

Εισαγωγή στα Ε/Β έργα και τις Αρδεύσεις

Μ. Βαλαβανίδης, PhD
Επικ. Καθηγητής, ΤΕΙ Αθήνας

marval@teiath.gr

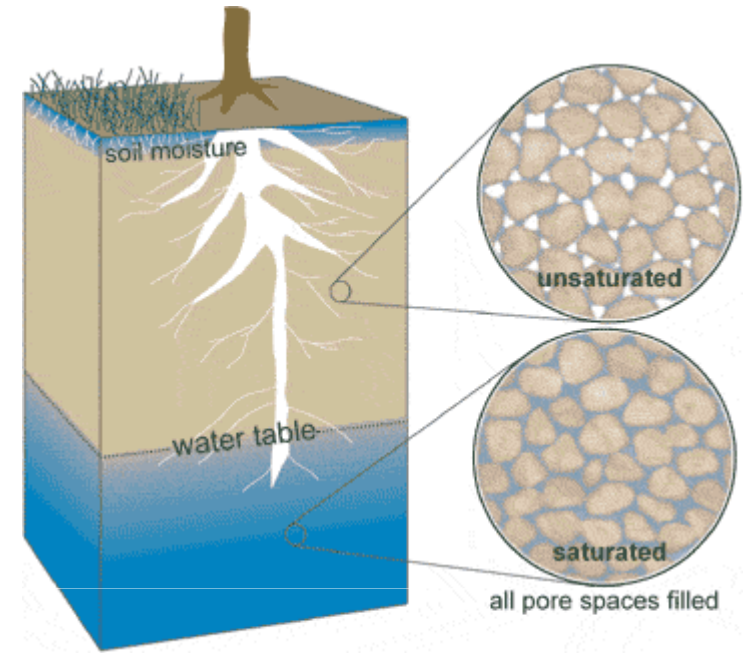
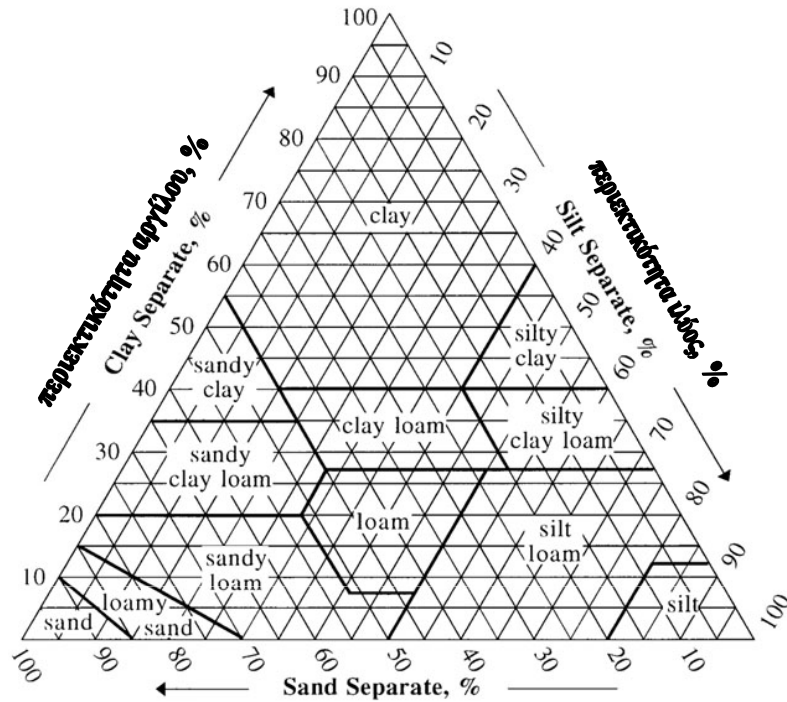
Θεματολογία παρουσίασης

- Εισαγωγή
- Έδαφος – υδρολογικό σύστημα
- Ροή νερού στο έδαφος
- Αρδευτικές απαιτήσεις
- Συστήματα άρδευσης: επιφανειακά, καταιονισμού, στάγδην
- Υδραυλικοί υπολογισμοί: βασικές αρχές – διαστασιολόγηση αρδευτικού δικτύου (με καταιονισμό – με σταγόνες) - αντλίες
- Προμήθεια /καταλληλότητα νερού: Γεωτρήσεις – Λύματα
- Διαχείριση νερού
- Οικονομοτεχνική μελέτη

Βιβλιογραφία

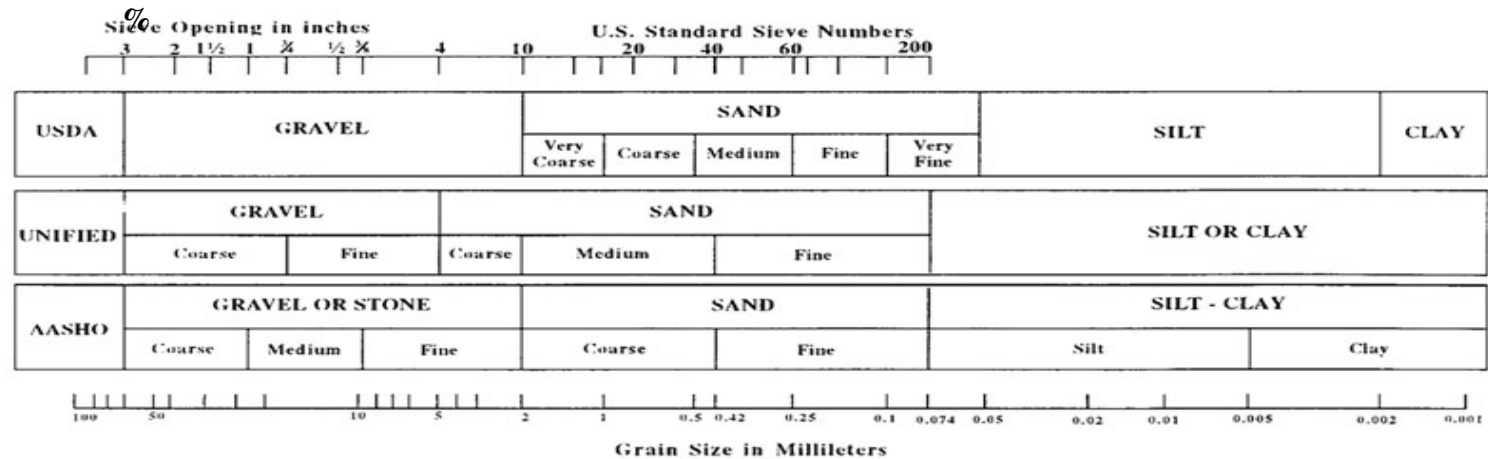
- Παπαζαφειρίου, Ζ. Γ. 1994 «Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων» Θεσσαλονίκη : Ζήτη
- Τσακίρης, Γ. 2006 «Υδραυλικά Έργα: Σχεδιασμός & Διαχείριση», Τόμος II: Εγγειοβελτιωτικά Έργα, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, ISBN 960-266-171-2
- Σούλιος, Γ. 2007 «Εκμετάλλευση & Διαχείριση Υπόγειου Νερού - Παράκτια Υδροφόρα Στρώματα» Ιστοσελίδα Τμήματος Γεωλογίας, ΑΠΘ (<http://www.geo.auth.gr/courses/ggg/ggg763e/>)
- Ayers, R.S., Westcot, D.W. “Water quality for agriculture” FAO Irrigation and Drainage Paper, 29 Rev. 1, ISBN 92-5-102263-1, <http://www.fao.org/DOCREP/003/T0234E/T0234E00.HTM>
- Cuenca, R.H. 1989 “Irrigation System Design: An Engineering Approach”, Prentice Hall, ISBN 0-13-506163-6
- Fraenkel, P.L.1986 “Water lifting” FAO Irrigation and Drainage Paper 43, Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome, ISBN 92-5-102515-0, available at <http://www.fao.org/docrep/010/ah810e/ah810e00.htm>
- Pescod, M.B. 1992 “Wastewater treatment and use in agriculture” - FAO irrigation and drainage paper 47 – Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome, ISBN 92-5-103135-5 <http://www.fao.org/docrep/T0551E/T0551E00.htm>
- TORO 2007 “2008 Residential/Commercial Irrigation Specification Catalog” ©2007 The Toro Company • 5825 Jasmine Street • Riverside, CA • 92504-1183 • www.toro.com Catalog Order # 08-1001-IRC www.toro.com/irrigation/res/index.html
- Walker, W.R. 1989 “Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems” FAO Irrigation and Drainage Paper 45, Food & Agriculture Organization of the United Nations, Rome, ISBN 92-5-102879-6 <http://www.fao.org/docrep/T0231E/T0231E00.htm>
- Πλούσια βιβλιογραφία διατίθεται ελεύθερα στον ιστότοπο της «βιβλιοθήκης» του Οργανισμού Τροφίμων & Γεωργίας (FAO) των Ηνωμένων Εθνών (UN). (<http://www.fao.org/documents/>)

Έδαφος

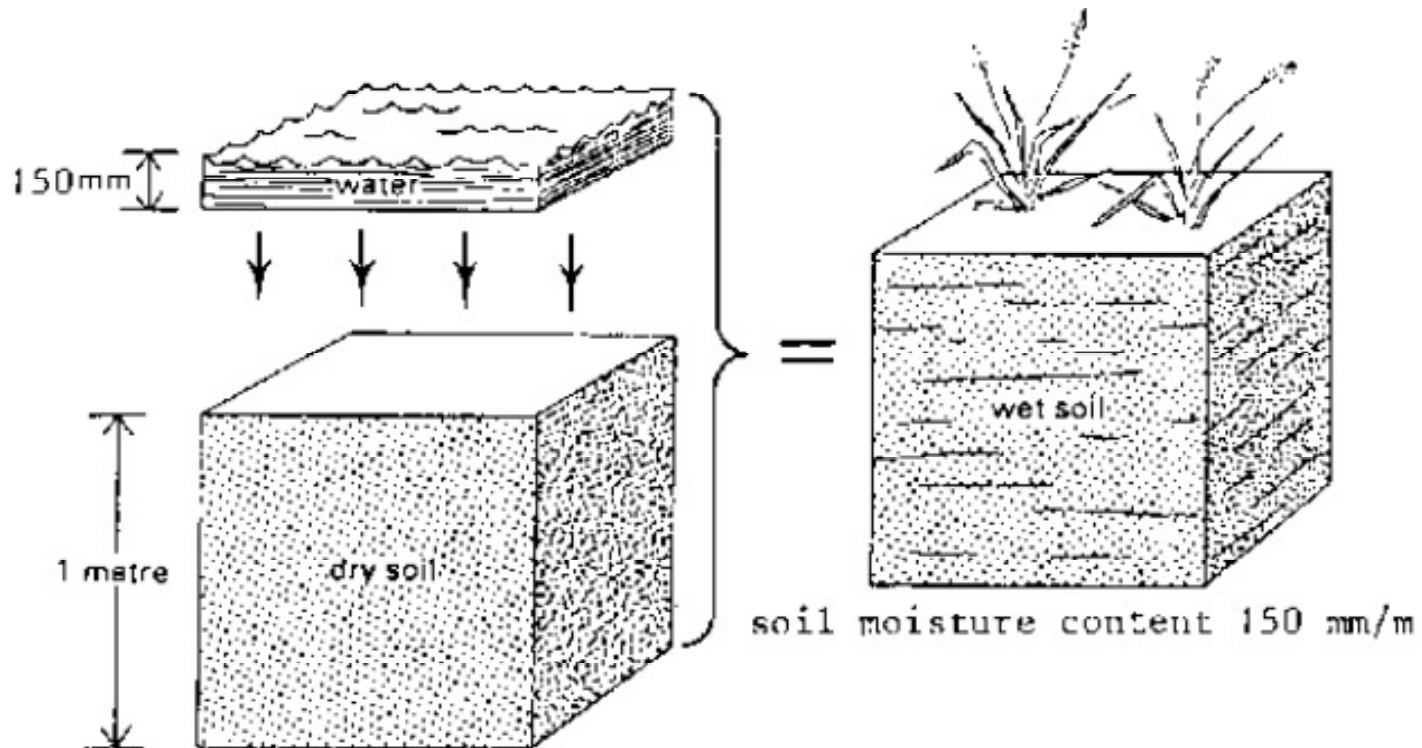


περιεκτικότητα άμμου,

COMPARISON OF PARTICLE SIZE SCALES



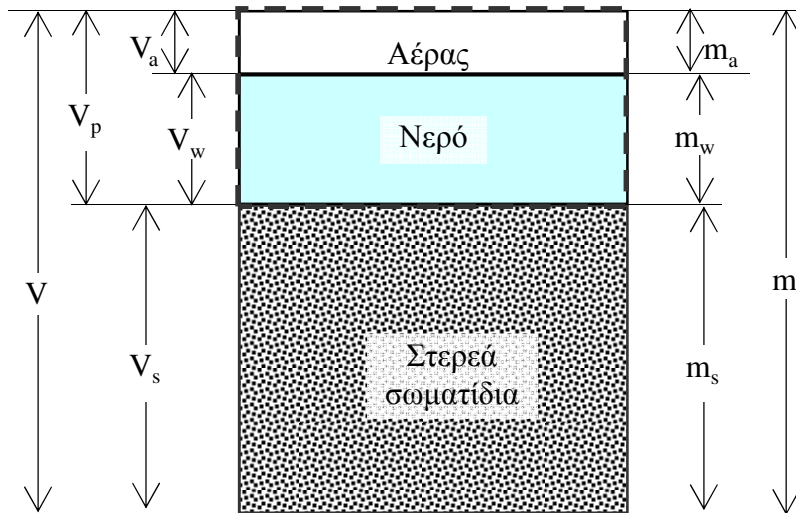
Νερό & έδαφος



Πηγή F.A.O <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e03.htm>

Έδαφος

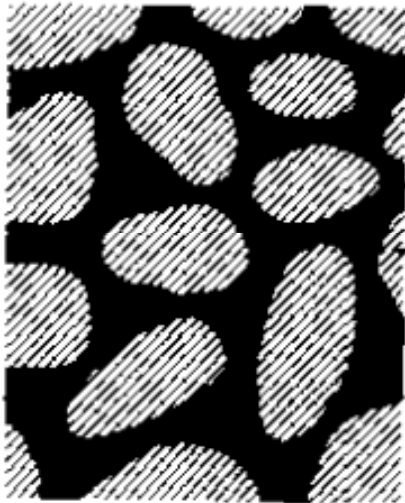
σύσταση (στερεά σωματίδια + αέρας + νερό)



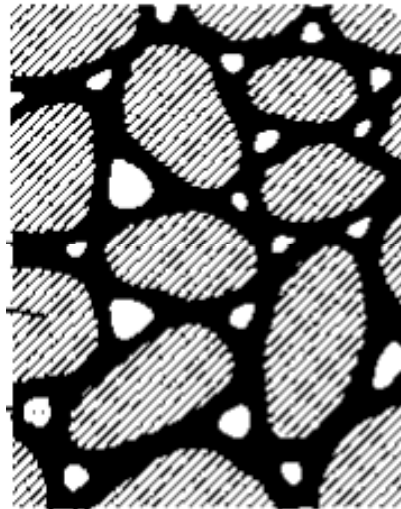
Μεγέθη	Γενικές συνθήκες	Συνθήκες κορεσμού
Συνολικός όγκος, V	$V = V_s + V_w + V_a$	$V = V_s + V_w$
Όγκος κενών, V_v	$V_v = V_w + V_a = V - V_s$	$V_v = V_w$
Δείκτης πόρων, e	$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{n}{1-n}$	$e = \frac{V_w}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} W$
Πορώδες, n	$n = \frac{V_w}{V} = \frac{\gamma_d}{\gamma_s} W$	$n = \frac{V_v}{V} = \frac{e}{1+e} = 1 + \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$
Βαθμός κορεσμού, S_r	$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{\gamma_s W}{\gamma_w e}$	$S_r = 1$
Ολικό βάρος, P	$P = P_s + P_w$ ($P_a \sim 0$)	P_s : βάρος στερεών
Περιεκτικότητα σε νερό, W	$W = \frac{P_w}{P_s} = S_r e \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$	$W = e \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Φαινόμενο ειδικό βάρος, γ	$\gamma = \frac{P}{V} = \frac{S_r \gamma_w \gamma_s (1+W)}{S_r \gamma_w + \gamma_s W}$	$\gamma = \gamma_{sat} = \frac{W+1}{W+1/\gamma_s}$
Φαινόμενο ειδικό βάρος στερεών συστατικών, γ_s	$\gamma_s = \frac{P_s}{V_s}$	

Έδαφος & εδαφική υγρασία

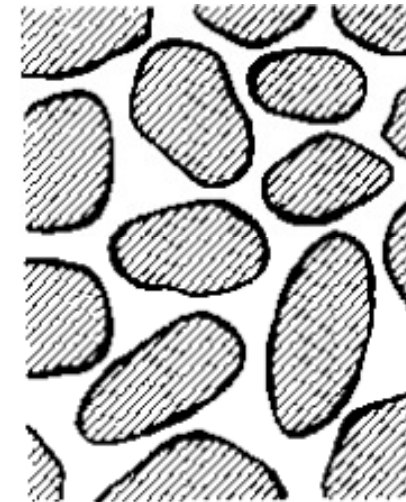
πιθανές περιεκτικότητες σε νερό



Κορεσμένο (με νερό) έδαφος
Στερεό + {νερό βαρύτητας}



ακόρεστο έδαφος
Στερεό + {τριχοειδές νερό} + αέρας



«στεγνό» έδαφος
Στερεό + αέρας + {υγροσκοπικό νερό}
Ξηρότητα στον αέρα (air-dry)

Πηγή F.A.O <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e03.htm>

Έδαφος & εδαφική υγρασία

$$\begin{aligned} \{\text{Έδαφος + νερό (S)}\} &= \\ &= \{\text{Νερό βαρύτητας}\} + \{\text{τριχοειδές νερό}\} \\ &\quad + \{\text{υγροσκοπικό νερό}\} + \\ &\quad + \{\text{ξηρό έδαφος}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \{\text{Νερό διαθέσιμο στις καλλιέργειες}\} &= \\ &= \{\text{νερό βαρύτητας}\} + \{\text{τριχοειδές νερό}\} \end{aligned}$$

Υδατοϊκανότητα εδάφους (field capacity-FC):
 όριο εδαφικής υγρασίας κάτω από το οποίο
 δεν υφίσταται κίνηση νερού στο έδαφος

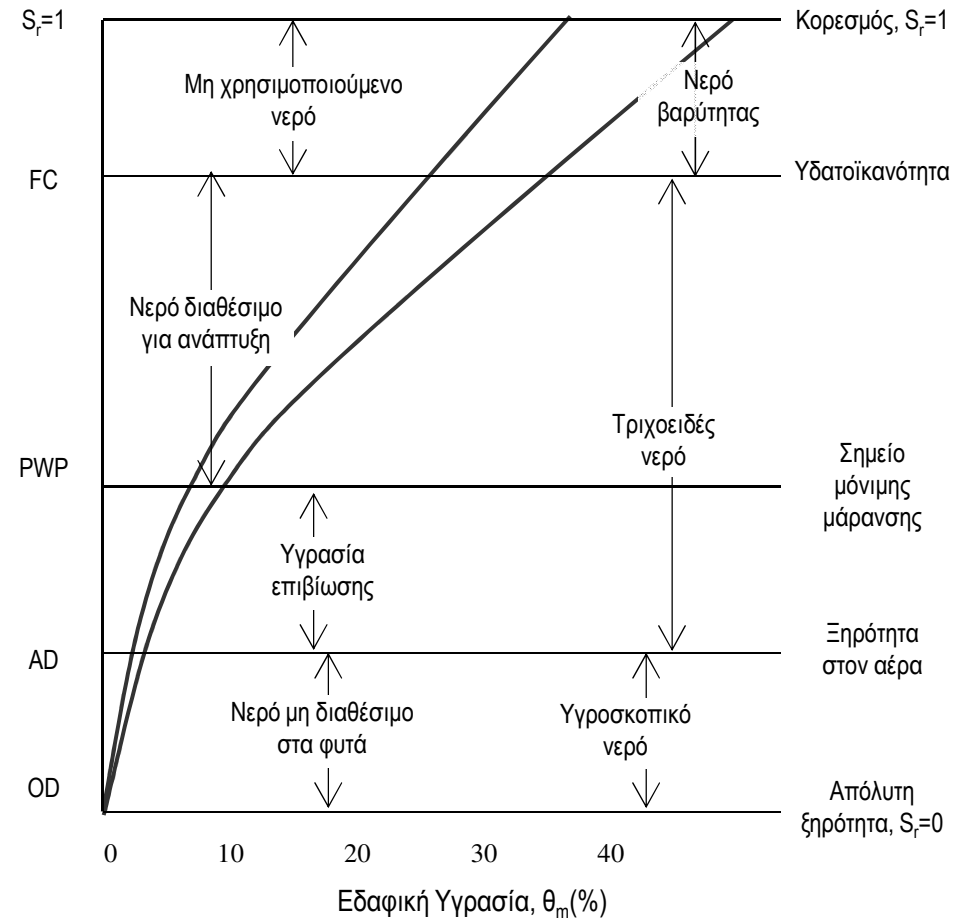
Σημείο μόνιμης μαράνσεως (PWP- permanent wilting point):
 κάτω όριο της χρήσιμης για
 την ανάπτυξη των φυτών υγρασίας (πιο κάτω
 είναι το **έσχατο σημείο μαράνσεως**)

