



Ελληνική Δημοκρατία  
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό  
Ίδρυμα Ηπείρου

# Αρδεύσεις (Εργαστήριο)

Ενότητα 1 : Οι ιδιότητες των ρευστών Ι  
Δρ. Μενέλαος Θεοχάρης



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

# ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

## 1 Η Μηχανική των ρευστών και η υδραυλική

### 1.1 Εισαγωγή

Με τη συμπεριφορά των υγρών ασχολήθηκε από τους αρχαιότατους χρόνους ο άνθρωπος, στη προσπάθειά του να επιλύσει τα διάφορα πρακτικά προβλήματα που του παρουσιάζονταν. Χαρακτηριστικοί είναι οι σχετικοί μύθοι στην Ελληνική Μυθολογία, (άθλοι του Ηρακλή: Λερναία Ύδρα, Κόπρος του Αυγεία κ.ά. σχετιζόμενοι με ποταμούς). Η πρώτη όμως συστηματική μελέτη των υγρών ανάγεται στην ελληνική αρχαιότητα. Πραγματικά τον 3ο αιώνα π.Χ. ο Αρχιμήδης είναι ο πρώτος που ανακαλύπτει την άνοση και διατυπώνει την ομώνυμή του αρχή. Με τα υγρά ασχολήθηκε επίσης και ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς.

Εν τούτοις παρά τη μακράιωνη αυτή ιστορία της, μόλις τις τελευταίες 10ετίες κατάφερε η υδραυλική να ελευθερωθεί από τον εμπειρικό της χαρακτήρα και να καταστεί πραγματική τεχνική επιστήμη. Ο χώρος εφαρμογής της υδραυλικής (τεχνικής) είναι ευρύς αφού ασχολείται με τα αρδευτικά, τα αποστραγγιστικά και τα αντιπλημμυρικά έργα, την ύδρευση και αποχέτευση, την παντός είδους εκμετάλλευση της υδραυλικής δύναμης, τα λιμενικά έργα, οι θαλάσσιες ποτάμιες και λιμναίες συγκοινωνίες, οι διώρυγες κλπ αποτελούν αντικείμενα της υδραυλικής. Συνεπώς η συμβολή της στην ανάπτυξη του πολιτισμού θεωρείται σημαντική.

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 περισσότερο λαμπρό. Αφού αυτοί οι δύο παραπάνω λόγοι - αιτίες είναι οι συντελεστές όλων των γιγάντιων υδραυλικών έργων αλλαγής της φύσεως με στόχο τη περισσότερη αξιοποίηση υδάτινων πόρων σε άγονες περιοχές.

Η Μηχανική των Ρευστών, ή Ρευστομηχανική ή Υδρομηχανική, ονομάζεται ο κλάδος εκείνος της Μηχανικής που εξετάζει τις ιδιότητες των ρευστών. Η υδραυλική αποτελεί τον κλάδο εκείνο της εφαρμοσμένης μηχανικής, που ασχολείται με τη συμπεριφορά των ρευστών σε ηρεμία (Υδροστατική) και κίνηση (Υδροδυναμική) με κύριο αντικείμενο την εκμετάλλευση του ύδατος. Δηλαδή, ενώ η Ρευστομηχανική (υδροστατική και υδροδυναμική) ασχολείται με τις ιδιότητες και τους νόμους που διέπουν τα υγρά γενικά και το νερό ειδικότερα, η υδραυλική πραγματεύεται τους τρόπους αξιοποίησης και εκμετάλλευσης των υδάτων.

Στην ανάπτυξη των αρχών της Ρευστομηχανικής μερικές από τις ιδιότητες των ρευστών παίζουν πρωταρχικό ρόλο, άλλες μικρότερο και άλλες δεν παίζουν κανένα ρόλο. Για παράδειγμα στην υδροστατική, το βάρος είναι η σημαντική ιδιότητα, ενώ στη ροή των ρευστών, η πυκνότητα και η συνεκτικότητα είναι οι κυρίαρχες ιδιότητες.

Ακόμη, όπου έχουμε αξιοσημείωτη συμπιεστότητα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη και οι αρχές της Θερμοδυναμικής. Η Πίεση των Ατμών αποκτά σημασία όταν παρουσιάζονται αρνητικές πιέσεις, ενώ η Επιφανειακή Τάση επιδρά στις συνθήκες ηρεμίας και ροής σε μικρές διατομές.

### 1.2 Ορισμός του ρευστού

Ρευστό είναι μια ποσότητα ύλης που έχει την ικανότητα να ρέει και να παίρνει το σχήμα του δοχείου που το περιέχει. Συνεπώς ο όρος ρευστό χαρακτηρίζει συνοπτικά τα υγρά και τα αέρια

σώματα των οποίων οι δυνάμεις συνοχής είναι χαλαρές με συνέπεια η μάζα τους να ολισθαίνει ελεύθερα (περίπτωση υγρών) ή να μετατοπίζεται ανεξάρτητα (περίπτωση αερίων) έτσι ώστε να λαμβάνει κάθε φορά το σχήμα του χώρου που καταλαμβάνουν ή του μέσου δια του οποίου κινούνται αυτά.

Στην Επιστήμη της Φυσικής, υγρό ονομάζεται κάθε ουσία που παρατηρείται με συγκεκριμένο μεν όγκο αλλά όχι με καθορισμένο σχήμα και αποτελεί μία από τις τρεις μορφές της κατάστασης της ύλης. Τα υγρά παρουσιάζουν μεγάλη αντίσταση σε κάθε μεταβολή του όγκου τους και χαρακτηρίζονται πρακτικά σαν ασυμπίεστα. Επίσης παρουσιάζουν ελεύθερη επιφάνεια πάνω στην οποία η μόνη δύναμη που ασκείται εξαρτάται από το περιβάλλον.

Τα αέρια παρουσιάζουν μηδαμινή αντίσταση σε κάθε μεταβολή του όγκου τους και χαρακτηρίζονται πρακτικά σαν συμπίεστα. Καταλαμβάνουν ολόκληρο τον όγκο που τους προσφέρεται και γι' αυτό δεν παρουσιάζουν ελεύθερη επιφάνεια. Είναι δυνατό να βρίσκονται σε ισορροπία μόνο όταν είναι κλεισμένα.

Έτσι, στις περισσότερες περιπτώσεις προβλημάτων τα υγρά θεωρούνται σαν ασυμπίεστα, ενώ τα αέρια μπορούν να θεωρηθούν σαν ασυμπίεστα, μόνο σε περιπτώσεις προβλημάτων που οι μεταβολές όγκου - πιέσεων είναι μικρές.

Σε κατάσταση ισορροπίας στα ρευστά δεν εξασκούνται εφαπτομενικές ή διατμητικές δυνάμεις μεταξύ των διαφόρων στρώσεων. Όλα τα ρευστά είναι σε κάποιο βαθμό συμπίεστα και παρουσιάζουν μικρή αντίσταση σε αλλαγές του σχήματος τους.

Τα ρευστά διακρίνονται στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

**1. Ιδανικά ρευστά** ή τέλεια ρευστά ή και ακόμα *ιδεώδη* ή *ιδεατά*: Χαρακτηρίζονται υποθετικά ρευστά (συνήθως υγρά) τα οποία είναι τελείως ασυμπίεστα και καμία εσωτερική τριβή των μορίων τους δεν αναπτύσσεται κατά τη ροή τους. Όπως επίσης και καμία δύναμη συνάφειας μεταξύ αυτών και των τοιχωμάτων των δοχείων ή αγωγών που περιέχονται. Είναι προφανές ότι αυτά αποτελούν υποθετική θεωρητική κατάσταση και μόνο, που λαμβάνεται υπόψη στις έρευνες και μελέτες των Νόμων των ρευστών διευκολύνοντας έτσι κατά πολύ την εξαγωγή συμπερασμάτων με αντίστοιχους υπολογισμούς. Παρά ταύτα ορισμένα φυσικά ρευστά με πολύ χαμηλό ιξώδες και μικρή θερμική αγωγιμότητα είναι δυνατόν ν' αντιμετωπιστούν, βέβαια κατά προσέγγιση, ως ιδανικά ρευστά.

