλικού συστήματος ελέγχου σε σύγκριση με τα ηλεκτρικά ή μηχανικά συστήματα ελέγχου είναι τα εξής:

- Η μετάδοση υψηλής ισχύος ελέγχεται μέσω υδραυλικών βαλβίδων ελέγχου που κινούνται με μικρή κατανάλωση ενέργειας. Μπορεί να ελεγχθεί με μεγάλη ακρίβεια χρησιμοποιώντας υπολογιστή.
- Ένα υδραυλικό σύστημα ελέγχου διαθέτει υψηλή πυκνότητα ισχύος, απόκριση υψηλής ταχύτητας και επαρκώς υψηλή απόδοση.

Λόγω των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών, τα συστήματα υδραυλικού ελέγχου έχουν καταστεί απαραίτητα σε συσκευές ελέγχου μετάδοσης ισχύος που χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη, πλοία, κατασκευαστικές μηχανές, βαρέα οχήματα κλπ.

### 2.3.2 Τυπικό Υδραυλικό Φαινόμενο :

Το υδραυλικό πιεστήριο είναι ένας υδραυλικός μηχανισμός που επιτρέπει την εφαρμογή μεγάλης δύναμης ανύψωσης ή συμπίεσης το οποίο δημιούργησε ο βρετανός μηχανικός Joseph Bramah. Το υδραυλικό πιεστήριο αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή πιεστηρίου στις μέρες μας.

Ο τρόπος που λειτουργεί ένα υδραυλικό πιεστήριο σχετίζεται με την αρχή του Πασκάλ. Η πίεση, σε όλα τα σημεία, ενός κλειστού συστήματος, μεταδίδεται ομοιόμορφα. Ανεξάρτητα από τον τελικό σχεδιασμό ενός υδραυλικού πιεστηρίου, το βασικό μοτίβο είναι κοινό: δύο σωλήνες διαφορετικής διαμέτρου (A1 και A2) συνδέονται μέσω μιας δεξαμενής που περιέχει κάποιο ρευστό (πχ. νερό, λάδι ή κάποιο αέριο). Σε καθέναν από τους 2 σωλήνες εφαρμόζεται ένα έμβολο.

Σύμφωνα με την αρχή του Πασκάλ, όση πίεση εφαρμόζεται στο πρώτο έμβολο μεταδίδεται και στο δεύτερο. Δηλαδή:

$$P1 = P2$$

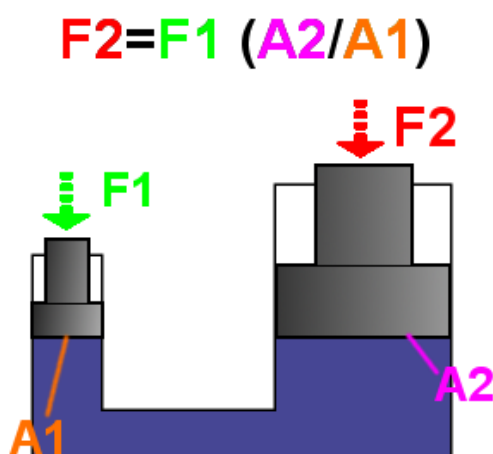
Όμως η πίεση είναι το πηλίκο της ασκούμενης δύναμης (F) ,σε μια επιφάνεια , δια το εμβαδό (A) της επιφάνειας αυτής:

$$P = \frac{F}{A}$$

Συνεπώς, η δύναμη που ασκείται στο δεύτερο έμβολο (F2) θα εξαρτάται από τη σχέση ανάμεσα στα δύο εμβαδά A1 και A2:

$$F2 = F1 \frac{A2}{A1}$$

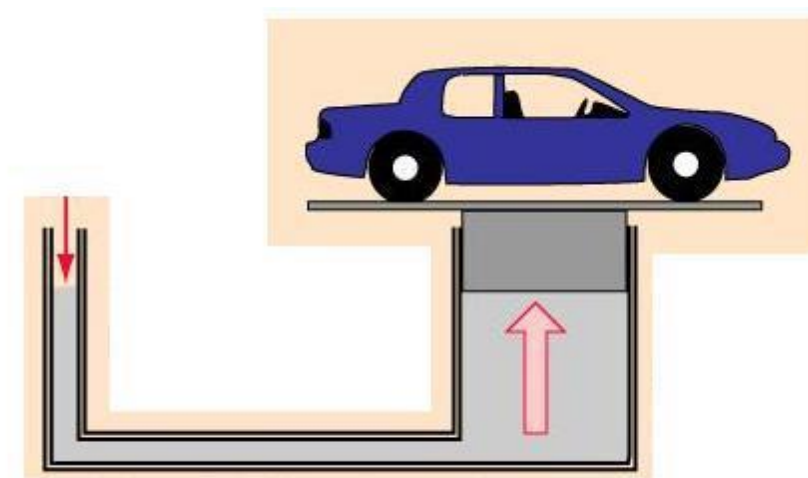
Για παράδειγμα εάν  $A2=10 \times A1$  τότε  $F2=10 \times F1$  όποτε το δεύτερο έμβολο θα δεχθεί δεκαπλάσια δύναμη σε σχέση με το πρώτο.



Εικόνα 2.21 Αρχή λειτουργίας υδραυλικού πιεστηρίου

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Hydraulic\\_Force%2C\\_language\\_neutral.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7d/Hydraulic_Force%2C_language_neutral.png)

Καταλαβαίνουμε ότι με τη βοήθεια του υδραυλικού φαινομένου μπορούμε να εκτελέσουμε εργασίες που αλλιώς θα ήταν αδύνατο να γίνουν, όπως για παράδειγμα η εύκολη και ασφαλής ανύψωση ενός αυτοκινήτου.



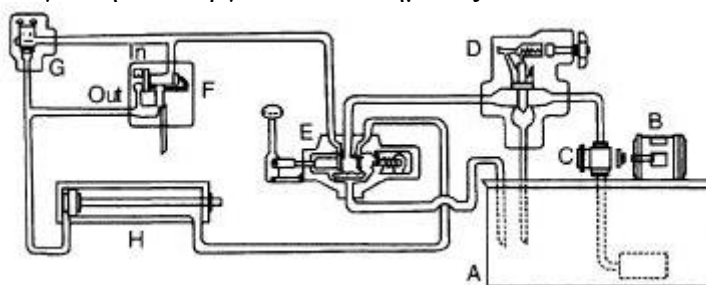
Εικόνα 2.22 Παράδειγμα Υδραυλικού φαινομένου

### 2.3.3 Τυπικά Υδραυλικά Εξαρτήματα :

Σχεδόν όλα τα υδραυλικά κυκλώματα είναι ουσιαστικά τα ίδια ανεξάρτητα από την εφαρμογή. Για την εγκατάσταση ενός υδραυλικού συστήματος απαιτούνται τα εξής βασικά εξαρτήματα:

- Μια δεξαμενή (Reservoir) που συγκρατεί το υγρό (συνήθως υδραυλικό λάδι).
- Μια αντλία (Pump) που ωθεί το υγρό μέσα στο σύστημα.
- Ένας ηλεκτροκινητήρας (Electric Motor) ή άλλη πηγή ενέργειας για την κίνηση της αντλίας.
- Βαλβίδες για τον έλεγχο της κατεύθυνσης, της πίεσης και του ρυθμού ροής του υγρού. (Directional-Pressure-Flow control Valves)
- Ένας ενεργοποιητής για τη μετατροπή της ενέργειας του υγρού σε μηχανική δύναμη ή ροπή, για να κάνει χρήσιμη εργασία. Οι ενεργοποιητές μπορούν να είναι είτε κύλινδροι που παρέχουν γραμμική κίνηση είτε κινητήρες που παρέχουν περιστροφική κίνηση. (Cylinder)
- Σωληνώσεις για τη μεταφορά του υγρού από τη μια θέση στην άλλη.

Η έκταση της πολυπλοκότητας των υδραυλικών συστημάτων ποικίλλει ανάλογα με τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Κάθε μονάδα είναι ένα πλήρες πακέτο ηλεκτρικής ενέργειας που περιλαμβάνει δικό της ηλεκτρικό κινητήρα, αντλία, σύνδεσμο άξονα, δεξαμενή και διάφορες σωληνώσεις, μετρητές πίεσης, βαλβίδες και άλλα εξαρτήματα που απαιτούνται για τη λειτουργία του συστήματος.



#### List of components

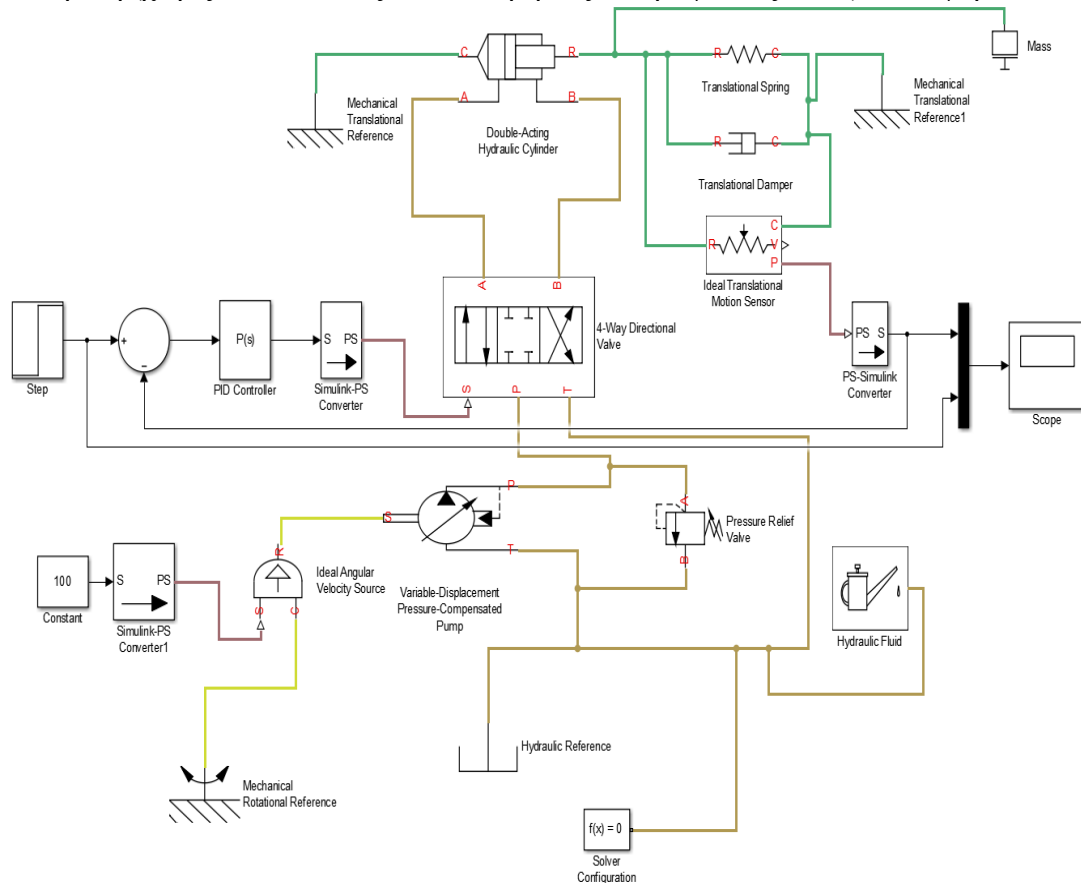
- |                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| A – Reservoir                       | E – Directional valve       |
| B – Electrical motor                | F – Flow control valve      |
| C – Pump                            | G – Right-angle check valve |
| D – Maximum pressure (relief) valve | H – Cylinder                |