S : saturation

AD: air dry

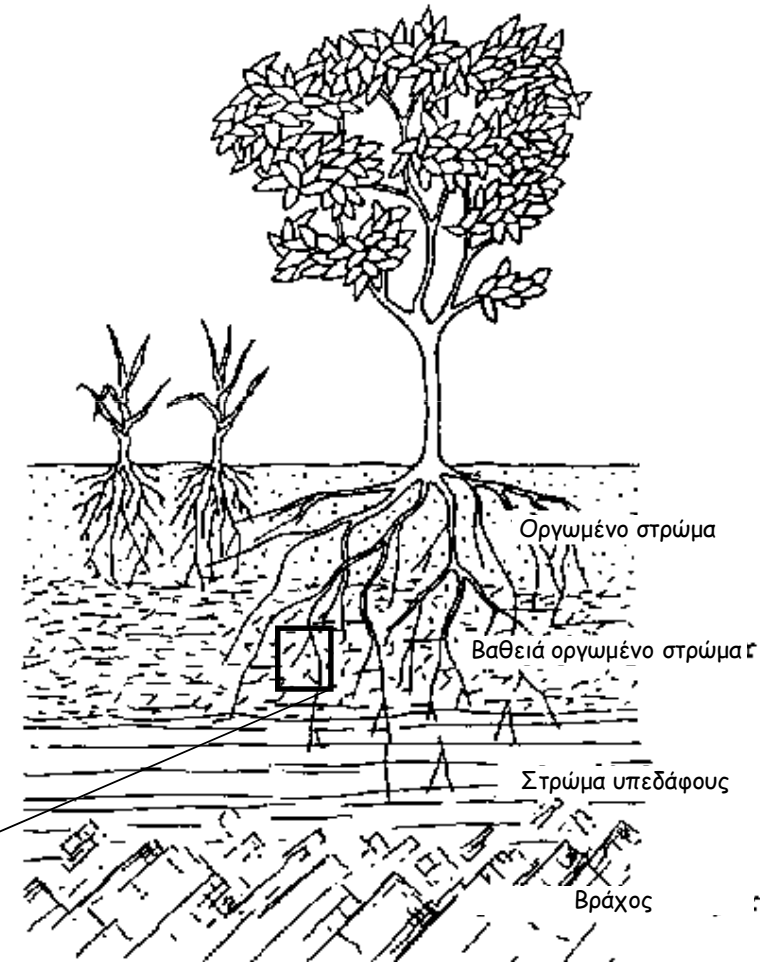
OD: oven dry

Χαρακτηριστικά σημεία εδαφικής υγρασίας



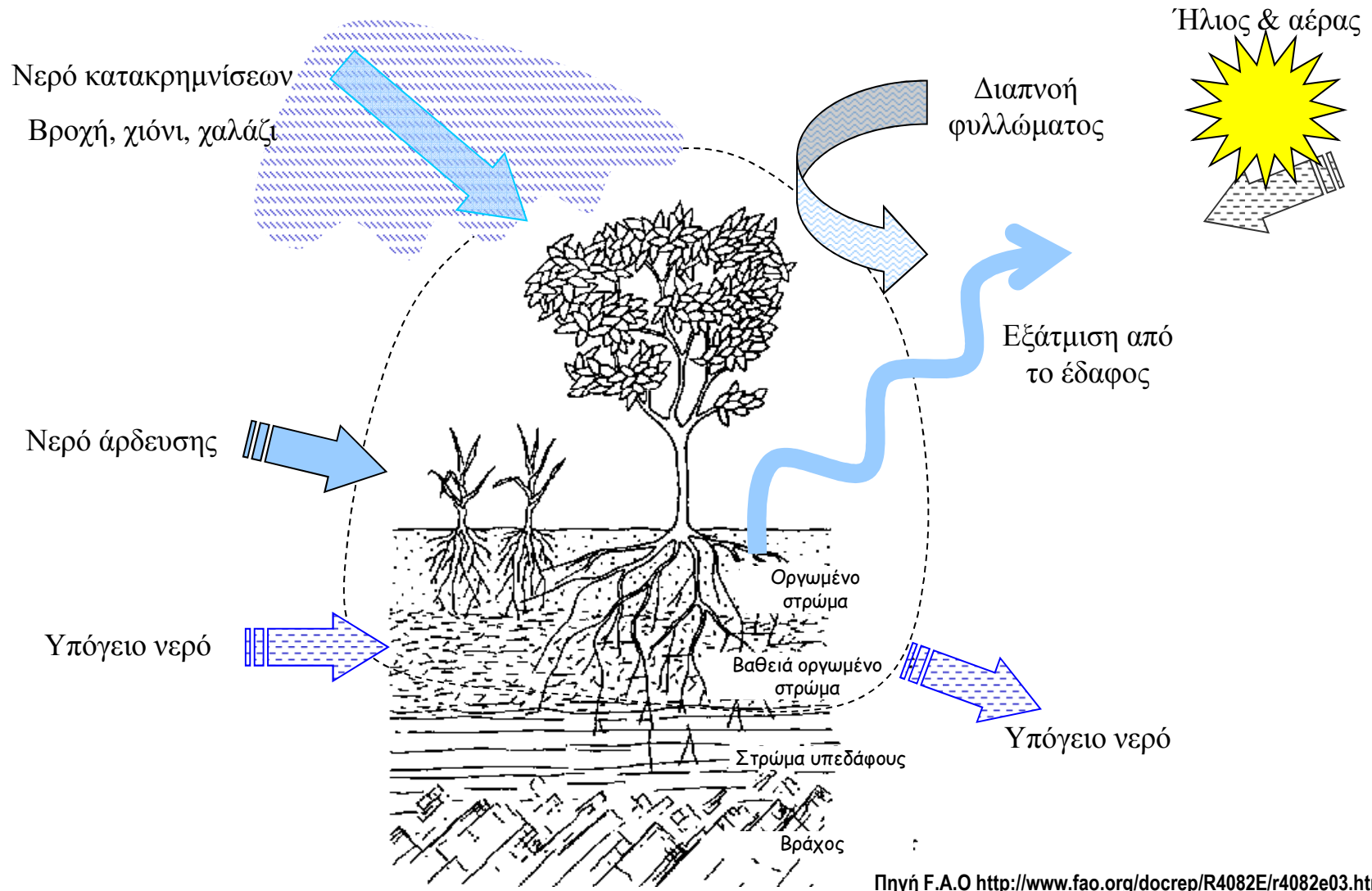
(Πηγή Cuenca, 1989)

Ριζικό σύστημα φυτών & Έδαφος



Πηγή F.A.O <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e03.htm>

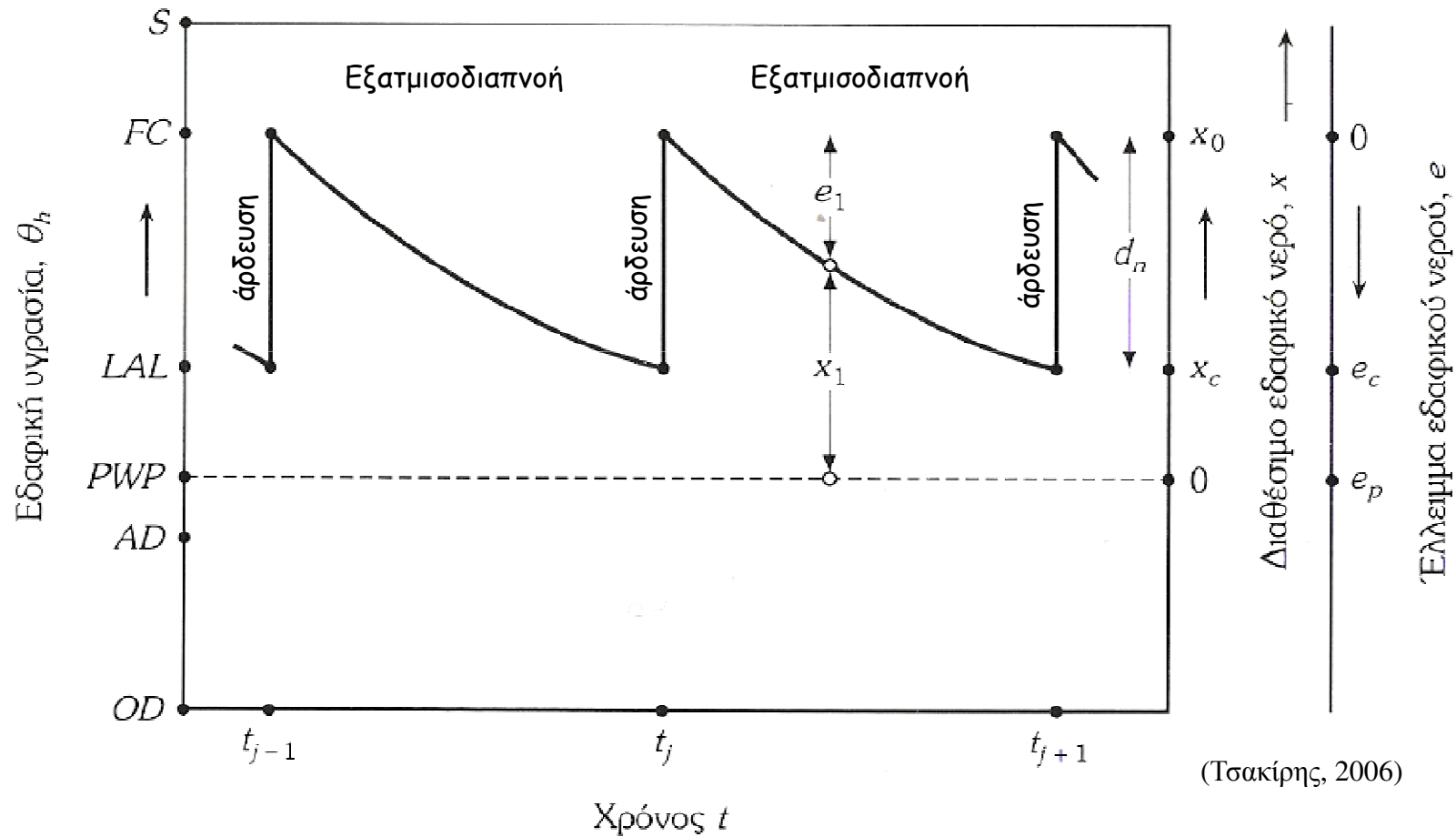
Ισοζύγιο νερού στο φυτό - Εξατμισοδιαπνοή



Πηγή F.A.O <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e03.htm>

Νερό διαθέσιμο στις καλλιέργειες

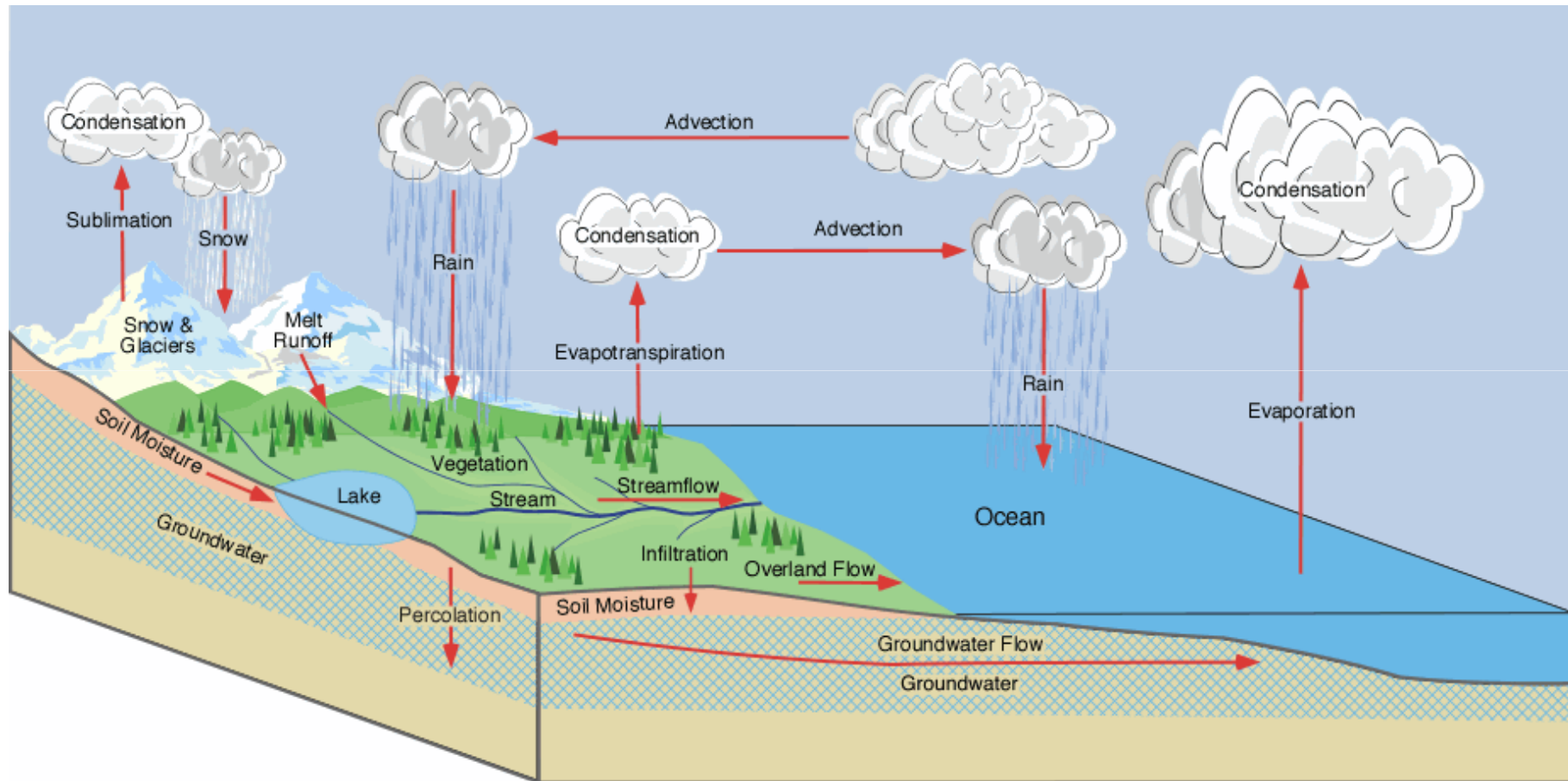
Εξασφάλιση της συνιστώμενης μέσης διαθέσιμης εδαφικής υγρασίας στο ριζόστρωμα με τη διαδοχική εφαρμογή αρδεύσεων



Ο υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος...

...σε γεωλογικό επίπεδο



(Pidwirny, 2006)

Υδατικά αποθέματα στην επιφάνεια της Γής

Ταμιευτήρας	Όγκος (M km ³)	(%)
Ωκεανοί	1370	97.25
Παγετώνες	29	2.05
Υπόγεια νερά	9.5	0.68
Λίμνες	0.125	0.01
Εδαφική υγρασία	0.065	0.005
Ατμόσφαιρα	0.013	0.001
Ρυάκια & ποτάμια	0.0017	0.0001
Βιόσφαιρα	0.0006	0.00004

Τυπικοί χρόνοι παραμονής νερού σε διάφορους ταμιευτήρες

Ταμιευτήρας Νερού	Μέσος χρόνος παραμονής
Παγετώνας	20 - 100 years
Χιονοκάλυψη	2 - 6 months
Εδαφική υγρασία	1 - 2 months
Υπόγεια νερά Ρηχοί ταμιευτήρες	100 - 200 years
» » Βαθείς »	10000 years
Λίμνες	50 to 100 years
Ποτάμια	2 to 6 months

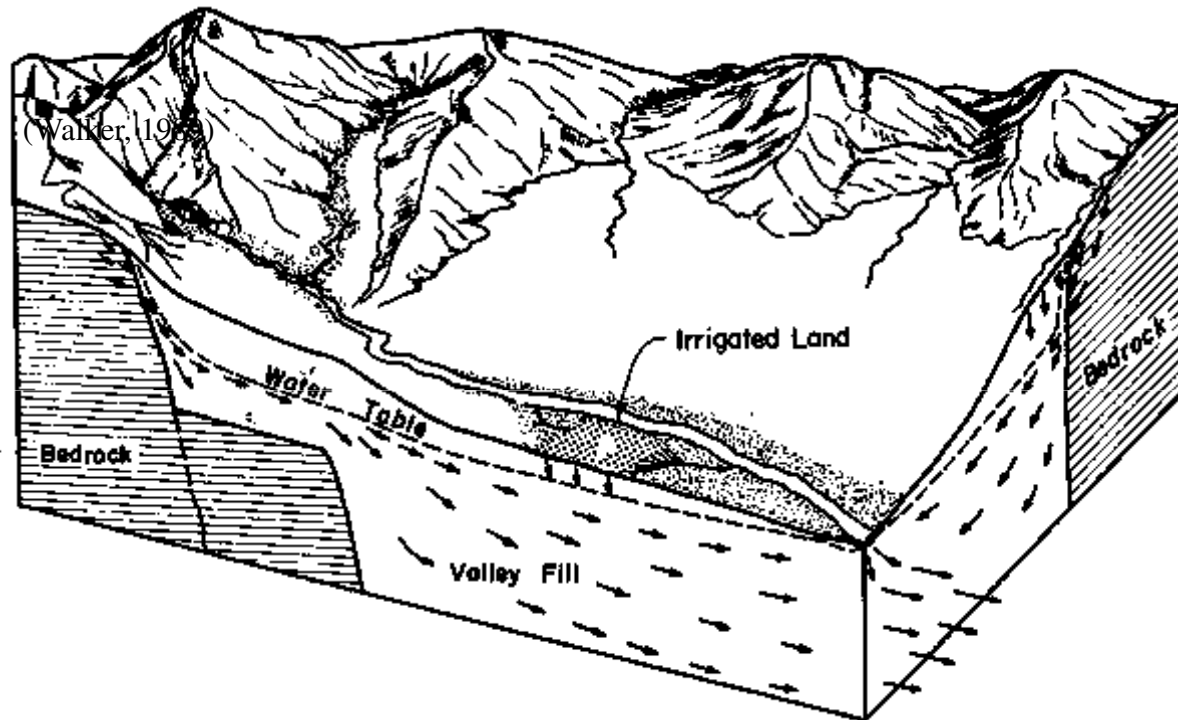
(Pidwirny, 2006)

Μ. Βαλαβανίδης

Εισαγωγή στα Ε/Β έργα & τις Αρδεύσεις - 10/2010

Ο υδρολογικός κύκλος...