**2. Φυσικά ρευστά ή Νευτώνεια ρευστά**: Χαρακτηρίζονται όσα εμφανίζουν τις αποτρεπτικές ιδιότητες των προηγούμενων π.χ. το νερό, υδατικά διαλύματα, ορισμένοι υδατικοί διαλύτες, τα αραιά αιωρήματα και γαλακτώματα, καθώς και όλα τα αέρια.

**3. Μη νευτώνεια ρευστά**: Τέτοια χαρακτηρίζονται συνήθως υγρά που παρουσιάζουν μικρότερης κλίμακας ιδιότητες των φυσικών ρευστών, δηλαδή χαμηλό ιξώδες ιδιαίτερα όταν υποβάλλονται σε ανάδευση και γίνονται περισσότερο λεπτόρρευστα. Όπως για παράδειγμα το τυπογραφικό μελάνι, οι διάφορες βαφές (ελαιοχρώματα κ.λπ.). Επίσης σε αυτή τη κατηγορία υπάγονται τα πυκνά αιωρήματα καθώς και τα διάφορα πυκνά γαλακτώματα.

Οι δυνάμεις που ενεργούν επί των ρευστών διακρίνονται σε εξωτερικές και εσωτερικές.

- Εξωτερικές δυνάμεις είναι: η βαρύτητα, η φυγόκεντρος δύναμη, η ατμοσφαιρική πίεση κ.λπ.
- Εσωτερικές δυνάμεις είναι: οι πιέσεις όπως η υδροστατική πίεση.

Τα ρευστά παρουσιάζουν μόνο μία δύναμη που ασκούν προς τα έξω την υδροστατική πίεση και η οποία εφαρμόζεται πάντα κάθετα προς οποιοδήποτε σημείο των τοιχωμάτων του χώρου που βρίσκονται.

**Ρευστό σωματίδιο** ονομάζεται ο μικρότερος όγκος ρευστού, ο οποίος περιέχει ικανό αριθμό μορίων έτσι ώστε να επιτρέπει τη στατιστική ερμηνεία συνεχούς μέσου.

Τα θεμελιώδη σωματίδια που συγκροτούν κάθε μορφή της ύλης (άτομα, μόρια, ιόντα) και εν προκειμένω των υγρών απέχουν μεταξύ τους περισσότερο απ' ό τι συμβαίνει με τα σωματίδια των στερεών. Αυτό σημαίνει πως οι ελκτικές δυνάμεις στα υγρά είναι ασθενέστερες και τα σωματίδια αυτών μπορούν να κινηθούν σε μικρές αποστάσεις. Έτσι το υγρό «ρέει» λαμβάνοντας κάθε φορά το σχήμα του χώρου που βρίσκεται ή τοποθετείται, διατηρώντας πάντα τον ίδιο όγκο.

### 1.3 Μέτρηση των φυσικών μεγεθών του ρευστού

Η **Μέτρηση** είναι από τα πρώτα πράγματα που ανακάλυψε ο άνθρωπος. Από την αρχή ο άνθρωπος δημιούργησε στοιχειώδεις μονάδες μέτρησης για να μετρήσει απλά πράγματα.

Τυπικά όμως η **Μέτρηση** σαν έννοια είναι η σύγκριση δύο ίδιων μεγεθών. Για να μετρήσουμε ένα μέγεθος για παράδειγμα το **ύψος** χρειαζόμαστε ένα πρότυπο για να συγκρίνουμε το ύψος με το πρότυπο. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα από παλιά να δημιουργηθεί μια σειρά προτύπων μονάδων. Όμως δεν είναι πολύ εύκολο μια και μπορεί να εμπεριέχει σφάλμα.

Έτσι μετά από χρόνια και με την βοήθεια της τεχνολογίας φτιάχτηκαν συσκευές μετρήσεως, οι οποίες βοήθησαν στην μέτρηση των μεγεθών. Με την πάροδο των χρόνων και με την ανάπτυξη της τεχνολογίας οι συσκευές έγιναν πιο αξιόπιστες, πιο εύκολες στην χρήση και πιο γρήγορες στη συλλογή των αποτελεσμάτων.

Οι μετρήσεις παίζουν μεγάλο ρόλο στην βιομηχανία μια και αυτός ο κλάδος είναι αρκετά ευαίσθητος και δεν έχει περιθώρια για λάθη σε τέτοια μεγέθη. Για παράδειγμα σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο ή σε ένα αεροπλάνο τα όργανα μετρήσεων είναι το άλφα και το ωμέγα και τυχόν λάθη στην ακρίβεια των οργάνων θα είχε δυσάρεστα αποτελέσματα.

Μέτρηση μπορεί να σημαίνει είτε απαρίθμηση με χρήση των φυσικών αριθμών, είτε σύγκριση μεταξύ του προς μέτρηση μεγέθους και ενός πρότυπου μεγέθους όπως περιγράφεται παραπάνω.

#### 1.3.1 Οι μονάδες μέτρησης των φυσικών μεγεθών

Για να ορισθεί ένα μέγεθος εκτός από ένα αριθμό θα χρειαστούμε και μία μονάδα μέτρησης γιατί χωρίς αυτήν θα επικρατούσε μία σύγχυση. Έτσι για την αποφυγή αυτής της σύγχυσης ορίσαμε μονάδες μέτρησης.

Από πολύ παλιά οι άνθρωποι δημιούργησαν συστήματα μονάδων μέτρησης. Υπάρχει το Βαβυλωνιακό σύστημα, το Αιγυπτιακό σύστημα, το ελληνικό, το ρωμαϊκό, το κινέζικο, το βρετανικό και άλλα δεκάδες συστήματα. Για να αποφευχθούν τα παραπάνω την σύγχυση από το 1960 ισχύει παγκοσμίως το σύστημα SI (International System of units) στις μετρήσεις.

Οι μονάδες μέτρησης των φυσικών μεγεθών, περιλαμβάνονται σε ορισμένα συστήματα μονάδων, τα κυριότερα από τα οποία είναι τα εξής :

- α. Το διεθνές σύστημα, SI.
- β. Το C.G.S.
- γ. Το τεχνικό σύστημα.
- δ. Το απόλυτο Αγγλικό σύστημα ( FPS )
- ε. Το Αγγλικό πρακτικό σύστημα.
- στ. Το Αμερικάνικο πρακτικό σύστημα

ζ. Πέρα από τα παραπάνω υπάρχουν και κάποιες ανεξάρτητες μονάδες, όπως η ατμόσφαιρα (atm), για την πίεση, ή το καλορί (cal) για την θερμότητα.

Ήδη εδώ και πολλά χρόνια, έχει επικρατήσει η χρησιμοποίηση του διεθνούς συστήματος (S.I.), κυρίως στους επιστημονικούς κύκλους. Οι θεμελιώδεις και οι παράγωγες μονάδες μέτρησης, των κυριότερων συστημάτων, παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 1.1 Οι θεμελιώδεις και οι παράγωγες μονάδες μέτρησης, των κυριότερων συστημάτων

Συστήματα μονάδων	Φυσικά μεγέθη						
	Μήκος L	Χρόνος S	Μάζα M	Δύναμη F	Ενέργεια E	Θερμο- κρασία T	Πίεση P
S.I.	m	sec	kgr	Newton	joule	<sup>0</sup> C, <sup>0</sup> K	Pa
C.G.S.	cm	sec	gr	dyn	erg	<sup>0</sup> C, <sup>0</sup> K	dyn/cm <sup>2</sup>
Απόλυτο Αγγλικό ή FPS	ft	sec	lb	pauntal	ft. pauntal	<sup>0</sup> F, <sup>0</sup> R	pauntal/ ft <sup>2</sup>
Αγγλικό πρακτικό	ft	sec	slug	Lbm (Λίμπρα βάρους )	Btu	<sup>0</sup> F, <sup>0</sup> R	lbf/ ft <sup>2</sup>
Αμερικάνικο πρακτικό	ft	sec	lbm (Λίμπρα μάζας)	lbf (Λίμπρα δύναμης)	HP.h	<sup>0</sup> F, <sup>0</sup> R	lbf/ ft <sup>2</sup>
Τεχνικό σύστημα	m	sec	kgr	kp	kg.m	<sup>0</sup> C, <sup>0</sup> K	bar

### 1.3.2 Συσχέτιση των διαφόρων μονάδων του ίδιου φυσικού μεγέθους

Η συσχέτιση - ισοδυναμία των διαφόρων μονάδων του ίδιου φυσικού μεγέθους φαίνεται στους πίνακες που ακολουθούν.