Εικόνα 2.22 Βασικό υδραυλικό σύστημα

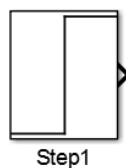


## 2.4.1 Το Σύστημα της Εργασίας :

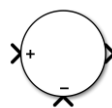
Το παρακάτω σύστημα είναι αυτό που βασιζόμαστε για την εξομοίωση του ελέγχου, ενός υδραυλικού εμβόλου. Σκοπός μας είναι να μπορέσουμε να ελέγξουμε τη θέση του εμβόλου μέσω ενός ελεγκτή PID (Proportional-Integral-Derivative). Πρέπει για είσοδο (στο block Step) 0.5 και 1 να παίρνουμε την καλύτερη δυνατή απόκριση (χωρίς ταλαντώσεις, καθυστερήσεις, υπερυψώσεις κλπ. ) κάθε φορά.



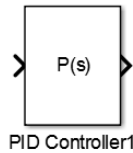
## 2.4.2 Ανάλυση Block Διαγραμμάτων :



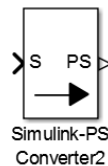
Step: Είναι η επιθυμητή τιμή που θέτουμε εμείς στο σύστημά μας και θέλουμε η έξοδος να την ακολουθεί με τη μικρότερη δυνατή απώλεια.



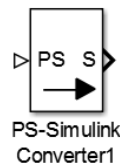
Sum: Το sum συγκρίνει τη τιμή του σφάλματος με αυτή της εισόδου.



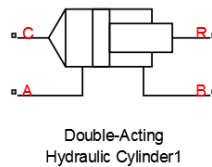
PID Controller: Είναι ο ελεγκτής του συστήματος. Ρυθμίζοντας τον ελέγχουμε και την απόκριση του συστήματος.



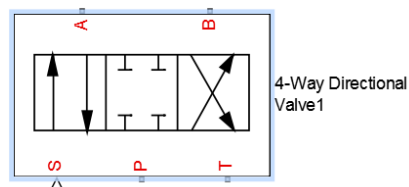
Simulink-PS Converter: Μετατροπέας τιμών από εξομοίωση σε φυσικό μέγεθος (Simulink to Physical).



PS-Simulink Converter: Είναι το αντίστροφο του προηγούμενου block (Physical to Simulink)



Double-Acting Hydraulic Cylinder: Είναι το εμβολο που θέλουμε να ελέγξουμε, το οποίο θα έχει μήκος 1 μέτρο. Τα C και R αποτελούν τις ακραίες θέσεις του και τα A και B είναι οι γραμμές που συνδέεται η παροχή του λαδιού.

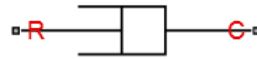


4-Way Directional Valve: Είναι η βαλβίδα (τριών θέσεων ,τεσσάρων οδών) που ελέγχει τη ροη του λαδιού στο εμβολο. Η σύνδεση S είναι μια θύρα φυσικού σήματος μέσω του οποίου εφαρμόζεται σήμα ελέγχου. Το θετικό σήμα στη θύρα S ανοίγει τις οπές P-A και B-T και κλείνει τις P-B και A-T. Οι συνδέσεις P, T, A και B είναι υδραυλικές θύρες συντήρησης που σχετίζονται με τους ακροδέκτες εισόδου(P), εξόδου(T) και ενεργοποιητή βαλβίδας(A,B), αντίστοιχα.



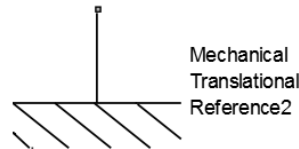
Translational Spring1

Translational Spring: Ένα ιδανικό μηχανικό γραμμικό ελατήριο



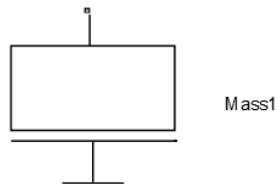
Translational Damper1

Translational Damper: Ένας ιδανικός μηχανικός αποσβεστήρας.



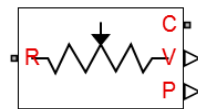
Mechanical  
Translational  
Reference2

Mechanical Translational Reference: Αυτό το μπλοκ αντιπροσωπεύει ένα μηχανικό σημείο αναφοράς, δηλαδή ένα πλαίσιο ή το έδαφος.



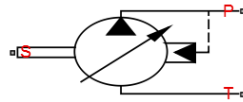
Mass1

Mass: Το μπλοκ αντιπροσωπεύει μια ιδανική μηχανική μάζα.



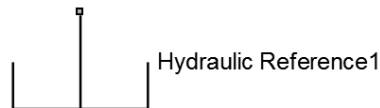
Ideal Translational  
Motion Sensor1

Ideal Translational Motion Sensor: Αντιπροσωπεύει έναν ιδανικό αισθητήρα μηχανικής κίνησης, δηλαδή μια συσκευή που μετατρέπει μια μεταβλητή που μετράει μεταξύ δύο μηχανικών κόμβων σε ένα σήμα ελέγχου ανάλογο με την ταχύτητα και τη θέση. Ο αισθητήρας είναι ιδανικός αφού δεν λαμβάνει υπόψη την αδράνεια, την τριβή, τις καθυστερήσεις, την κατανάλωση ενέργειας κ.ο.κ. Οι συνδέσεις R και C είναι θύρες μηχανικής διατήρησης και οι συνδέσεις V και P είναι φυσικές θύρες εξόδου σήματος για την ταχύτητα και τη θέση, αντίστοιχα.

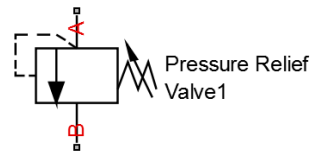


Variable-Displacement  
Pressure-Compensated  
Pump1

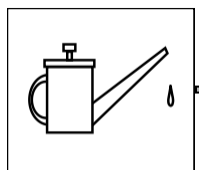
**Variable-Displacement-Pressure-Compensated-Pump:** Αυτό το μπλοκ αντιπροσωπεύει μια μεταβλητής μετατόπισης, με αντιστάθμιση πίεσης, υδραυλική αντλία. Οι βασικές παράμετροι που απαιτούνται για την παραμετροποίηση του μπλοκ είναι η μέγιστη μετατόπιση της αντλίας, η ογκομετρική και η συνολική απόδοση, το εύρος ρύθμισης, η ονομαστική πίεση και η γωνιακή ταχύτητα. Οι συνδέσεις P και T είναι υδραυλικές θύρες συντήρησης που σχετίζονται με την έξοδο της αντλίας και την είσοδο, αντίστοιχα. Η σύνδεση S είναι μια μηχανική θύρα συντήρησης περιστροφής που σχετίζεται με τον άξονα κίνησης της αντλίας. Η θετική κατεύθυνση του μπλοκ είναι από τη θύρα T στη θύρα P. Αυτό σημαίνει ότι η αντλία παρέχει ροή στη θύρα P καθώς ο κινητήριος άξονάς της περιστρέφεται προς στην θετική κατεύθυνση.



**Hydraulic Reference:** Είναι η δεξαμενή που περιέχει το λάδι που χρησιμοποιεί το σύστημά μας.



**Pressure Relief Valve:** Αυτό το μπλοκ αντιπροσωπεύει μια βαλβίδα εκτόνωσης υδραυλικής πίεσης. Η βαλβίδα παραμένει κλειστή, ενώ η πίεση στην είσοδο της είναι χαμηλότερη από την προκαθορισμένη πίεση της βαλβίδας. Όταν επιτευχθεί η προκαθορισμένη πίεση ανοίγει ένα πέρασμα μεταξύ της εισόδου και της εξόδου. Κάποιο υγρό εκτρέπεται στη δεξαμενή μέσω ενός στομίου, μειώνοντας έτσι την πίεση στην είσοδο. Αν αυτή η παροχή δεν είναι αρκετή και η πίεση συνεχίζει να αυξάνεται, το πέρασμα ανοίγει περαιτέρω μέχρις ότου να φθάσει στο μέγιστο του. Οι συνδέσεις A και B είναι θύρες υδραυλικής συντήρησης. Η θετική κατεύθυνση του μπλοκ είναι από τη θύρα A στη θύρα B.