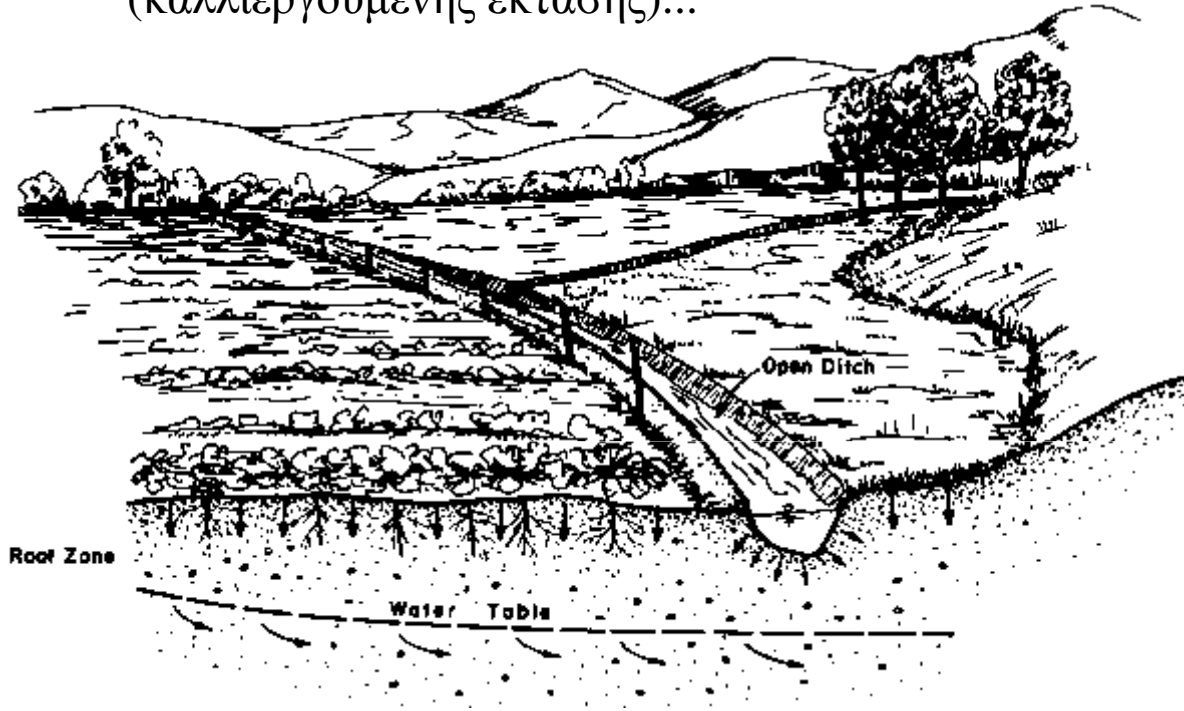
...σε επίπεδο λεκάνης απορροής



Πηγή F.A.O <http://www.fao.org/docrep/R4082E/r4082e03.htm>

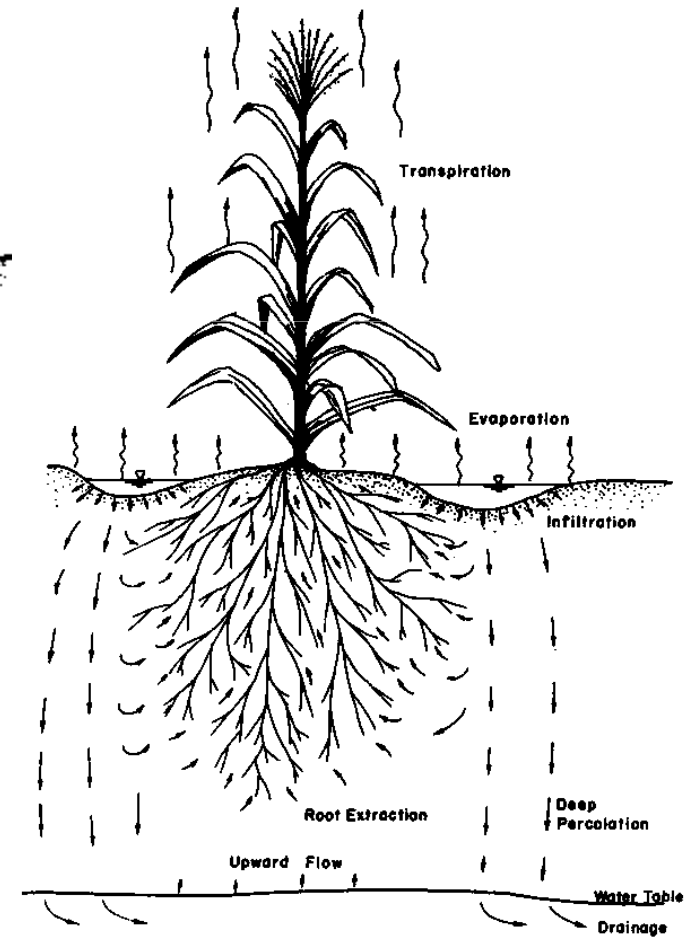
Ο υδρολογικός κύκλος...

...σε επίπεδο πεδίου
(καλλιεργούμενης έκτασης)...



(Walker, 1989)

...σε επίπεδο αγρού



Συστήματα Άρδευσης

Συστήματα Άρδευσης

Δύο μεγάλες κατηγορίες τεχνολογιών άρδευσης:

Βασιζόμενες στη **φυσική ροή του νερού** λόγω βαρύτητας και τη γεωμορφολογία της αρδευόμενης έκτασης (μεγάλες εκτάσεις)

- Επιφανειακή Άρδευση (με κατάκλυση, με περιορισμένη διάχυση, με αυλάκια)

Βασιζόμενες σε **νερό πίεσης**

- Άρδευση με Καταιονισμό (υψηλή πίεση/παροχή, μεγάλες – μεσαίες εκτάσεις)
- Στάγδην άρδευση (χαμηλή πίεση/παροχή, υπέργεια- υπόγεια-τριχοειδής, μικρές έως περιορισμένες εκτάσεις και διαφοροποίηση απαιτήσεων)

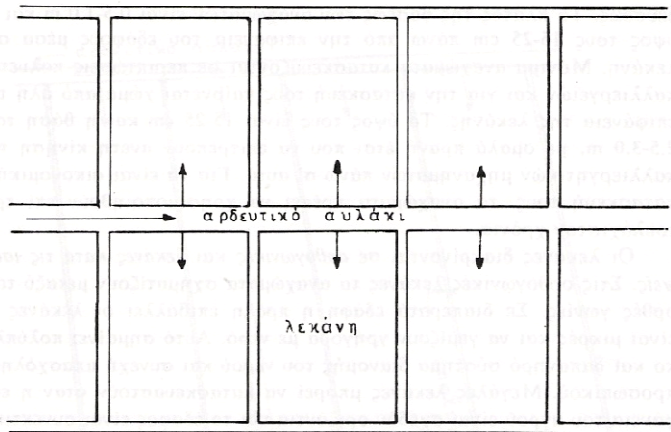
Συστήματα Άρδευσης

- i. **Άρδευση με κατάκλυση** (*Flood irrigation*) – το νερό εφαρμόζεται σε ολόκληρο το πεδίο και διηθείται στο έδαφος.
- ii. **Άρδευση με αυλάκια** (*Furrow irrigation*) - water το νερό εφαρμόζεται στα αυλάκια που σχηματίζονται μεταξύ διαμορφωμένων κορυφογραμμών (π.χ. οριζόντια και βαθμιδωτά αυλάκια, περιμετρικά αυλάκια κλπ. Το νερό φθάνει στις ρίζες των φυτών στις κορυφογραμμές εξ αιτίας τριχοειδών φαινομένων.
- iii. **Άρδευση με καταιονισμό** (*sprinkler irrigation*) το νερό εφαρμόζεται σε μορφή spray και φθάνει στο έδαφος όπως η βροχή (π.χ. Φορητοί, σταθεροί ή οδεύοντες ψεκαστήρες, αρδευτικά κανόνια, ψεκαστήρες κεντρικού σημείου κλπ). Η παροχή του αρδευτικού νερού ρυθμίζεται έτσι ώστε αυτό να μη λιμνάζει στην επιφάνεια.
- iv. **Υπόγεια άρδευση** (*sub-irrigation*) – το νερό εφαρμόζεται κάτω από το ριζόστρωμα έτσι ώστε να το διαβρέχει εξ αιτίας τριχοειδούς ανύψωσης. Χρησιμοποιούνται υπόγεια αρδευτικά κανάλια ή θαμένοι σωλήνες κλπ.
- v. **Τοπική άρδευση** (*localized irrigation*) – το νερό εφαρμόζεται γύρω από κάθε φυτό ή ομάδα φυτών έτσι ώστε να διαβρέχει τοπικά το έδαφος και μόνο το ριζόστρωμα (e.g. drip irrigation, bubblers, micro-sprinklers, etc.). Η παροχή νερού ρυθμίζεται έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της εξατμισοδιαπνοής ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες διήθησης.

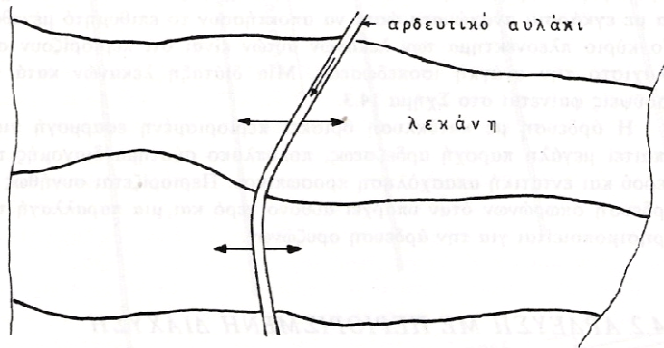
Επιφανειακή άρδευση (1)

(surface irrigation)

- Πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα

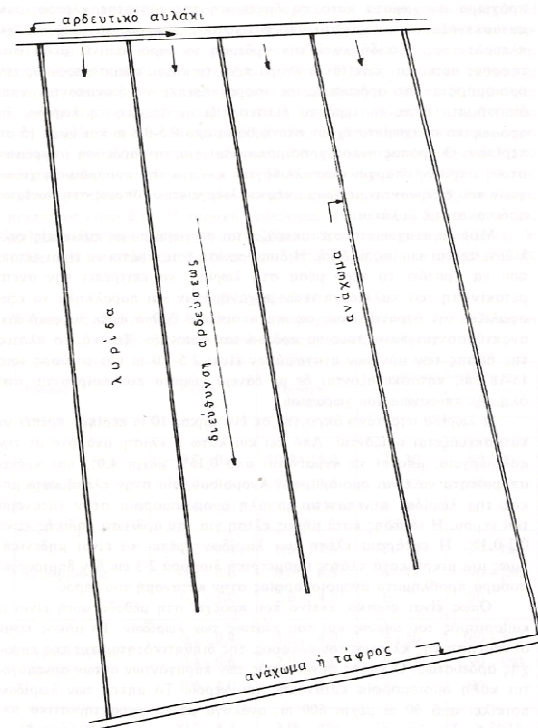


α. Ορθογωνικές λεκάνες

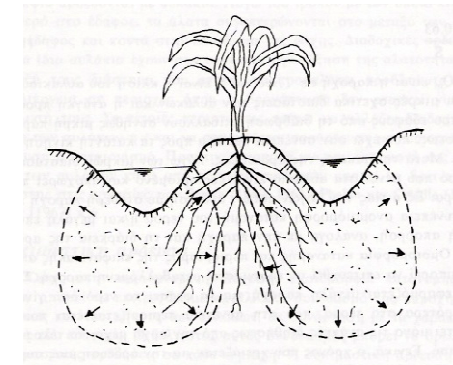


β. Λεκάνες κατά τις ισούψεις

με κατάκλυση



με περιορισμένη διάχυση



με αυλάκια

(Παπαζαφειρίου, 1994)

Επιφανειακή άρδευση (2)

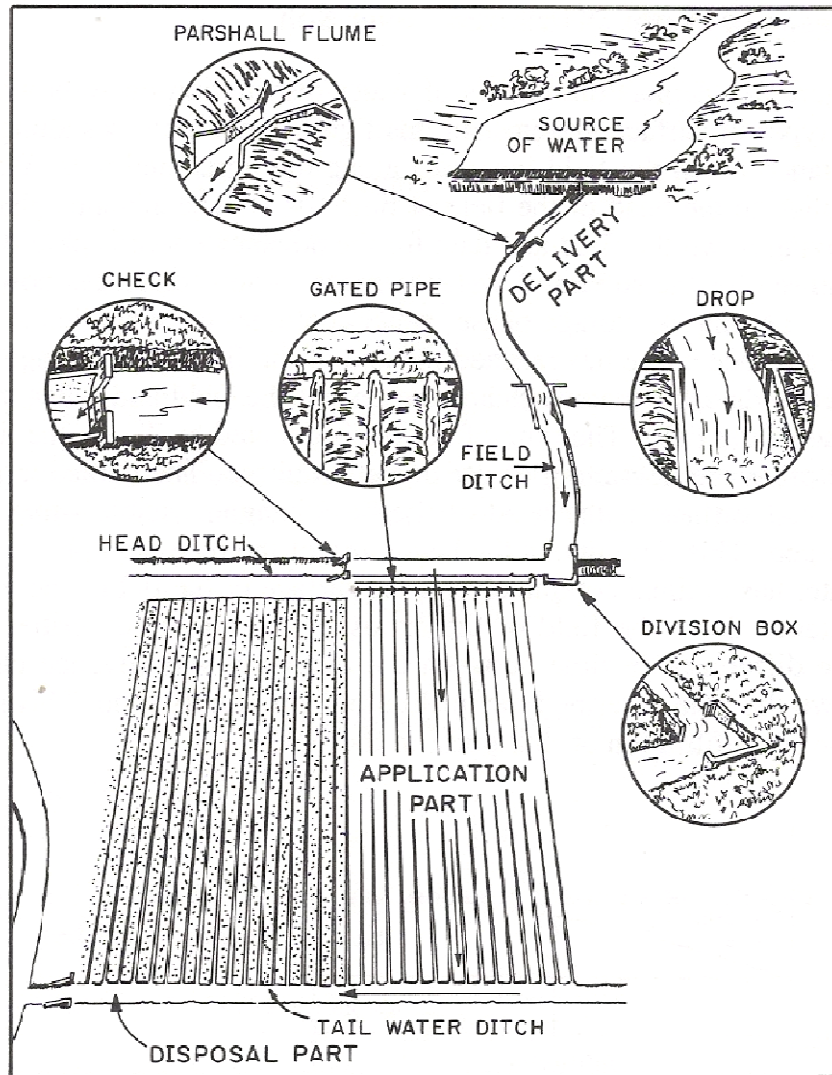
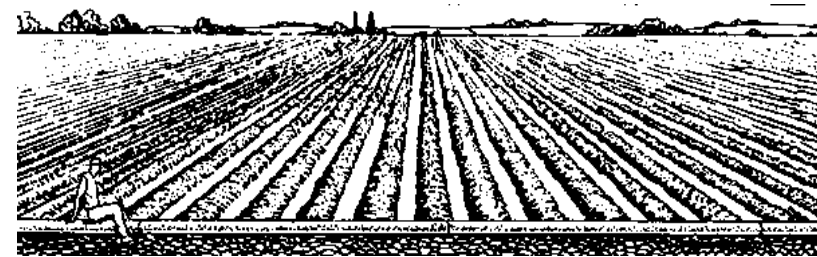


Figure 6-4 A farm surface irrigation system. (Taken from USDA-SCS, 1974.)

Διαμορφώσεις άρδευσης με αυλάκια
(USDA-SCS, 1967 & 1974)



graded furrow irrigation system

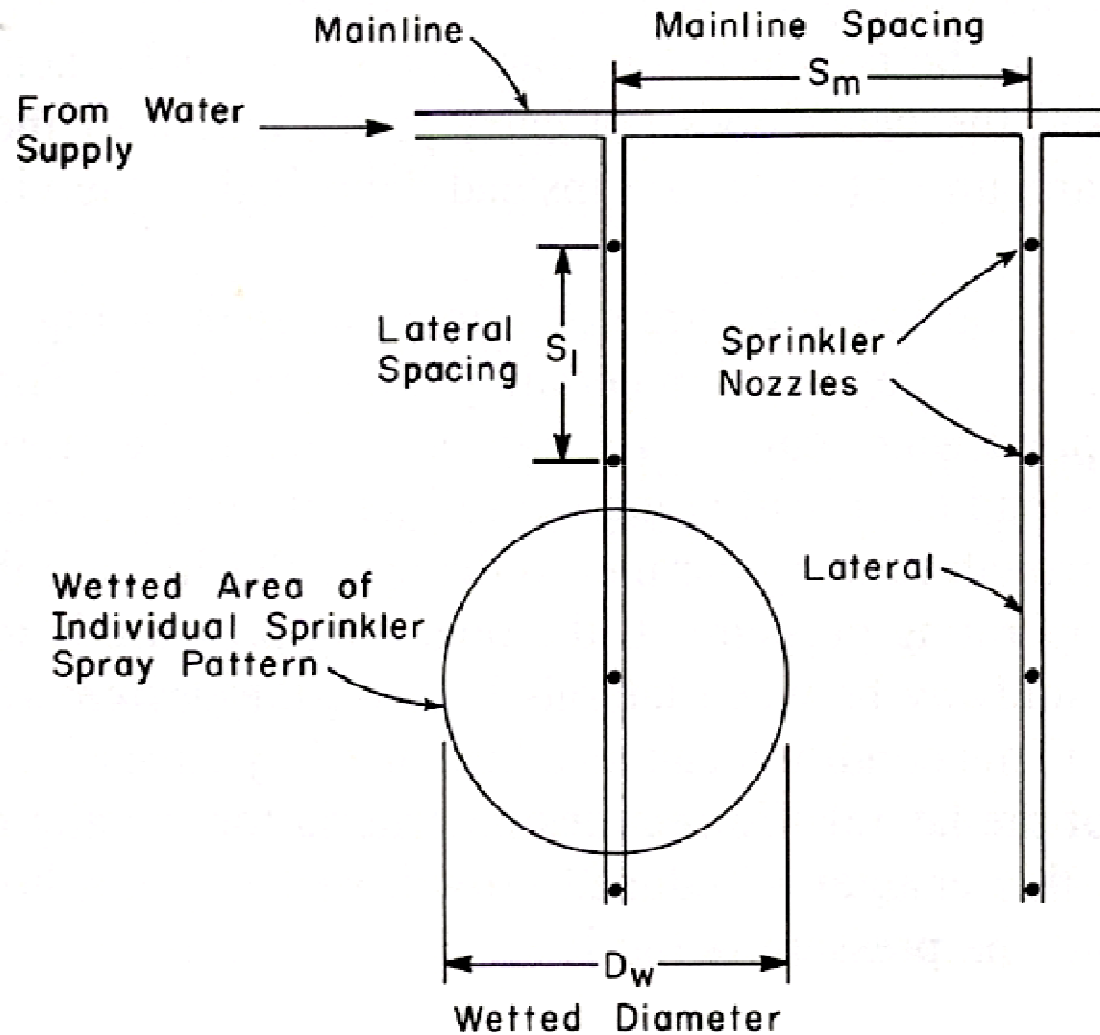


contour furrows

(Cuenca, 1989)

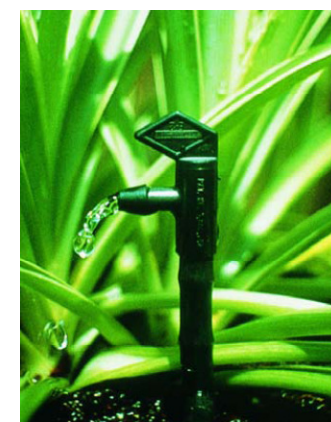
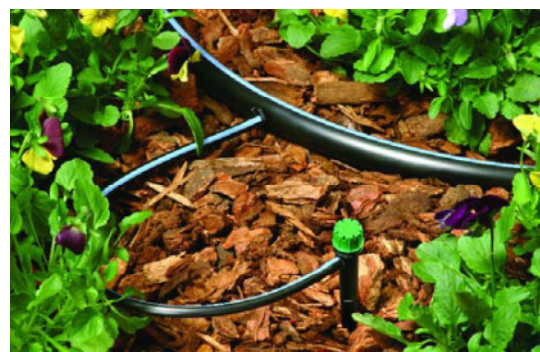
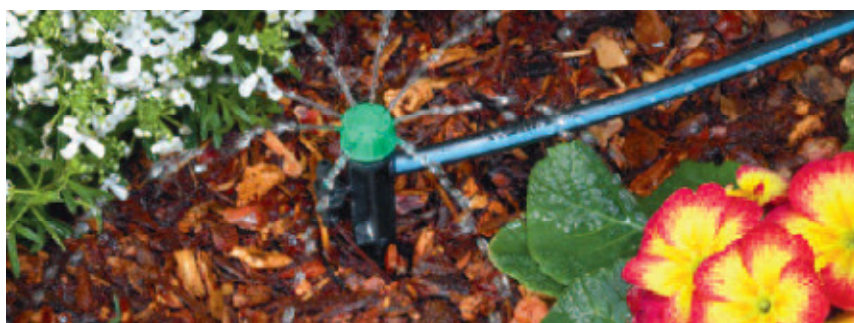
Άρδευση με καταιονισμό

Διαμόρφωση & στοιχεία ενός τυπικού συστήματος καταιονισμού



(Cuenca, 1989)