Πίνακας 1.2 Μονάδες μήκους

	m	cm	mm	km	ml	in	ft	yrd
1m	1	100	1000	$10^{-3}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$	39,37	3,28	1,093
1cm	$10^{-2}$	1	10	$10^{-5}$	$6,2 \cdot 10^{-6}$	0,394	$3,28 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
1mm	$10^{-3}$	0,1	1	$10^{-6}$	$6,2 \cdot 10^{-7}$	$3,94 \cdot 10^{-2}$	$3,28 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
1km	1.000	100.000	1.000.000	1	0,62	39.370	3.278,7	1.092,9
1ml	1.609	160.900	1.609.000	1,609	1	63.346,5	5.280	1.758,5
1in	$2,54 \cdot 10^{-2}$	2,54	25,40	$2,54 \cdot 10^{-5}$	$1,57 \cdot 10^{-5}$	1	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-2}$
1ft	0,305	30,50	305	$3,05 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	12	1	0,333
1yrd	0,914	91,40	914	$9,15 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	36	3	1

Πίνακας 1.3 Μονάδες όγκου

	$m^3$	lt	$cm^3$	gal	$ft^3$
$m^3$	1	1.000	1.000.000	267,8	35,3
lt	$10^{-3}$	1	1.000	0,27	$3,6 \cdot 10^{-2}$
$cm^3$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-5}$
gal	$3,7 \cdot 10^{-3}$	3,7	3.700	1	0,134
$ft^3$	$2,83 \cdot 10^{-2}$	28,3	28.300	7,48	

Πίνακας 1.4 Μονάδες μάζας

	kgr	gr	tn	lb
kgr	1	1.000	$10^{-3}$	2.2
gr	$10^{-3}$	1	$10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-3}$
tn	1.000	1.000.000	1	2.202,6
lb	0,454	454	$4,5 \cdot 10^{-4}$	1

Πίνακας 1.5 Μονάδες δύναμης

	Nt	kp	p	dyn
Nt	1	0,102	102	100.000
kp	9,81	1	1.000	981.000
p	$9,8 \cdot 10^{-3}$	$10^{-3}$	1	981
dyn	$10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-3}$	1

Πίνακας 1.6 Μονάδες πίεσης

	Pa	MPa	bar	atm	tor	psi
Pa	1	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$
MPa	1.000.000	1	10	9,87	7.500	145
bar	100.000	0,1	1	0,987	750	14,5
atm	101.300	0,101	1,013	1	760	14,69
torr	133,3	$1,33 \cdot 10^{-3}$	$13,33 \cdot 10^{-4}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1	$1,93 \cdot 10^{-2}$
psi	6897	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-2}$	51,57	1

### 1.3.3 Το Διεθνές σύστημα μονάδων SI

Το SI βασίζεται στις παρακάτω αρχές:

- Υπάρχουν 7 θεμελιώδεις μονάδες.
- Υπάρχει ένα σύνολο πολλαπλασιαστών που μπαίνουν ως προθέματα στις μονάδες.
- Από τις θεμελιώδεις μονάδες προκύπτουν παράγωγες μονάδες από τα γινόμενα και τα πηλίκα τους.
- Το σύνολο των θεμελιωδών και των παράγωγων μονάδων του SI, εκφράζει ποσοτικά τα διαστατά φυσικά μεγέθη.

Πίνακας 1.7 Θεμελιώδεις μονάδες μέτρησης του SI

Μέγεθος	Όνομα	Σύμβολο
Μήκος	Μέτρο	m
Μάζα	Χιλιόγραμμα	kg
Χρόνος	Δευτερόλεπτο	s
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, ηλεκτρικό ρεύμα	Αμπέρ	A
Θερμοδυναμική θερμοκρασία	Κέλβιν	K
Ποσότητα ουσίας	Μολ	mol
Φωτεινή ένταση, φωτοβολία	Καντέλα	cd

Οι παράγωγες μονάδες του διεθνούς συστήματος προκύπτουν από τους συνδυασμούς (μόνο με γινόμενα ή πηλίκα καθώς απαγορεύεται η πρόσθεση ασύμβατων φυσικών μεγεθών) των θεμελιωδών μονάδων. Κάθε διαστατό φυσικό μέγεθος που δεν περιγράφεται άμεσα από κάποια θεμελιώδη μονάδα, μπορεί να περιγραφεί από κάποια παράγωγη. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται ορισμένες συχνά χρησιμοποιούμενες παράγωγες μονάδες:

Πίνακας 1.8 Παράγωγες μονάδες μέτρησης του SI

Φυσικό μέγεθος	Έκφραση γινομένου ή πηλίκου	Παράγωγη μονάδα	Ιδιαίτερος συμβολισμός	Όνομα της μονάδας
Επιφάνεια	μήκος <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	-	τετραγωνικό μέτρο
Όγκος	μήκος <sup>3</sup>	dm <sup>3</sup>	l (liter)	λίτρο, κυβική παλάμη, κυβικό δεκατόμετρο
Ταχύτητα	Μήκος / Χρόνος	m/s	-	μέτρο ανά δευτερόλεπτο
Επιτάχυνση	Μήκος / Χρόνος <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>	-	μέτρο ανά δευτερόλεπτο στο τετράγωνο
Δύναμη	Μάζα × Επιτάχυνση	kg×m/s <sup>2</sup>	N (Newton)	νιούτον
Πίεση - τάση	Δύναμη / Επιφάνεια	N/m <sup>2</sup>	Pa (Pascal)	πασκάλ
Ροπή	Δύναμη × Μήκος	N×m	-	νιούτον επί μέτρο, νιουτόμετρο
Πυκνότητα	Μάζα / Όγκος	kg/m <sup>3</sup>	-	χιλιόγραμμα ανά κυβικό μέτρο
Ειδικό βάρος	Δύναμη / Όγκος	N/m <sup>3</sup>	-	νιούτον ανά κυβικό μέτρο
Έργο - Ενέργεια	Δύναμη × Μήκος	N×m	J (Joule)	τζάουλ
Ισχύς	Έργο / Χρόνος	J/s	W (Watt)	βατ

Πίνακας 1.9 Αποδεκτές μονάδες εκτός του SI

Όνομα	Σύμβολο	Τιμή σε μονάδες του SI
Λεπτό (minute)	min	1 min = 60 s
Ωρα (Hour)	h	1 h = 60 min = 3600 s
Ημέρα (Day)	d	1 d = 24 h = 86 400 s
Μοίρα (γωνία) (degree, angle)	°	1° = (π/180) rad
Λεπτό μοίρας (γωνία)	'	1' = (1/60)° = (π /10 800) rad
Δευτερόλεπτο μοίρας	"	1" = (1/60)' = (π /648 000) rad
Λίτρο	L	1 L = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
Μετρικός τόννος	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg
Μίλι ναυτικό	nautical mile	1 nautical mile = 1852 m
Κόμβος ναυτικός	knot	1 nautical mile per hour = (1852/3600) m/s
Are	a	1 a = 1 dam <sup>2</sup> = 10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
Εκτάριο (hectare)	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
bar	bar	1 bar = 0.1 MPa = 100 kPa = 1000 hPa = 10 <sup>5</sup> Pa
ångström	Å	1 Å = 0.1 nm = 10 <sup>-10</sup> m

Στο SI υπάρχει ένα σύστημα προθεμάτων το οποίο επιτρέπει να χρησιμοποιούνται μονάδες της τάξης μεγέθους που είναι πιο βολικές. Με το πρόθεμα πριν το όνομα της μονάδας προκύπτει ένα



πολλαπλάσιο ή μια υποδιαίρεση της μονάδας κατά μία δύναμη τού  $10^1$ . Έτσι χρησιμοποιήθηκαν **Ελληνικά** προθέματα για τα πολλαπλάσια (*deca, hecto, kilo*)<sup>2</sup> και Λατινικά για τις υποδιαίρεσεις (*deci, centi, milli*) των μονάδων.