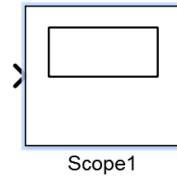


Hydraulic Fluid1

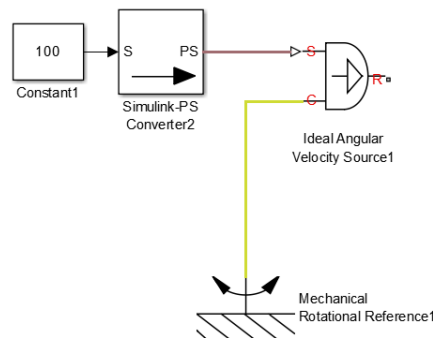
**Hydraulic Fluid:** Το μπλοκ αντιστοιχεί σε λειτουργικό υγρό για όλα τα εξαρτήματα που συναρμολογούνται σε έναν συγκεκριμένο βρόχο. Δηλαδή είναι το λάδι του συστήματος.



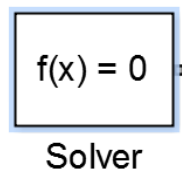
Multiplex: Ενώνει δυο σήματα, ένα της εισόδου και ένα της εξόδου.



Scope: Είναι ο παλμογράφος που μας δείχνει την έξοδο του συστήματος.



Συνδιάζοντας αυτά τα blocks ρυθμίζουμε το πόσο γρήγορα θα περιστρέφεται η αντλία οπότε και το ρυθμό που θα διοχετεύεται το λάδι στο σύστημα.



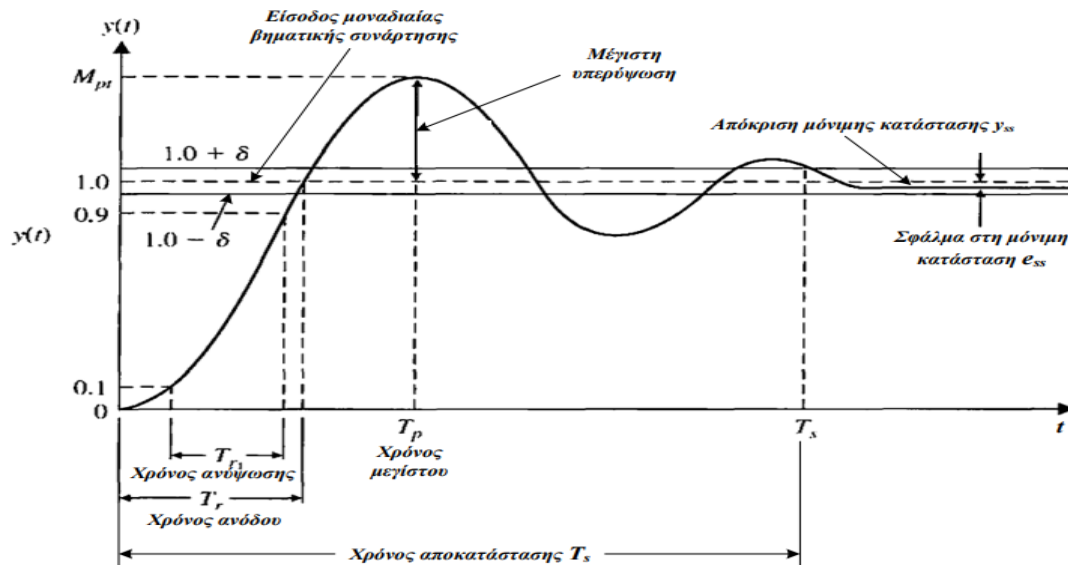
Solver Configuration : Ορίζει τις ρυθμίσεις που χρησιμοποιούμε στην προσομοίωση.

Πρωτίστως πρέπει να τροφοδοτήσουμε την αντλία του συστήματος και αυτό γίνεται ρυθμίζοντας το block Constant , το οποίο θα μας δώσει μια σταθερά, που μέσω του block Converter μετατρέπεται από ψηφιακό σήμα σε αναλογικό, με σκοπό να ρυθμίσουμε τις στροφές που θα δουλέψει η αντλία για να παρέχει το λάδι στο σύστημα. Ανάλογα με τη φορά που διοχετεύεται το λάδι στη βαλβίδα (τριών θέσεων ,τεσσάρων οδών) έχουμε και την ανάλογη κίνηση του εμβόλου δεξιά ή αριστερά.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

Πειραματικό Στάδιο :

Βηματική απόκριση συστήματος και προδιαγραφές στο πεδίο του χρόνου



Η μεταβατική απόκριση ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι σημαντική αφού είναι επιθυμητό το μέτρο και η χρονική της διάρκεια να κυμαίνονται μέσα σε ανεκτά όρια.

Χρόνος ανόδου  $T_r$  : Ως χρόνος ανόδου ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται έτσι ώστε η μοναδιαία βηματική απόκριση να ανέλθει από το 0% στο 100% της τελικής της τιμής.

Χρόνος ανύψωσης  $T_{r1}$  : Ως χρόνος ανύψωσης ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται έτσι ώστε η μοναδιαία βηματική απόκριση να ανέλθει από το 10% στο 90% της τελικής της τιμής.

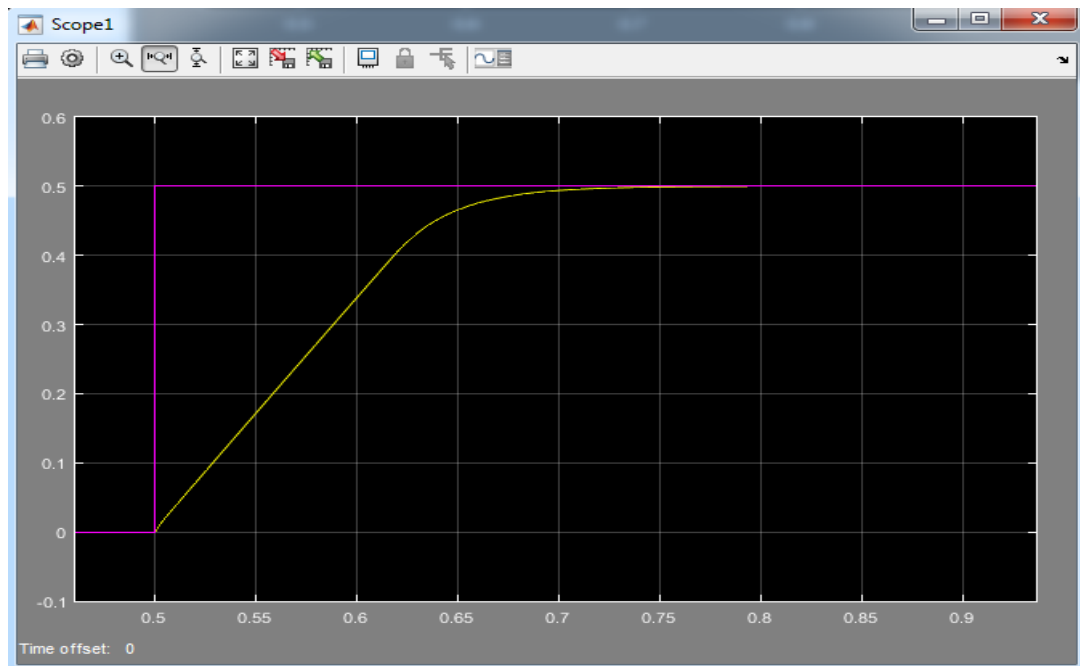
Χρόνος μεγίστου  $T_p$  : Ως χρόνος μεγίστου ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται έτσι ώστε να έχουμε τη μέγιστη υπερέκταση της μοναδιαίας βηματικής απόκρισης.

Χρόνος αποκατάστασης  $T_s$  : Ως χρόνος αποκατάστασης ορίζεται το χρονικό διάστημα που απαιτείται έτσι ώστε η έξοδος του συστήματος να “ηρεμήσει” γύρω από μια τιμή, η οποία διαφέρει κατά ένα συγκεκριμένο ποσοστό  $\delta$  σε σχέση με το πλάτος του σήματος εισόδου. Μια συνήθης αποδεκτή τιμή για το  $\delta$  είναι της τάξης του 5%.

Σφάλμα στη μόνιμη κατάσταση  $e_{ss}$  : Ως σφάλμα μόνιμης κατάστασης ορίζεται η διαφορά μεταξύ της απόκρισης στη μόνιμη κατάσταση και της εισόδου αναφοράς.

### 3.1: Ο ελεγκτής P

Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.1$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.

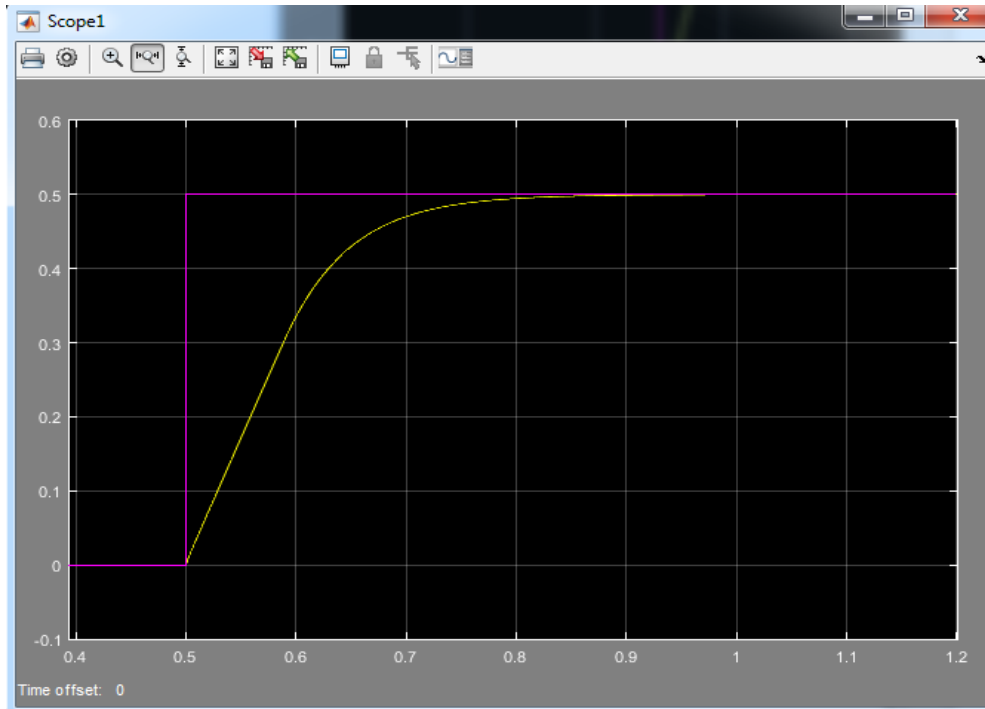


Εικόνα 3.1

Παρατηρούμε ότι το αποτέλεσμα είναι σχετικά καλό και κοντά στη βηματική είσοδο. Ο χρόνος ανύψωσης( είναι περίπου στα 0.65sec, δεν υπάρχει καθόλου υπερύψωση αλλά και το μόνιμο σφάλμα είναι μηδέν. Το μόνο πρόβλημα που παρατηρούμε είναι ότι για τα πρώτα 0.63sec δεν ακολουθεί η έξοδος τόσο καλά την είσοδο και ως εκ τούτου δημιουργείται μια ευθεία (δεν είναι ομαλή η απόκριση).