Στάγδην άρδευση



(TORO, 2008)

Συγκριτικά πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα μεθόδων άρδευσης

Στάγδην άρδευση	Υπόγεια άρδευση	Επιφανειακός καταιονισμός	Κινητή άρδευση
Οικονομικό	Δαπανηρό	Μέτριο κόστος	Ελάχιστο κόστος
Απλή εγκατάσταση	Εγκατάσταση μέτριας δυσκολίας	Απλή εγκατάσταση	Δε χρειάζεται εγκατάσταση
Δεν εμποδίζει	Δεν εμποδίζει	Μη ελκυστική λύση	Δεν εμποδίζει
Επιρρεπής σε δολιοφθορά	Ασφαλής (έναντι δολιοφθοράς)	Επιρρεπής σε δολιοφθορά	--
Βολική λύση	Βολική λύση	Βολική λύση	Μη βολική λύση
Προσωρινή εγκατάσταση	Μόνιμη εγκατάσταση	Προσωρινή εγκατάσταση	Προσωρινή εγκατάσταση /μεταβλητότητα
Ακατάλληλη για ποώδη	Όλες οι καλλιέργειες	Όλες οι καλλιέργειες	Όλες οι καλλιέργειες
Μη διαβρωτική	Διάβρωση εδάφους	Διάβρωση εδάφους	Διάβρωση εδάφους
Μέτρια αντιπαγετική	Αντιπαγετική	Παγετός	Αντιπαγετική
Χαμηλή πίεση/παροχή	Υψηλή πίεση/παροχή	Υψηλή πίεση/παροχή	Χαμηλή πίεση/παροχή

Συστήματα στάγδην άρδευσης

Διαμόρφωση & στοιχεία ενός τυπικού συστήματος στάγδην άρδευσης

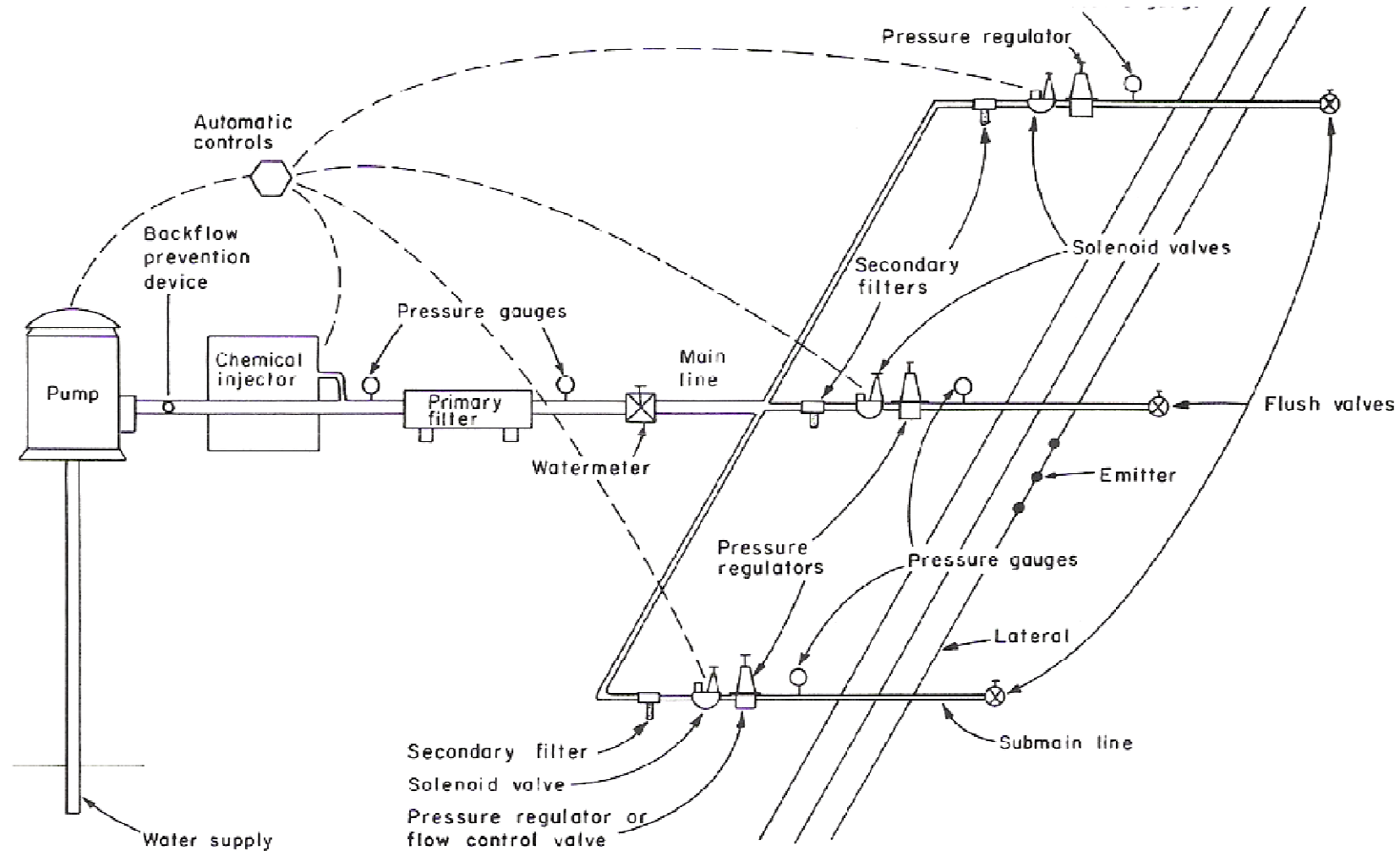
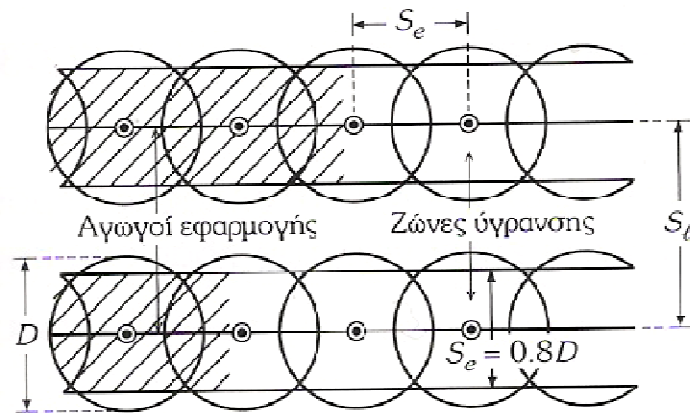


Figure 8-4 Components of a trickle irrigation system installation. (Adapted from Bucks et al., 1983.)

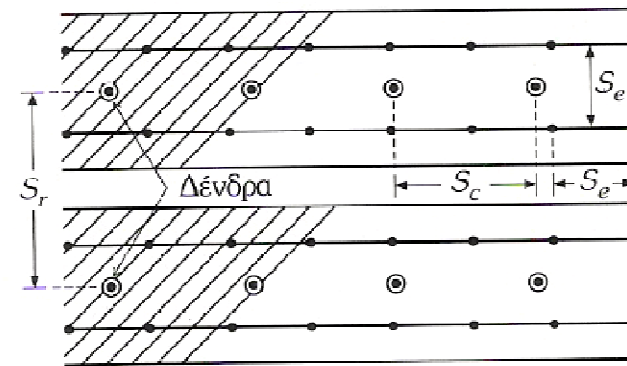
(από Cuenca, 1989)

Διαμόρφωση συστήματος στάγδην άρδευσης

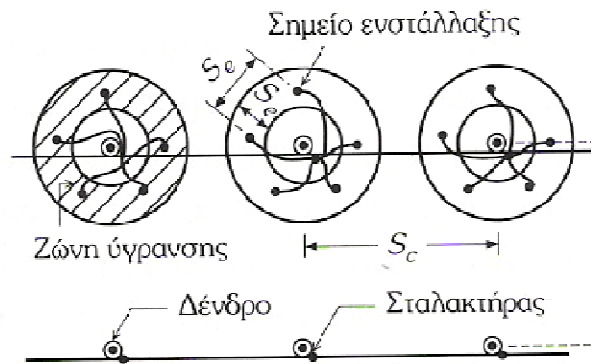
Διαφορετικές διαρρυθμίσεις αγωγών εφαρμογής /σταλακτήρων σε καλλιέργειες



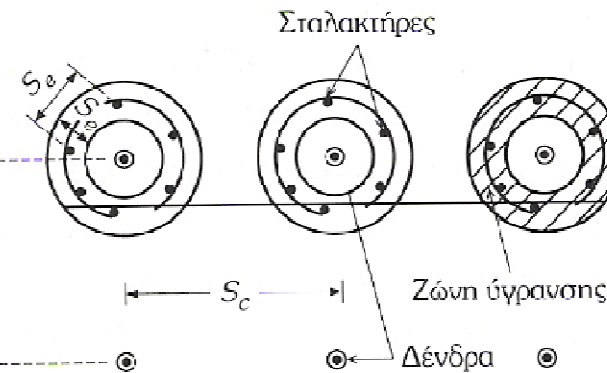
Απλή ευθύγραμμη διάταξη



Διάταξη με δύο παράλληλους αγωγούς



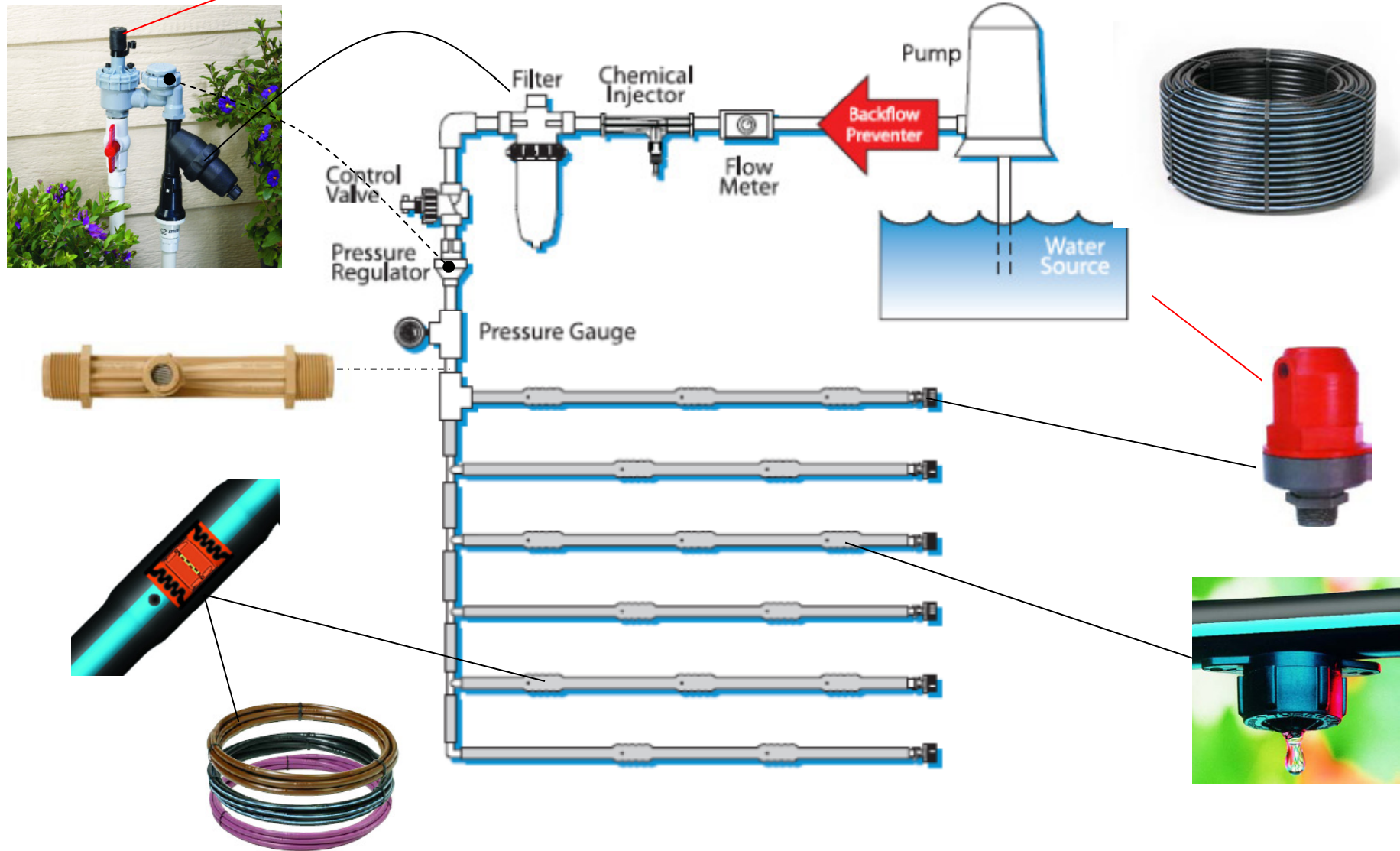
Διάταξη με σταλακτήρες πολλαπλών εξόδων



Διάταξη με βοηθητικούς ελικοειδείς αγωγούς

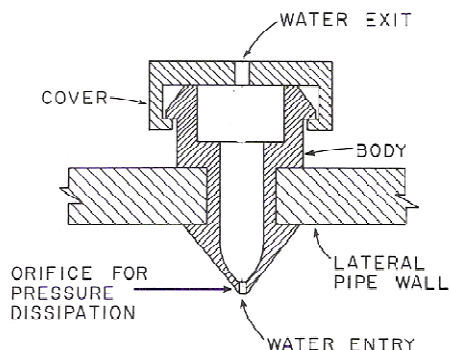
(από Τσακίρης, 1989)

Βασικά εξαρτήματα συστημάτων στάγδην άρδευσης

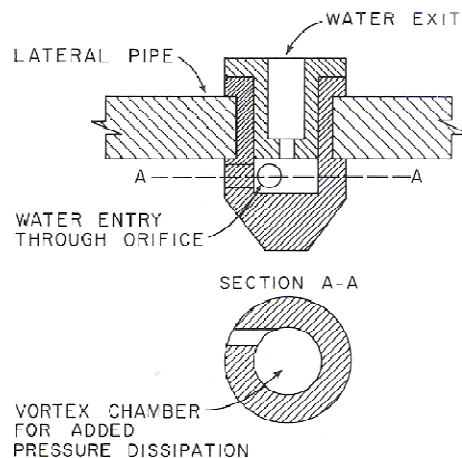


Τύποι σταλακτήρων (1)

Σημειακού τύπου

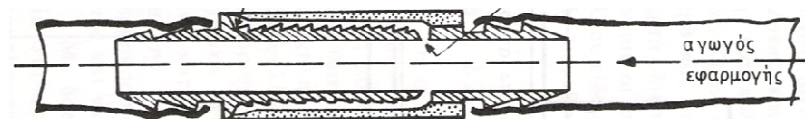


Σταλακτήρας οπής, σύνδεση επί της γραμμής

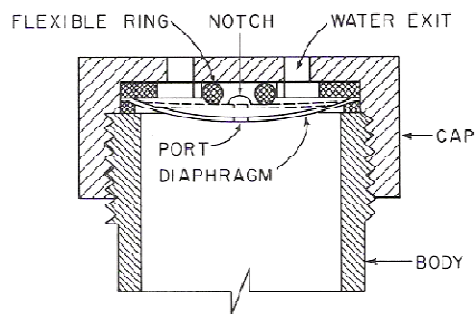


Σταλακτήρας στροβίλου, σύνδεση επί της γραμμής

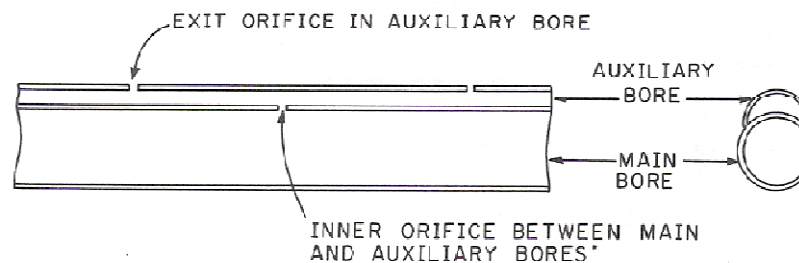
Γραμμικού τύπου



Σταλακτήρας με μακρύ διάδρομο ροής. Σύνδεση εν σειρά



Αυτορυθμιζόμενος σταλακτήρας διαφράγματος, σύνδεση επί της γραμμής



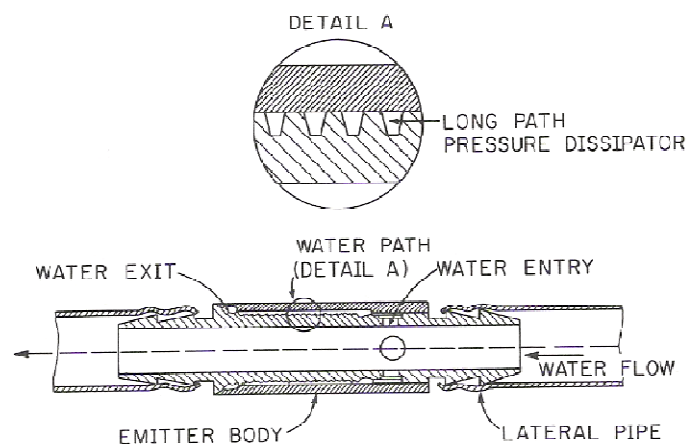
* NOTE: FOR EACH INNER ORIFICE THERE ARE SEVERAL EXIT ORIFICES

Γραμμικός σταλακτήρας με σωλήνα διπλού τοιχώματος

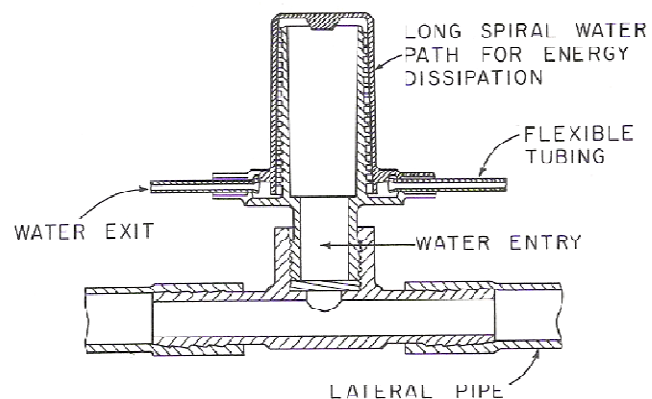
(Cuenca, 1989)

Τύποι σταλακτήρων (2)

Σύνδεση εν σειρά – σύνδεση επί της γραμμής



Σταλακτήρας με μακρύ διάδρομο ροής και σύνδεση εν σειρά



Σταλακτήρας διπλής εξόδου με μακρύ διάδρομο ροής και σύνδεση εν σειρά

(Cuenca, 1989)

Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (1)

Παροχή vs Πίεσης Λειτουργίας $q=k(H)^x$

- αυτορρυθμιζόμενος (PC) $x \rightarrow 0.0$
- τυρβώδους ροής $x \rightarrow 0.5$
- στρωτής ροής $x \rightarrow 1.0$

Ομοιομορφία ενσταλάξεως (πειραματικός προσδ/μός)

$$U_e = [1 - (1.27/n)C_v](q_{\min}/q_{\text{avg}}) \rightarrow 1$$

- C_v : συντελεστής απόκλισης (πρέπει $C_v \rightarrow 0^+$)

k , x , C_v Δίνονται από τον κατασκευαστή, εξαρτώνται από τον τύπο του σταλακτήρα & τη διαδικασία παραγωγής

Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (2)