Πίνακας 1.10 Τα προθέματα στο SI, για τα υποπολλαπλάσια και τα πολλαπλάσια των μεγεθών

Διεθνές όνομα	Σύμβολο	Προφορά	Συντελεστής	Κλίμακα	Παράδειγμα
yotta	Y	γιοττα	$10^{24}$	επτάκις εκατομμυριάδα	γιοττάμετρο
zetta	Z	ζεττα	$10^{21}$	εξάκις εκατομμυριάδα	ζεττάμετρο
exa	E	εξα	$10^{18}$	πεντάκις εκατομμυριάδα	εξάμετρο
peta	P	πετα	$10^{15}$	τετράκις εκατομμυριάδα	πετάμετρο
tera	T	τερα	$10^{12}$	τρισεκατομμυριάδα	τεράμετρο
giga	G	γιγα	$10^9$	δισεκατομμυριάδα	γιγάμετρο
mega	M	μεγα	$10^6$	εκατομμυριάδα	μεγάμετρο
kilo	k	χιλιο	$10^3$	χιλιάδα	χιλιόμετρο
hecto	h	εκατο	$10^2$	εκατοντάδα	εκατόμετρο
deca	da	δεκα	$10^1$	δεκάδα	δεκάμετρο
–	-	-	$10^0 = 1$	μονάδα	μέτρο
deci	d	δεκατο	$10^{-1}$	δέκατο	δεκατόμετρο
centi	c	εκατοστο	$10^{-2}$	εκατοστό	εκατοστόμετρο
milli	m	χιλιοστο	$10^{-3}$	χιλιοστό	χιλιοστόμετρο
micro	μ	μικρο	$10^{-6}$	εκατομμυριοστό	μικρόμετρο
nano	n	νανο	$10^{-9}$	δισεκατομμυριοστό	νανόμετρο
pico	p	πικο	$10^{-12}$	τρισεκατομμυριοστό	πικόμετρο
femto	f	φεμτο	$10^{-15}$	τετράκις εκατομμυριοστό	φεμτόμετρο (φέρμι)
atto	a	αττο	$10^{-18}$	πεντάκις εκατομμυριοστό	αττόμετρο
zepto	z	ζεπτο	$10^{-21}$	εξάκις εκατομμυριοστό	ζεπτόμετρο
yocto	y	γιοκτο	$10^{-24}$	επτάκις εκατομμυριοστό	γιοκτόμετρο

Σημείωση: Το χιλιόγραμμα (kilogram) είναι η μόνη μονάδα του SI που περιλαμβάνει στο όνομα και στο σύμβολό της ένα πρόθεμα (k). Συνεπώς, όταν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί πρόθεμα, τότε χρησιμοποιούμε το σύμβολο του γραμμαρίου (g), π.χ.  $10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$  (1 χιλιοστογραμμάριο, ή 1 μιλιγράμ = 1 milligram).\

<sup>1</sup> Η ιδέα είχε αφετηρία την [γαλλική επανάσταση](#), κατά την οποία προτάθηκε η χρήση αποκλειστικά [δεκαδικού συστήματος αρίθμησης](#) σε αντικατάσταση του υπάρχοντος δωδεκαδικού. Τα νέα μέτρα δεν είχαν την κατάλληλη κλίμακα για όλες τις εργασίες οπότε τα προθέματα έδωσαν την λύση ώστε να δημιουργηθούν με συστηματικό τρόπο οι κατάλληλες μονάδες.

<sup>2</sup> Στα ελληνικά χρησιμοποιείται το αντίστοιχο ελληνικό πρόθεμα (που είναι είτε το καθαρά ελληνικό πρόθεμα είτε μια αντίστοιχη εκδοχή του διεθνούς προθέματος. Ιδιαίτερα το πρόθεμα *kilo* (και *milli*) στα ελληνικά είναι *χιλιο* αλλά χρησιμοποιείται και ως *κιλό* (και *μίλι*) ιδιαίτερος αν το δεύτερο συνθετικό ακούγεται ξενικό (πχ συνήθως *κιλοβάτ* και όχι *χιλιοβάτ*, αλλά *χιλιόμετρο* και όχι *κιλόμετρο*).

## 1.4 Οι φυσικές ιδιότητες των ρευστών

### 1.4.1 Η πυκνότητα

Το φυσικό μέγεθος **πυκνότητα** αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ύλης και συμβολίζεται με το γράμμα  $\rho$ . Μονάδα μέτρησης της πυκνότητας στο SI είναι το  $1 \text{ kg/m}^3$ . Αρκετά συχνά όμως σαν μονάδα χρησιμοποιείται και το γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό,  $1 \text{ gr/cm}^3$ .

Η πυκνότητα των τέλειων αερίων μπορεί να υπολογιστεί από την καταστατική εξίσωση των τέλειων αερίων (νόμος των Boyle και Charles), δηλαδή:

$$R = \frac{p u_s}{T}$$

όπου: R είναι η παγκόσμια σταθερή των αερίων σε  $\text{J/kg K}$ .

$p$  είναι η απόλυτη πίεση σε Pascal

$u_s$  είναι ο ειδικός όγκος σε  $\text{m}^3/\text{kg}$ ,

T είναι η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin (= 273+βαθμοί Κελσίου)

Επειδή  $\rho = 1 / u_s$ , η παραπάνω εξίσωση μπορεί να γραφεί:

$$p = \frac{\rho}{RT}$$

Για τα υγρά μπορούμε να δεχόμαστε σταθερή πυκνότητα για συνηθισμένες μεταβολές της πίεσης, αλλά μεταβάλλεται σημαντικά με τη θερμοκρασία. Η πυκνότητα του νερού είναι  $1000 \text{ kg/m}^3$  στους  $4^\circ\text{C}$ . Όσον αφορά τα αέρια σώματα, η πυκνότητα τους μεταβάλλεται εύκολα, όταν μεταβάλλεται η πίεση ή/και η θερμοκρασία.

Η πυκνότητα δεν εξαρτάται από την ποσότητα του υλικού, αλλά αποτελεί κύριο σταθερό χαρακτηριστικό συγκεκριμένου υλικού. Για παράδειγμα, η πυκνότητα ενός σιδερένιου συνδετήρα είναι ίδια με την πυκνότητα μιας σιδερένιας ράβδου, δηλαδή ίση με  $7800 \text{ kg/m}^3$ , (ίδιο υλικό κατασκευής).

Οι πυκνότητες των συνηθέστερων σωμάτων (στερεών, υγρών, ή αερίων) καταγράφονται ή φέρονται σε πίνακες τόσο σε βιβλία Φυσικής όσο και σε διάφορα τεχνικά βοηθήματα, βλέπε παρακάτω σχετικό πίνακα με τις πυκνότητες διαφόρων υλικών.

Πίνακας 1.12. Η πυκνότητα των διαφόρων υλικών στο SI

Υλικό	Πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ )	Υλικό	Πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ )	Υλικό	Πυκνότητα ( $\text{kg/m}^3$ )
Αέρας (στους $20^\circ\text{C}$ )	1,2	Πάγος	920	Μόλυβδος	11400
Αέρας (στους $0^\circ\text{C}$ )	1,3	Νερό	1000	Υδράργυρος	13600
Φελλός	250	Τσιμέντο	2400	Χρυσός	19300
Οινόπνευμα	800	Αλουμίνιο	2700	Όσμιο	22600
Ελαιόλαδο	900	Σίδηρος	7800		

Ειδικά σε περιπτώσεις που αναφέρονται σε υγρά χρησιμοποιείται συχνά το γινόμενο  $\rho \cdot g$ , όπου  $g$  είναι η επιτάχυνση βαρύτητας (συμβατικά ίση με  $9,81 \text{ m/sec}^2$ ). Άλλοτε αυτό το γινόμενο ονομαζόταν ειδικό βάρος και συμβολιζόταν με  $w$ .

Με τον όρο **Ειδικό βάρος**<sup>3</sup> χαρακτηρίζεται το βάρος (σε γραμμάρια της μονάδας του όγκου (1 κυβικού εκατοστομέτρου) κάποιου σώματος, ή ο λόγος του βάρους ενός σώματος προς τον όγκο αυτού ή προς το βάρος ίσου όγκου απεσταγμένου ύδατος και θερμοκρασίας 4 °C.