Προχωράμε σε επόμενες δοκιμές για την εύρεση της καλύτερης πιθανής γραφικής.

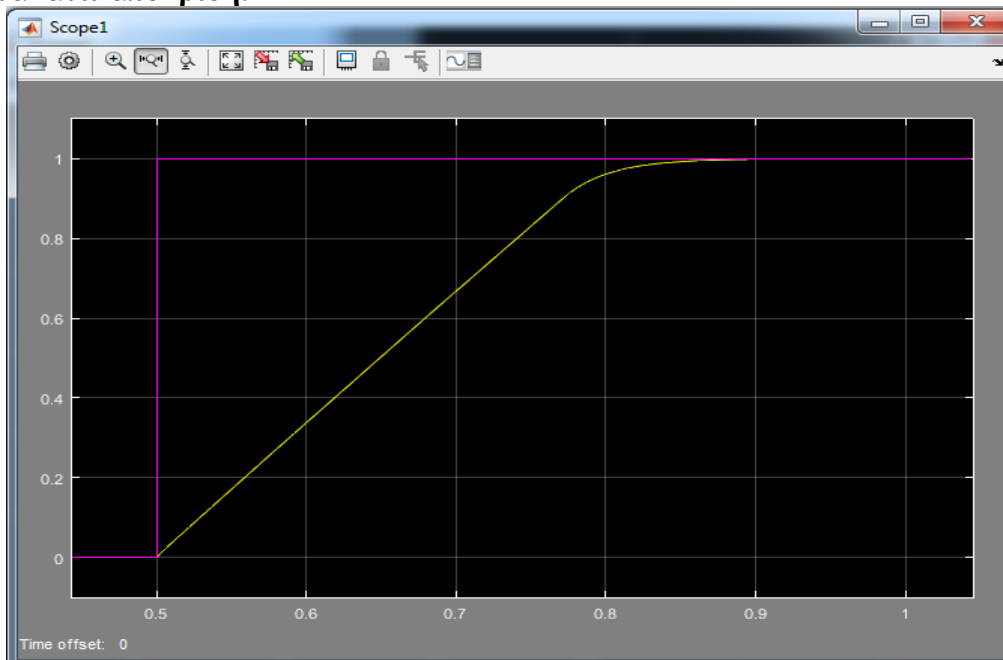
Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.05$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.2

Εδώ βλέπουμε ότι η απόκριση μας είναι αρκετά πιο “ομαλή” από τη προηγούμενη, απλά αυξήθηκε ο χρόνος ανύψωσης από 0.65 στα 0.7 sec που είναι όμως και πάλι επιτρεπτό. Όπως και στη παραπάνω απόκριση δεν υπάρχει υπερύψωση και το μόνιμο σφάλμα είναι μηδενικό. Αυτή είναι και η καλύτερη έξοδος που μπορούμε να πάρουμε για είσοδο 0.5 με τον ελεγκτή  $P$  σε τιμή 0.05 .

Συνεχίζουμε για είσοδο 1 αυτή τη φορά και ελεγκτή  $P=0.1$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.

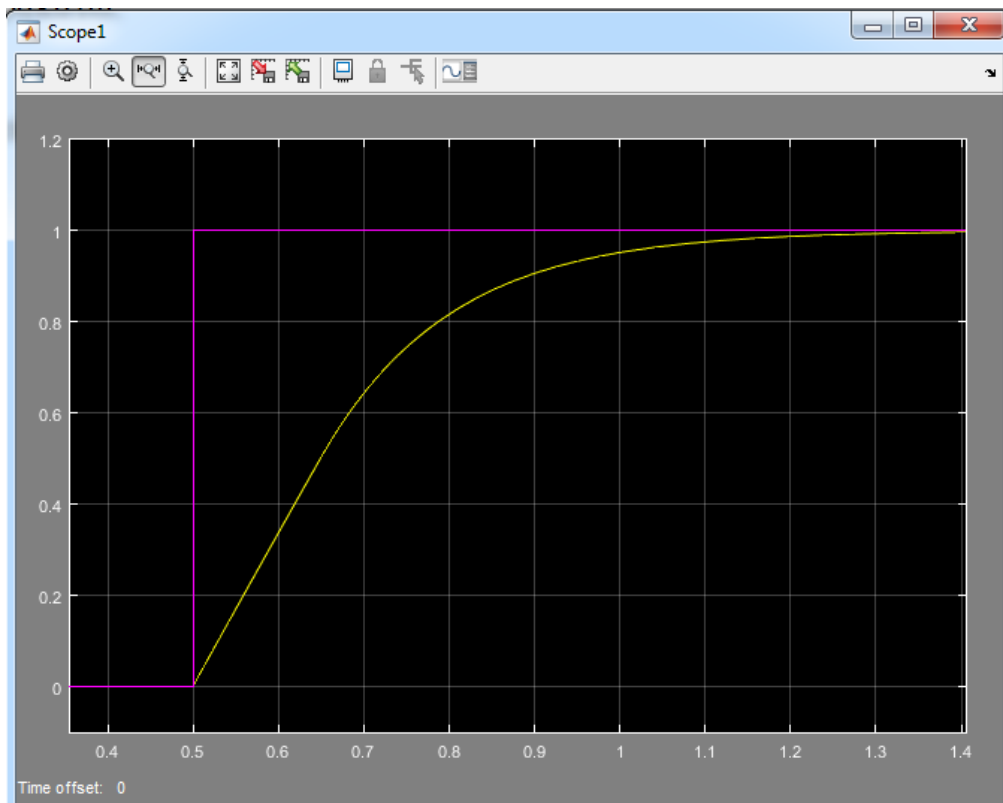


Εικόνα 3.3



Παρατηρούμε ότι και πάλι η έξοδος μας δεν είναι τόσο “ομαλή” να και το αποτέλεσμα δεν είναι κακό. Έχουμε χρόνο ανύψωσης στα 0.77sec και το μόνιμο σφάλμα είναι μηδενικό και εδώ. Θα προσπαθήσουμε να φτιάξουμε όσο γίνεται την απόκριση μας παρακάτω.

**Συνεχίζουμε για είσοδο 1 και ελεγκτή  $P=0.02$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.**



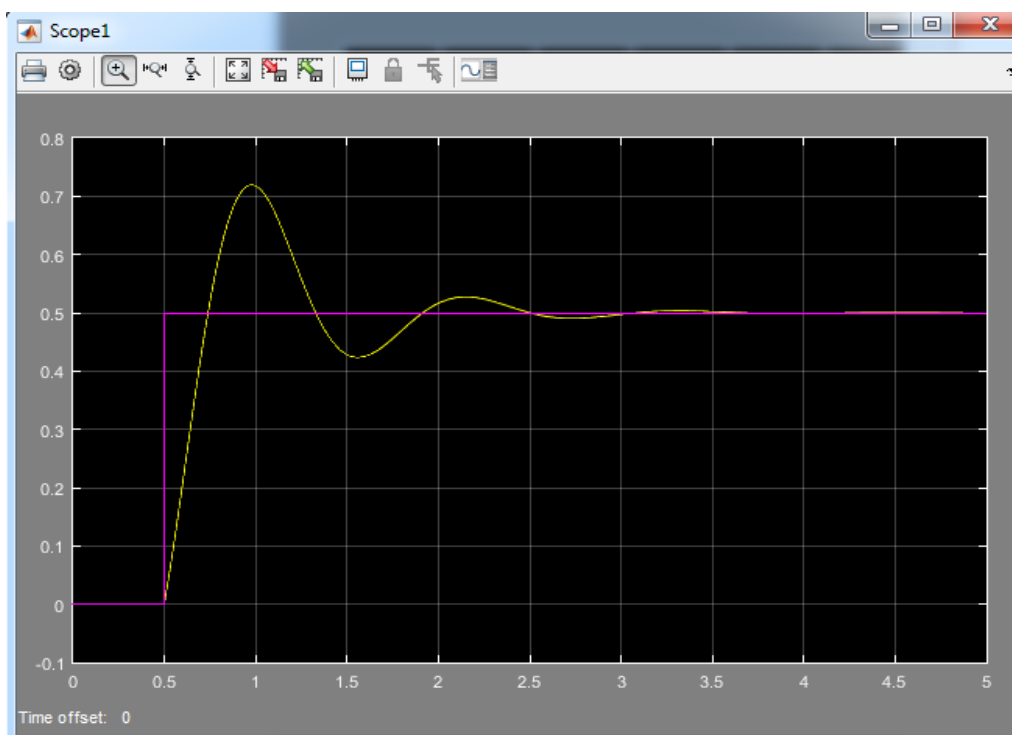
Εικόνα 3.4

Παρατηρούμε ότι η απόκριση μας τώρα είναι πιο “ομαλή”. Ο χρόνος ανύψωσης αυξήθηκε κατά 0.35 sec και από 0.77sec πήγε στα 1.15 sec. Όπως και στις άλλες αποκρίσεις και εδώ το μόνιμο σφάλμα είναι μηδέν.

Γενική παρατήρηση για τον ελεγκτή  $P$  είναι ότι έχουμε ελάχιστα καλύτερες αποκρίσεις όταν η είσοδος μας έχει τη τιμή 0.5.