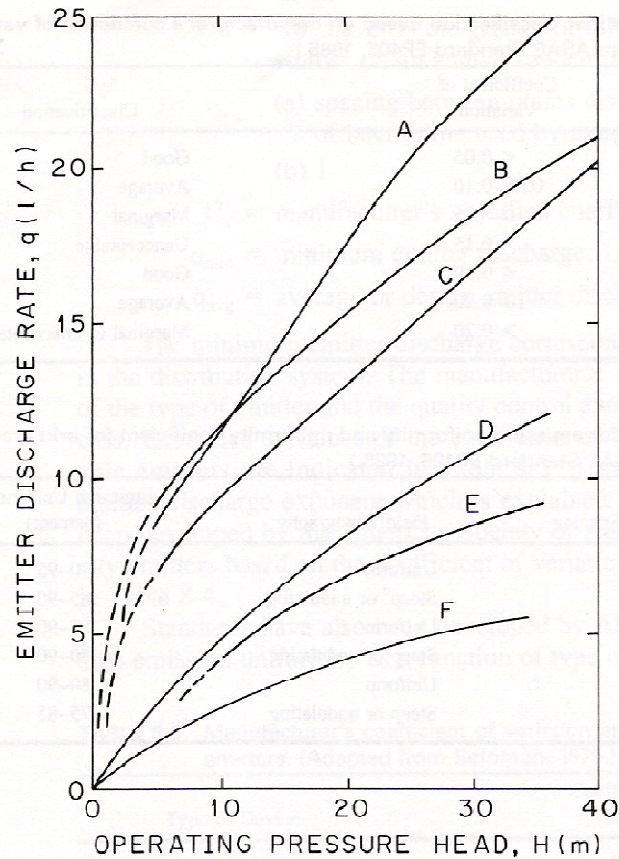


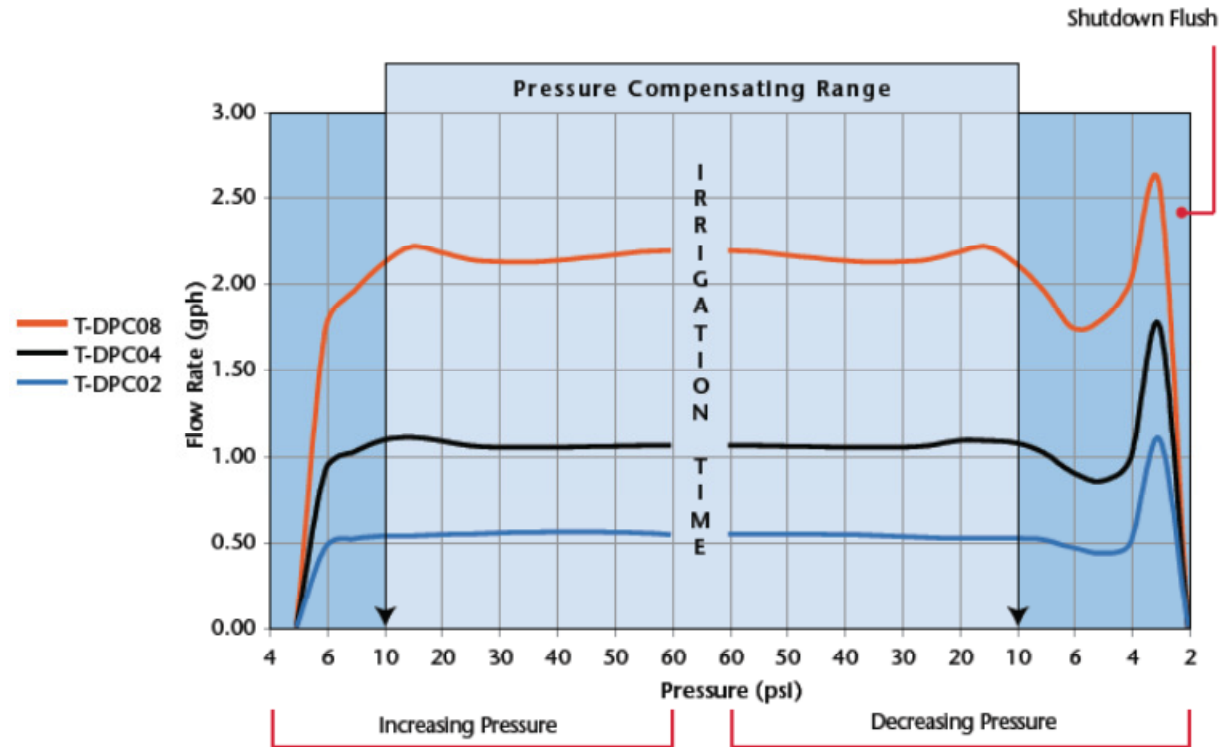
TABLE 8-3 Manufacturer's coefficient of variation and emitter exponent for various types of emitters. (Adapted from Solomon, 1979.)

Type of Device	Coefficient of Variation	Emitter Discharge Exponent
Single vortex	0.07	0.42
Multiple-flexible orifice	0.05	0.70
Multiple-flexible orifice	0.07	0.70
Ball and slotted seat— non-compensating	0.27	0.50
Ball and slotted seat— pressure compensating	0.35	0.15
Ball and slotted seat— pressure compensating	0.09	0.25
Small tube	0.05	0.70
Small tube	0.05	0.80
Spiral long-path—nonflushing	0.02	0.65
Spiral long-path—manual flushing	0.06	0.75
Long-path—pressure compensating	0.05	0.40
Long-path—pressure compensating	0.06	0.20
Tortuous long-path	0.02	0.65
Groove and flap, short-path	0.02	0.33
Slot and disk, short-path	0.10	0.11
Slot and disk, short-path	0.08	0.11
Porous pipe	0.40	1.00
Twin-wall lateral	0.17	0.61

(Cuenca, 1989)

Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (3.1)

Αυτορυθμιζόμενος,
με διάφραγμα
(Self flushing p.c. emitter
w/dust cap – [Toro, 2008])



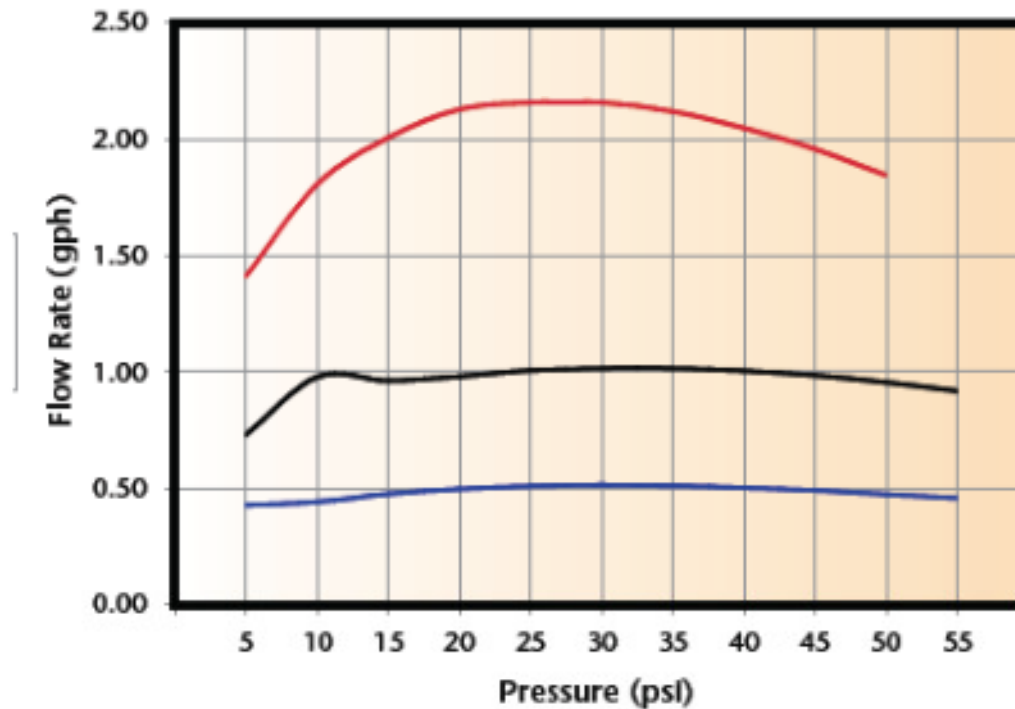
<i>Performance Table</i>		T-DPC02	T-DPC04	T-DPC08
Nominal Flow Rate (Q)	GPH	0.5 GPH	1.0 GPH	2.0 GPH
Recom. Pressure Range (P)	psi	8–60 psi		
Emitter Exponent (x)		0.000	0.000	0.002
Coefficient of Variation (Cv)		3%		
Min. Filtration Requirement		140 Mesh (105 Micron)		
Optional Outlet		-MA (Male Adapter)	-DC (Snap-on Dust Cap)	
Color (Cap)		Blue	Black	Red

Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (3.2)

Αυτορυθμιζόμενος,
στροβίλου
(Large Self-flushing,
Turbulent Flow Path
Emitter – [Toro, 2008])



Pressure vs. Flow



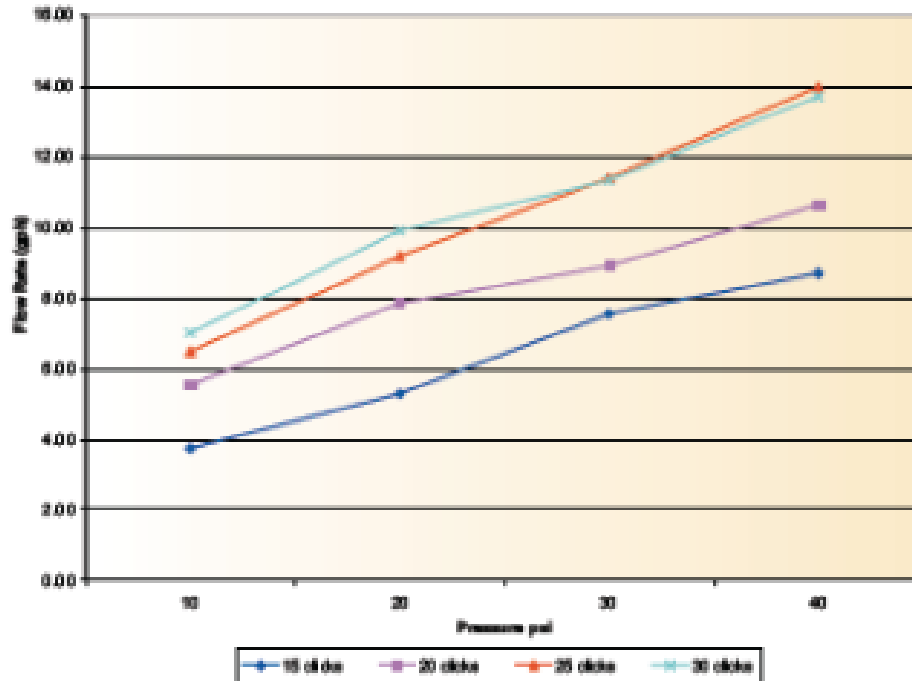
<i>Performance Table</i>		T-DPJ02-A	T-DPJ04-A	T-DPJ08-A
Nominal Flow Rate (Q)	GPH	0.5 GPH	1.0 GPH	2.0 GPH
Recom. Pressure Range (P)	psi	10–50 psi		
Emitter Exponent (x)		0.02	-0.04	0.01
Min. Filtration Requirement		140 Mesh (105 Micron)		
Color (Base)		Blue	Black	Red

Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (3.3)

Ρυθμιζόμενης
παροχής
(Adjustable Emitter
– [Toro, 2008])



Maximum Flow vs. Pressure



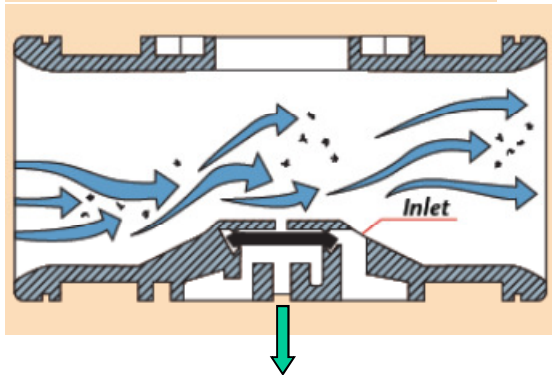
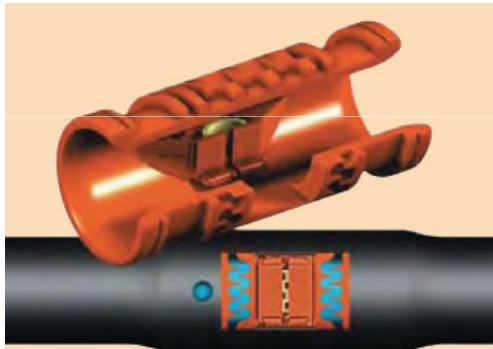
Κλασικός
(Classic take-apart
emitter – [Toro,
2008])



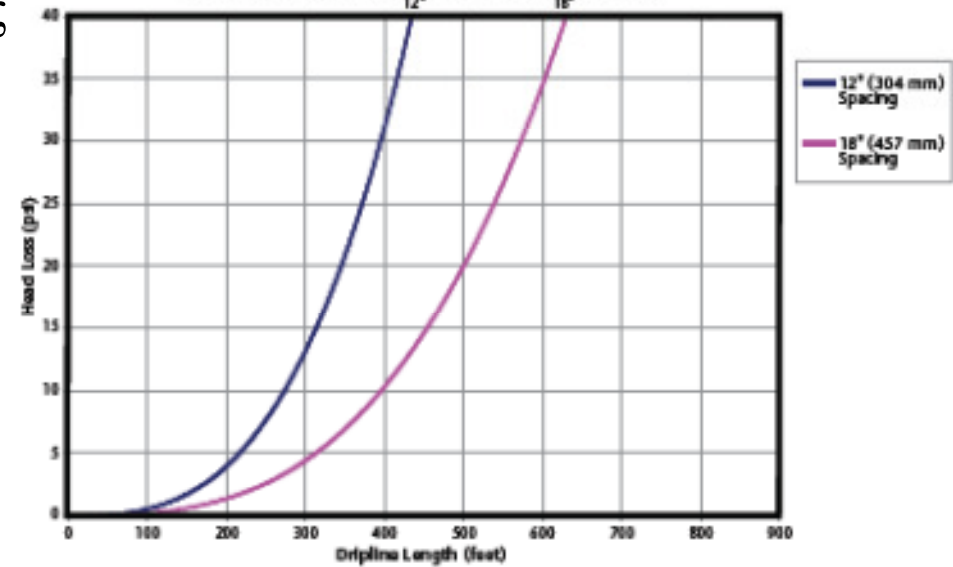
Performance Table		T-DBK04	T-DBK08	T-DBK16
Nominal Flow Rate (Q)	GPH @ 15 psi	1.06 GPH	2.11 GPH	4.23 GPH
Flow Coefficient (K)	U.S. Units	0.22	0.41	0.85
Operating Pressure Range (P)	psi	0–50 psi		
	Bar	0–3,5 Bar		
Flow Exponent (X)		0.60	0.57	0.56
Coefficient of Variation (Cv)		≤ 5%	≤ 6%	≤ 6.5%
Minimum Filtration Requirement		140 Mesh (105 Micron)		

Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (3.4)

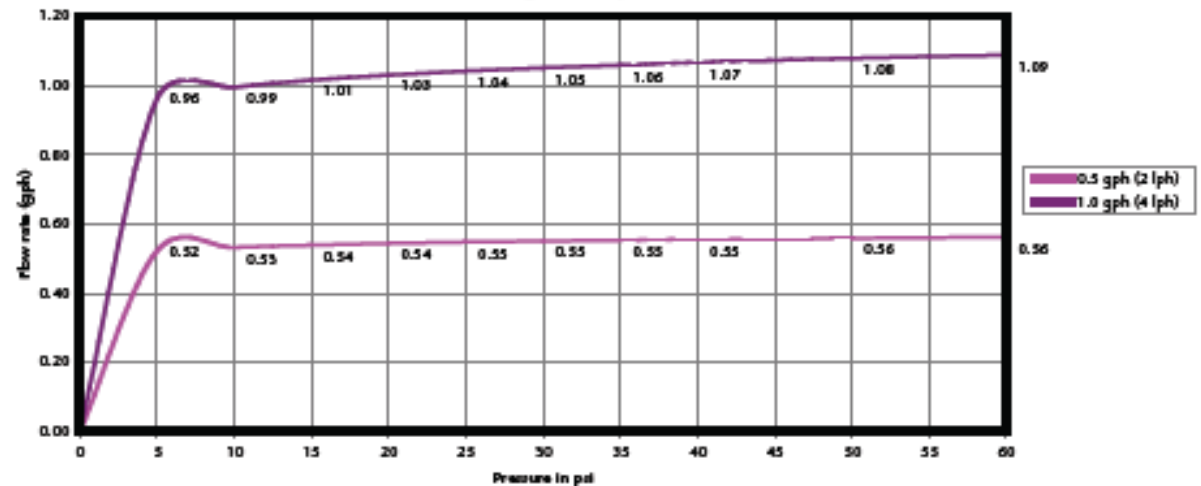
Αυτορυθμιζόμενος γραμμικός σταλακτήρας
 - σταλακτηφόρος σωλήνας
 (PC dripline [Toro, 2008])



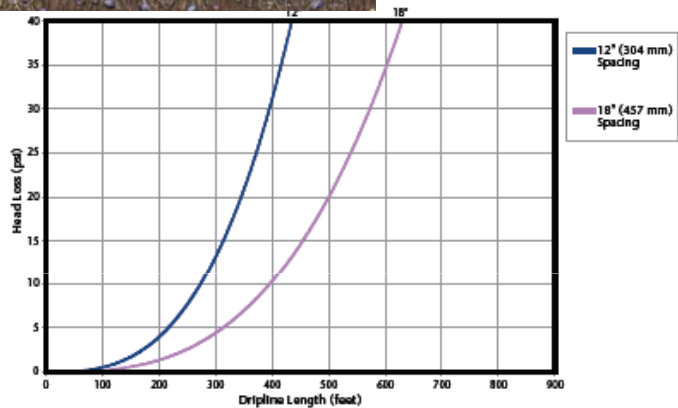
Head Loss v. Dripline Length and Emitter Spacing
 Drip In PC 5/8", 0.53 gph (2 lph) Emitter @ 0% Slope.