Στο σύστημα SI το επίθετο ειδικός πρέπει να χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την περιγραφή μεγεθών ανά μονάδα μάζας κι έτσι ο όρος ειδικό βάρος δεν πρέπει να χρησιμοποιείται πλέον. Επειδή όμως χρησιμοποιείται ακόμα στην πράξη και για να αποφύγουμε να λέμε βάρος ανά μονάδα όγκου, **θα χρησιμοποιούμε τον όρο ειδικό βάρος.**

#### 1.4.2 Η σχετική πυκνότητα

Η σχετική πυκνότητα ενός σώματος είναι εκείνος ο καθαρός αριθμός που δηλώνει το λόγο της μάζας ενός σώματος προς τη μάζα μιας ίσου όγκου ουσίας που λαμβάνεται ως μέτρο σύγκρισης δηλαδή:

$$\text{Σχετική πυκνότητα σώματος} = \frac{\text{μάζα του σώματος}}{\text{μάζα ίσου όγκου νερού}} = \frac{\text{πυκνότητα του σώματος}}{\text{πυκνότητα του νερού}}$$

Τα στερεά και τα υγρά αναφέρονται στο νερό (στους 4 °C) ως μέτρο σύγκρισης, ενώ τα αέρια αναφέρονται συχνά στον αέρα απαλλαγμένο από CO<sub>2</sub> και υδρογόνο (στους 0 °C και πίεση μιας ατμόσφαιρας = 1.013 X 10<sup>5</sup> Pa).

Έτσι, αν η σχετική πυκνότητα ενός λαδιού είναι 0,750, η πυκνότητά του είναι 0,750·(1.000 kg/m<sup>3</sup>) = 750 kg/m<sup>3</sup>.

Η σχετική πυκνότητα του νερού είναι 1,00 και του υδράργυρου 13,57. Η σχετική πυκνότητα μιας ουσίας είναι ανεξάρτητη από το σύστημα μονάδων που χρησιμοποιείται.

#### 1.4.3 Η συνεκτικότητα ή ιξώδες

Η συνεκτικότητα ή το ιξώδες<sup>4</sup> ενός ρευστού είναι η ιδιότητα εκείνη που καθορίζει την αντίστασή<sup>5</sup> του σε διατμητικές δυνάμεις. Η συνεκτικότητα οφείλεται κυρίως σε αλληλεπιδράσεις των μορίων του ρευστού. Για παράδειγμα, διαφορετικά ρέουν το μέλι, το λάδι και το νερό.

Η αντίσταση αυτή που παρουσιάζουν τα ρευστά οφείλεται στις εσωτερικές τριβές των μορίων τους από δυνάμεις συνοχής, σε βαθμό που το ίδιο το ιξώδες να αποτελεί μέτρο αντίστασης του υγρού στη ροή και που εξετάζεται ιδιαίτερα από την Υδροδυναμική.

---

<sup>3</sup> Πολύ συχνά γίνεται σύγχυση μεταξύ του ειδικού βάρους και της πυκνότητας μιας ουσίας που όμως είναι διαφορετικές έννοιες εκφραζόμενες όμως με τον ίδιο αριθμό.

Το **Ειδικό βάρος** είναι βάρος σε γραμμάρια (βάρους) της μονάδας του όγκου, ενώ πυκνότητα είναι ο λόγος της μάζας μιας ουσίας προς τον όγκο αυτής ή προς την μάζα ίσου όγκου ύδατος θερμοκρασίας 4° C. Έτσι όταν λέμε για παράδειγμα ότι ο σιδήρος έχει ειδικό βάρος 7 εννοούμε ότι το 1 κυβ. εκατοστό αυτού ζυγίζει 7 γραμμάρια βάρους. Εάν όμως θέλουμε να βρούμε την πυκνότητα του σιδήρου λαμβάνοντας 1 κυβικό εκατοστό όγκου του τότε θα πρέπει να διαιρέσουμε τη μάζα ενός κυβικού εκατοστού που είναι ίση με 7 γραμμάρια (μάζας) δια της μάζας του ενός κυβικού εκατοστού ύδατος απεσταγμένου σε θερμοκρασία 4° C που ως γνωστό λαμβάνεται ως μονάδα μάζας και ισούται με 1 γραμμάριο (μάζας). Συνεπώς και η πυκνότητα του σιδήρου εκφράζεται με τον αριθμό 7.

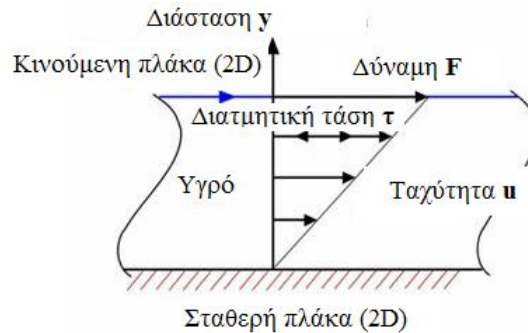
Έτσι κατά την έννοια της μάζας και όχι του βάρους θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι το (σχετικό) **ειδικό βάρος** είναι ένα μέτρο της πυκνότητας μιας ουσίας. Ορίζεται ως **ο λόγος της πυκνότητας της ουσίας προς την πυκνότητα μιας ουσίας αναφοράς**. Είναι αδιάστατο μέγεθος και γι' αυτό έχει την ιδιότητα να έχει την ίδια τιμή ανεξάρτητα από το σύστημα μονάδων που θα χρησιμοποιηθεί για την έκφραση της πυκνότητας της ουσίας.

<sup>4</sup> Η λέξη ιξώδες προέρχεται από τη λέξη ιξός (τη γνωστή κολλώδη ουσία που περιβάλλει κάποιους καρπούς) και σημαίνει το κολλώδες.

<sup>5</sup> Αντίθετος όρος του ιξώδους, κατ' έννοια και κατά μέτρο είναι η ρευστότητα, έτσι ένα υγρό που παρουσιάζει μεγάλο ιξώδες έχει μικρή ρευστότητα, και αντίστροφα. Τα μόνα υγρά που παρουσιάζουν μεταβλητό ιξώδες είναι τα θιζότροπα μετά την ανάδευσή τους.

Το μέτρο του ιξώδους<sup>6</sup> είναι ο συντελεστής συνεκτικότητας ή συντελεστής εσωτερικής τριβής ή συντελεστής ιξώδους του υγρού. Όσο πιο παχύρρευστο είναι ένα υγρό, τόσο μεγαλύτερο ιξώδες λέμε ότι έχει, π.χ. το μέλι έχει μεγαλύτερο ιξώδες από το λάδι.

Στο σχήμα 1.1 θεωρούνται δύο μεγάλες παράλληλες πλάκες σε μικρή απόσταση  $y$  μεταξύ τους. Ο χώρος μεταξύ των πλακών είναι γεμάτος από ρευστό. Έστω ότι στην πάνω πλάκα ασκείται σταθερή δύναμη  $F$  με αποτέλεσμα η πλάκα να κινείται με σταθερή ταχύτητα  $U$ .



**Σχήμα 1.1** Προφίλ ταχύτητας

Το ρευστό που βρίσκεται σε επαφή με την πάνω πλάκα θα προσκολληθεί σ' αυτή και θα κινηθεί με ταχύτητα  $U$ , ενώ το ρευστό που βρίσκεται σε επαφή με τη σταθερή πλάκα θα έχει ταχύτητα μηδέν. Αν η απόσταση  $y$  και η ταχύτητα  $U$  δεν είναι πολύ μεγάλες, η μεταβολή της ταχύτητας (κλίση) θα είναι μια ευθεία γραμμή. Έχειδειχτεί πειραματικά ότι η δύναμη  $F$  μεταβάλλεται ανάλογα με την επιφάνεια της πλάκας, την ταχύτητα  $U$  και αντιστρόφως ανάλογα με την απόσταση  $y$ .

Επειδή από τα όμοια τρίγωνα είναι  $U/y = dV / dy$ , έχουμε :

$$F \propto \frac{EU}{y} = \frac{EdV}{dy} \Rightarrow \frac{F}{E} = \tau \propto \frac{dV}{dy}$$

όπου  $\tau = F/E$  είναι η διατμητική τάση.

Αν στην παραπάνω σχέση εισαχθεί μια σταθερή αναλογίας,  $\mu$ , που την ονομάζουμε απόλυτη (δυναμική) συνεκτικότητα ή απλά συνεκτικότητα, τότε προκύπτει:

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \Rightarrow \mu = \frac{\tau}{dV / dy}$$

Οι μονάδες μέτρησης της  $\mu$  είναι Pa·s γιατί:

$$\frac{\text{Pa}}{(\text{m/s}) / \text{m}} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

Τα ρευστά που ακολουθούν τη σχέση:

$$\tau = \mu \frac{dV}{dy} \Rightarrow \mu = \frac{\tau}{dV / dy}$$

ονομάζονται Νευτώνεια ρευστά.