### 3.2: Ο ελεγκτής PI

Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.01$ ,  $I=0.09$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.

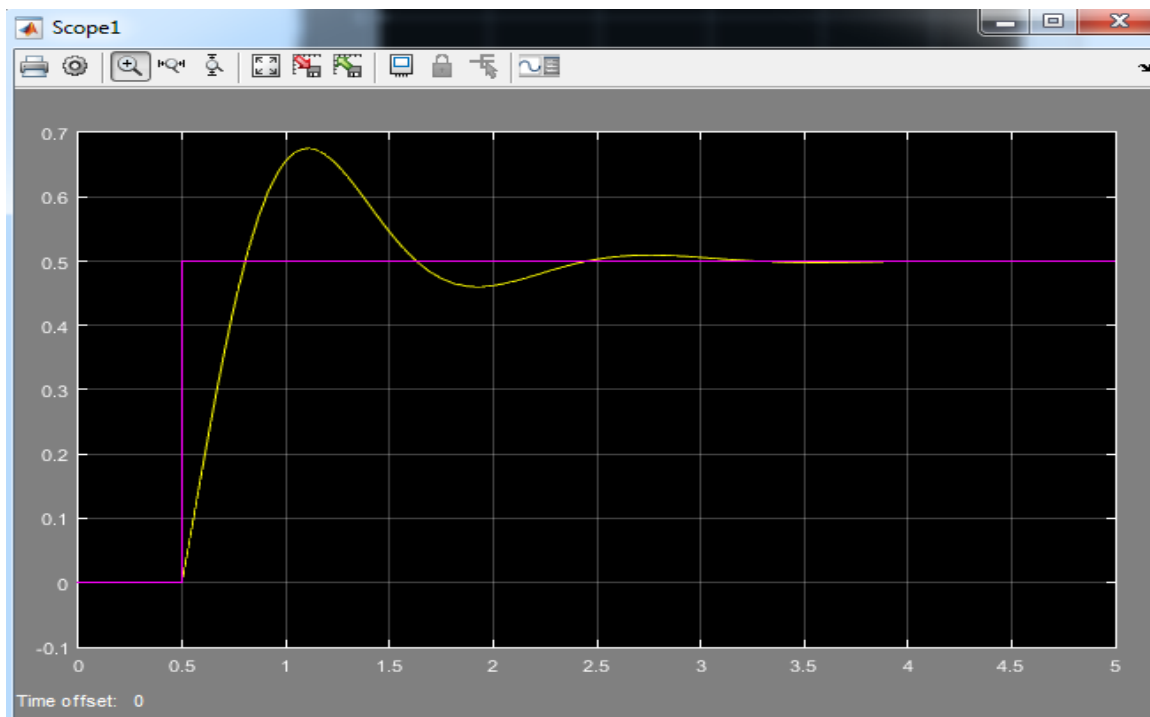


Εικόνα 3.5

Εδώ έχουμε εισάγει και τον όρο της ολοκλήρωσης (integral) και έχουμε ελεγκτή PI. Παρατηρούμε αμέσως ότι η απόκριση μας είναι χειρότερη από τις προηγούμενες, που είχαμε μόνο τον όρο P. Έχουμε υπερύψωση πάνω από την επιτρεπτή τιμή (0,5) της τάξης του 0.23. Έπειτα το σύστημα ταλαντεύεται για 2,5 sec (από το τέλος της μεγαλύτερης τιμής της εξόδου) μέχρις ότου να φτάσει (στα 3,5sec) σε ηρεμία αλλά έχοντας ένα μικρό μόνιμο σφάλμα. Η απόκριση παρότι δεν είναι τόσο κακή σίγουρα δεν είναι η βέλτιστη δυνατή. Το σύστημα είναι αρκετά γρήγορο οι ταλαντώσεις δεν είναι τόσες πολλές και το μόνιμο σφάλμα είναι μικρό αλλά έχει διάφορα από τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Παρακάτω προσπαθούμε να λύσουμε αυτά τα προβλήματα με περεταίρω δοκιμές.

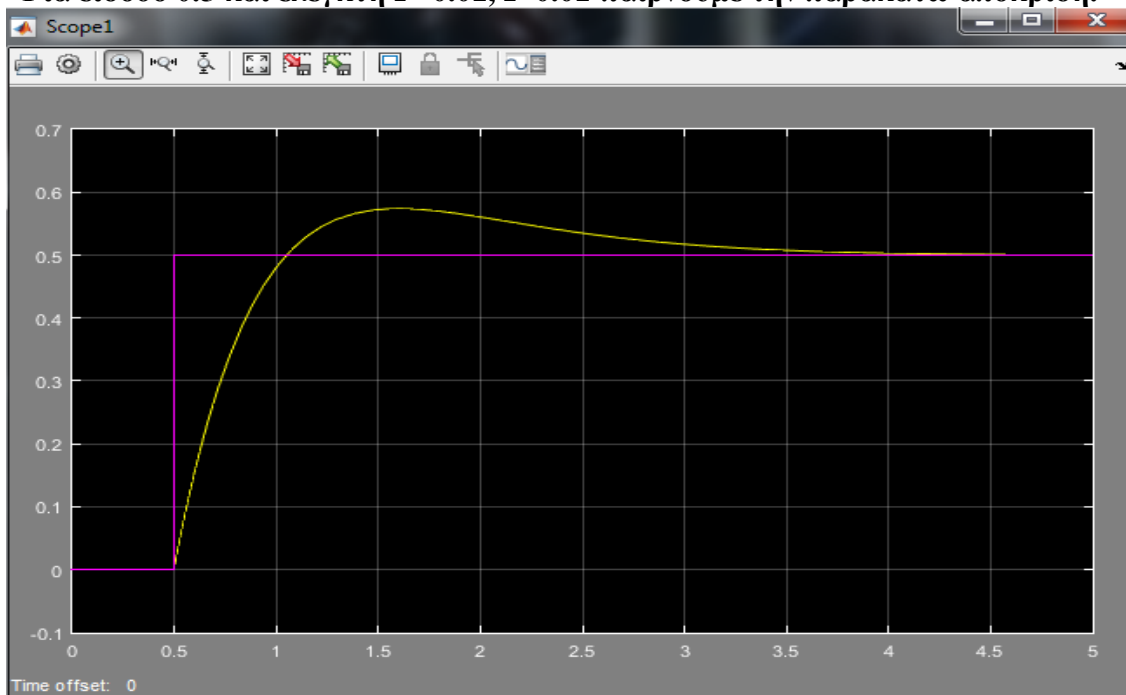
Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.01$ ,  $I=0.05$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.6

Μειώνοντας λίγο τον όρο της ολοκλήρωσης βλέπουμε ότι οι ταλαντώσεις είναι λιγότερες και με μικρότερο πλάτος. Αυτό μας κάνει να καταλάβουμε ότι ο  $I$  Όρος είναι αυτός που δημιουργεί πρόβλημα στον έλεγχο του συστήματος. Το σύστημα είναι μη γραμμικό τρίτης τάξης και γι'αυτό ο  $I$  όρος αντί να "φτιάχνει" το σύστημα, δηλαδή να μειώνει το χρόνο ανύψωσης και να εξαλείφει το μόνιμο σφάλμα, όπως ξέρουμε θεωρητικά ότι είναι η δουλειά του  $I$ , αντιθέτως το χαλάει.

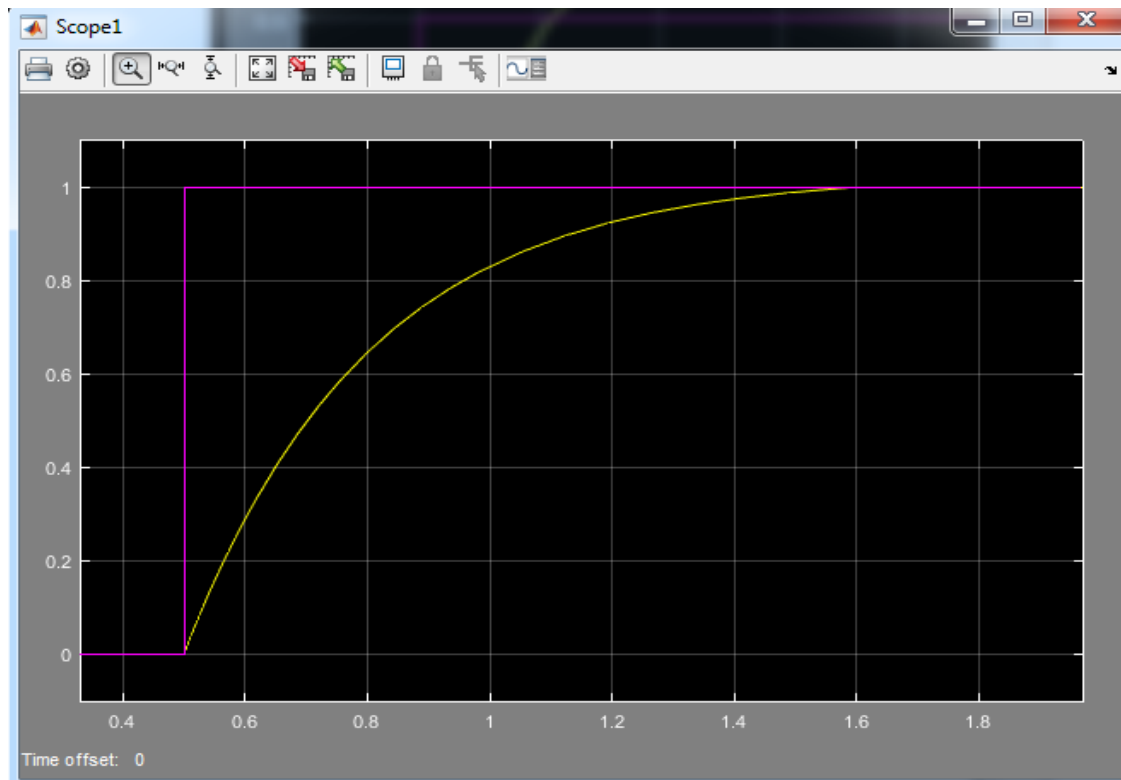
Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.01$ ,  $I=0.01$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.7

Κρατώντας σταθερό πάντα τον P όρο μειώνουμε και άλλο τον I. Βλέπουμε ότι πλέον έχουμε σχεδόν μόνο μια ταλάντωση, αλλά το σύστημα δεν ισορροπεί ποτέ στην επιθυμητή τιμή και έχει, και εδώ, ένα μικρό μόνιμο σφάλμα. Μειώθηκε και άλλο η υπερύψωση και ο χρόνος αποκατάστασης έχει παραμείνει σχεδόν ίδιος κοντά στα 3,5sec. Αυτή είναι και η καλύτερη απόκριση που καταφέραμε να πάρουμε με αυτόν τον ελεγκτή για είσοδο 0,5.