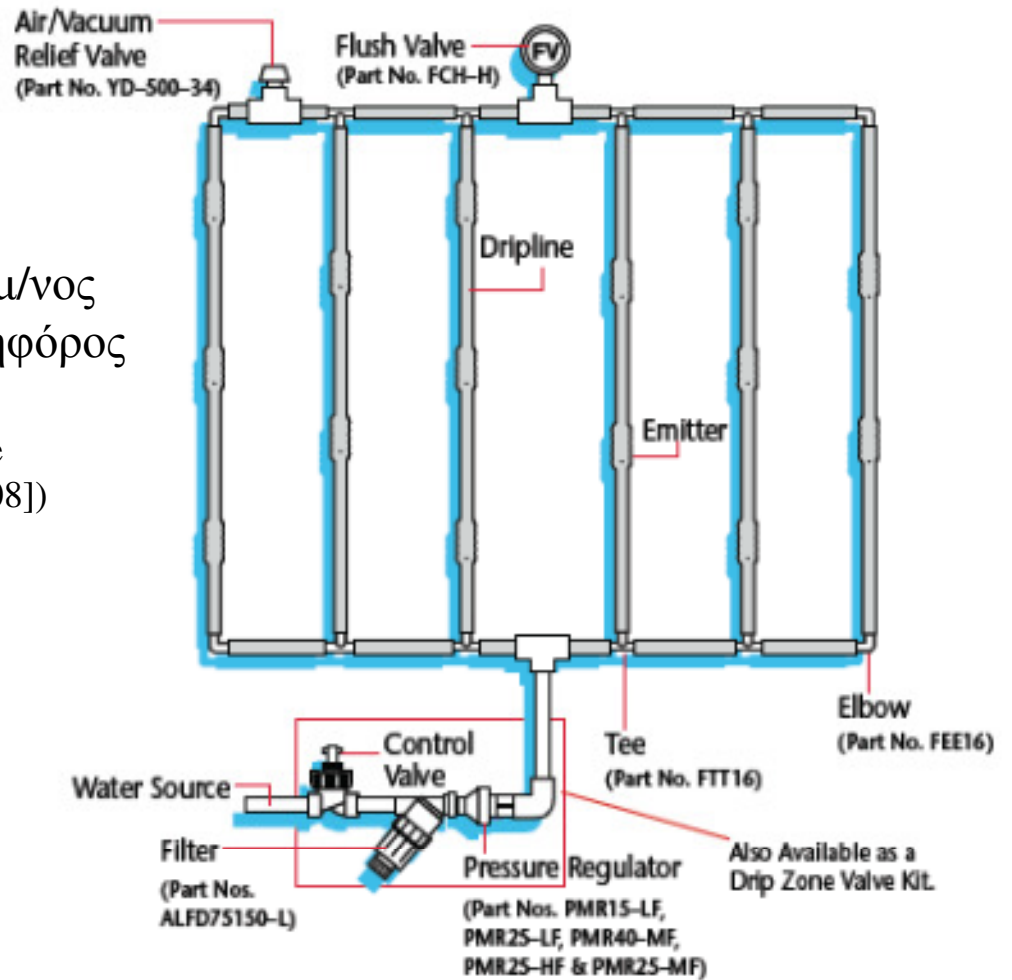
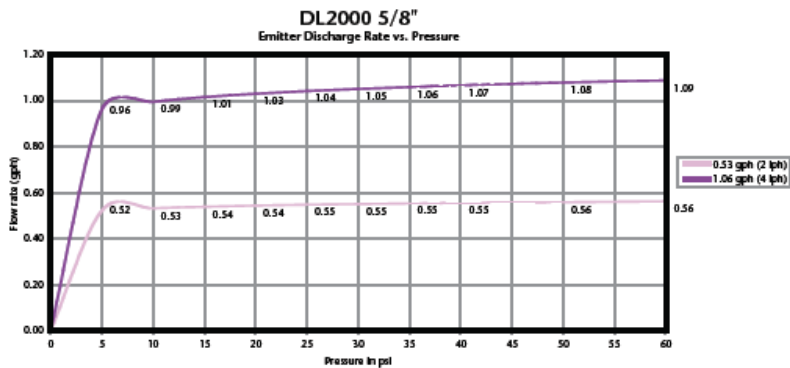
Drip In PC 5/8"
 Emitter discharge rate vs. pressure



Λειτουργικά χαρακτηριστικά σταλακτήρων (3.5)



Αυτορυθμ/νος σταλακτηφόρος σωλήνας (PC dripline - [Toro, 2008])



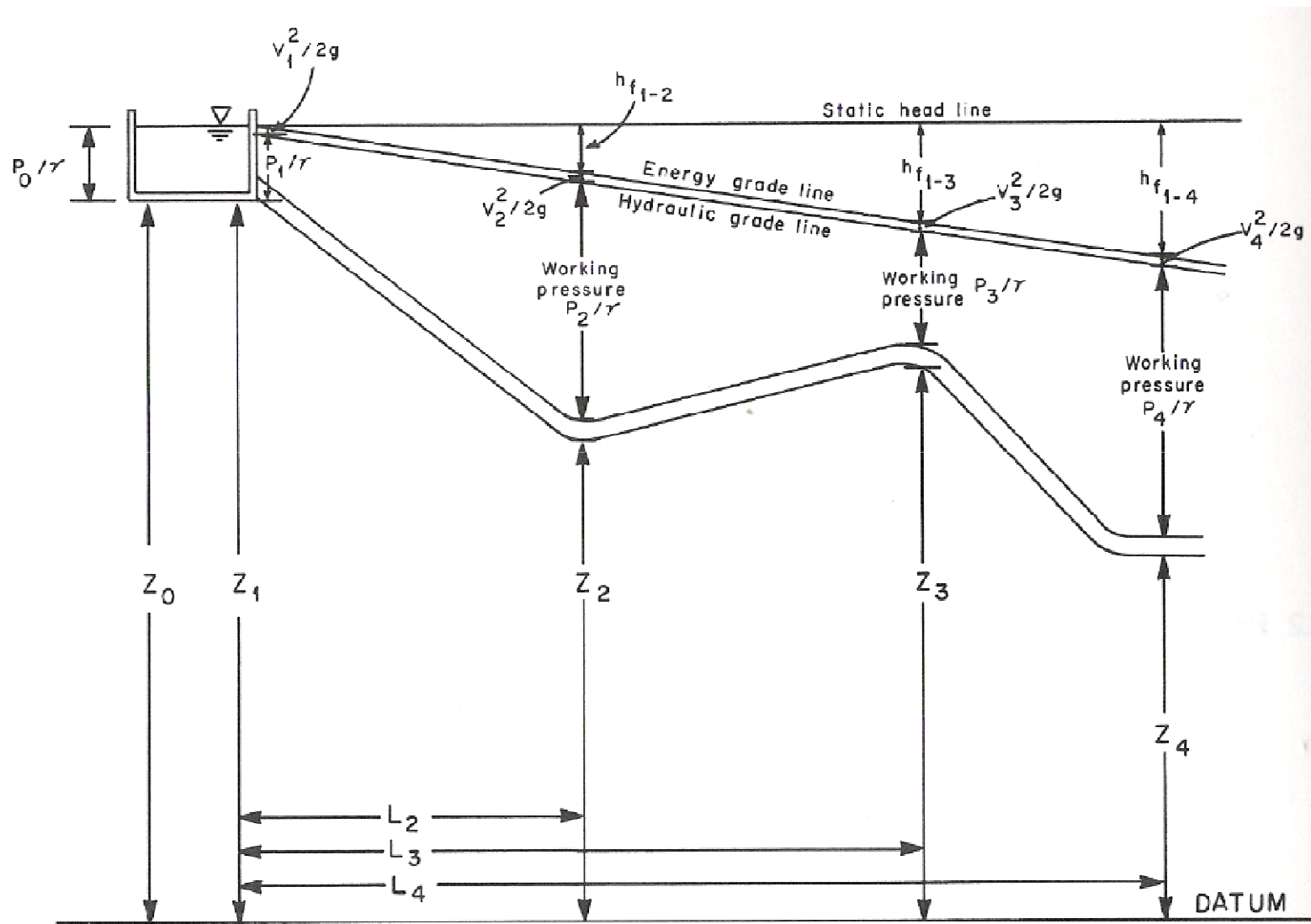
Other fittings available:

- Coupling (Part No. FCC16)
- Adapter (Part No. FAM16)
- Compression Adapter (Part No. CA-710)

Βασικές αρχές διαστασιολόγησης & σχεδιασμού αρδευτικών συστημάτων πίεσης

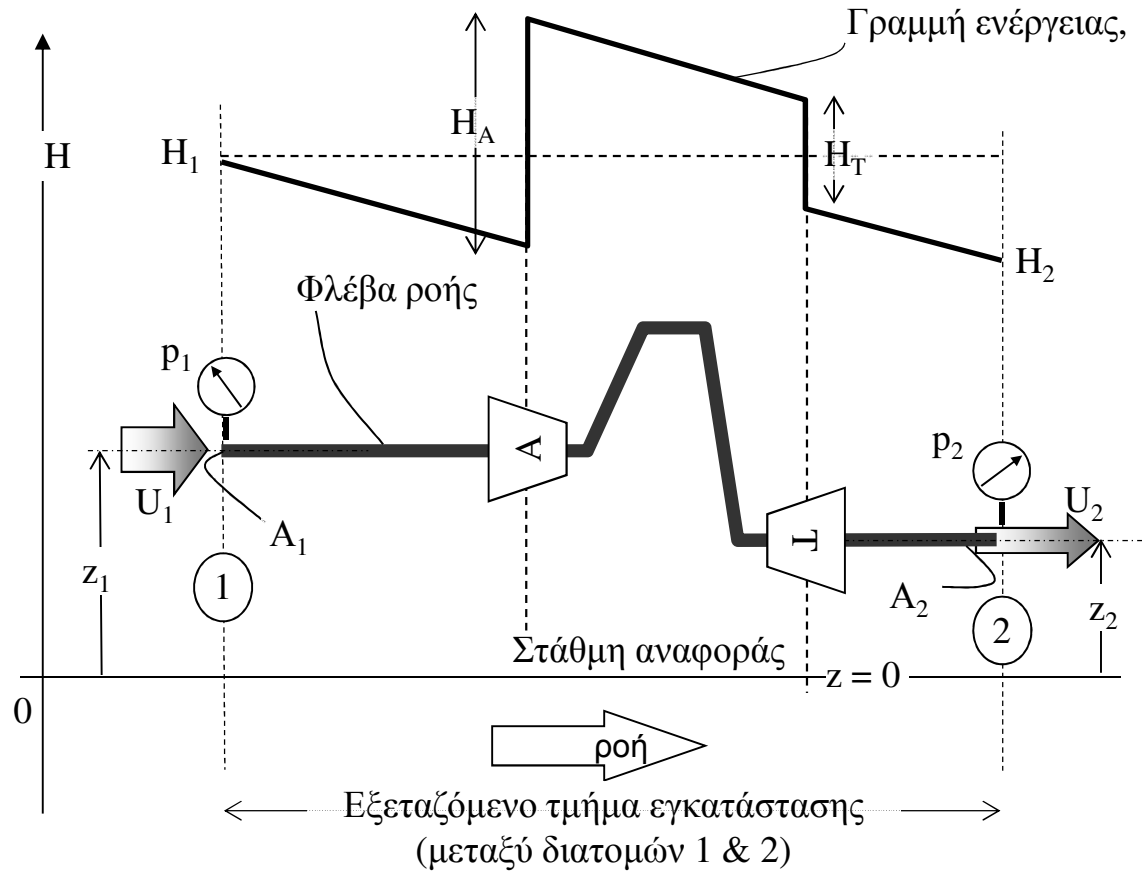
Σχεδιασμός δικτύου

Κατανομή πιέσεων σε ένα αγωγό



Σχεδιασμός δικτύου

Διατύπωση ισοζύγιου ενέργειας σε φλέβα ροής
(γενική περίπτωση – με ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον)



Ορισμός μέσης ταχύτητας, U

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{\text{παροχή όγκου}}{\text{διατομή}}$$

$$\Delta H_{1-2} = H_A - H_T - H_L$$

Εξίσωση Bernoulli →

$$\underbrace{\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + C_1 \frac{U_1^2}{2g}}_{\text{ολική ενέργεια στη θέση 1 ανά μονάδα βάρους υγρο}} + \underbrace{\Delta H_{1-2}}_{\substack{\text{εισ-εκ-ροή} \\ \text{ενέργειας} \\ \text{α.μ.β.υ.}}} = \underbrace{\frac{p_2}{\gamma} + z_2 + C_2 \frac{U_2^2}{2g}}_{\text{ολική ενέργεια στη θέση 2 ανά μονάδα βάρους υγρο}}$$

Σχεδιασμός δικτύου

Ισοζύγιο ενέργειας σε φλέβα ροής

(γενική περίπτωση – με ανταλλαγή ενέργειας με το περιβάλλον)

$$\Delta H_{1-2} = H_A - H_T - H_L$$

- $\Delta H_{1 \rightarrow 2}$: Εισροή/εκροή ενέργειας α.μ.β.υ. από/προς το περιβάλλον
 H_A : Μανομετρικό ύψος αντλίας
 H_T : Μανομετρικό ύψος στροβίλου
 H_L : Ισοδύναμο μανομετρικό ύψος απωλειών λόγω τριβής (ιξώδους)

Εξίσωση Bernoulli \rightarrow

$$\underbrace{\frac{p_1}{\gamma} + z_1 + C_1 \frac{U_1^2}{2g}}_{\text{ολική ενέργεια στη θέση 1 ανά μονάδα βάρους υγρο}} + \underbrace{\Delta H_{1-2}}_{\substack{\text{εισ-εκ-ροή} \\ \text{ενέργειας} \\ \text{α.μ.β.υ.}}} = \underbrace{\frac{p_2}{\gamma} + z_2 + C_2 \frac{U_2^2}{2g}}_{\text{ολική ενέργεια στη θέση 2 ανά μονάδα βάρους υγρο}}$$

Υδραυλικές απώλειες λόγω ιξωδών τριβών, H_L

Για ένα τμήμα εγκατάστασης υλοποιημένο από εν σειρά συνδεδεμένους

- (1) N_L σωλήνες, ο καθένας μήκους L_i , διαμέτρου D_i , με παροχή Q , και μέση ταχύτητα $U_i=4Q/(\pi D_i^2)$, και
- (2) N_T εξαρτήματα ('στραγγαλισμού της ροής') που το καθένα έχει τοπικό συντελεστή αντίστασης k_j για επικρατούσα παροχή Q , και 'μέση ισοδύναμη ταχύτητα' $U_j=4Q_j/(\pi D_j^2)$,

Οι συνολικές υδραυλικές απώλειες, H_L , υπολογίζονται ως άθροισμα των γραμμικών απωλειών στους σωλήνες και των τοπικών απωλειών στα εξαρτήματα σύμφωνα με την έκφραση:

$$H_L = \underbrace{\sum_{i=1}^{N_L} h_{fi}}_{\text{Γραμμικές απωλείες}} + \underbrace{\sum_{j=1}^{N_T} h_{lj}}_{\text{Τοπικές απωλείες}}$$

Υπολογισμός απωλειών, h_f , σε σωλήνα με βάση την εξίσωση **Darcy-Weisbach**

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{U^2}{2g}$$

- Με δεδομένα τα L , D , U , για τον υπολογισμό του h_f απαιτείται να γνωρίζουμε την τιμή του συντελεστή τριβής f .
- Η τιμή του f προσδιορίζεται ανάλογα με τις τιμές του αριθμού Reynolds, Re , και της τραχύτητας, ϵ , των τοιχωμάτων του σωλήνα που εξετάζουμε.
- Η τιμή του f προσδιορίζεται είτε γραφικά μέσω του διαγράμματος **Moody** είτε αναλυτικά με αριθμητική επίλυση της εξίσωσης **Colebrook**. (βλέπε παρακάτω)
- Η Darcy-Weisbach είναι ακριβής για οποιαδήποτε συνθήκη ροής αλλά δαπανηρή για τη διαστασιολόγηση μιας εγκατάστασης.
- Σε προβλήματα διαστασιολόγησης συνήθως γίνεται μια γρήγορη εκτίμηση διαμέτρων με την εξίσωση Hazen-Williams (βλέπε παραπάνω)

Darcy-Weisbach - Συντελεστής τριβής f

Αναλυτικός προσδιορισμός

Αριθμός Reynolds: $Re = \rho UD/\mu = UD/\nu = 4Q/(\pi D\nu)$

ρ : πυκνότητα

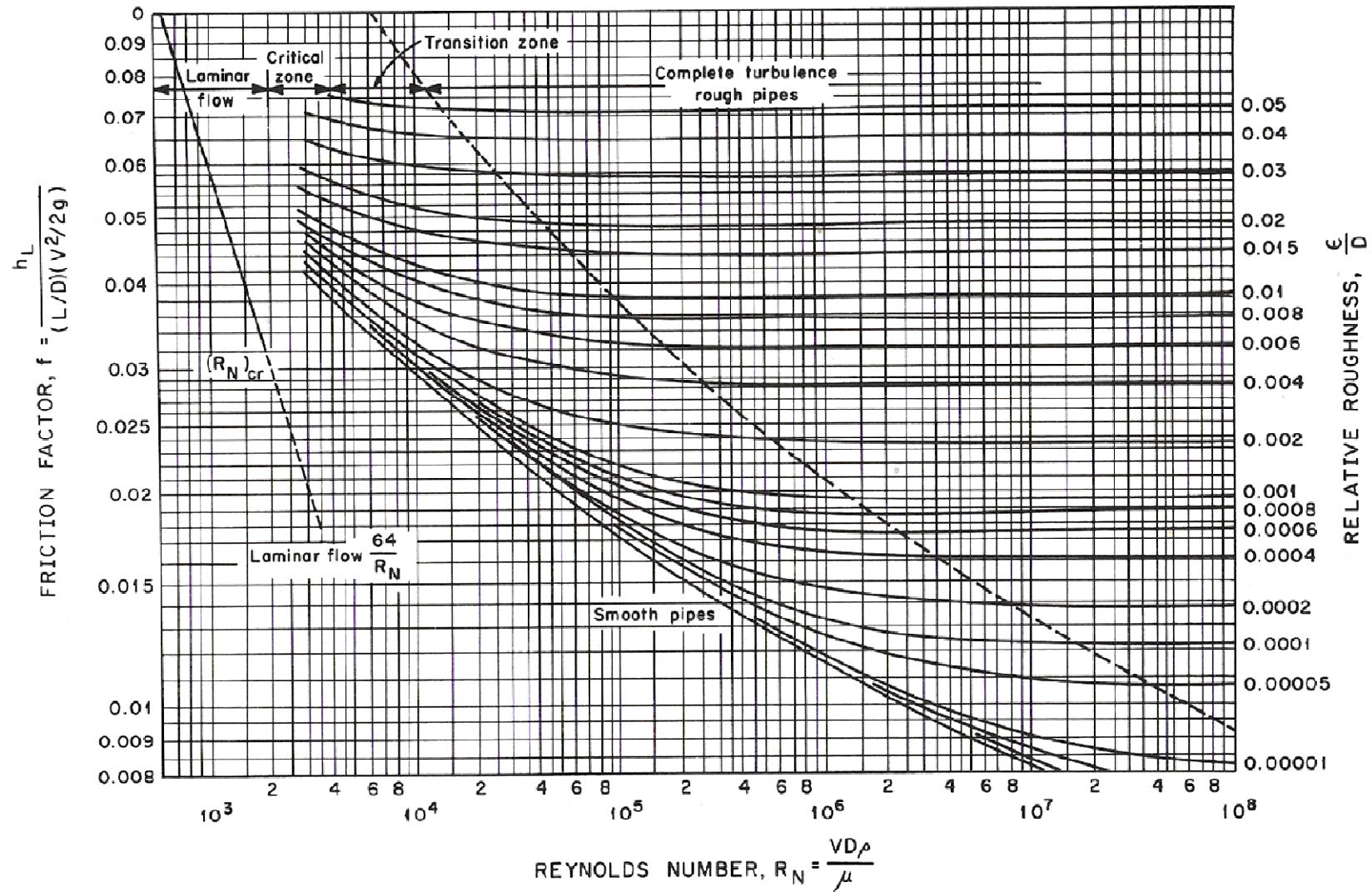
μ : δυναμικό ιξώδες

ν : κινηματικό ιξώδες

Τιμή Re	είδος ροής	υπολογισμός f
• $Re < 2000$	στρωτή ροή	$\rightarrow f = 64/Re$
• $2000 < Re < 4000$	ασταθής κρίσιμη	\rightarrow αποφεύγεται (χωρίς πρακτική εφαρμογή)
• $4000 < Re < 10000$	μερικώς τυρβώδης	\rightarrow Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{f}} \right)$
• $10000 < Re$	πλήρης τυρβώδης	\rightarrow Colebrook $\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7D} \right)$

Darcy-Weisbach - Συντελεστής τριβής f

Γραφικός προσδιορισμός (διάγραμμα Moody)



(Εναλλακτικός) Υπολογισμός απωλειών, h_f , σε σωλήνα
με βάση την εξίσωση **Hazen-Williams**

$$h_f = k_1 L \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87}$$

k_1	$[h_f]$	$[L]$	$[Q]$	$[D]$
$1,13 \times 10^9$	m	m	m^3/h	mm
$1,21 \times 10^{10}$	m	m	l/s	mm
10,46	ft	ft	gpm	in

Pipe Material	Values of C		
	Design	New Pipe	Corroded Pipe
Polyethylene (PE) and polyvinyl chloride (PVC)	140	150	130
Cement-Asbestos	140	150	140
Fiber	140	150	—
Bitumastic-enamel-lined iron or steel centrifugally applied	140	148	130
Cement-lined iron or steel centrifugally applied	140	150	—
Copper, brass, lead, tin, or glass pipe and tubing	130	140	120
Wood-stave	110	120	110
Welded and seamless steel	100	130	80
Interior riveted steel (no projecting rivets)	100	139	—
Wrought-iron, cast-iron	100	130	80
Tar-coated cast iron	100	130	50
Girth-riveted steel (projecting rivets in girth seams only)	100	130	—
Concrete	100	120	85
Full-riveted steel (projecting rivets in girth and horizontal seams)	100	115	—
Vitrified, spiral-riveted steel (flow with lap)	100	110	—
Spiral-riveted steel (flow against lap)	90	100	—
Corrugated steel	60	60	—

Υπολογισμός απωλειών σε σωλήνα με βάση την εξίσωση **Hazen-Williams**

$$h_f = k_1 L \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} D^{-4,87}$$

Παρατηρήσεις

Η εξίσωση Hazen-Williams είναι πολύ απλή στην εφαρμογή της διότι συνδέει τη **διάμετρο ενός αγωγού με την πτώση πίεσης και την παροχή.**

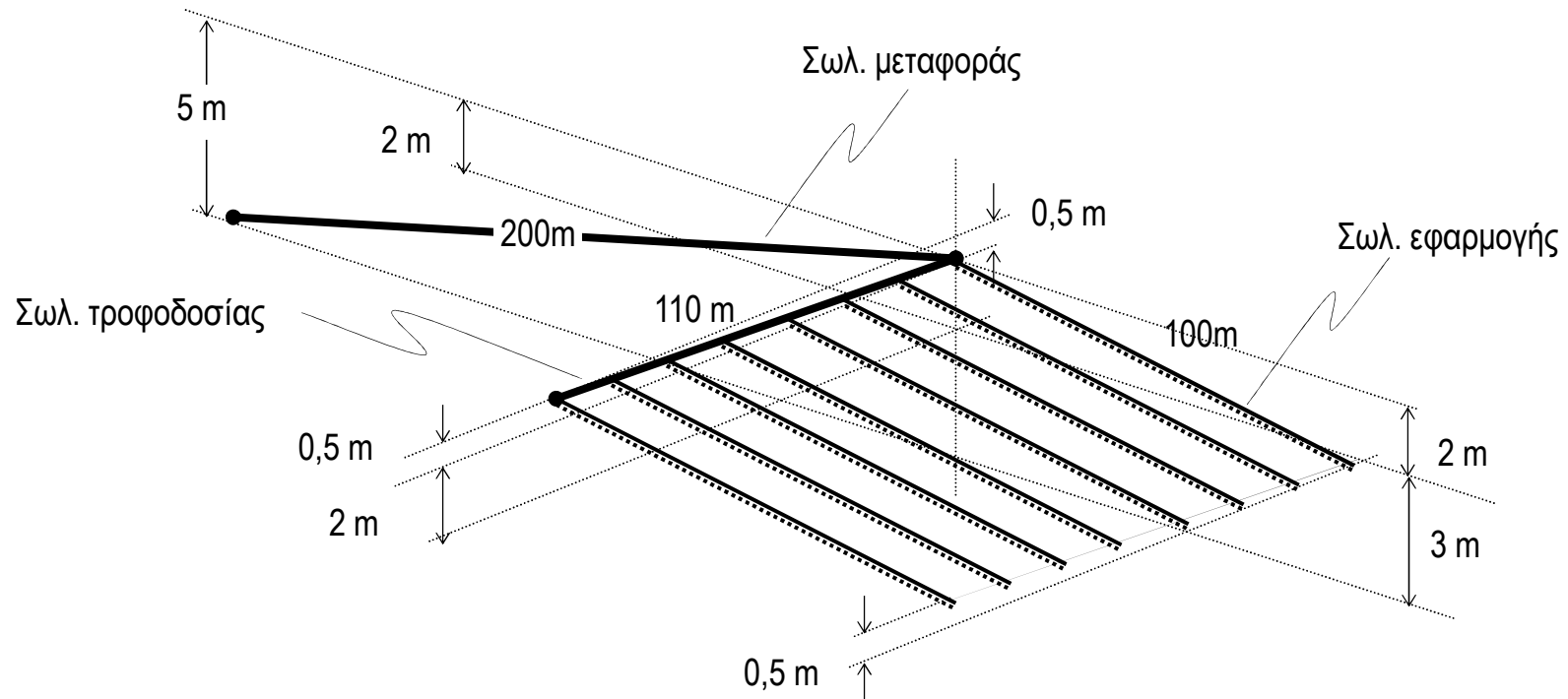
Αποτελεί ένα πολύ ισχυρό 'εργαλείο' για την άμεση διαστασιολόγηση μιας εγκατάστασης.