Ένας άλλος συντελεστής συνεκτικότητας, ο κινηματικός συντελεστής συνεκτικότητας, ή κινηματική συνεκτικότητα, ορίζεται με τη σχέση :

<sup>6</sup> Το ιξώδες μετριέται με ειδικό όργανο που λέγεται ιξωδόμετρο. Η μέτρηση γίνεται σε βαθμούς, που σήμερα σε χρήση είναι οι "βαθμοί Engler", ή "βαθμοί Redwood", ή "βαθμοί Saybott", κ.λπ, που παρέχονται από το εγχειρίδιο του, κατά περίπτωση χρήσης τύπου, ομόνυμου οργάνου.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Οι μονάδες<sup>7</sup> μέτρησης του  $\nu$  είναι  $\text{m}^2/\text{s}$  γιατί:

$$\frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{Kg} / \text{m}^3} = \frac{(\text{N} / \text{m}^2) \cdot \text{s}}{\text{Kg} / \text{m}^3} = \frac{((\text{Kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2) / \text{m}^2) \cdot \text{s}}{\text{Kg} / \text{m}^3} = \frac{\text{Kg} / \text{m} / \text{s}}{\text{Kg} / \text{m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Η συνεκτικότητα των υγρών ελαττώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας, αλλά δεν επηρεάζεται σημαντικά από μεταβολές της πίεσης. Η απόλυτη συνεκτικότητα των αερίων αυξάνεται με την αύξηση της θερμοότητας, αλλά δε μεταβάλλεται σημαντικά από μεταβολές της πίεσης.

Επειδή η πυκνότητα των αερίων αλλάζει σημαντικά με την μεταβολή της πίεσης (σε σταθερή θερμοκρασία), η κινηματική συνεκτικότητα μεταβάλλεται αντίστροφα με την πίεση.

Τα ιδεατά ρευστά είναι ρευστά ασυμπίεστα ( $\rho = \text{σταθερό}$ ) και μη συνεκτικά ( $\mu=0$ ), ή διαφορετικά είναι ρευστά ασυμπίεστα και χωρίς τριβές δηλαδή με μηδενική συνεκτικότητα και κατά συνέπεια δεν αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις μεταξύ των μορίων του ρευστού κατά την κίνησή των.

Τα πραγματικά ρευστά, είναι ρευστά ασυμπίεστα με συνεκτικότητα  $\mu$ , που θεωρείται σταθερή και διάφορη του μηδενός, ή διαφορετικά είναι ρευστά ασυμπίεστα με εσωτερικές διατμητικές τάσεις οι οποίες αντιδρούν στις παραμορφώσεις που δημιουργούνται από την κίνησή τους. (Για το λόγο αυτό τα πραγματικά ρευστά λέγονται και συνεκτικά ρευστά).

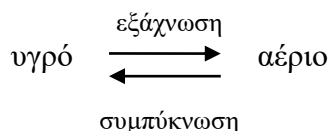
#### 1.4.4 Η τάση των ατμών

**Τάση ατμών** ενός υγρού (ή στερεού), σώματος σε μία ορισμένη θερμοκρασία, ονομάζεται η πίεση των ατμών του σώματος όταν ατμοί και υγρό (ή ατμοί και στερεό) βρίσκονται σε ισορροπία στη θερμοκρασία αυτή. Κατάσταση ισορροπίας, εν προκειμένω χαρακτηρίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία η ταχύτητα εξάτμισης (ή εξάχνωσης για τα στερεά) εξισώνεται με την ταχύτητα υγροποίησης (ή στερεοποίησης) στον ίδιο περιβάλλοντα χώρο. Δηλαδή, όταν ένα υγρό εξατμίζεται σε έναν κλειστό χώρο, η μερική πίεση που δημιουργείται από τα μόρια των ατμών ονομάζεται τάση ατμών. Η τάση των ατμών εξαρτιέται από τη θερμοκρασία και μάλιστα αυξάνεται με αυτή.

Όλα τα υγρά τείνουν να εξατμιστούν, ή εξαερωθούν, πράγμα το οποίο το επιτυγχάνουν προωθώντας μόριά τους στο χώρο πάνω από την επιφάνειά τους. Αν αυτός ο χώρος είναι ένας περιορισμένος χώρος, η μερική πίεση, που προκαλείται από τα μόρια του εξατμιζόμενου υγρού, αυξάνει μέχρι την τιμή, στην οποία τα μόρια που επανεισέρχονται στο υγρό, είναι αριθμητικά ίση με εκείνα που το εγκαταλείπουν. Λόγω αυτής της συνθήκης ισορροπίας η τάση των ατμών είναι γνωστή σαν πίεση κορεσμού.

Η τάση ατμών φανερώνει για μια ορισμένη θερμοκρασία, την ευκολία ή δυσκολία με την οποία εξατμίζεται ένα υγρό ή εξαχνώνεται ένα στερεό. Έτσι μία "μεγάλη τάση ατμών" φανερώνει την ευκολία της εξάτμισης ή εξάχνωσης μιας χημικής ουσίας και αντίστροφα.

<sup>7</sup> Σε αρκετά βιβλία οι συνεκτικότητες δίνονται σε poise και stoke (μονάδες του συστήματος CGS) και μερικές φορές σε Saybolt · seconds, από μετρήσεις συνεκτικομέτρων.



Για την επίτευξη της παραπάνω ισορροπίας απαιτείται κάποιο χρονικό διάστημα, στη διάρκεια του οποίου κάθε στιγμή η ταχύτητα δημιουργίας ατμού είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα δημιουργίας υγρού ή στερεού. Όταν επέλθει η ισορροπία τότε οι ατμοί λέγονται κορεσμένοι και η πίεση που ασκούν είναι η τάση ατμών. Πρέπει να τονιστεί ότι η ισορροπία είναι δυναμική και όχι στατική που σημαίνει ότι σε κάθε στιγμή ποσότητες από το σώμα αλλάζουν φάση αλλά με ίσες ταχύτητες.

Η τάση ατμών ενός σώματος εξαρτάται τόσο από την φύση του σώματος όσο και από τη θερμοκρασία του. Αυτό σημαίνει ότι όσο ισχυρότερες είναι οι διαμοριακές δυνάμεις (συννοχής) τόσο μικρότερη είναι αυτή η τάση, καθώς επίσης και όταν αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η ταχύτητα εξάτμισης με συνέπεια ν' αυξάνεται και η πίεση των ατμών στην ισορροπία. Σώματα με μεγάλη τάση ατμών λέγονται πτητικά<sup>8</sup>.

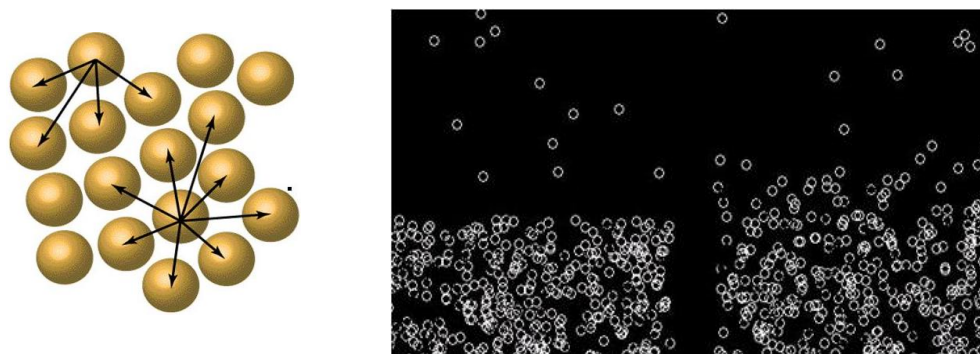
Η μοριακή δραστηριότητα αυξάνει με την θερμοκρασία, και επομένως και η πίεση κορεσμού αυξάνει με την θερμοκρασία. Σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία η πίεση στην επιφάνεια του υγρού μπορεί να είναι μεγαλύτερη της πίεσης κορεσμού, αλλά δεν μπορεί να είναι μικρότερη, επειδή κάθε μικρή ελάττωσή της προκαλεί ένα ταχύ ρυθμό εξατμίσεως, δηλαδή βρασμό.

