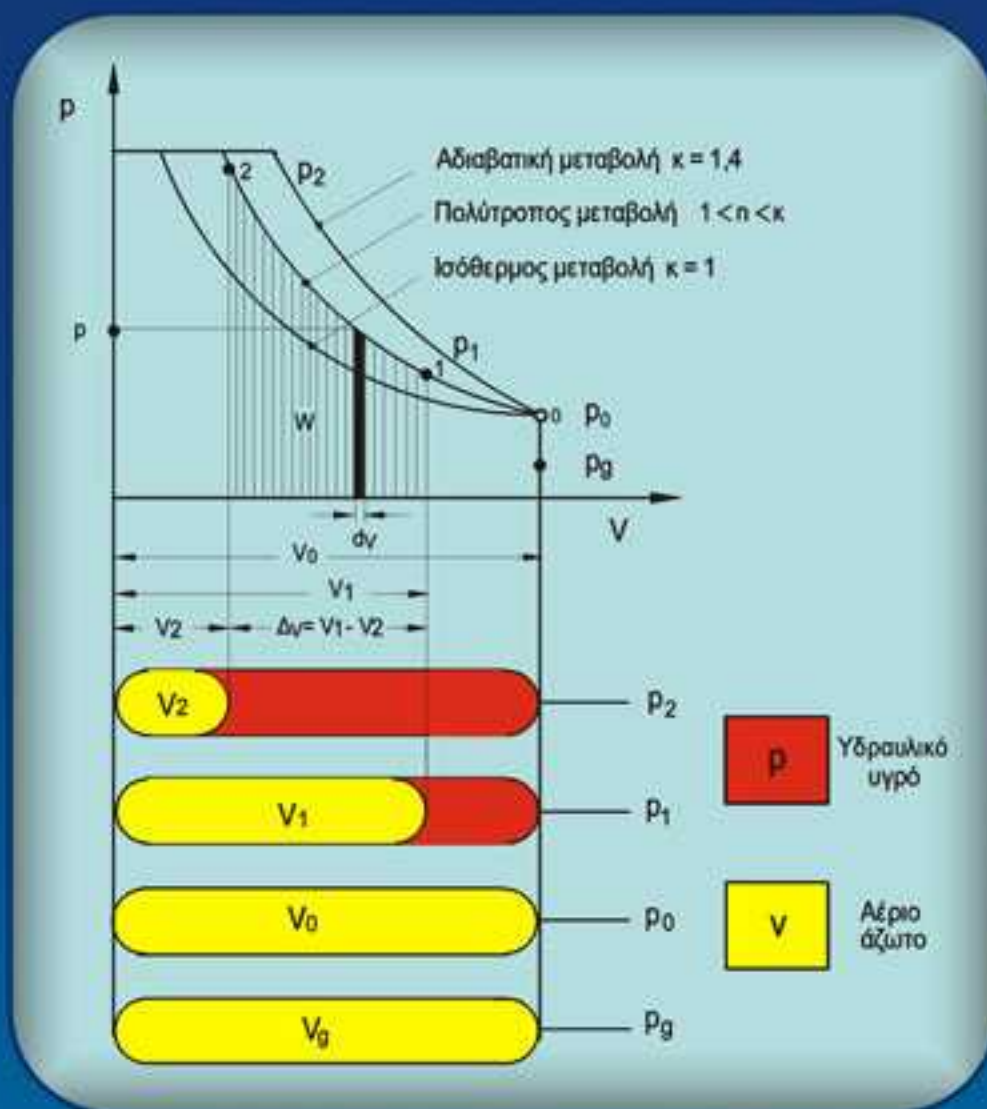


ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ε. ΓΙΑΝΝΑΚΟΠΟΥΛΟΣ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ

ΘΕΩΡΙΑ & ΠΡΑΞΗ

ΤΟΜΟΣ Γ'



Περιεχόμενα

Πρόλογος	9
Πίνακας συμβόλων	11
Κεφάλαιο 1 Ένθετες βαλβίδες (Cartridge Valves).....	15
1.1 Γενικά.....	16
1.2 Βασικά στοιχεία και λειτουργίες.....	18
1.3 Τύποι εμβόλων και πρότυπα μέτρα ένθετων βαλβίδων	20
1.4 Θεμελιώδη λειτουργικά κυκλώματα με ένθετες βαλβίδες	22
1.4.1 Έλεγχος ένθετων βαλβίδων διαμέσου κοινής βαλβίδας πιλότου 4/3	22
1.4.2 Έλεγχος ένθετων βαλβίδων διαμέσου ξεχωριστής βαλβίδας πιλότου.....	26
1.5 Έλεγχος του χρόνου απόκρισης των ένθετων βαλβίδων	29
1.5.1 Διαφραγματική στένωση 1	29
1.5.2 Διαφραγματική στένωση 2	29
1.5.3 Διαφραγματική στένωση 3	30
1.5.4 Άσκηση.....	31
1.6 Ασφάλεια έναντι πτώσης κυλίνδρου έλξης διαμέσου ένθετων βαλβίδων	33
1.7 Βασικοί τρόποι ελέγχου της διεύθυνσης ροής εισόδου στις ένθετες βαλβίδες.....	35
1.7.1 Είσοδος υδραυλικού υγρού ελέγχου από την πόρτα Α.....	35
1.7.2 Είσοδος υδραυλικού υγρού ελέγχου από την πόρτα Β.....	37
1.7.3 Είσοδος υδραυλικού υγρού ελέγχου από αμφότερες τις πόρτες Α και Β.....	38
1.7.4 Είσοδος υδραυλικού υγρού ελέγχου από εξωτερική πηγή	39
1.8 Η ένθετη βαλβίδα στο ρόλο της αντεπιστροφής.....	39
1.8.1 Βαλβίδα αντεπιστροφής με λειτουργία πιλότου	40
1.9 Η ένθετη βαλβίδα στο ρόλο της βαλβίδας ελέγχου πίεσης.....	41
1.9.1 Ένθετες Βαλβίδες ασφάλειας πίεσης έμμεσης λειτουργίας.....	41
1.9.2 Ένθετες Βαλβίδες διαδοχικής δράσης έμμεσης λειτουργίας.....	42
1.9.3 Ένθετες βαλβίδες ρύθμισης ή μείωσης πίεσης έμμεσης λειτουργίας.....	42
1.10 Οι ένθετες βαλβίδες στο ρόλο των βαλβίδων ελέγχου ροής.....	44
1.10.1 Ένθετες βαλβίδες ελέγχου ή ρύθμισης ροής 2 δρόμων	44
1.10.2 Ένθετες βαλβίδες ελέγχου ή ρύθμισης ροής 3 δρόμων	46
1.11 Διάφορα λειτουργικά κυκλώματα με ένθετες βαλβίδες.....	47
1.11.1 Ισοδύναμο γραφικό σύμβολο	47
1.11.2 Ισοδύναμο γραφικό σύμβολο	48
1.11.3 Ισοδύναμο γραφικό σύμβολο	48
1.11.4 Ισοδύναμο γραφικό σύμβολο	49

Κεφάλαιο 2	Συσσωρευτές υδραυλικής ενέργειας και εφαρμογές αυτών (Accumulators)	59
2.1	Γενικά.....	60
2.2	Συσσωρευτές βάρους (Weight accumulators).....	61
2.3	Συσσωρευτές ελατηρίου (Spring accumulators).....	62
2.4	Συσσωρευτές αερίου (Gas pressure accumulators).....	62
2.4.1	Γενικά	62
2.4.2	Συσσωρευτές κύστης ή ασκού (Bladder accumulators)	63
2.4.3	Συσσωρευτές μεμβράνης (Membrane accumulators)	66
2.4.4	Συσσωρευτές εμβόλου (Piston type accumulators).....	67
2.5	Πλήρωση με άζωτο και έλεγχος προφόρτωσης συσσωρευτών αερίου.....	68
2.6	Κανονισμοί ασφαλείας συσσωρευτών	71
2.6.1	Γενικά	71
2.6.2	Μπλοκ ασφαλείας για τη σύνδεση των συσσωρευτών.....	72
2.7	Στοιχεία θερμοδυναμικής για υπολογισμούς επί των συσσωρευτών.....	73
	I. Ισόθερμη μεταβολή	74
	II. Αδιαβατική μεταβολή.....	76
	III. Πολύτροπη μεταβολή.....	78
2.8	Επίλυση ασκήσεων δια-μέσου Νομογραφημάτων.....	80
2.8.1	Επίλυση ασκήσεων με διόρθωση	85
2.9	Διάφοροι έλεγχοι με τη βοήθεια των συσσωρευτών	91
2.9.1	Κύκλωμα εκφόρτωσης αντλίας με υδραυλικό ή ηλεκτρικό έλεγχο διαμέσου συσσωρευτή.....	91
2.9.2	Λειτουργία κατάστασης ανάγκης	92
2.9.3	Έλεγχος κρουστικών φορτίων πίεσης.....	92
2.9.4	Έλεγχος για την αποκατάσταση εσωτερικών διαρροών σε κυκλώματα	96
2.9.5	Έλεγχος εξισορρόπησης όγκου υδραυλικού υγρού από θερμική διαστολή.	98
2.9.6	Συσσωρευτής αερίου σε σύνδεση με επιπρόσθετες φιάλες Αζώτου (Back up accumulator).....	99
2.10	Λειτουργία συσσωρευτή σαν συμπληρωματική πηγή υγρού, σε κύκλωμα με ανομοιόμορφο ζήτηση παροχής υγρού	103
2.10.1	Άσκηση.....	105
2.11	Διάφορες Ασκήσεις.....	115
2.11.1	Άσκηση.....	115
Κεφάλαιο 3	Βαλβίδες ροής (Flow valves)	117
3.1	Γενικά.....	118
3.1.1	Βαλβίδες στραγγαλισμού.....	118
3.1.2	Βαλβίδες ελέγχου ροής.....	118
3.2	Θεωρητικά δεδομένα που διέπουν τη ροή στη θέση στραγγαλισμού (Νόμος Hagen-Poiseuille).....	119
3.3	Βαλβίδες στραγγαλισμού (Throttle valves)	129
3.4	Βαλβίδες ελέγχου ή ρύθμισης ροής (Flow control valves).....	136
3.4.1	Γενικά	136