Ισχύει για ροή νερού σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας 20⁰C

ή για οποιοδήποτε άλλο υγρό με σχετ. πυκνότητα 1,0 και δυναμικό ιξώδες $\mu=1,002 \times 10^{-3} \text{kg/m-s}$, ή κινηματικό ιξώδες $\nu=1,004 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$),

δηλαδή για τις πιο συνηθισμένες εφαρμογές προβλημάτων υδραυλικής.

Εφαρμογή σε διαστασιολόγηση δικτύου στάγδην άρδευσης



Άρδευτική μονάδα:

125 αυτορυθμιζόμενοι (pc) σταλάκτες ($q=4\text{lt/hr}$ @ $P_a=10\text{m}$) ανά αγωγό εφαρμογής
55 αγωγοί εφαρμογής ανά αγωγό τροφοδοσίας (δε δείχνονται όλοι)

Αντλίες

=

«μηχανές»

που μετατρέπουν μηχανική ενέργεια σε υδραυλική,
την οποία παρέχουν σε μια υδραυλική «εγκατάσταση»

ο FAO (Fraenkel, 1986) ταξινομήσε 9 κατηγορίες & 33 τύπους αντλιών:

Ταξινόμηση* Αντλιών

9 κατηγορίες & 33 τύποι

1. Reciprocating and cyclic direct lift devices (3)

- 1.1 Watering cans, buckets, scoops, bailers and the swing basket
- 1.2 Suspended scoop, gutters, dhones & the counterpoise-lift
- 1.3 Bucket hoists, windlasses, mohtes and water skips

2. Rotary direct lift devices (3)

- 2.1 Bucket elevators, Persian wheels and norias
- 2.2 Improved Persian wheels, (zawaffa or jhallar)
- 2.3 Scoop-wheels; sakia, tympanum or tablia

3. Reciprocating displacement pumps (9)

- 3.1 Piston or bucket pumps: basic principles
- 3.2 Double-acting piston pumps and plunger pumps
- 3.3 Pistons and valves
- 3.4 Reciprocating pumps and pipelines
- 3.5 Reciprocating borehole pumps
- 3.6 Hydraulically activated borehole pumps
- 3.7 Diaphragm pumps
- 3.8 Semi-rotary pumps
- 3.9 Gas displacement pumps

4. Rotary positive displacement pumps (7)

- 4.1 Flexible vane pumps
- 4.2 Progressive cavity (Mono) pumps
- 4.3 Archimedean screw and open screw pumps
- 4.4 Coil and spiral pumps
- 4.5 Paddle wheels, treadmills and flashwheels
- 4.6 Water-ladders and Dragon Spine pumps
- 4.7 Chain and washer or Paternoster pumps

5. Reciprocating inertia (joggle) pumps (2)

- 5.1 Flap valve pump
- 5.2 Resonant joggle pump

6. Rotodynamic pumps (8)

- 6.1 Rotodynamic pumps: basic principles
- 6.2 Volute, turbine and regenerative centrifugal pumps
- 6.3 Axial flow (propeller) pumps
- 6.4 Mixed flow pumps
- 6.5 Centrifugal pumps
- 6.6 Multi-stage and borehole rotodynamic pumps
- 6.7 Self-priming rotodynamic pumps
- 6.8 Self-priming jet pumps

7. Air-lift pumps

8. Impulse (water hammer) devices

9. Gravity devices (2)

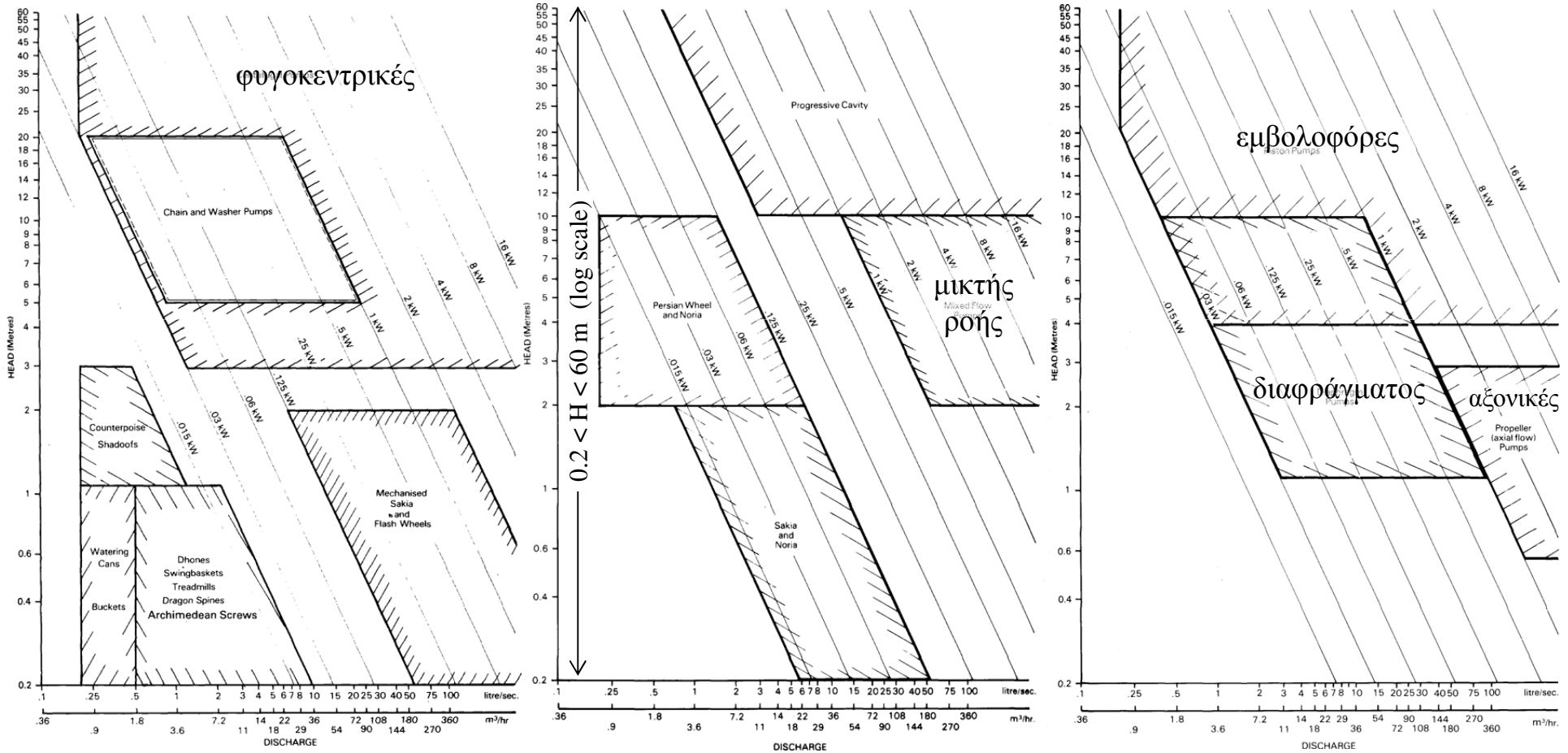
- 9.1 Syphons
- 9.2 Qanats and foggara

*με βάση την αρχή λειτουργίας τους FAO paper43 (Fraenkel, 1986)

Ταξινόμηση* Αντλιών

9 κατηγορίες & 34 τύποι

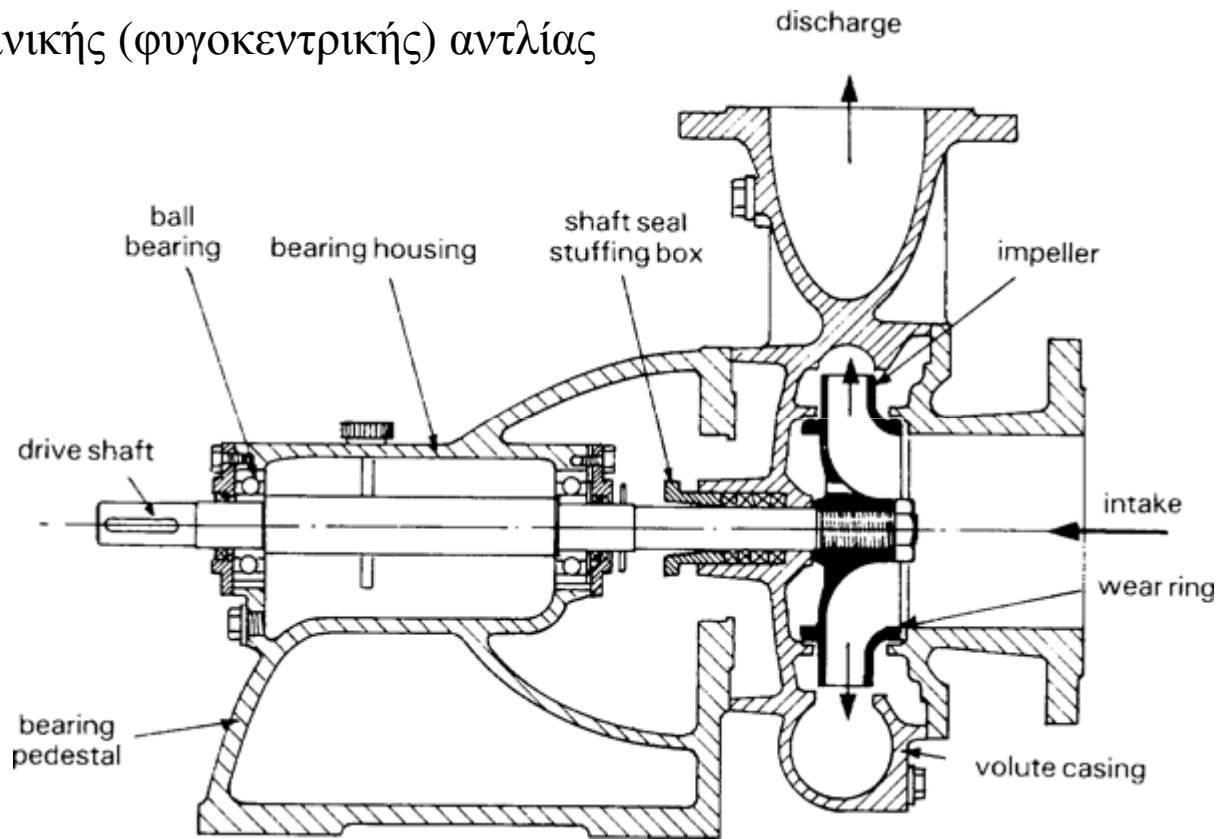
Περιοχές λειτουργίας



← 1 < Q < 100 l/s (log scale) →

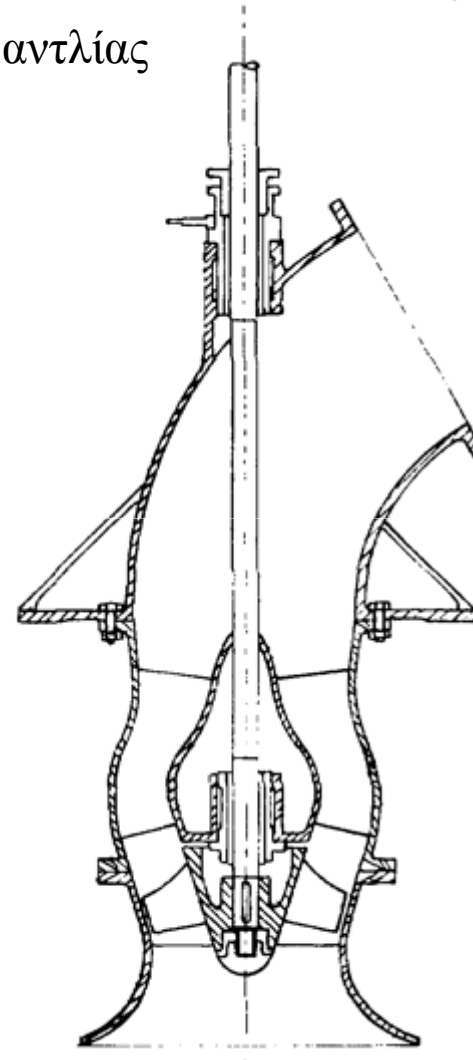
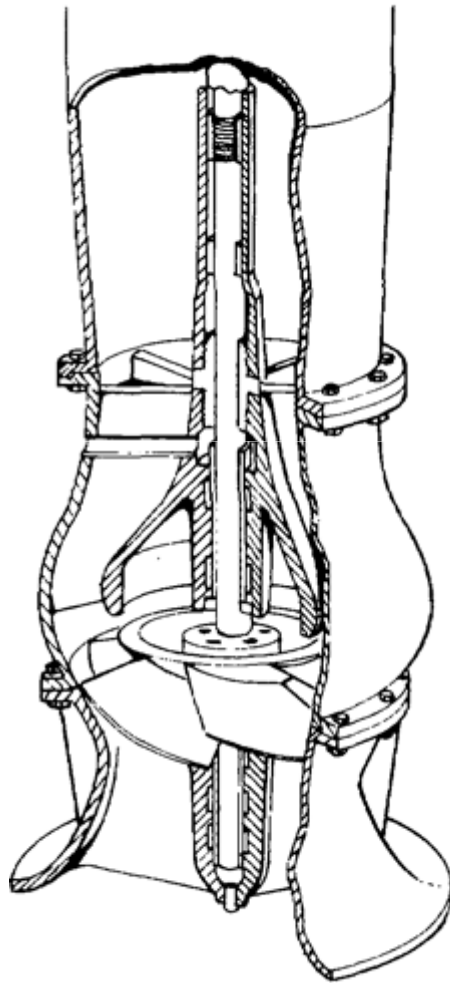
Αντλίες

Τομή ακτινικής (φυγοκεντρικής) αντλίας

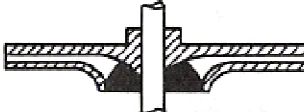







Αντλίες

Τομή αξονικής αντλίας



Αντλίες

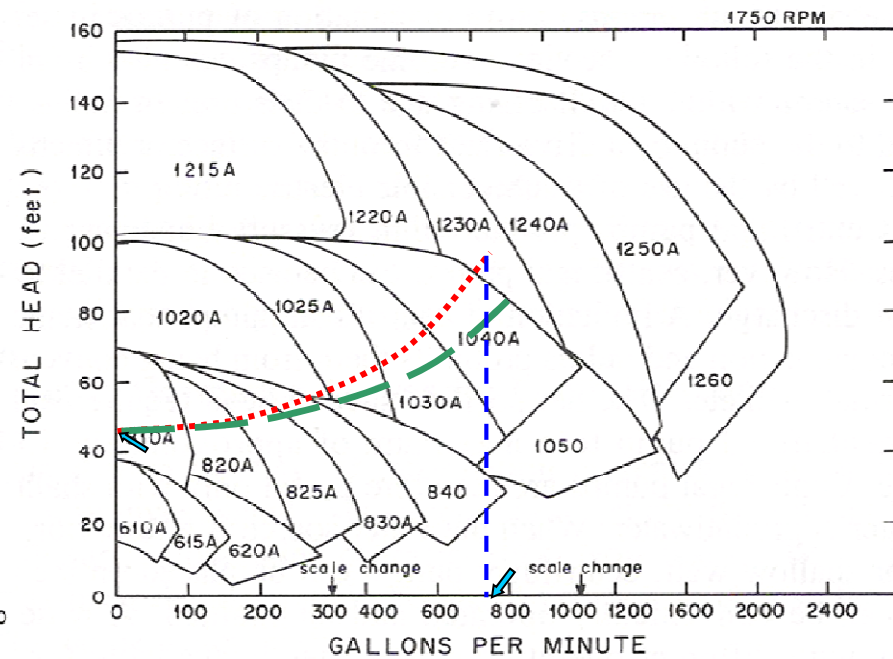
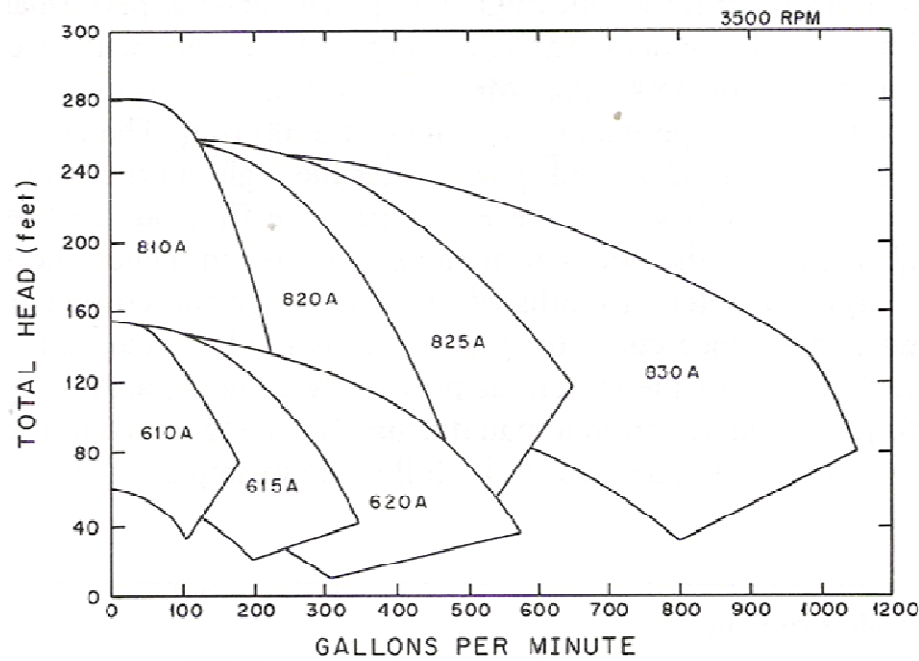
<u>SPECIFIC SPEED*</u>	<u>CROSS SECTION</u>	<u>TYPE OF PUMP</u>	<u>HEAD-DISCHARGE CHARACTERISTICS</u>
$N_s = \frac{0.2108 \text{ rpm} \sqrt{Q}}{(\text{TDH})^{0.75}}$			
(a) 500		Centrifugal (Radial flow)	High head Small discharge
(b) 1000			
(c) 2000		Francis impeller	Intermediate head and discharge
(d) 3000			
(e) 5000		Mixed flow	
(f) 10,000		Propeller flow (Axial flow)	Low head Large discharge