Έτσι η πίεση κορεσμού μπορεί να γίνει γνωστή σαν πίεση βρασμού για τη δεδομένη θερμοκρασία. Η τιμή της πίεσης κορεσμού των ατμών είναι πρακτικού ενδιαφέροντος στην περίπτωση των υγρών, γιατί αν η περιορίζουσα πίεση επί του υγρού γίνει μικρότερη της τιμής αυτής, το υγρό θα εξαερωθεί.

Από τα διάφορα υγρά ο υδράργυρος, επειδή έχει χαμηλή πίεση κορεσμού, είναι κατάλληλος για την κατασκευή διαφόρων ειδών βαρομέτρων.

### 1.4.5 Η επιφανειακή τάση

Ένα μόριο στο εσωτερικό ενός υγρού υφίσταται ελκτικές δυνάμεις από όλες τις διευθύνσεις και το διανυσματικό άθροισμα αυτών των δυνάμεων είναι μηδέν.



Σχήμα 1.2 Οι μοριακές δυνάμεις έλξης σε ένα ρευστό

<sup>8</sup> Πρόσθετα η τάση ατμών στα διαλύματα μη πτητικών ουσιών εκτός της φύσεως του [διαλύτη](#) και της θερμοκρασίας εξαρτάται και από τη συγκέντρωση του διαλυμένου σώματος.

Σε ένα μόριο όμως στην επιφάνεια ενός υγρού, ασκείται μια συνολική δύναμη κάθετη στην επιφάνεια προς το εσωτερικό του υγρού. Συνεπώς, για να μετακινηθεί ένα μόριο από το εσωτερικό στην επιφάνεια, χρειάζεται να δαπανηθεί έργο για να υπερνικηθεί αυτή η αντιτιθέμενη δύναμη. Από αυτό συμπεραίνεται ότι τα επιφανειακά μόρια έχουν περισσότερη ενέργεια από τα εσωτερικά.

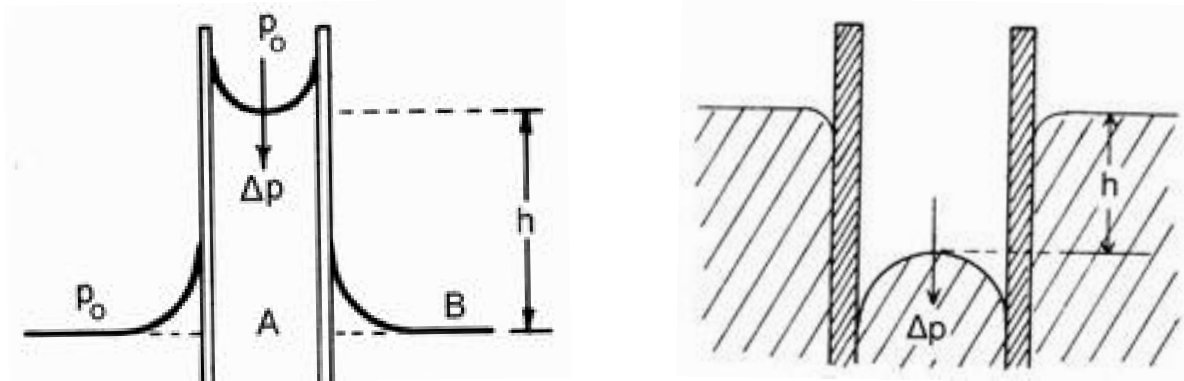
Η επιφανειακή τάση ενός υγρού είναι το έργο που πρέπει να δαπανηθεί για τη μεταφορά αρκετών μορίων από το εσωτερικό του υγρού στην επιφάνεια ώστε να αυξηθεί το εμβαδόν της επιφάνειας κατά μία μονάδα και μετράται σε  $\text{Nm/m}^2$ .

Το έργο αυτό είναι αριθμητικά ίσο με την επαπτομενική δύναμη συνοχής που ασκείται ανά μονάδα μήκους μιας υποθετικής γραμμής της επιφάνειας ( $\text{N/m}$ ). Στα περισσότερα προβλήματα της ρευστομηχανικής η επιφανειακή τάση δεν παίζει μεγάλο ρόλο.

#### 1.4.6 Τα τριχοειδή φαινόμενα.

Η άνοδος και η πτώση ενός υγρού σε έναν τριχοειδή σωλήνα (ή σε παρόμοιες καταστάσεις, όπως σε ένα πορώδες μέσο) οφείλεται στην επιφανειακή τάση και εξαρτάται από τα σχετικά μεγέθη συνοχής του υγρού και συνάφειας του υγρού με τα τοιχώματα του δοχείου όπου περιέχεται.

Άνοδος του υγρού σε σωλήνα συμβαίνει όταν διαβρέχει τα τοιχώματα (η συνάφεια υπερτερεί της συνοχής) και πτώση όταν δεν τα διαβρέχει (η συνοχή υπερτερεί της συνάφειας). Τα τριχοειδή φαινόμενα έχουν πρακτική σημασία, όταν χρησιμοποιούνται σωλήνες με διάμετρο μικρότερη από 10 mm περίπου.



Σχήμα 1.3 Τριχοειδή φαινόμενα σε λεπτούς γυάλινους σωλήνες

#### 1.4.7 Η πίεση των ρευστών

Η πίεση των ρευστών μεταδίδεται με ίση ένταση προς όλες τις διευθύνσεις και ασκείται κάθετα σε κάθε επίπεδη επιφάνεια. Στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο οι εντάσεις της πίεσης σε ένα υγρό είναι ίσες. Η πίεση μπορεί να μετρηθεί με διάφορες συσκευές (όργανα).

Στα επόμενα, όταν δεν αναφέρεται το αντίθετο, οι πιέσεις είναι σχετικές, δηλ. πάνω ή κάτω από την ατμοσφαιρική πίεση. Η απόλυτη πίεση ισούται με τη σχετική συν μία ατμόσφαιρα.

#### 1.4.8 Το μέτρο ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο διόγκωσης  $E$  εκφράζει τη συμπίεστικότητα ενός ρευστού και εκφράζεται με το λόγο της μεταβολής της πίεσης προς την αντίστοιχη μεταβολή του όγκου ανά μονάδα όγκου, δηλαδή:

$$E = \frac{dp}{-du/u}$$

Το μέτρο ελαστικότητας μετράται σε  $\frac{\text{Pa}}{\text{m}^3/\text{m}^3} = \text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$

### 1.4.9 Οι διαταραχές της πίεσης

Οι διαταραχές πίεσης σε ένα ρευστό διαδίδονται σαν κύματα. Αυτά τα κύματα πίεσης κινούνται με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του ήχου μέσα στο ρευστό.

Η ταχύτητα αυτή σε m/s δίνεται από τη σχέση:

$$C = \left( \frac{E}{\rho} \right)^{1/2}$$

όπου το E είναι σε Pa και το ρ σε Kg/m<sup>3</sup>.

Για τα αέρια η ταχύτητα του ήχου είναι :

$$C = (kRT)^{1/2}$$

### 1.4.10 Οι φυσικές ιδιότητες του νερού στο SI

Το **νερό**<sup>9</sup> (ή στη καθαρεύουσα **ύδωρ**, λέξη από την οποία και πολλοί οι παράγωγοι όροι: υδατικό, ένυδρο κ.λπ.) είναι η περισσότερο διαδεδομένη χημική ένωση που είναι απαραίτητη σε όλες τις γνωστές μορφές ζωής στον πλανήτη μας. Στις τροφές υπάρχει σε μεγάλο ποσοστό. Στο ανθρώπινο σώμα το νερό περιέχεται σε ποσότητα 70% και στο αίμα 90%, ενώ στα λαχανικά και τα φρούτα μέχρι 93%.

Ο χημικός του τύπος του νερού είναι H<sub>2</sub>O και είναι ασύμμετρο με υψηλή διπολική ροπή.

Απαντάται και στις τρεις μορφές: **στερεά** (πάγος, χιόνι), **υγρή** (νερό πηγών, ποταμών, θαλασσών) και **αέρια** (υδρατμοί στην ατμόσφαιρα).