3.5	Βαλβίδες ελέγχου ροής 2 δρόμων (2-way flow control valves)	137
3.5.1	Απώλειες ισχύος σε κύκλωμα με βαλβίδα ελέγχου ροής δύο δρόμων, το οποίο οδηγείται από αντλία σταθερής παροχής	140
3.5.2	Απώλειες ισχύος σε κύκλωμα με βαλβίδα ελέγχου ροής δύο δρόμων, το οποίο οδηγείται από αντλία μεταβλητής παροχής.	142
3.6	Βαλβίδες ελέγχου ροής 3 δρόμων (3-way flow control valves)	143
3.6.1	Απώλειες ισχύος σε κύκλωμα με βαλβίδα ελέγχου ροής τριών δρόμων, το οποίο οδηγείται από αντλία σταθερής παροχής	144
3.7	Βαλβίδες ελέγχου ροής εμμέσου λειτουργίας (Indirect or pilot operated flow control valves)	146
3.8	Εφαρμογές των βαλβίδων ροής	147
3.8.1	Προέλεγχος της ροής (Meter – in or primary control).....	148
3.8.2	Μεταέλεγχος της ροής (Meter – out or secondary control).....	149
3.8.3	Παρακαμπτήριος έλεγχος της ροής (By-pass control)	151
3.9	Αποφυγή αναπήδησης κατά την εκκίνηση του στοιχείου εργασίας	152
3.10	Διάφορα υδραυλικά κυκλώματα ελέγχου	153
3.11	Διαιρέτες ροής (Flow dividers).....	157
3.11.1	Διάφορα κυκλώματα ελέγχου με διαιρέτες ροής.....	160

Κεφάλαιο 4 Γραφική παρουσίαση ακολουθιακών ελέγχων (Step-motion diagrams).....165

4.1	Γενικά.....	166
4.2	Διάγραμμα μετακίνησης-βήματος (Displacement-Step diagram or Step-Motion diagram)	166
4.3	Διάγραμμα χρόνου- βήματος (Displacement-Time diagram or Time-Motion diagram)	168
4.4	Διάγραμμα ελέγχου (Control diagram).....	169
4.5	Χαρακτηρισμός στοιχείων εργασίας, αισθητηρίων προσέγγισης και κατασκευή υπομνήματος σε ένα υδραυλικό σχέδιο.....	176
4.6	Ηλεκτρικό διάγραμμα κυκλώματος	178
4.6.1	Συμβολισμοί ακροδεκτών σε ηλεκτρικά στοιχεία ελέγχου	178
4.6.2	Αριθμητικοί χαρακτηρισμοί ακροδεκτών σε ηλεκτρονόμους (ρελέ)	179
4.6.3	Άσκηση.....	185

Κεφάλαιο 5 Φίλτρα υδραυλικού υγρού (Filters)193

5.1	Γενικά.....	194
5.2	Συστήματα ταξινόμησης του βαθμού ρύπανσης των υγρών.....	197
5.3	Χαρακτηριστικές τιμές φίλτρων	199
5.4	Υλικά κατασκευής στοιχείων φίλτρων	201
5.4.1	Στοιχεία φίλτρων επιφανειακού τύπου	201
5.4.2	Στοιχεία φίλτρων βαθέως τύπου.....	202
5.5	Θέση των φίλτρων σε ένα υδραυλικό κύκλωμα	202
5.5.1	Φίλτρο αναρρόφησης (Suction filter).....	202
5.5.2	Φίλτρο πίεσης (High-pressure filter)	203
5.5.3	Φίλτρο επιστροφής (Return-line filter).....	204
5.5.4	Παρακαμπτήρια διάταξη φίλτρου (By-pass filter)	205
5.6	Υπολογισμός του μεγέθους ενός φίλτρου.....	206
5.7	Άσκηση	209

Κεφάλαιο 6	Δεξαμενές υδραυλικού υγρού (Tanks).....	211
6.1	Γενικά.....	212
6.2	Σχεδιαστικά δεδομένα δεξαμενών υδραυλικού υγρού.....	213
6.3	Θεμελιώδεις αρχές θερμότητας.....	217
6.3.1	Μονάδες μέτρησης θερμοκρασίας.....	217
6.3.2	Θερμική χωρητικότητα.....	217
6.4	Τρόποι διάδοσης της θερμότητας	218
6.4.1	Διάδοση θερμότητας με αγωγή.....	218
6.4.2	Διάδοση θερμότητας με αγωγή σε κυλινδρικά τοιχώματα	220
6.4.3	Διάδοση θερμότητας διά μεταφοράς ή ρευμάτων	221
6.4.4	Διάδοση θερμότητας με αγωγή και μεταφορά.....	222
6.5	Θερμικές απώλειες (θερμοκρασία λειτουργίας)	223
Κεφάλαιο 7	Εναλλάκτες Θερμότητας (Heat exchangers)	231
7.1	Γενικά.....	232
7.2	Ψυγεία υδραυλικού υγρού (Coolers)	232
7.2.1	Υδροψυκτα ψυγεία υδραυλικού υγρού.....	232
7.2.2	Αερόψυκτα ψυγεία υδραυλικού υγρού.....	235
7.2.3	Θερμαντήρες υδραυλικού υγρού	235
Κεφάλαιο 8	Στοιχεία ελέγχου και ενδείξεις (Pressure switches, signal converters)	237
8.1	Πρεσοστάτες (Pressure switches)	237
8.2	Όργανα ένδειξης πίεσης (Pressure gauges).....	238
Κεφάλαιο 9	Ανάλυση εσωτερικών-εξωτερικών δυνάμεων που εφαρμόζονται σε έναν κύλινδρο.....	243
9.1	Ανάλυση δυνάμεων.....	244
9.2	Σύνολο δυνάμεων που εφαρμόζονται σε έναν υδραυλικό κύλινδρο	246
9.3	Υπολογισμός στατικής δύναμης κυλίνδρων	248
Κεφάλαιο 10	Επίλυση διαφόρων ασκήσεων από τη βιομηχανία	249
10.1	Ασκήσεις.....	250
	Άσκηση 1	250
	Άσκηση 2	251
	Άσκηση 3	252
	Άσκηση 4	255
	Άσκηση 5	257
10.2	Φύλλο ελέγχου (check list) πρέσας.....	262
	Άσκηση 6	262
	Άσκηση 7	266
	Περιγραφή 8.....	272
	<i>Βιβλιογραφία</i>	<i>279</i>

2.1 Γενικά

Ένας υδραυλικός συσσωρευτής ή αποταμιευτής υδραυλικής ενέργειας, χρησιμοποιείται κυρίως για να αποταμιεύει υδραυλική ενέργεια υπό μορφή υδραυλικής πίεσης. Αυτή την υδραυλική ενέργεια την απελευθερώνει σε δεδομένη στιγμή ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος.

Σε αυτή την περίπτωση ο συσσωρευτής υδραυλικής ενέργειας εργάζεται όπως και ο σφόνδυλος (βολάν) των μηχανών **M.E.K.**, δηλαδή αποταμιεύει (αποθηκεύει) ενέργεια όταν οι απαιτήσεις σε ενέργεια του συστήματος είναι μικρές και αποδίδει αυτή την ενέργεια όταν οι απαιτήσεις σε ενέργεια του συστήματος αυξηθούν, δηλαδή ο συσσωρευτής χρησιμοποιείται γενικά σαν μια δεξαμενή αποθήκευσης υδραυλικής ενέργειας.

Πολλές φορές όταν από ένα υδραυλικό κύκλωμα απαιτείται ένας μεγάλος όγκος ρευστού για ένα μικρό χρονικό διάστημα, ο συσσωρευτής μπορεί σε αυτή την περίπτωση να δώσει τη λύση.

Η υδραυλική αντλία σε ένα κύκλωμα δεν είναι σχεδιασμένη να εργάζεται στο μέγιστο των δυνατοτήτων της (Q, p) παρά μόνο για μικρά χρονικά διαστήματα.

Εάν κατά τη διάρκεια του κύκλου εργασίας, ο απαιτούμενος όγκος του υγρού είναι μικρότερος από το μέγιστο όγκο που μπορεί να δώσει η αντλία, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η διαφορά του όγκου ροής να οδηγείται για την πλήρωση του συσσωρευτή.

Αντίθετα εάν κατά τη διάρκεια του κύκλου εργασίας, απαιτηθεί όγκος υγρού μεγαλύτερος των δυνατοτήτων της αντλίας, τότε αυτός ο επιπλέον όγκος υγρού είναι σχεδιασμένο να δίνεται από τον ήδη φορτωμένο συσσωρευτή.

Άρα σε αυτή την περίπτωση, η χρήση του συσσωρευτή στο κύκλωμα δημιουργεί την προϋπόθεση εκλογής μιας αντλίας μικρότερου μεγέθους παροχής, η οποία εργαζόμενη συνεχώς κατά τη διάρκεια του κύκλου εργασίας στη μέση ισχύ, θα είναι σε θέση να προσφέρει τη συνολική ενέργεια που απαιτεί ο δεδομένος κύκλος λειτουργίας.

Αντίθετα όμως, όταν δεν υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της υδραυλικής ενέργειας, η αντλία θα πρέπει να είναι υψηλότερης παροχής, έτσι ώστε να μπορεί να καλύψει την αιχμή ζήτησης ενέργειας και όταν ο κύκλος λειτουργίας δεν απαιτεί την αιχμή ζήτησης η επιπλέον παροχή να διευθύνεται ελεύθερα στη δεξαμενή του συστήματος.

Φυσικά για να εκμεταλλευτούμε την παραπάνω δυνατότητα που μας προσφέρει ο συσσωρευτής, θα πρέπει το κύκλωμα να παρουσιάζει μια δεδομένη ανομοιομορφία στη ζήτηση της παροχής.