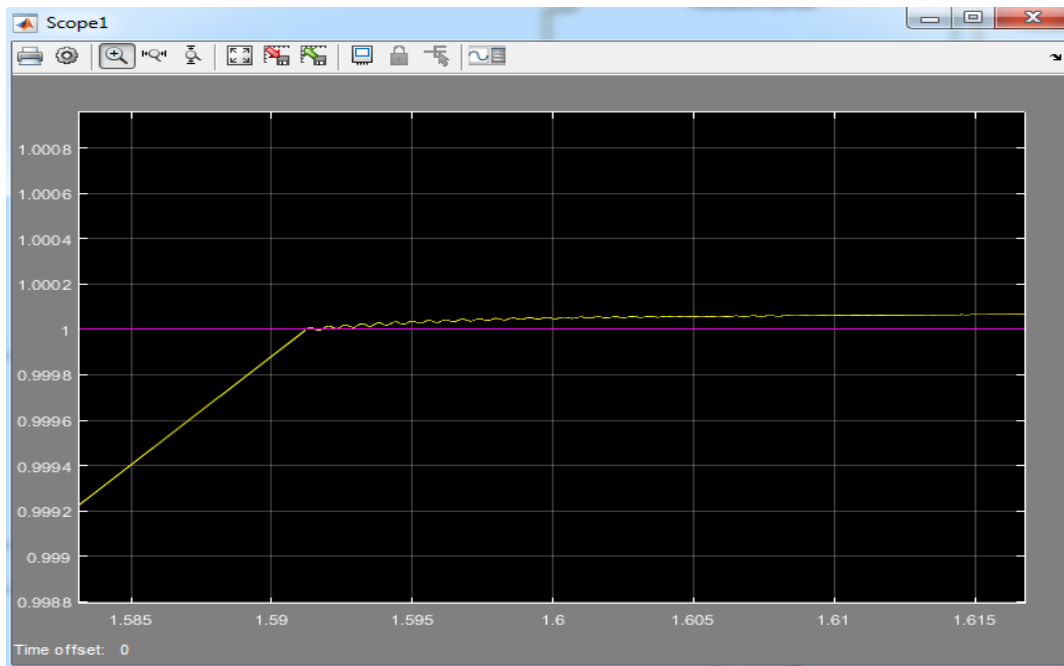
**Για είσοδο 1 και ελεγκτή  $P=0.01$ ,  $I=0.001$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.**



Εικόνα 3.8

Αλλάζοντας την είσοδο από 0.5 σε 1 για τις παραπάνω τιμές του ελεγκτή PI, παίρνουμε μια απόκριση η οποία αρχικά φαίνεται να είναι πολύ καλή, αλλά ο όρος I έχει πάρα πολύ μικρή τιμή. Ο χρόνος ανύψωσης είναι στα 1.6sec και δεν υπάρχει καθόλου υπερύψωση.

Μεγεθύνοντας όμως την απόκριση μας στο σημείο που ενώνεται με την είσοδο (στο 1.6sec) παίρνουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.9

Είναι φανερό και παρότι στην αρχή δε φαινόταν, το σύστημα μας με αυτές τις τιμές, δεν είναι και το καλύτερο δυνατό. Υπάρχουν αρκετές ταλαντώσεις στην έξοδο, δηλαδή έχουμε το φαινόμενο του θορύβου, που δεν είναι επιτρεπτό να υπάρχει σε ένα σύστημα. Τέλος έχουμε και ένα, μικρό μεν, αλλά υπαρκτό δε, μόνιμο σφάλμα στην έξοδο μας, δηλαδή η έξοδος όπως φαίνεται ξεπερνάει την είσοδο-επιθυμητή τιμή.

### Σύγκριση των ελεγκτών P και PI :

Συγκρίνοντας όλες τις απεικονίσεις που πήραμε από τον κάθε ελεγκτή (P και PI) είναι φανερό πως για αυτή τη κατασκευή (έλεγχος ενός υδραυλικού εμβόλου) καλύτερος είναι ο ελεγκτής P. Με αυτόν τον ελεγκτή έχουμε καλύτερες αποκρίσεις και το σύστημα μας παραμένει ευσταθές χωρίς υπερψώσεις, ταλαντώσεις ή μόνιμα σφάλματα. Καλό είναι πάλι να αναφέρουμε το “πρόβλημα” που δημιουργεί στο σύστημα μας ο όρος I. Σε ένα μη γραμμικό σύστημα τρίτης τάξης δε λειτουργούν τα θεωρητικά αποτελέσματα που περιμένουμε κάθε όρος (P-I-D) να μας δώσει.

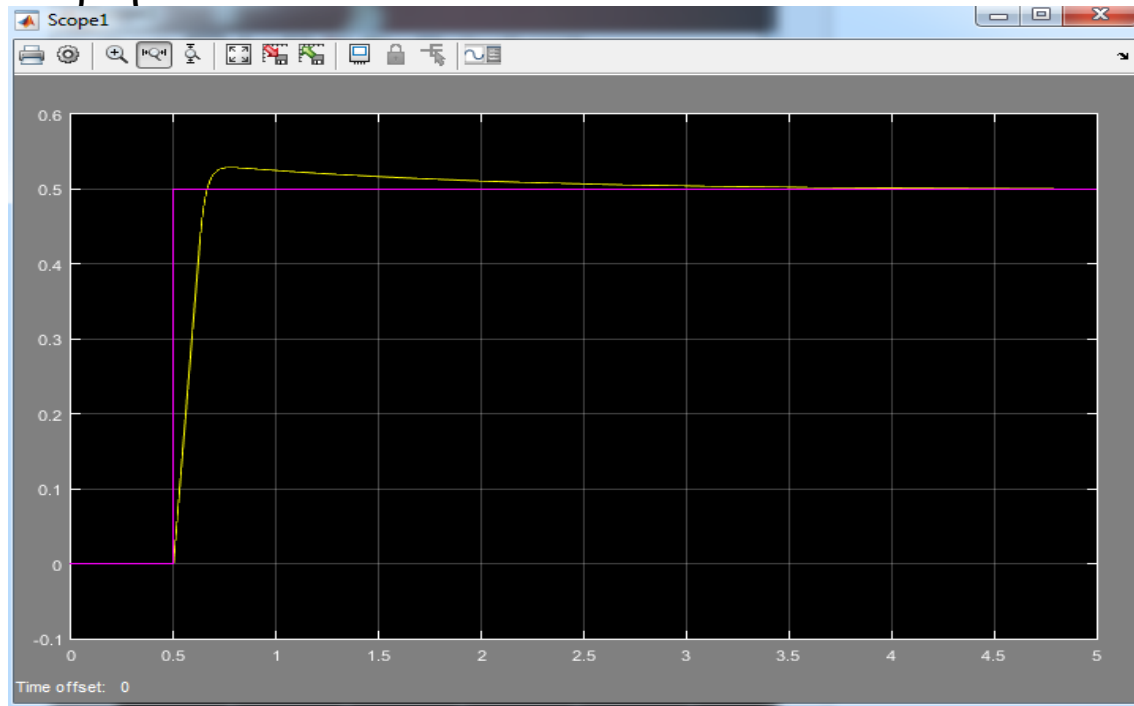
Τα αποτελέσματα της επίδρασης καθενός από τους ελεγκτές  $K_p$ ,  $K_i$  και  $K_d$  σε ένα σύστημα κλειστού βρόγχου :

Αντίδραση Ελεγκτή	Χρόνος Ανύψωσης	Υπερύψωση	Χρόνος Αποκατάστασης	Μόνιμο Σφάλμα
<b><math>K_p</math></b>	Μείωση	Αύξηση	Μικρή Αλλαγή	Μείωση
<b><math>K_i</math></b>	Μείωση	Αύξηση	Αύξηση	Εξάλειψη
<b><math>K_d</math></b>	Μικρή Αλλαγή	Μείωση	Μείωση	Μικρή Αλλαγή