Η πυκνότητα του νερού είναι διαφορετική σε διάφορες θερμοκρασίες, με μέγιστη στους 4°C. Στον παρακάτω πίνακα<sup>10</sup> δίνονται οι τιμές της πυκνότητας του νερού σε διάφορες θερμοκρασίες.

<sup>9</sup> Το νερό μέχρι το **18ο αιώνα** θεωρούνταν ως στοιχείο. Πρώτος ο πατέρας της νεότερης **χημείας** **Λαβουαζιέ** απέδειξε ότι είναι ένωση του **υδρογόνου** και του **οξυγόνου**.

<sup>10</sup> Από τον πίνακα φαίνεται πως το νερό σε στερεή κατάσταση έχει μικρότερη πυκνότητα απ' ό,τι στην υγρή. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για την οικονομία της φύσης: Οι πάγοι επιπλέουν στο νερό και δρουν ως μονωτικά, εμποδίζοντας το νερό που βρίσκεται από κάτω να παγώσει, μ' όλες τις ευεργετικές συνέπειες στη ζωή του υδρόβιου κόσμου. Χωρίς την "ανωμαλία" αυτή της πυκνότητας του νερού, η ζωή στον πλανήτη μας δε θα υπήρχε, τουλάχιστον με τη σημερινή της μορφή, εξαιτίας της βαθμιαίας ψύξης του νερού της επιφάνειας της Γης. Η ιδιορρυθμία της πυκνότητας του νερού είναι η αιτία της αποσάθρωσης των βράχων. Το νερό που εισέρχεται στις ρωγμές των βράχων στερεοποιείται κατά τη διάρκεια του χειμώνα και προκαλεί την αποσάθρωσή τους. Ακόμα, το σπάσιμο των σωλήνων διανομής του νερού κατά το χειμώνα οφείλεται στην αύξηση του όγκου του νερού κατά τη μετάβαση από την υγρή στη στερεή κατάσταση.



Πίνακας 1.13. Οι φυσικές ιδιότητες του νερού σε μονάδες SI

Θερμοκρασία °C	Ειδικό βάρος $\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	Πυκνότητα $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Συνεπτικότητα $\mu \cdot 10^3$ N.sec/m <sup>2</sup>	Κινημ. συνεπ. $\nu \cdot 10^6$ m <sup>2</sup> /sec	Επιφανειακή τάση $\sigma$ N/m	Τάση ατμών $p_v$ KN/m <sup>2</sup>	Ύψος πίεσης ατμών $p_v / \gamma$ m	Μέτρο ελαστικότητας GN/m <sup>3</sup>
0	9,805	999,8	1,781	1,785	0,0756	0,61	0,06	2,02
5	9,807	1000,0	1,518	1,519	0,0749	0,87	0,09	2,06
10	9,804	999,7	1,307	1,306	0,0742	1,23	0,12	2,10
15	9,798	999,1	1,139	1,139	0,0735	1,70	0,17	2,15
20	9,789	998,2	1,002	1,004	0,0728	2,34	0,25	2,18
25	9,777	997,0	0,890	0,893	0,0720	3,17	0,33	2,22
30	9,764	995,7	0,798	0,800	0,0712	4,24	0,44	2,25
40	9,730	992,2	0,653	0,658	0,0696	7,38	0,76	2,28
50	9,689	988,0	0,547	0,553	0,0679	12,33	1,26	2,29
60	9,642	983,2	0,466	0,474	0,0662	19,92	2,03	2,28
70	9,589	977,8	0,404	0,413	0,0644	31,16	3,20	2,25
80	9,530	971,8	0,354	0,364	0,0626	47,34	4,96	2,20
90	9,466	965,3	0,315	0,326	0,0608	70,10	7,18	2,14
100	9,399	958,4	0,282	0,294	0,0589	101,33	10,33	2,07

Πίνακας 1.14. Φυσικές ιδιότητες υγρών σε κανονική ατμοσφαιρική πίεση σε μονάδες SI.

Υγρό	Θερμοκρασία °C	Ειδικό βάρος $\gamma$ KN/m <sup>3</sup>	Πυκνότητα $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Συνεπτικότητα $\mu \cdot 10^3$ N.sec/m <sup>2</sup>	Κινημ. συνεπ./τα $\nu \cdot 10^6$ m <sup>2</sup> /sec	Επιφ. τάση $\sigma$ N/m	Τάση ατμών $p_v$ KN/m <sup>2</sup>	Μέτρο ελαστικότητας GN/m <sup>3</sup>
Νερό	20	9,789	998,2	1,002	1,004	0,073	2,34	2.070
Βενζίνη	20	8,777	895	0,65	0,726	0,029	10,00	1.030
Τετραχλωράνθρακας	20	15,574	1.588	0,97	0,611	0,026	12,10	1.100
Ακατέργαστο πετρέλαιο	20	8,395	856	7,20	8,411	0,03	----	-----
Γκαζολίνη	20	6,649	678	0,29	0,428	-----	55	-----
Γλυκερίνη	20	12,337	1.258	1490	1.184	0,063	0,000014	4.350
Υδρογόνο	-257	0,706	72	0,021	0,292	0,003	21,40	-----
Κηροζίνη	20	7,924	808	1,92	2,376	0,025	3,20	-----
Υδράργυρος	20	132,885	13.550	1,56	0,115	0,51	0,00017	26.200
Οξυγόνο	-195	11,827	1.206	0,28	0,232	0,015	21,40	-----
Λάδι SAE 10	20	9,003	918	82	89,325	-----	-----	-----
Λάδι SAE 30	20	9,003	918	440	479,303	-----	-----	-----

# Προτεινόμενη Βιβλιογραφία

1. Μενέλαος Θεοχάρης, "ΑΡΔΕΥΣΕΙΣ", Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 2012.
2. Μενέλαος Θεοχάρης, "Η ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ", Τ.Ε.Ι. Ηπείρου, Άρτα, 1998.
3. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις ", Άρτα 1998
4. Θεοχάρης Μ.: " Η Άρδευση με Σταγόνες ", Άρτα 1998
5. Θεοχάρης Μ.: " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις , Εργαστηριακές Ασκήσεις", Άρτα 1998
6. Καρακατσούλης Π. : " Αρδεύσεις - Στραγγίσεις και Προστασία των Εδαφών ", Αθήνα 1993.
7. Κωνσταντινίδης Κ. : "Η μέθοδος αρδεύσεως δια καταιονήσεως ", Θεσσαλονίκη - Αθήνα 1975.
8. Μιχελάκης Ν. : "Συστήματα Αυτόματης Άρδευσης - Άρδευση με Σταγόνες"
9. Daugerty - Franzini : "Υδραυλική" Τόμοι I , II, Εκδόσεις Πλαίσιο , Αθήνα.
10. Davis- Sorensen : " Handbook of applied Hydraulics" Third edition McGraw-Hill Book Company, 1969.
11. Ουζούνης Δ. "Θεωρητική και Πρακτική Μέθοδος της Άρδευσης με Σταγόνες" Εκδόσεις Γαρταγάνη, Θεσσαλονίκη 1997.
12. Τερζίδης Γ. : "Μαθήματα Υδραυλικής " , Τόμοι I ,II , III, Θεσσαλονίκη 1986.
13. Τερζίδης Γ. - Παπαζαφειρίου Ζ. : " Γεωργική Υδραυλική " Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1997.
14. Τζιμόπουλος Χ. : " Γεωργική Υδραυλική " , Τόμοι I , II, Εκδόσεις Ζήτη , Θεσσαλονίκη 1982.
15. Τσακίρης Γ. : "Μαθήματα Εγγειοβελτιωτικών Έργων " , Αθήνα
16. Hansen V. - Israelsen : "Αρδεύσεις. Βασικοί Αρχαί και Μέθοδοι . Μετάφραση από τους Α. Νικολαΐδη και Α. Κοκκινίδη " , Αθήνα 1968.

# Σημείωμα Αναφοράς

Θεοχάρης Μενέλαος, (2015). Αρδεύσεις (Εργαστήριο). ΤΕΙ Ηπείρου.  
Διαθέσιμο από:

<http://eclass.teiep.gr/courses/TEXG110/>

# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά Δημιουργού-Μη Εμπορική Χρήση-Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 Διεθνές [1] ή μεταγενέστερη. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, Διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.el>



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Επεξεργασία: Δημήτριος Κατέρης

Άρτα, 2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ  
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης  
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