Αν και η παραπάνω εφαρμογή των συσσωρευτών είναι η περισσότερο συνηθισμένη, εν τούτοις η χρήση αυτών επεκτείνεται και σε ένα πλήθος άλλων χρήσιμων εφαρμογών μερικές από τις οποίες είναι:

- Εξομαλύνει τις αιχμές (**Peaks**) της πίεσης του υγρού κατά τη διάρκεια του κύκλου εργασίας του συστήματος, καθώς και τους μηχανικούς κραδασμούς (**Mechanical shocks**).
- Σε περίπτωση απώλειας (διαρροής) υδραυλικού υγρού διαμέσου της ακτινικής χάρης ανοχής που υπάρχει στις συναρμογές των διαφόρων βαλβίδων και μηχανισμών, το αποτέλεσμα της οποίας είναι η απώλεια πίεσης, ο συσσωρευτής αναλαμβάνει να διατηρεί την πίεση για δεδομένα χρονικά διαστήματα.
- Απορροφά τα κρουστικά κύματα πίεσης του υδραυλικού υγρού που παράγονται στο σύστημα από αιφνίδιο κλείσιμο των βαλβίδων ελέγχου, ή από αιφνίδια αύξηση της πίεσης εργασίας.
- Χρησιμοποιείται σαν μια βοηθητική μονάδα για το σταμάτημα μιας λειτουργίας, η οποία έχει ήδη αρχίσει χωρίς την πρόκληση ζημιάς στην αντλία ή τον κινητήρα οδήγησης αυτής, γιατί οι εναλλαγές **εκκίνηση – παύση** ή **αντίστροφα**, πραγματοποιούνται ομαλότερα.
- Σε πολλές περιπτώσεις όπου μεταβολές της θερμοκρασίας σε κλειστά υδραυλικά κυκλώματα δημιουργούν αυξομειώσεις του όγκου του υδραυλικού υγρού λόγω συστοδιαστο-

λών, ο συσσωρευτής καλείται να διατηρεί τον εξωτερικό όγκο του υγρού σε μια ισορροπία.

- Εξομαλύνει σημαντικά το βαθμό ανομοιομορφίας αντλιών με υψηλό κυματισμό ροής υδραυλικού υγρού, όπως είναι π.χ. οι γραναζωτές, εμβολοφόρες αντλίες, **Πίνακας 2.2** (βλέπε ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΠΡΑΞΗ, ΤΟΜΟΣ Β).
- Λειτουργεί σαν μια βοηθητική πηγή ενέργειας για τον έλεγχο βαλβίδων έμμεσης λειτουργίας (με πιλότο) σε κυκλώματα ελέγχου.
- Αξιοποιεί παραλαμβάνοντας την υδραυλική ενέργεια, σε περίπτωση επιβράδυνσης κινουμένων μαζών, η οποία σε διαφορετική περίπτωση θα χάνονταν, μετασχηματιζόμενη σε θερμότητα.

Οι συσσωρευτές υδραυλικής ενέργειας που υπάρχουν σήμερα σε χρήση, διαιρούνται γενικά σε τρεις κύριες κατηγορίες, ανάλογα με το μέσον αντίθλιψης που διαθέτουν για τη συμπίεση του υδραυλικού υγρού.

Έτσι έχουμε:

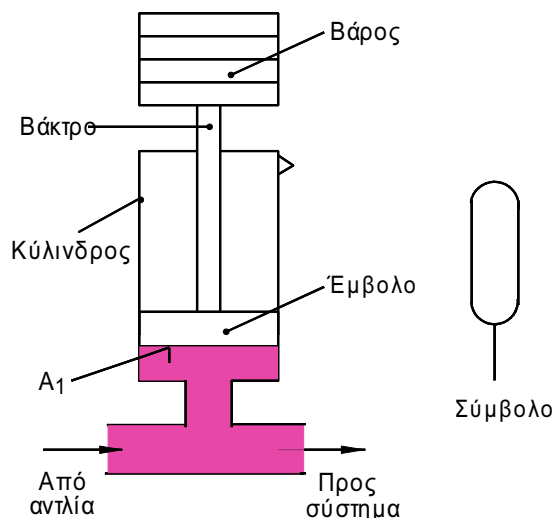
1. Τους συσσωρευτές βάρους
2. Τους συσσωρευτές ελατηρίου
3. Τους συσσωρευτές αερίου

2.2 Συσσωρευτές βάρους (Weight accumulators)

Αυτός ο τύπος του συσσωρευτή υδραυλικής ενέργειας **Σχ. 2.1** χρησιμοποιείται εκεί όπου απαιτείται να αποδοθεί ένας μεγάλος όγκος υδραυλικού υγρού με σταθερή πίεση π.χ. υδραυλικά κυκλώματα πρεσών.

Αποτελείται από το χαλύβδινο κύλινδρο, το κινούμενο έμβολο, το βάκτρο και το αντίβαρο.

Η ποιότητα της επιφάνειας εσωτερικά του κυλίνδρου είναι πολύ υψηλή, με μέγιστη τιμή τραχύτητας (R_t ή $R_{max} = 1,5 \approx 2,5 \mu m$), ή μέση αριθμητική



Σχήμα 2.1 ▶ Συσσωρευτής βάρους.

απόκλιση $R_a = 0,2 - 0,3 \mu m$. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, την ελάττωση της τριβής και της φθοράς των στεγανοποιητικών του εμβόλου από τη συχνή κίνηση, εξασφαλίζοντας έτσι άριστη στεγανότητα για το υδραυλικό υγρό και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Κατά την πλήρωση του αποταμιευτή υδραυλικό υγρό εισέρχεται στον κύλινδρο ανυψώνοντας το έμβολο και το φορτίο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η δυναμική αποθήκευση ενέργειας του βάρους να αυξάνει.

Όταν απαιτηθεί από τις ανάγκες του συστήματος η αποθηκευμένη υπό του βάρους δυναμική ενέργεια, ελευθερώνεται, με αποτέλεσμα την προς τα κάτω κίνηση του εμβόλου. Αυτός είναι και ο λόγος που οι συσσωρευτές βάρους τοποθετούνται μόνο κατακόρυφα, γιατί διαφορετικά θα ήταν αδύνατο να εργαστούν.

Ένα γνώρισμα του παραπάνω τύπου συσσωρευτή είναι ότι εφόσον το ανυψούμενο βάρος παραμένει σταθερό, παράλληλα και η πίεση που εκφορτώνει ο συσσωρευτής θα παραμένει σταθερή σε όλη τη διάρκεια της διαδρομής του εμβόλου ενώ μεταβάλλεται μόνο εάν αλλάξουμε το βάρος που αυτός φέρει.

Ένας συσσωρευτής βάρους μπορεί να αποδώσει μια μέγιστη πίεση υδραυλικού υγρού η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση 2.1.

$$p = \frac{m \cdot 9,81}{A_1} \quad (2.1)$$

Όπου:

p = Πίεση υδραυλικού υγρού σε N/m^2 (Pa).

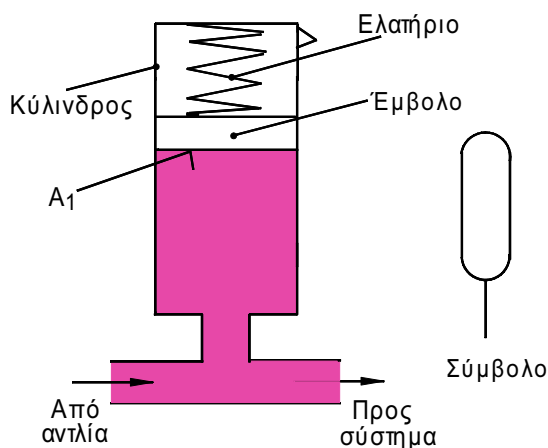
m = Μάζα αντίβαρου σε Kg.

A_1 = Επιφάνεια εμβόλου συσσωρευτή σε m^2 .

Χρησιμοποιείται κυρίως, εκεί όπου απαιτείται η εκφόρτωση μεγάλων όγκων υδραυλικού υγρού υπό σταθερή πίεση, π.χ. μεγάλες πρέσες. Πρακτικά όμως από το τελευταίο τέταρτο του 20ου αιώνα και ύστερα, η χρήση των συσσωρευτών βάρους καθώς και των συσσωρευτών ελατηρίου που θα ασχοληθούμε εν τάχει στη συνέχεια, παρέχουν μόνο εγκυκλοπαιδικό ενδιαφέρον και δεν παρουσιάζουν αντίστοιχο ενδιαφέρον για βιομηχανικές εφαρμογές.

2.3 Συσσωρευτές ελατηρίου (Spring accumulators)

Αυτός ο τύπος του συσσωρευτή υδραυλικής ενέργειας (Σχ. 2.2) χρησιμοποιείται εκεί όπου απαιτούνται μικρές παροχές υδραυλικού υγρού σε χαμηλές πιέσεις.



Σχήμα 2.2 ▸ Συσσωρευτής ελατηρίου

Αποτελείται από το χαλύβδινο κύλινδρο, το ελατήριο και το έμβολο. Η κατασκευή του είναι απλή, αλλά προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για μεγάλες πιέσεις και παροχές υδραυλικού υγρού οι διαστάσεις του αυξάνουν σημαντικά.

Διαφέρει από το συσσωρευτή βάρους, στο ότι η πίεση που εξασκεί στο υγρό σε όλη τη διαδρομή του εμβόλου δεν είναι σταθερή. Αυτή εξαρτάται από το βαθμό συσπίρωσης του ελατηρίου ($l_{\text{συμπ.}}$) και τη σταθερά K αυτού.

Έτσι, η πίεση που εξασκεί στο υδραυλικό υγρό ένας συσσωρευτής ελατηρίου σε δεδομένη διαδρομή του εμβόλου του, δίνεται από τη σχέση 2.2.

$$p = \frac{F}{A_1} \quad (2.2)$$

Όπου:

K = Σταθερά του ελατηρίου σε N/mm .

$l_{\text{συμπ.}}$ = Το μήκος συσπίρωσης του ελατηρίου σε mm.