Πίνακας 3.1

### 3.3: Ο ελεγκτής PID

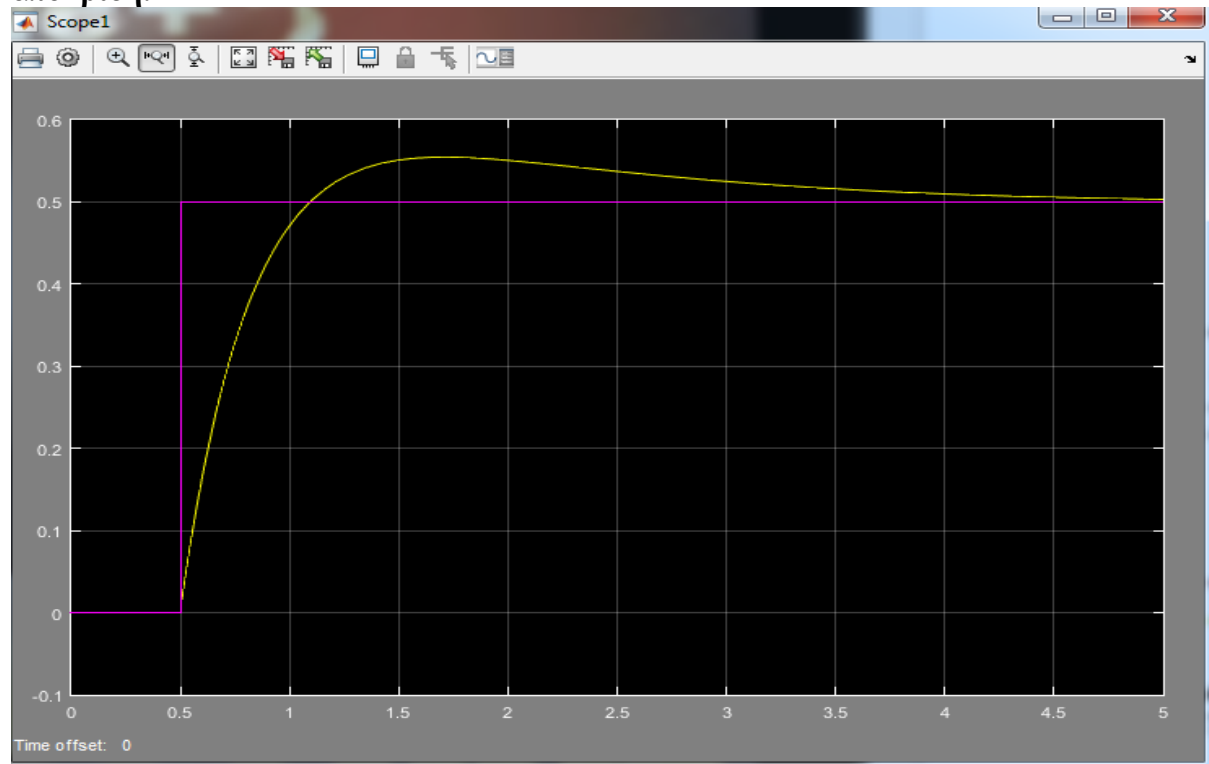
Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.09$   $I=0.09$   $D=0.009$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.10

Έχοντας εισάγει και τον όρο της διαφόρισης (derivative gain) έχουμε τον ολοκληρωμένο ελεγκτή τριών όρων P-I-D. Βλέποντας την απόκριση που παίρνουμε στην έξοδο, παρατηρούμε μια μικρή υπερύψωση πάνω από την επιθυμητή τιμή, η οποία τείνει να πέσει και να πιάσει μια σταθερή τιμή περίπου στα 3.5sec. Βλέπουμε όμως ότι και εδώ έχουμε μόνιμο σφάλμα στην έξοδο μας. Επίσης η απόκριση είναι κάπως “απότομη” και θα θέλαμε να ήταν όσο το δυνατόν πιο ομαλή. Άξιο αναφοράς εδώ είναι το γεγονός ότι ο χρόνος ανύψωσης έχει μειωθεί σημαντικά σε σχέση με τις δοκιμές που κάναμε με τους άλλους ελεγκτές και έχει φτάσει στα 0.6sec.

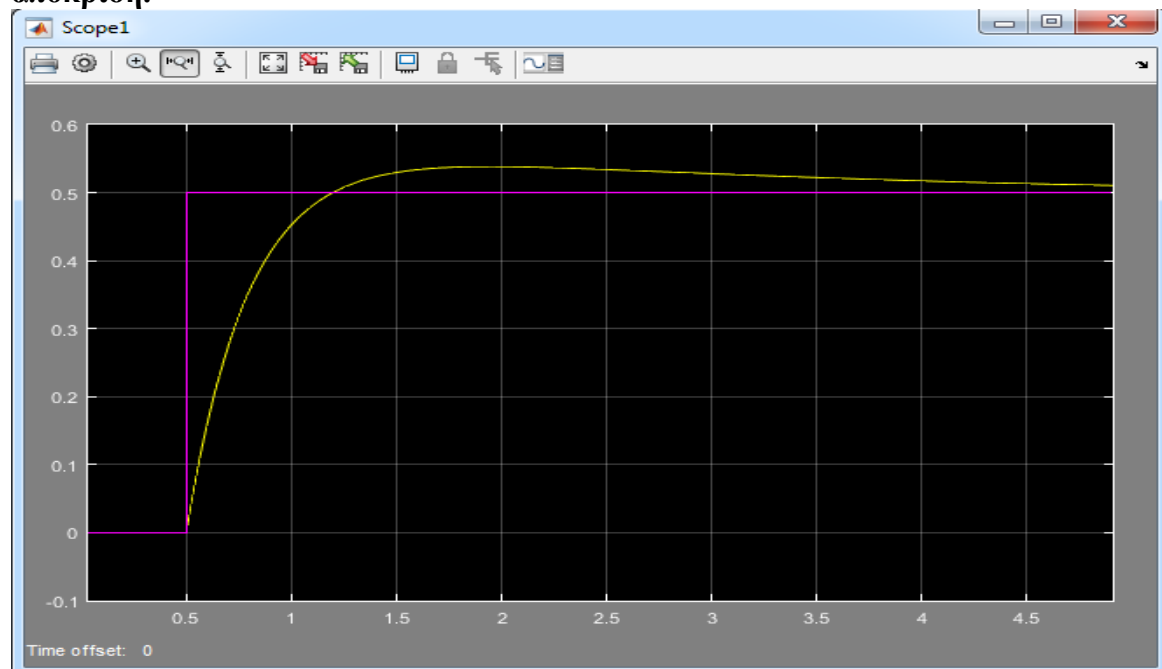
Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.01$   $I=0.008$   $D=0.001$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.11

Αλλάζοντας τις τιμές των κερδών του ελεγκτή καταφέραμε να έχουμε μια πιο ομαλή απόκριση η οποία όμως ακόμα δεν είναι η επιτρεπτή. Αυξήθηκε ο χρόνος ανύψωσης στα 1.1sec, υπάρχει ακόμα υπερύψωση και η έξοδος πιάνει την είσοδο σε μια σταθερή τιμή (λίγο πάνω από το κανονικό) στα 5sec, έναντι 3.5sec που είχαμε στη παραπάνω περίπτωση, διάφορα της τάξης του 1.5sec.

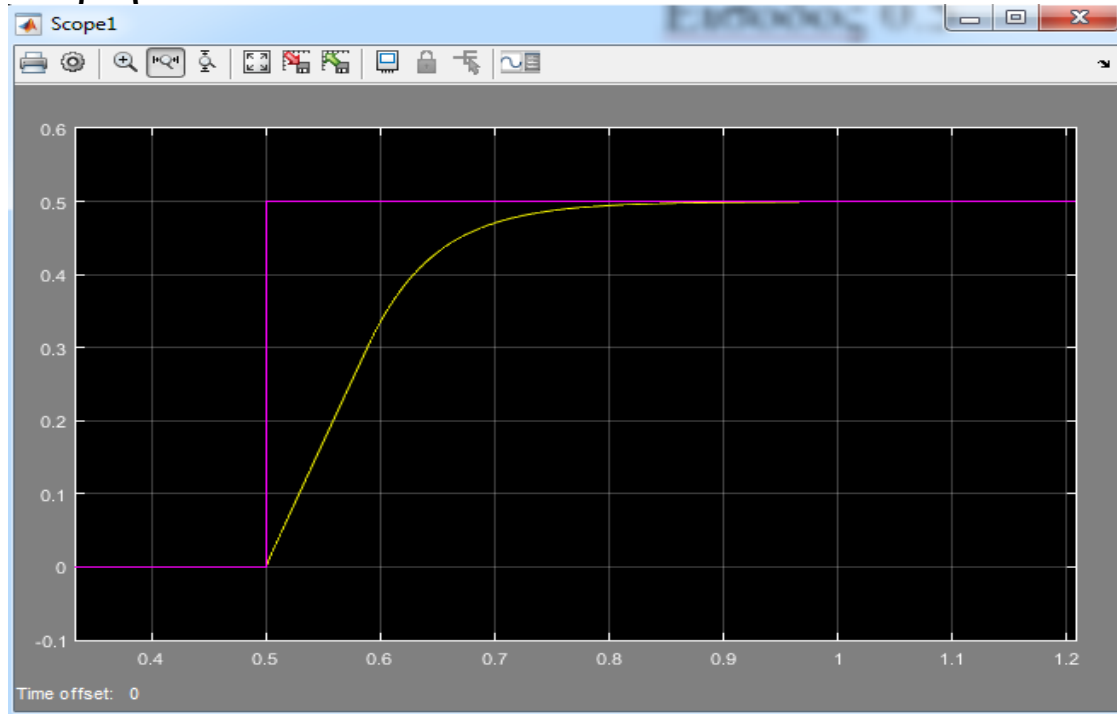
Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.01$   $I=0.005$   $D=0.001$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.12

Αλλάζοντας μόνο τον όρο  $I$  παρατηρούμε μια μικρή μετατόπιση της εξόδου προς τα δεξιά. Δηλαδή, η ανύψωση πήγε στα 1.2sec, μειώθηκε ελάχιστα η υπερύψωση και υπάρχει μεγαλύτερη απόσταση από την έξοδο και την είσοδο στο μόνιμο σφάλμα.