A_1 = Η επιφάνεια του εμβόλου σε m^2 .

P = Η πίεση που εξασκεί ο συσσωρευτής στο υδραυλικό υγρό σε $\text{Pa} = \text{N/m}^2$

$$F = K \cdot l_{\text{συμπ.}}$$

2.4 Συσσωρευτές αερίου (Gas pressure accumulators)

2.4.1 Γενικά

Οι συσσωρευτές αερίου είναι από τους περισσότερο χρησιμοποιούμενους συσσωρευτές για βιομηχανικές εφαρμογές.

Το αέριο το οποίο γενικά χρησιμοποιείται σε αυτούς είναι το ξηρό Άζωτο (χημικό σύμβολο N_2), αέριο τελείως αδρανές και εντελώς ακίνδυνο όταν έρθει σε επαφή με τα χρησιμοποιούμενα υδραυλικά υγρά συνθετικά και μη.

Σε αυτούς τους τύπους των συσσωρευτών υδραυλικής ενέργειας υπάρχει ένα διαχωριστικό στοιχείο μεταξύ του αερίου και του υδραυλικού υγρού, χαρακτηριστικό της ονομασίας που αυτοί φέρουν. Έτσι έχουμε αντίστοιχα τους συσσωρευτές εμβόλου, μεμβράνης και κύστης ή ασκού.

Ιδιαίτερη σημασία και προσοχή πρέπει να δίνουμε στο είδος του ελαστομερούς¹ υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το διαχωριστικό στοιχείο (κύστη ή μεμβράνη), το οποίο έρχεται σε άμεση επαφή με το υδραυλικό υγρό.

Επίσης για τον ίδιο λόγο θα πρέπει να προσέχουμε και το είδος του υλικού των στεγανοποιητικών του εμβόλου σε συσσωρευτές εμβόλου.

Ανάλογα με τον τύπο και τη μέγιστη θερμοκρασία του υδραυλικού υγρού, πρέπει να χρησιμοποιείται και το κατάλληλο ελαστομερές. Έτσι έχουμε:

Υδραυλικό υγρό	Θερμοκρασιακό εύρος	Ελαστομερές υλικό κύστης – μεμβράνης κατά DIN-ISO 1629
Υδραυλικά ορυκτέλαια	-10 ÷ +80 °C -35 ÷ +80 °C	NBR (Buna N) ECO (Chloromethyl – Ethylene – Oxide Rubber)
Γαλακτώματα HFA, HFB	+5 ÷ +50 °C	NBR (Buna N)
Υδατογλυκόλη HFC	-10 ÷ +60 °C	NBR ή (IIR Butyl Rubber)
Άνυδρα συνθετικά υδραυλικά υγρά HFD	-10 ÷ +60 °C -10 ÷ +80 °C	IIR, FPM (Fluoro Rubber) Εμπορική ονομασία Viton

Πίνακας 2.1 ▶ Επιλογή ελαστομερούς υλικού (κύστης – μεμβράνης) συσσωρευτών, συναρτήσει του είδους του υδραυλικού υγρού και του εύρους της θερμοκρασίας λειτουργίας.

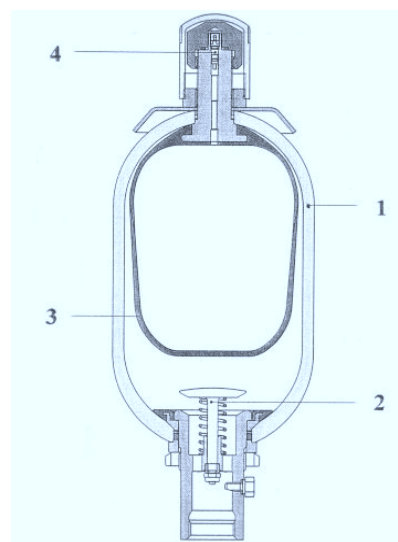
2.4.2 Συσσωρευτές κύστης ή ασκού (Bladder accumulators)

Ένας συσσωρευτής κύστης αποτελείται κυρίως από το χαλύβδινο δοχείο **1**, τη βαλβίδα αερίου **4**, την ελαστική κύστη **3** και τη βαλβίδα υδραυλικού υγρού **2** (Σχ. 2.3).

Η ελαστική κύστη χρησιμοποιείται σαν ένα διαχωριστικό μέσο μεταξύ του υδραυλικού υγρού και του αερίου.

Σημαντική προσοχή και σημασία πρέπει να δίνουμε στο είδος του ελαστομερούς υλικού της ελαστικής κύστης, σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο υδραυλικό υγρό, έτσι ώστε το πρώτο να είναι συμβατό με το δεύτερο, **Πίνακας 2.1**.

Η βαλβίδα υδραυλικού υγρού **2**, χρησιμοποιείται για να εμποδίζει την ελαστική κύστη ή μεμβράνη κατά τη φάση εκτόνωσης, να εισχωρεί στην οπή του χαλύβδινου δοχείου και τοιουτοτρόπως να την προστατεύει από καταστροφή.



Σχήμα 2.3 ▶ Συσσωρευτής κύστης ή ασκού.

¹ Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΘΕΩΡΙΑ & ΠΡΑΞΗ, ΤΟΜΟΣ Α, έργο του ιδίου, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΥΓΡΑ, ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΣΤΕΓΑΝΟΠΟΙΗΣΗΣ, ΠΙΝΑΚΑΣ 1.18.

Κατά τη λειτουργία υδραυλικό υγρό εισέρχεται στο συσσωρευτή ωθούμενο από την πίεση του συστήματος, με αποτέλεσμα ο όγκος του αερίου της ελαστικής κύστης να μειώνεται, ενώ ταυτόχρονα η πίεση του αερίου εσωτερικά της κύστης να αυξάνεται. Όταν η πίεση του συστήματος ελαττωθεί, το υπό πίεση αέριο εκτονώνεται πιέζοντας το αποθηκευμένο υγρό μέσα στο κύκλωμα, έως ότου μεταξύ των δύο πιέσεων υδραυλικού υγρού και αερίου επέλθει εξισορρόπηση.

Συσσωρευτές οι οποίοι χρησιμοποιούν ελαστική κύστη ή μεμβράνη σαν διαχωριστικό στοιχείο μεταξύ υδραυλικού υγρού και αερίου, έχουν υψηλό βαθμό απόδοσης και λειτουργούν πρακτικά με μηδενική αδράνεια. Αυτό απορρέει αρχικά από τη μικρή μάζα του ελαστικού διαχωριστικού, την ανυπαρξία απωλειών από μηχανικές τριβές και τέλος τον απόλυτο διαχωρισμό μεταξύ των δύο μέσων (αερίου — υδραυλικού υγρού).

Οι αποταμιευτές κύστης χρησιμοποιούνται για μέγιστες περιοχές πιέσεων (p_{max}) από **35** έως **550 bar** με αντίστοιχα μεγέθη από **0,2** έως **450 lit**.

Εάν συμβολίσουμε με:

- p_0 Την πίεση προφόρτωσης του αερίου αζώτου, σε bar, η μέτρηση της οποίας πραγματοποιείται όταν ο συσσωρευτής είναι εκφορτωμένος².
- P_1 Την ελάχιστη απαιτούμενη πίεση εργασίας του υδραυλικού κυκλώματος για την ασφαλή εκτέλεση της, σε bar.
- P_2 Τη μέγιστη πίεση λειτουργίας (p_{max}) του υδραυλικού κυκλώματος, (τιμή ρύθμισης της βαλβίδας ασφάλειας του κυκλώματος), σε bar.
- V_0 Τον όγκο του αερίου αζώτου υπό πίεση p_0 , ο οποίος ορίζει και τον όγκο του συσσωρευτή, σε lit.

² Εκφορτωμένος ονομάζεται ένας συσσωρευτής ο οποίος δεν έχει καθόλου συσσωρευμένη υδραυλική ενέργεια. Εάν πρόκειται για συσσωρευτή εμβόλου, το έμβολο είναι τελείως κάτω, ενώ εάν πρόκειται για συσσωρευτή κύστης ή ασκού, η ελαστική κύστη ή μεμβράνη αντίστοιχα, έχει το μεγαλύτερο δυνατό όγκο (V_0).

V_1 Τον όγκο του αερίου αζώτου, υπό πίεση p_1 , σε lit.

V_2 Τον όγκο του αερίου αζώτου, υπό την επίδραση της μέγιστης πίεσης λειτουργίας p_2 του υδραυλικού κυκλώματος, σε lit.

T_0 Τη θερμοκρασία προφόρτωσης του αερίου αζώτου, σε βαθμούς Kelvin (K).

T_{min} Την ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος, σε βαθμούς Kelvin (K).

T_{max} Τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος, σε βαθμούς Kelvin (K).

Τότε έχουμε για το συσσωρευτή κύστης ότι η μέγιστη σχέση πιέσεων, p_2 / p_0 ή η μέγιστη πίεση του υδραυλικού υγρού (p_2), δεν πρέπει να υπερβαίνει το τριπλάσιο της πίεσης προφόρτωσης (p_0) του αερίου αζώτου, διαφορετικά η ελαστικότητα της κύστης επηρεάζεται σημαντικά.

$$\text{Δηλαδή: } p_2 \leq (2 + 3) \cdot p_0$$

Σε αντίθετη περίπτωση υψηλότερες διαφορές μεταξύ των πιέσεων p_0 και p_2 , έχουν σαν αποτέλεσμα την ανύψωση της θερμοκρασίας του αερίου και κατ' επέκταση την ελάττωση της διάρκειας ζωής της κύστης.

Από την άλλη πλευρά όμως φυσικά αυτό επιδρά αρνητικά γιατί ελαττώνει το διαθέσιμο όγκο (Δv) του υγρού σε ένα συσσωρευτή και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Επιπρόσθετα, η πίεση προφόρτωσης του αερίου αζώτου p_0 , για τους τύπους των συσσωρευτών αερίου με ελαστική φούσκα, πρέπει να είναι ελαφρώς μικρότερη από την ελάχιστη πίεση λειτουργίας p_1 του κυκλώματος στη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας (T_{max}), έτσι ώστε, η κύστη ή η μεμβράνη να μην κτυπά συνεχώς πάνω στη βαλβίδα του υδραυλικού υγρού και φθείρεται.

Άρα έχουμε:

Για αποθήκη ενέργειας

$$p_{0(T_{max})} \leq 0,9 \cdot p_1 \quad (2.3a)$$

Για εξομάλυνση αιχμών πίεσης

$$p_{0(T_{\max})} = 0,6 \div 0,9 p_1 \quad (2.3\beta)$$

Για απορρόφηση κρουστικών κυμάτων πίεσης.

$$p_{0(T_{\max})} = 0,6 \cdot p_1 \quad (2.3\gamma)$$

Για λειτουργία κατάστασης ανάγκης

$$p_{0(T_{\max})} = p_1 \quad (2.3\delta)$$

ΠΡΟΣΟΧΗ

Η προτεινόμενη πίεση προφόρτωσης (p_0) του αερίου αζώτου δίνεται από τους κατασκευαστές και αναφέρεται πάντα στη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος ($T_{\max}$).

Για τον υπολογισμό και ενδεχομένως τον έλεγχο της πίεσης προφόρτωσης p_0 του αερίου αζώτου σε ένα συσσωρευτή, σε μία τυχαία θερμοκρασία κατά τη στιγμή της πλήρωσης, έστω T_0 διαφορετική της $T_{\max}$, χρησιμοποιούμε τη σχέση 2.4 της **ισόχωρης μεταβολής** κατά την οποία μεταβάλλεται η πίεση και η θερμοκρασία του αερίου, ενώ ταυτόχρονα ο όγκος του διατηρείται σταθερός.

Οι πιέσεις και οι θερμοκρασίες στη σχέση 2.4 (σχέση ισόχωρης μεταβολής) τοποθετούνται κατ' απόλυτο τιμή (απόλυτος πίεση και απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς **Kelvin**).

$$p_{0(T_0)} = p_{0(T_{\max})} \cdot \frac{T_0}{T_{\max}} \quad (2.4)$$

Όπου:

$p_{0(T_0)}$ Πίεση³ προφόρτωσης αερίου αζώτου σε θερμοκρασία T_0 .

$p_{0(T_{\max})}$ Πίεση προφόρτωσης αερίου αζώτου στη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος.

τος $T_{\max}$ όπως αυτή δίνεται από τους κατασκευαστές.

Η παραπάνω σχέση έχει εφαρμογή στον υπολογισμό της πίεσης προφόρτωσης p_0 του αερίου αζώτου κατά τη χρονική στιγμή της πλήρωσης (θερμοκρασία πλήρωσης T_0) και ουσιαστικά τον έλεγχο της στο θερμοκρασιακό εύρος λειτουργίας του κυκλώματος από $T_{\min}$ έως $T_{\max}$.

Παράδειγμα

Ο κατασκευαστής ενός υδραυλικού κυκλώματος δίνει $p_{0(T_{\max})} = 140 \text{ bar}$.

Ζητείται ο έλεγχος της πίεσης προφόρτωσης του αερίου αζώτου σε ένα συσσωρευτή κύστης και ενδεχόμενα η διόρθωσή του, όταν η θερμοκρασία του αερίου κατά τη χρονική στιγμή της πλήρωσης είναι $T_{\text{πληρ.}} = 10^\circ\text{C}$ και η μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος είναι $T_{\max} = 60^\circ\text{C}$.

$$p_{0(T_{\text{πληρ.}})} = p_{0(T_{\max})} \cdot \frac{(T_{\text{πληρ.}} + 273,15)\text{K}}{(T_{\max} + 273,15)\text{K}}$$

$$p_{0(T_{\text{πληρ.}})} = 141 \text{ bar} \cdot \frac{(10^\circ\text{C} + 273,15)\text{K}}{(60^\circ\text{C} + 273,15)\text{K}}$$

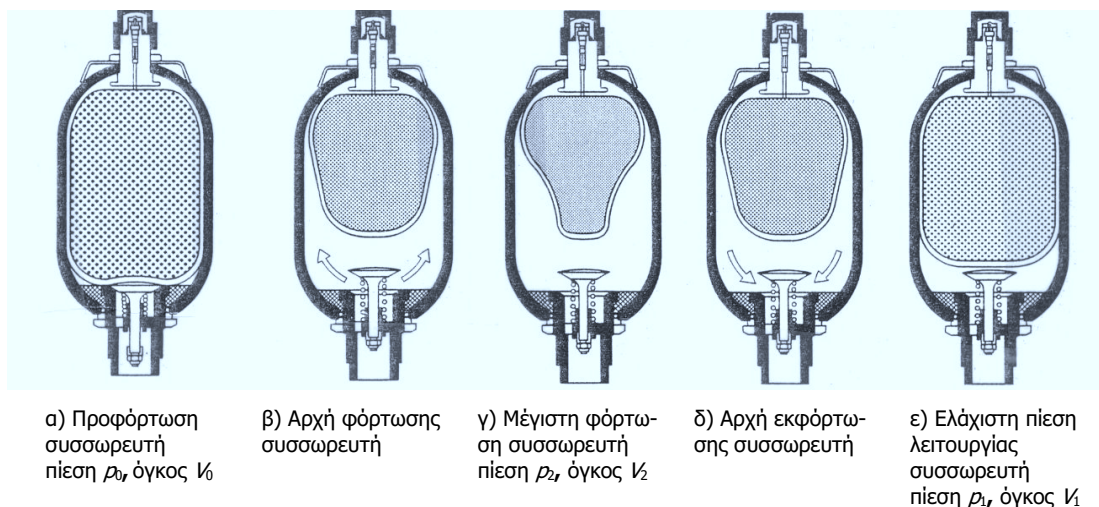
$$p_{0(T_{\text{πληρ.}})} = 119,84 \text{ bar}$$

Άρα παρατηρούμε ότι κατά τη χρονική στιγμή του ελέγχου, ή ενδεχόμενα της πλήρωσης, η πίεση του αερίου αζώτου στο συσσωρευτή πρέπει να είναι **119,84 bar**.

Επιπρόσθετα αναφέρουμε ότι ο έλεγχος της πίεσης προφόρτωσης (p_0), πρέπει να λαμβάνει χώρα περίπου κάθε χρόνο για τους συσσωρευτές κύστης και μεμβράνης και περίπου δύο φορές κάθε μήνα για τους συσσωρευτές εμβόλου.

Στο **Σχ. 2.4** παρατηρούμε μια σειρά από διαδοχικές καταστάσεις λειτουργίας σε ένα συσσωρευτή κύστης.

³ Η $p_{0(T_0)}$ πρέπει να είναι ιδιαίτερα ακριβής στην περίπτωση συσσωρευτών σε σύνδεση με επιπρόσθετες φιάλες αζώτου, § 2.9.6. **Συσσωρευτής αερίου σε σύνδεση με επιπρόσθετες φιάλες Αζώτου (Back up accumulator)**



Σχήμα 2.4 ▶ Διαδοχικές καταστάσεις λειτουργίας σ' ένα συσσωρευτή κύστης.

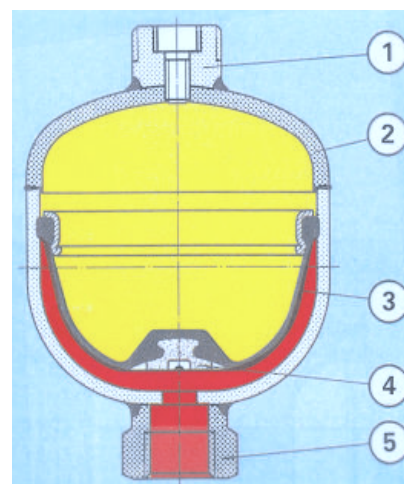
2.4.3 Συσσωρευτές μεμβράνης (Membrane accumulators)

Αυτός ο τύπος συσσωρευτή, αποτελείται από δύο χαλύβδινα ημισφαίρια τα οποία είναι σταθερά συνδεδεμένα μεταξύ τους είτε με κοχλιωτή στεφάνη, είτε συγκολλητά (Σχ. 2.5).

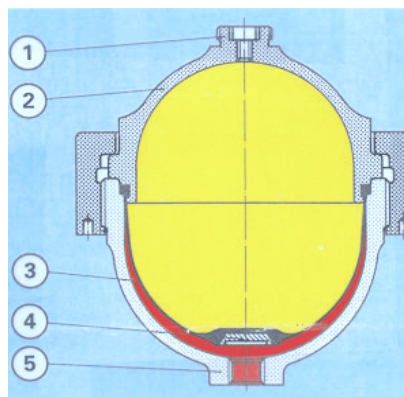
Στα Σχ.2.5 α, β φαίνονται η οπή 1 για τον κοχλία πλήρωσης της μεμβράνης με αέριο, το χαλύβδινο δοχείο 2, η ελαστική μεμβράνη 3, η πλάκα ή μεταλλικός δίσκος προστασίας της μεμβράνης 4 και η πόρτα εισόδου του υδραυλικού υγρού 5.

Μεταξύ των δύο ημισφαιρίων υπάρχει μια ελαστική μεμβράνη, η οποία παίζει το ρόλο διαφράγματος μεταξύ του υδραυλικού υγρού και του αερίου.

Ένας συσσωρευτής μεμβράνης είναι κατάλληλος για εκφορτώσεις μικρών όγκων υδραυλικού υγρού, γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται κυρίως για απορρόφηση αιχμών πίεσης (**pressure peaks**), ως αποσβεστήρας δονήσεων, ή σε κυκλώματα διατήρησης της πίεσης για μακρό χρονικό διάστημα, καλύπτοντας με αυτό τον τρόπο τις μικροδιαρροές των διαφόρων υδραυλικών στοιχείων που επεμβαίνουν στο κύκλωμα όπως είναι π.χ. σε διατάξεις σύσφιξης.