**Για είσοδο 0.5 και ελεγκτή  $P=0.05$   $I=0.00001$   $D=0.001$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.**

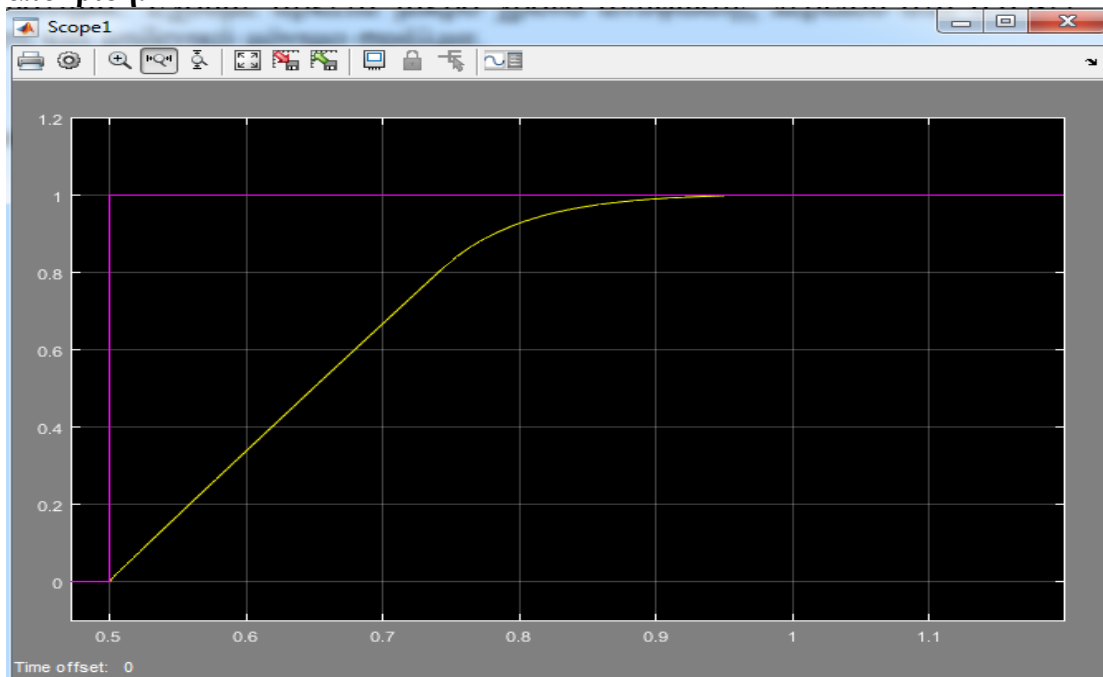


Εικόνα 3.13

Τελειώνοντας τις δοκιμές για είσοδο 0.5 μικραίνουμε αρκετά τον όρο  $I$  και βλέπουμε ότι η απόκριση μας είναι αρκετά καλή, πράγμα που μας δείχνει ότι όντως ο όρος αυτός μας “δυσκολεύει” το σύστημα. Έχουμε αρκετά μικρό χρόνο ανύψωσης περίπου στα 0.65sec, καθόλου υπερύψωση και μηδενικό μόνιμο σφάλμα.



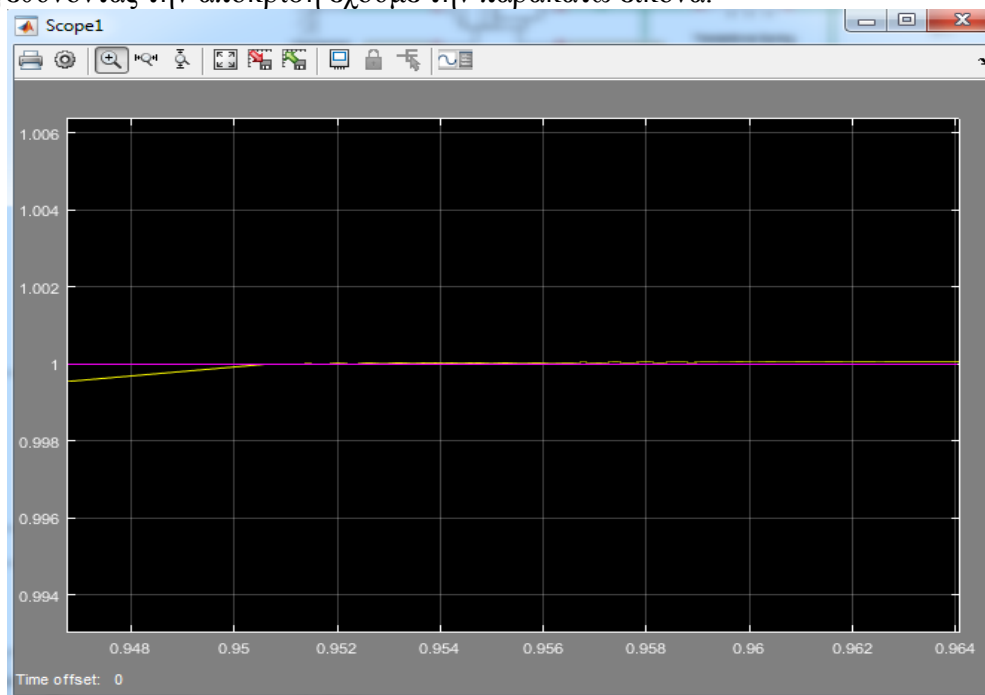
Για είσοδο 1 και ελεγκτή  $P=0.05$   $I=0.002$   $D=0.002$  παίρνουμε την παρακάτω απόκριση.



Εικόνα 3.14

Αλλάζοντας την βηματική μας είσοδο σε 1 παίρνουμε τη παραπάνω απόκριση. Αρχικά φαίνεται αρκετά καλή, αλλά φαίνεται να έχουμε το ίδιο πρόβλημα με τον ελεγκτή P για την ίδια τιμή εισόδου, δηλαδή αρχικά η έξοδος δεν είναι τόσο “ομαλή”. Ο χρόνος ανύψωσης είναι αρκετά μικρός στα 0.8sec χωρίς να έχουμε ταλαντώσεις και η καμπύλη πιάνει την επιθυμητή τιμή γύρο στα 0.95sec χρόνος αρκετά γρήγορος.

Μεγεθύνοντας την απόκριση έχουμε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.15

Βλέπουμε ότι παρότι αρχικά δε φαινόταν στην απόκριση υπάρχει μόνιμο σφάλμα. Αν και μικρό δεν είναι αποδεκτό για το σύστημα μας.

### **Σύγκριση των ελεγκτών P - PI και PID :**

Συγκρίνοντας τους διαφόρους τρόπους έλεγχου, πρώτα P μετά PI και έπειτα PID, παρατηρούμε ότι καλύτερες αποκρίσεις πήραμε στη πρώτη περίπτωση που είχαμε μόνο τον ελεγκτή P. Παρατηρούμε ότι ο όρος I είναι αυτός που προβληματίζει το σύστημα και δημιουργεί υπερυψώσεις, ένα μικρό μόνιμο σφάλμα αλλά και ταλαντώσεις στην έξοδο μας. Η επιλογή του μονού όρου P είναι η καλύτερη δυνατή για τη σωστή λειτουργία του συστήματος. Βλέπουμε όμως πως για είσοδο 0.5 με ελεγκτή PID όταν έχουμε αρκετά μικρό τον όρο I το σύστημα (εικόνα 3.13) έχουμε και εκεί μια πάρα πολύ καλή απόκριση και μέσα στα όρια του επιθυμητού.

## Πηγές-Βιβλιογραφία

1. [http://www.mdlab.mech.ntua.gr/?page\\_id=431](http://www.mdlab.mech.ntua.gr/?page_id=431)
2. <https://www.mathworks.com/videos/modeling-a-hydraulic-actuation-system-68833.html>
3. [https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/6262/5/00\\_master\\_document\\_VER\\_6-KOY.pdf](https://repository.kallipos.gr/bitstream/11419/6262/5/00_master_document_VER_6-KOY.pdf)
4. <https://www.hellinon.net/ancientGreekAutomatic.htm>
5. <https://blogs.sch.gr/2lykklria/files/2015/06/Group1.pdf>
6. <http://physics4u.gr/blog/2017/01/19/james-watt>
7. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CF%81%CF%89%CE%BD> (Ηρών)
8. <http://kotsanas.com/exh.php?exhibit=0204004> (Εικόνα υδραυλικού ωρολογίου Κτησιβίου)
9. <https://www.newspapper.gr/avtes-ine-i-10-kalyteres-idees-tou-leonarnto-nta-vintsi/> (Εικόνες για τις Ιπτάμενες μηχανές Ντα Βίντσι )
10. <https://www.gettyimages.ch/detail/illustration/reconstruction-of-james-watts-steam-engine-1781-grafiken/72882791> (Εικόνα ανακατασκευή της μηχανής του Watt)
11. <https://www.bostondynamics.com/bigdog#&gid=1&pid=4> (Εικόνα Big Dog)
12. <https://www.theverge.com/2018/2/9/16994944/electronic-skin-recyclable-environment-self-heal> (Εικόνα E-Skin)
13. <https://unboxholics.com/news/tech/26030-eksoskeletos-epitrepei-separapligikoys-na-perpatoygn> (Εικόνα Εξωσκελετού)
14. <https://el.wikipedia.org> (Βιομηχανική Επανάσταση)
15. <https://ru.depositphotos.com/67753617/stock-illustration-ship-vector-logo-design-template.html> (Εικόνα ατιμόπλοιου)
16. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%AE>(Μηχανή)
17. <https://en.wikipedia.org/wiki/Excavator> (Εκσκαφέας)
18. [https://www.alibaba.com/product-detail/Excavator-Hydraulic-Cylinder-Boom-Arm-Stick\\_60662963496.html](https://www.alibaba.com/product-detail/Excavator-Hydraulic-Cylinder-Boom-Arm-Stick_60662963496.html) (Υδραυλικά μέρη εκσκαφέα)
19. <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/elevator2.htm> (Ανελκυστήρας)
20. <https://www.ascensionelevators.com/blog/types-advantages-of-rope-hydraulic-elevator-systems/> (Εικόνα Ανελκυστήρα με σκοινιά)
21. <https://www.certifyme.net/osha-blog/forklift-hydraulic-system-works/> (Ανυψωτικά μηχανήματα-Περονοφόρα)

22. <https://www.ehstoday.com/safety/transportation-firm-facing-145420-osha-fines-forklift-and-fall-hazards> (Εικόνα ανυψωτικού μηχανήματος)
23. <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/hydraulic-crane1.htm> (Γερανογέφυρες)
24. <https://science.howstuffworks.com/transport/engines-equipment/skid-steer.htm> (Φορτωτές)
25. [https://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/9970/suppl\\_file/9970\\_chap01.pdf](https://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/9970/suppl_file/9970_chap01.pdf) (Σκοπιμότητα υδραυλικού ελέγχου)
26. [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C\\_%CF%80%CE%B9%CE%B5%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%B1%CF%85%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%80%CE%B9%CE%B5%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF) (Τυπικό Υδραυλικό Φαινόμενο)
27. <http://www.valvehydraulic.info/hydraulic-circuit-design/hydraulic-systems-components.html> (Τυπικά Υδραυλικά Εξαρτήματα)