α) Συγκολλητός τύπος.



β) κοχλιωτός τύπος.

Σχήμα 2.5 ▶ Συσσωρευτές μεμβράνης.

Χρησιμοποιείται για μέγιστες περιοχές πιέσεων ($p_{\max}$) από **50 έως 500 bar** με αντίστοιχα μεγέθη από **0,1 έως 4 lit** για τους συγκολλητούς συσσωρευτές και μεγέθη μέχρι και **10 lit** για τους βιδωτούς συσσωρευτές.

Για τους συσσωρευτές μεμβράνης θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι η μέγιστη σχέση πιέσεων $p_2 : p_0$ ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή έχει ως εξής:

$p_2 \leq (6 \div 8) \cdot p_0$. Για συγκολλητό τύπο συσσωρευτή (Σχ. 2.5α) και

$p_2 \leq 10 \cdot p_0$. Για κοχλιωτό τύπο συσσωρευτή (Σχ. 2.5β).

Επίσης και σε αυτό τον τύπο συσσωρευτή, η πίεση προφόρτωσης του αερίου αζώτου p_0 , πρέπει να είναι ελαφρώς μικρότερη από την ελάχιστη πίεση λειτουργίας p_1 του κυκλώματος στη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας ($T_{\max}$) έτσι ώστε ο μεταλλικός δίσκος ή η πλάκα της μεμβράνης, ανάλογα με τον τύπο του συσσωρευτή, να μην κτυπά συνεχώς στον πυθμένα του χαλύβδινου δοχείου και φθείρεται.

Άρα και σε αυτή την περίπτωση έχουμε:

$$p_{0(T_{\max})} = 0,9 \cdot p_1$$

2.4.4 Συσσωρευτές εμβόλου (Piston type accumulators)

Σε αυτό τον τύπο του συσσωρευτή το διαχωριστικό στοιχείο που υπάρχει μεταξύ του αερίου και του υδραυλικού υγρού, είναι ένα κοίλης μορφής έμβολο (Σχ. 2.6).

Το έμβολο αυτό έχει τη δυνατότητα να ολισθαίνει ελεύθερα κατά μήκος του κυλίνδρου του συσσωρευτή, ενώ παράλληλα διαμέσου των στεγανοποιητικών δακτυλίων που αυτό φέρει περιφερειακά, εξασφαλίζεται πλήρως ο στεγανός διαχωρισμός των δύο μέσων (υδραυλικού υγρού και αερίου αζώτου).

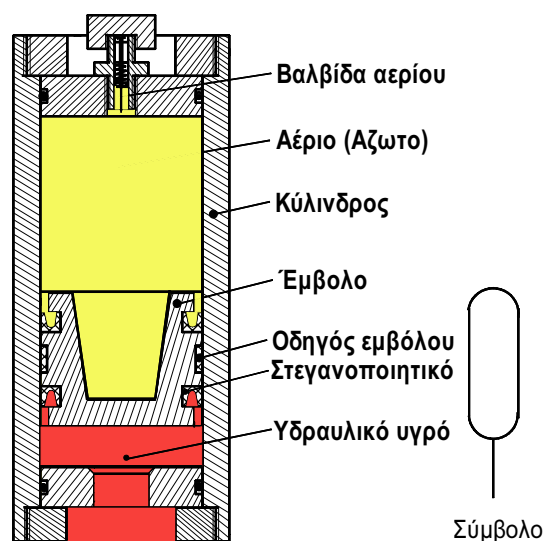
Στο ανώτερο σημείο του κυλίνδρου, μια βαλβίδα αερίου, χρησιμεύει για την προφόρτωση του συσσωρευτή με την ενδεικνυόμενη πίεση αζώτου.

Κατά τη λειτουργία υδραυλικό υγρό εισέρχεται από το κάτω μέρος του συσσωρευτή ανυψώνοντας το έμβολο, το οποίο με τη σειρά του συμπιέζει το αέριο.

Όταν απαιτηθεί από τις ανάγκες του συστήματος, η αποθηκευμένη από το συμπιεσμένο αέριο ενέργεια ελευθερώνεται, με αποτέλεσμα την κίνηση του εμβόλου του συσσωρευτή προς τα κάτω και την εκτόπιση δεδομένου όγκου υδραυλικού υγρού στο σύστημα (περισσότερο συνηθισμένη εφαρμογή).

Ένας συσσωρευτής εμβόλου είναι κατάλληλος κυρίως για μεγάλες εκφορτώσεις όγκων υδραυλικού υγρού, με μεγέθη περίπου από **2,5 έως 250 lit** και περιοχή μέγιστης πίεσης εργασίας ($P_{\max}$) από **210 έως 350 bar**.

Παράλληλα, λόγω του σχεδιασμού που έχουν, μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιαδήποτε θέση εργασίας, οριζόντια, κάθετα, ή ενδιάμεσα των προαναφερθέντων θέσεων.



Σχήμα 2.6 ▶ Συσσωρευτής εμβόλου

Εντούτοις όμως, η πλέον κατάλληλη θέση εργασίας είναι η κάθετη θέση, η οποία εμποδίζει εσωτερικά του κυλίνδρου την επικάθιση στερεών ή διαφόρων προϊόντων ρύπανσης τα οποία φέρει το υδραυλικό υγρό και έτσι αποφεύγεται η καταστροφή των στεγανοποιητικών του εμβόλου. Πα-

ράλληλα οι δυνάμεις βαρύτητας στην κάθετη θέση υποβοηθούν και οδηγούν πολύ καλύτερα το έμβολο εσωτερικά του κυλίνδρου από ότι σε οποιαδήποτε άλλη θέση.

Από την άλλη πλευρά οι συσσωρευτές εμβόλου μειονεκτούν σοβαρά στο χρόνο απόκρισης που έχουν, λόγω της αυξημένης αδράνειας που συνεπάγεται η μεγάλη μάζα του κινούμενου εμβόλου, αλλά και οι τριβές τις οποίες αυτό αντιμετωπίζει.

Επομένως δίνεται μεγάλη σημασία στη μικρότερη δυνατή μάζα του εμβόλου και στην επιμελώς καταργασμένη εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου (μέγιστη τιμή τραχύτητας $R_{\max}$ ή $R_t = 1,5$ έως $2,5\mu\text{m}$). Με αυτό τον τρόπο, η απόκλιση στην καταγραφή της πίεσης των δύο μέσων, υδραυλικού υγρού και αερίου αζώτου, κατά τη λειτουργία και σε συνάρτηση με το χρόνο, είναι η μικρότερη δυνατή.

Η Εταιρία Hydac στην περίπτωση των συσσωρευτών εμβόλου, δίνει εναλλακτικά δύο τύπους εμβόλων, αυτό για κανονική λειτουργία⁴, χωρίς ειδικές απαιτήσεις και μέγιστη ταχύτητα εμβόλου κατά τη φόρτωση ή εκφόρτωση η οποία αγγίζει τα 2m/s και αυτό για ειδικές απαιτήσεις⁵, με ταχύτητα εμβόλου πλησίον των $3,5\text{m/s}$, με στεγανοποιητικά πολύ χαμηλής τριβής και παράλληλα πολύ μικρό χρόνο απόκρισης.

Για τους συσσωρευτές εμβόλου θα πρέπει να γνωρίζουμε ότι για τη μέγιστη σχέση πιέσεων p_2 : p_0 δεν υπάρχουν περιορισμοί.

Όσον αφορά τους συσσωρευτές εμβόλου η πίεση προφόρτωσης του αερίου αζώτου p_0 , πρέπει να είναι ελαφρώς μικρότερη (5bar) από την ελάχιστη πίεση λειτουργίας p_1 του κυκλώματος στη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας ($T_{\max}$).

Άρα γι' αυτή την περίπτωση έχουμε:

$$p_{0(T_{\max})} \leq p_1 - 5 \text{ bar}$$

2.5 Πλήρωση με άζωτο και έλεγχος προφόρτωσης συσσωρευτών αερίου

Αρχικά θα θέλαμε να επιστήσουμε την προσοχή ότι το αέριο με το οποίο θα πρέπει να πληρούμε ένα συσσωρευτή αερίου, είναι μόνο το ξηρό άζωτο, γιατί είναι ένα αέριο τελείως αδρανές.

Οι συσσωρευτές σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να πληρούνται με καθαρό οξυγόνο ή ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο λόγος είναι ότι εάν το οξυγόνο με οποιαδήποτε τρόπο έλθει σε επαφή με το υδραυλικό υγρό (κυρίως υδραυλικό ορυκτέλαιο), υπό την επίδραση της θερμοκρασίας το οξειδώνει ταχύτατα με επακόλουθο η έκρηξη να είναι αναπόφευκτη.

Ο αέρας επίσης δεν συνιστάται για την πλήρωση των συσσωρευτών, γιατί λόγω της σχετικής οξειδωτικής του δράσης και της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο σύστημα, αλλοιώνει και καταστρέφει με την πάροδο του χρόνου το υλικό της ελαστικής μεμβράνης ή κύστης.

Το αέριο άζωτο έχει τα παρακάτω φυσικά μεγέθη:

- Χημικό σύμβολο N_2 .
- Αριθμός ατόμων μορίου 2.
- Ατομικό βάρος $14,008 \text{ gr/mole}$.
- Μοριακό βάρος $28,016 \text{ gr/mole}$.
- Ειδικό βάρος 1.251 gr/m^3 .
- Γραμμομοριακή ειδική θερμότητα C_p αερίου υπό σταθερή πίεση, $0,247 \text{ Joule/(mole} \cdot \text{K)}$.

⁴ Για γενική λειτουργία συσσωρευτών εμβόλου χωρίς ειδικές απαιτήσεις, βλέπε Πίνακα 2.4 Τυποποιημένα μεγέθη συσσωρευτών. **HYDAC Technology GmbH**.

⁵ Η επιφάνεια εσωτερικά του κυλίνδρου είναι επιμελώς καταργασμένη και το σύστημα των στεγανοποιητικών του εμβόλου είναι χαμηλής τριβής. Η κίνηση του εμβόλου είναι απαλλαγμένη του φαινομένου Stick Slip Effect (βλέπε ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ ΘΕΩΡΙΑ & ΠΡΑΞΗ, ΤΟΜΟΣ Β, έργο του ίδιου, § 4.4.2 Μηχανικές – Υδραυλικές απώλειες) ιδιαίτερα σε ισόθερμο μεταβολή και η συνιστώμενη απόλυτη τιμή φιλτραρίσματος του χρησιμοποιούμενου υδραυλικού υγρού είναι $20\mu\text{m}$ δηλαδή $\beta_{(20)} \geq 100$.

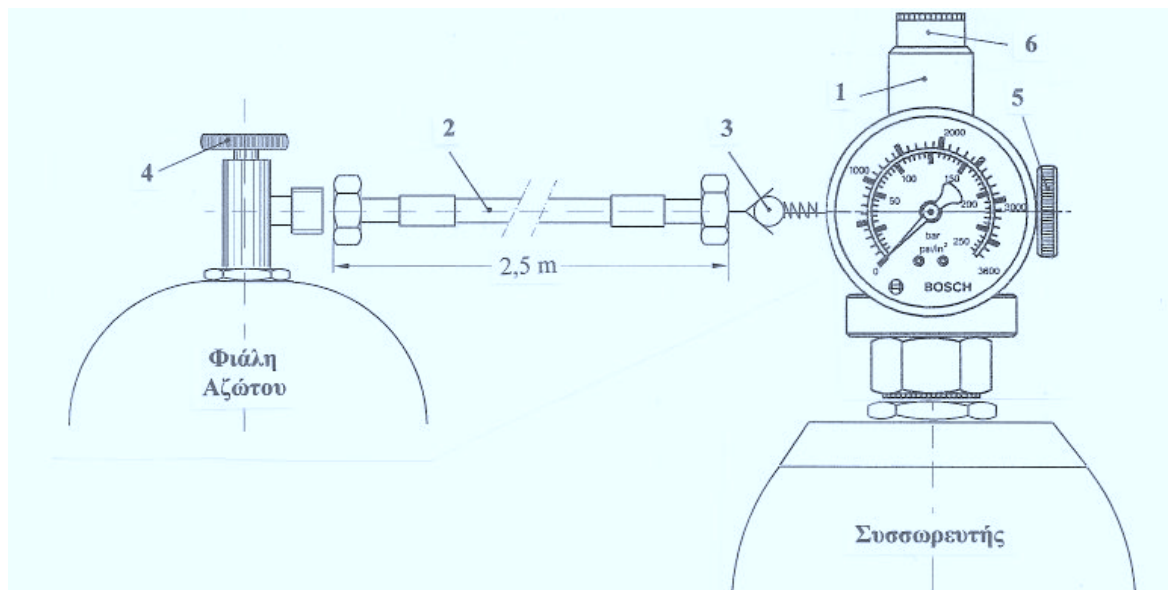
- Γραμμομοριακή ειδική θερμότητα C_v αερίου υπό σταθερό όγκο, $0,176 \text{ Joule}/(\text{mole} \cdot \text{K})$.
- Σταθερά (κ) του αερίου $\kappa = C_p/C_v = 1,4$

Οι συσσωρευτές κύστης και μεμβράνης συνήθως πληρούνται από το εργοστάσιο κατασκευής, με μια πίεση αζώτου p περίπου 10 bar στους 20°C για λόγους ασφαλούς μεταφοράς της ελαστικής κύστης ή μεμβράνης, η οποία διαφορετικά θα χτυπούσε εσωτερικά του κυλίνδρου.

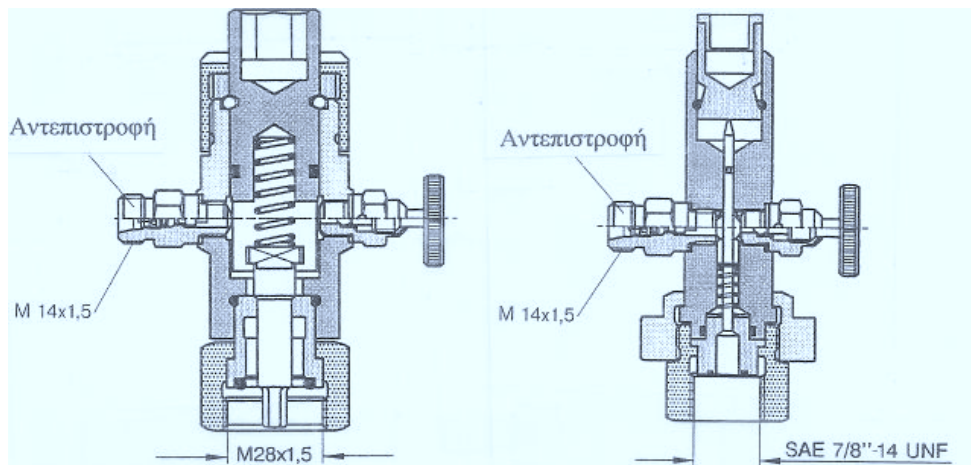
Όταν όμως τοποθετηθούν στο σύστημα για λειτουργία, τότε πρέπει να προφορτωθούν με τη δεδομένη πίεση p_0 , η οποία όπως γνωρίζουμε πρέπει να είναι τα $9/10$ της ελάχιστης πίεσης λειτουργίας p_1 του κυκλώματος στη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας ($T_{\max}$).

Η προφόρτωση των συσσωρευτών αερίου πραγματοποιείται με τη διάταξη του **Σχ. 2.7**. Γι' αυτό το λόγο απαιτούνται:

1. Μία φιάλη αερίου αζώτου.



α) Γενική απεικόνιση σύνδεσης.



β) Διάταξη προφόρτωσης συσσωρευτών εμβόλου και μεμβράνης.

γ) Διάταξη προφόρτωσης συσσωρευτών κύστης

Σχήμα 2.6 ▶ Διάταξη προφόρτωσης συσσωρευτών αερίου, **Rexroth Bosch Group**.

2. Η διάταξη 1 με το ενσωματωμένο μανόμετρο και
3. Ο ελαστικός σωλήνας 2 με τη βαλβίδα αντεπιστροφής 3.

Η διάταξη προφόρτωσης συνδέεται αρχικά όπως φαίνεται στο **Σχ. 2.7α**. Εάν πρόκειται για συσσωρευτές εμβόλου ή μεμβράνης, η διάταξη έχει τη μορφή του **Σχ. 2.7β**, ενώ εάν πρόκειται για συσσωρευτή κύστης τότε χρησιμοποιούμε τη διάταξη του **Σχ. 2.7γ**.

Η σειρά εργασίας για την προφόρτωση των συσσωρευτών αερίου έχει ως εξής:

1. Εάν ο συσσωρευτής είναι ήδη τοποθετημένος στο κύκλωμα θα πρέπει να ασφαλίσουμε αρχικά το υδραυλικό κύκλωμα να μην μπορεί να εργαστεί.

Στη συνέχεια θα πρέπει να αποφορτώσουμε πλήρως το συσσωρευτή από την εγκλωβισμένη υδραυλική ενέργεια, η οποία βρίσκεται υπό μορφή πίεσης μέσα στο συσσωρευτή.

Γι' αυτό το σκοπό ο κατασκευαστής κάθε υδραυλικού συστήματος που χρησιμοποιεί συσσωρευτή, έχει προνοήσει ειδική χειροκίνητη ή αυτόματη ηλεκτρική διάταξη αποφόρτωσης, η οποία οδεύει το υπό πίεση υδραυλικό υγρό στη δεξαμενή του συστήματος.

Η αποφόρτωση του συσσωρευτή σε ένα κύκλωμα, πρέπει να πραγματοποιείται απαραίτητα όχι μόνο όταν θέλουμε να ελέγξουμε την προπίεση του αερίου αζώτου, αλλά και όταν θέλουμε να εκτελέσουμε διάφορες εργασίες συντήρησης, ή αντικατάστασης βαλβίδων στο κύκλωμα.

Σε αυτό το πρώτο και σημαντικότερο βήμα εργασίας, θα πρέπει πάντα να έχουμε υπόψη μας ότι ένας υδραυλικός συσσωρευτής υδραυλικής ενέργειας είναι ένα δοχείο υπό πίεση το οποίο μπορούμε να το παρομοιάσουμε με ένα μεγάλης χωρητικότητας φορτισμένο πυκνωτή, τον οποίο πρέπει να αποφορτί-

σουμε πριν αρχίσουμε οποιαδήποτε εργασία ελέγχου, επισκευής ή συντήρησης στο ηλεκτρικό κύκλωμα.

2. Στη συνέχεια συνδέουμε τη διάταξη όπως φαίνεται στο **Σχ. 2.7α** φροντίζοντας να είναι στεγανά σφισμένα όλα τα περικόχλια. Η στρόφιγγα (4) της φιάλης αζώτου πρέπει να είναι κλειστή.
3. Σε αυτό το σημείο επιλέγουμε τη διάταξη του **Σχ. 2.7β** εάν πρόκειται να πληρώσουμε συσσωρευτή κύστης, ή τη διάταξη του **Σχ. 2.7γ** εάν πρόκειται να πληρώσουμε συσσωρευτή εμβόλου ή μεμβράνης.

Στη συνέχεια μετά την επιλογή και εφόσον έχει ολοκληρωθεί η σύνδεση, ανοίγουμε σιγά-σιγά τη στρόφιγγα (4) της φιάλης αζώτου, επιτρέποντας στο αέριο να ρέει αργά-αργά μέσα στο συσσωρευτή.

4. Στη συνέχεια κλείνουμε τη στρόφιγγα (4) της φιάλης αζώτου και ελέγχουμε την πίεση του αερίου στο συσσωρευτή πιέζοντας το κομβίο (6) της διάταξης πλήρωσης. Εάν η πίεση είναι μεγαλύτερη της επιθυμητής τιμής τότε αυτή ελαττώνεται με μικρά πατήματα του κομβίου (6) εφόσον αρχικά έχουμε ανοίξει τη στρόφιγγα εξαέρωσης (5) της διάταξης.
5. Όταν η επιθυμητή τιμή της πίεσης αναγραφεί στο μανόμετρο, περιμένουμε περίπου για χρόνο **2 min**, έτσι ώστε να υπάρξει μια σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του αερίου (θερμική ισορροπία), στο νέο του περιβάλλον.
6. Μετά τη θερμική ισορροπία, η πίεση προφόρτωσης p_0 ελέγχεται άλλη μια φορά, ενώ παράλληλα ελέγχεται και η θερμοκρασία του αερίου αζώτου, η οποία εάν διαφέρει από τη δεδομένη μέγιστη θερμοκρασία $T_{\max}$ του κυκλώματος κατά τη χρονική στιγμή της πλήρωσης, που πολύ πιθανόν να συμβαίνει, τότε η επιθυμητή πίεση προφόρτωσης του αερίου αζώτου p_0 αναπροσαρμόζεται, υπολογιζόμε-

νη⁶ (σχέση 2.4) στην μετρούμενη θερμοκρασία T_0 κατά τη στιγμή της πλήρωσης.

7. Τέλος αποκοχλιώνουμε τη διάταξη προφόρτωσης από τη φιάλη και το συσσωρευτή και κοχλιώνουμε σε αυτόν το εξωτερικό προστατευτικό καπάκι της βαλβίδας αερίου.

Οι συσσωρευτές εμβόλου και μεμβράνης διαφέρουν από αυτούς με κύστη, γιατί αντί για βαλβίδα αερίου, έχουν έναν ειδικά χαραγμένο κάθετα στην περιφέρεια του σπειρώματος κοχλία **allen SW6**, ο οποίος διαμέσου ενός στεγανοποιητικού δακτυλίου (**O-ring**), σφραγίζει το αέριο της μεμβράνης σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον.

Για την πλήρωση των παραπάνω τύπων συσσωρευτών, θα πρέπει να συνδέσουμε σε αυτούς τη διάταξη πλήρωσης του Σχ. 2.7γ και να αποκοχλιώσουμε τον κοχλία **allen** μερικές στροφές, για να επιτευχθεί η είσοδος του αερίου μέσω των κάθετων χαραγών του κοχλία στο συσσωρευτή.

Στη συνέχεια η διαδικασία είναι απολύτως όμοια με αυτή του συσσωρευτή κύστης.

Ένας άλλος ταχύτατος αλλά εμπειρικός τρόπος ελέγχου της πίεσης προφόρτωσης p_0 , γενικά σε συσσωρευτές αερίου, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί και χωρίς τη χρήση της διάταξης πλήρωσης του Σχ. 2.7α, η οποία αποτελεί βέβαια τον ορθόδοξο τρόπο μέτρησης.

Γι' αυτό το σκοπό φροντίζουμε να συνδέσουμε ένα μανόμετρο λεπτομερούς κλίμακας κοντά στην υποτιθέμενη περιοχή μέτρησης, ή τελικά να χρησιμοποιήσουμε αυτό που ήδη είναι συνδεδεμένο στην υδραυλική πλευρά του συσσωρευτή.

⁶ Η πίεση προφόρτωσης p_0 , αναφέρεται στη θερμοκρασία λειτουργίας του κυκλώματος $T_{\max}$ η οποία δίνεται από τον κατασκευαστή του κυκλώματος. Εάν η θερμοκρασία του αερίου αζώτου κατά τη χρονική στιγμή της πλήρωσης είναι διάφορος της $T_{\max}$, τότε η p_0 αναπροσαρμόζεται βάσει της σχέσης της ισόχωρης μεταβολής (σχέση 2.4) στη μετρούμενη θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία του αερίου αζώτου λαμβάνεται ή με ένα θερμόμετρο επαφής από το κέλυφος του συσσωρευτή, ή από τη θερμοκρασία του υδραυλικού υγρού της δεξαμενής (θερμόμετρο δεξαμενής).

Ο συσσωρευτής αρχικά φορτώνεται μέχρι τη μέγιστη πίεση λειτουργίας p_2 από την αντλία του συστήματος. Μετά τη φόρτωση κλείνουμε τη χειροκίνητη διάταξη του συσσωρευτή, εγκλωβίζοντας την πίεση και κατόπιν φέρουμε σε θέση **OFF** την αντλία του συστήματος.

Στη συνέχεια αποφορτώνουμε ελεγχόμενα και σιγά-σιγά το συσσωρευτή στη δεξαμενή του συστήματος διαμέσου της χειροκίνητης διάταξης αποφόρτωσης (βάνα).

Κατά τη διάρκεια της αποφόρτωσης παρακολουθούμε προσεκτικά τη βαθμιαία πτώση της πίεσης του υδραυλικού υγρού στο μανόμετρο. Τη χρονική στιγμή που η μετρούμενη πίεση του υδραυλικού υγρού εξισορροπηθεί με την πίεση του αερίου του συσσωρευτή παρατηρείται για ένα πολύ μικρό χρονικό διάστημα ένα σταμάτημα της πτώσης της βελόνας του μανομέτρου και αμέσως μετά μια ταχύτατη πτώση προς το μηδέν.

Η παρατηρούμενη πίεση ακριβώς αμέσως πριν αυτή πέσει απότομα στο μηδέν είναι η πίεση προφόρτωσης p_0 του αερίου αζώτου του συσσωρευτή η οποία είναι και πάλι ανάλογη της μετρούμενης θερμοκρασίας T κατά τη στιγμή του ελέγχου.

2.6 Κανονισμοί ασφαλείας συσσωρευτών

2.6.1 Γενικά

Απαγορεύεται ρητά κάθε μηχανική ή θερμική κατεργασία πάνω στο σώμα των συσσωρευτών υδραυλικής ενέργειας όπως π.χ. συγκόλληση, διάτρηση κλπ.

Κάθε απαραίτητη επισκευή επί των συσσωρευτών πρέπει να αναλαμβάνεται αποκλειστικά και μόνο από εξουσιοδοτημένο γι' αυτό το σκοπό αντιπρόσωπο ή το υπεύθυνο εργοστάσιο κατασκευής.

Επιπρόσθετα κάθε εργασία επισκευής, συντήρησης, τοποθέτησης μανομέτρων σε συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν συσσωρευτές πρέπει να ε-

ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ

ΘΕΩΡΙΑ & ΠΡΑΞΗ

Το παρόν έργο δημιουργήθηκε με γνώμονα την απλότητα, την πρακτικότητα, αλλά και τη σύνδεση στο μέτρο του δυνατού της θεωρίας με την πράξη.

Κίνητρο για την υλοποίησή του αποτέλεσε ο εξαιρετικά μεγάλος όγκος υλικού που συγκέντρωσε ο συγγραφέας από την ενασχόλησή του, μέσω επιμορφώσεων, κυρίως στην Ελληνική, αλλά και στην Κυπριακή τεχνική εκπαίδευση και βιομηχανία, σύμφωνα με τη μέθοδο διδασκαλίας των *Books of Compulsory syllabus*.

Στο βιβλίο παρουσιάζεται βήμα προς βήμα η γραφική ανάλυση ακολουθιακών ελέγχων μέσω διαγραμμάτων (*Displacement Step-Time Motion Diagrams*), μια σημαντική ενότητα για τον προδιαγεγραμμένο και μεθοδικό τρόπο εύρεσης βλαβών σε κυκλώματα, περιγράφονται τα στοιχεία συντήρησης, και αναλύεται η νέα τεχνολογία των ένθετων βαλβίδων (*Cartridge valves*) οι οποίες, επειδή έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα, ουσιαστικά αντικαθιστούν στις νέες εφαρμογές τα γνωστά συμβατικά υδραυλικά δομικά στοιχεία. Παρουσιάζονται επίσης οι βαλβίδες ελέγχου ροής, οι συσσωρευτές υδραυλικής ενέργειας, και οι δεξαμενές, και αναλύονται διεξοδικά η σημαντική έννοια της θερμικής ισορροπίας των κυκλωμάτων, τα φίλτρα υδραυλικού υγρού, και οι εναλλάκτες θερμότητας. Τέλος, το βιβλίο περιλαμβάνει ένα μεγάλο πλήθος βιομηχανικών λυμένων ασκήσεων σε πρακτικό επίπεδο, για κάθε περίπτωση εφαρμογής.

Η μεθοδολογία των εννοιών διευκολύνει τη σταδιακή εκμάθηση και συνδέει τη θεωρία με την πράξη με τέτοιον τρόπο ώστε να μην υποχρεώνεται ο αναγνώστης να ανατρέχει σε άλλες επιστήμες που εμπλέκονται με το αντικείμενο. Όταν και όπου απαιτείται, τα στοιχεία αυτών των επιστημών αναφέρονται στο κείμενο.

Ο συγγραφέας

Ο **Κωνσταντίνος Γιαννακόπουλος** είναι επίσης ο δημιουργός του εκπαιδευτικού πακέτου *P₁ 1000* (*Basic level Introduction to Pneumatics*), ενός εκπαιδευτικού οδηγού Μηχανικών για την εσωτερική επιμόρφωση στελεχών της βιομηχανίας, καθώς επίσης και Καθηγητών θεωρητικής και πρακτικής εκπαίδευσης Τεχνικών Επαγγελματικών Εκπαιδευτηρίων (Τ.Ε.Ε.), Ι.Ε.Κ., Κ.Ε.Κ. (Κέντρων Επαγγελματικής Κατάρτισης), Τεχνολογικών Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων (Τ.Ε.Ι.) – ειδικά για τους τομείς Μηχανολογίας και Ηλεκτρολογίας. (Λεπτομέρειες για το πακέτο δίνονται στην τελευταία σελίδα του βιβλίου.)



ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ

Λεωφόρος 4, Σηθέρως Αθήνας, 10440 ΑΘΗΝΑ, Τηλ. 210-5237035

Επισκεφθείτε μας στο Internet:
www.klidarithmos.gr

ISBN 978-960-461-277-2