* Q in liters per minute and TDH in meters

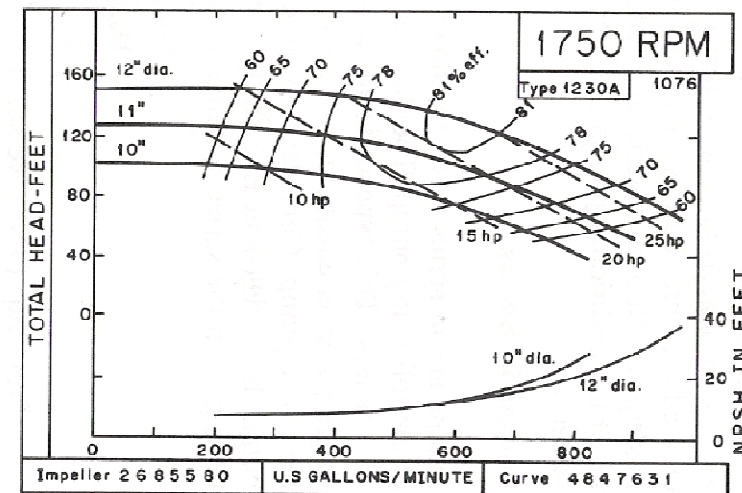
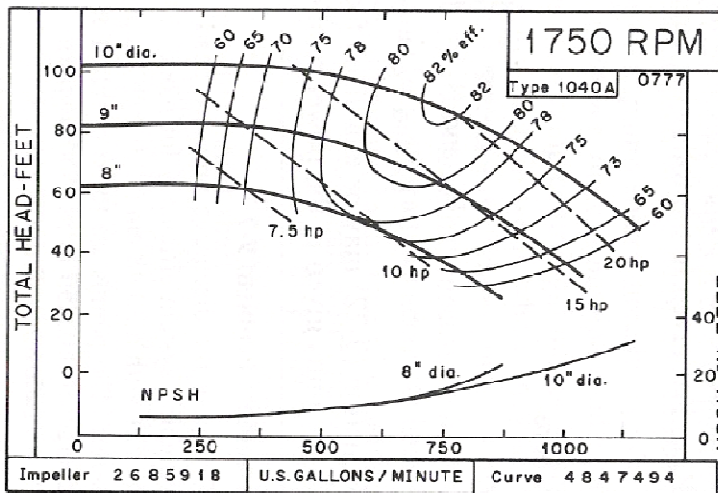
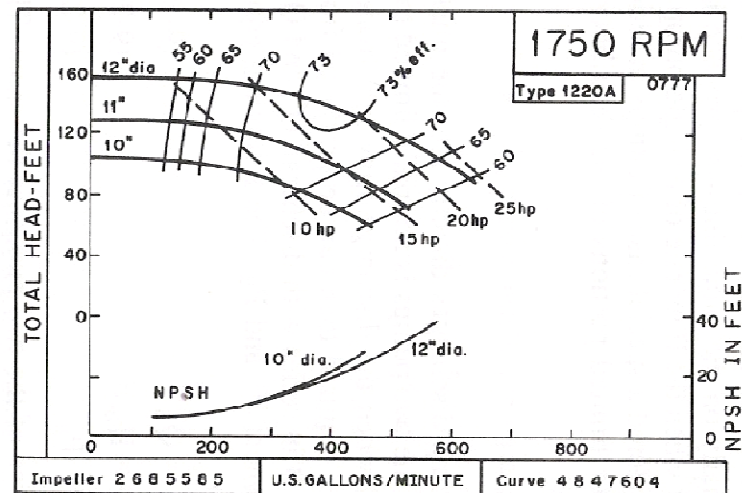
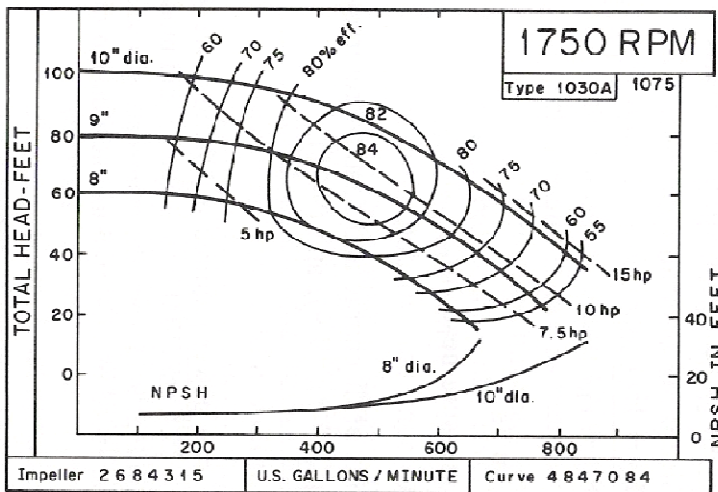
Figure 9-3 Variation in impeller design and pump characteristics as function of specific speed. (Adapted from Hansen et al., 1980.)

(Cuenca, 1989)

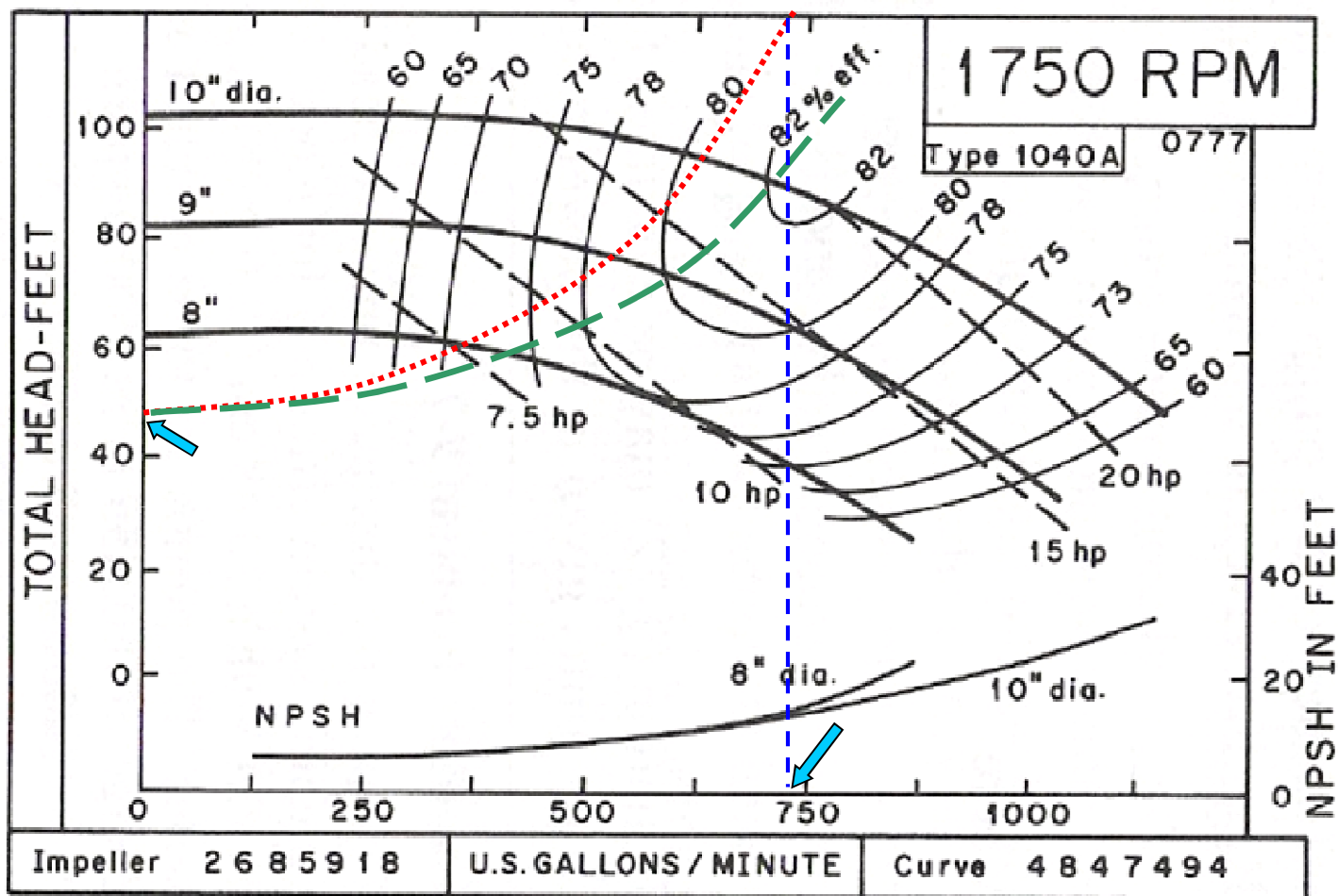
Επιλογή αντλίας (1)



Επιλογή αντλίας (2)



Επιλογή αντλίας (3)



→ Λειτουργικές απαιτήσεις εγκατάστασης

Χαρακτηριστικές καμπύλες εγκατάστασης

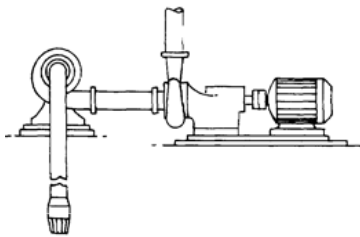
- Διαμόρφωση διαστασιολόγησης 1
- Διαμόρφωση » 2

Επιλογή αντλίας (4)

Συνδυασμός αντλιών:

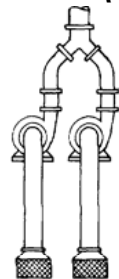
σύνδεση

εν σειρά

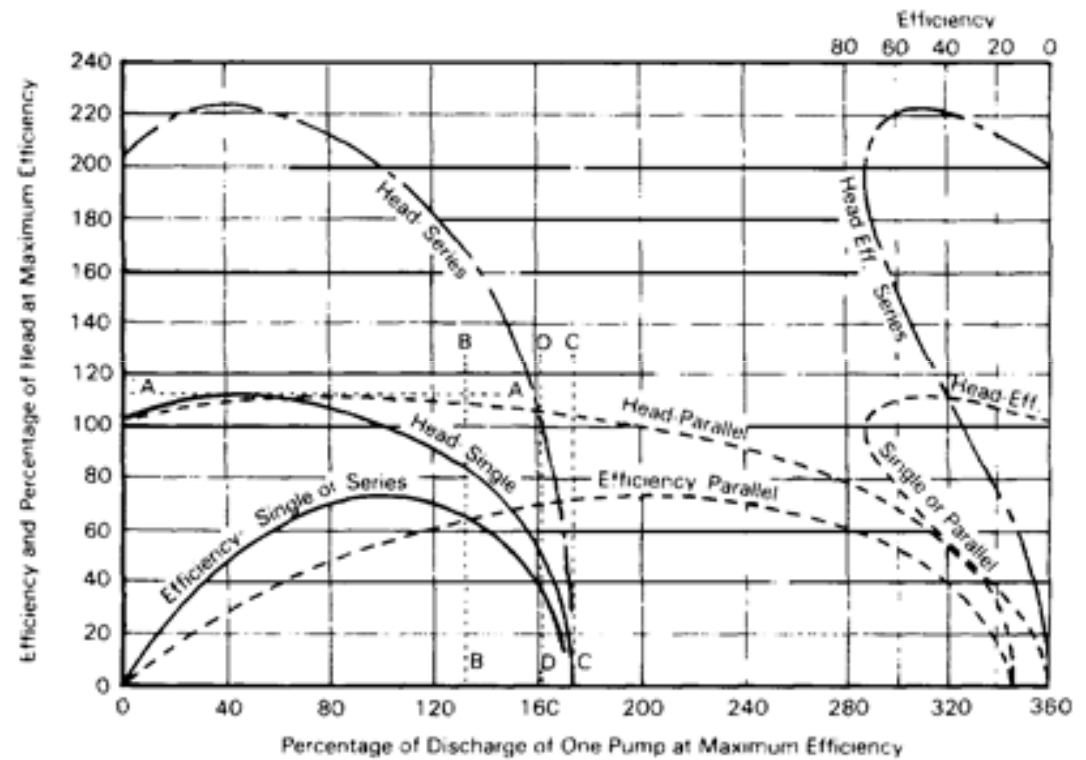


A Pumps connected in series

παράλληλη



B Pumps connected in parallel



C Characteristics of two similar centrifugal pumps connected in parallel and in series

Επιλογή αντλίας (5)

Ύψος αναρρόφησης, z_s

συναρτήσει της καθαρής πίεσης αναρρόφησης μιας αντλίας

NPSH: Net Positive Suction Head

$$\text{NPSH}_a = p_{\text{atm}} - z_s - h_{fs} - p_v > \text{NPSH}_r$$

Όπου NPSH_a διαθέσιμο

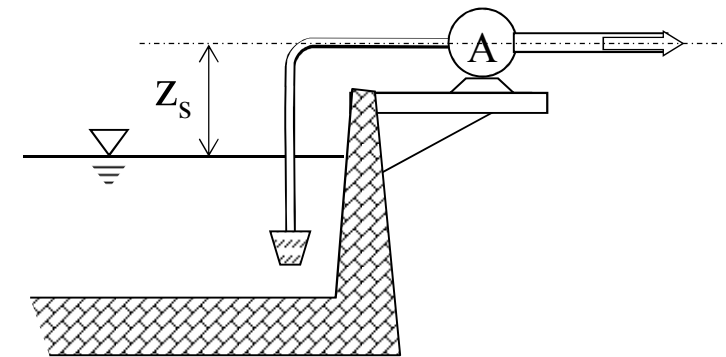
p_{atm} = ατμοσφ. πίεση (δεδομένη)

z_s = ύψος αναρρόφησης (σχεδιασμός)

h_{fs} = ισοδύναμο ύψος απωλειών αναρρόφησης (σχεδιασμός)

p_v = τάση ατμών νερού (δεδομένη από πίνακες)

NPSH_r (απαιτούμενη – κατασκευαστής αντλίας)



Προμήθεια & καταλληλότητα νερού

Προμήθεια / καταλληλότητα νερού

από

Γεωτρήσεις → αρδεύσεις

Λύματα ή/και προϊόντα μονάδων βιολογικού
καθαρισμού → αρδεύσεις

Γεωτρήσεις

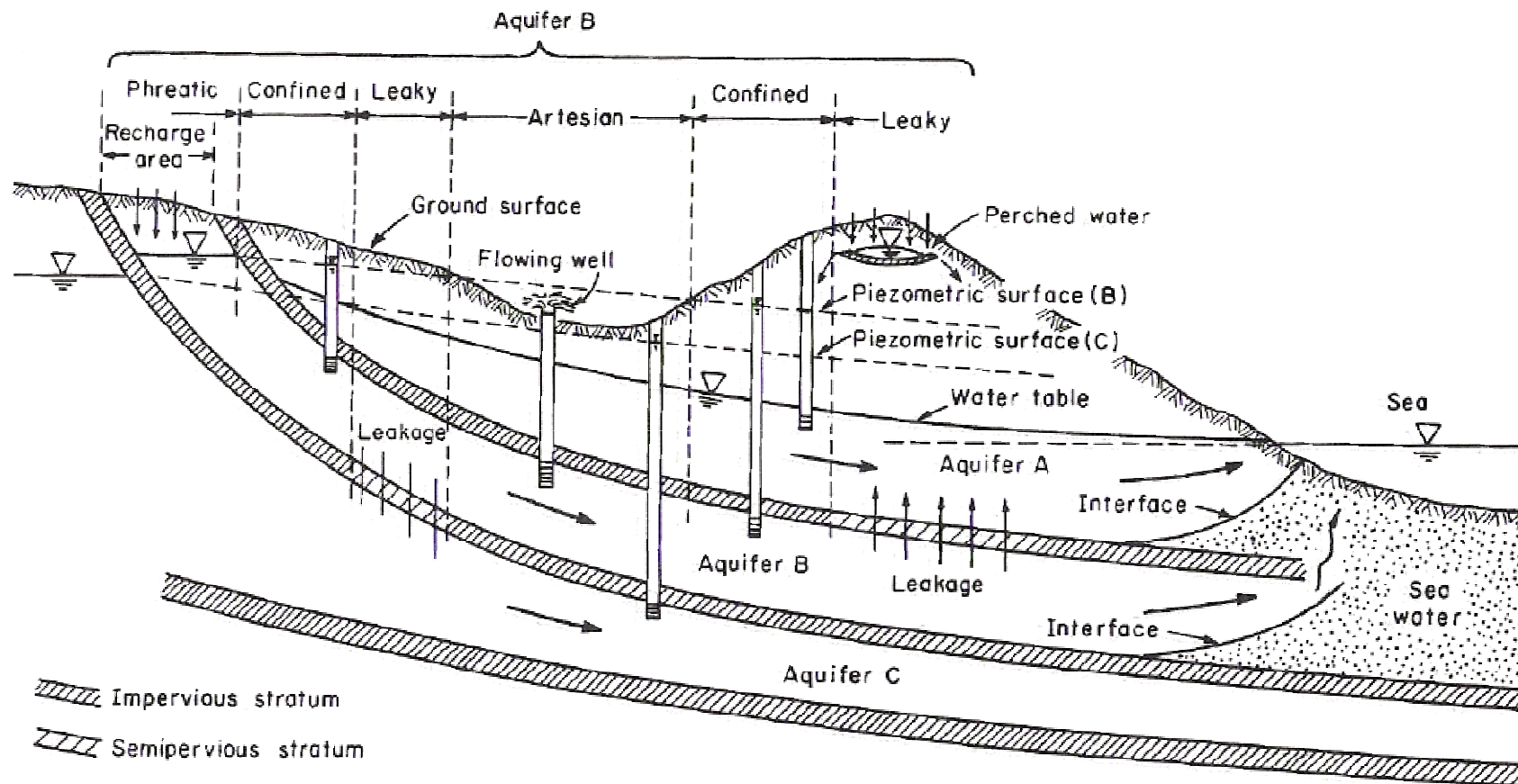
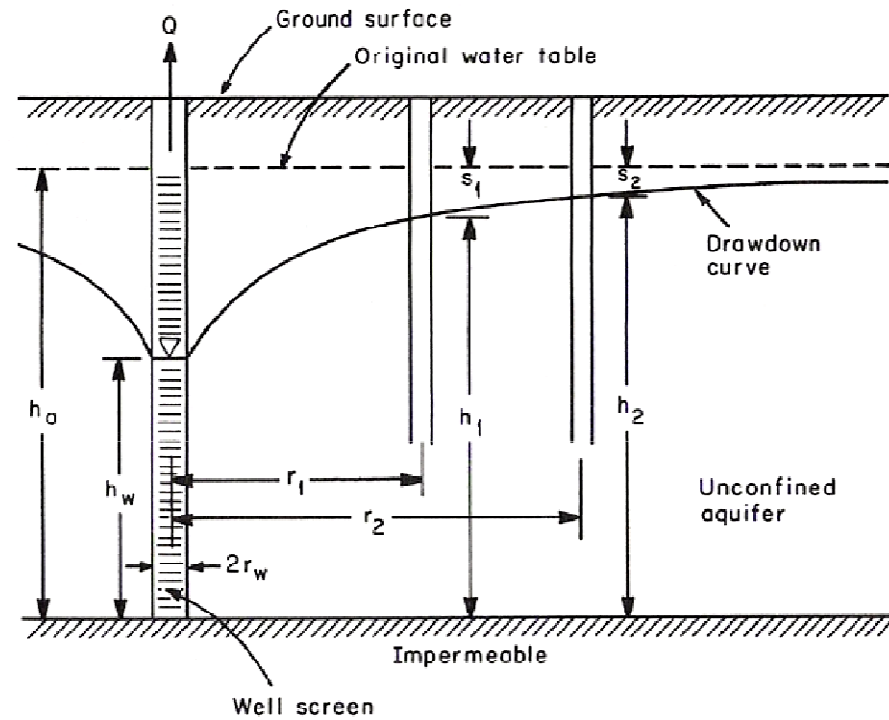
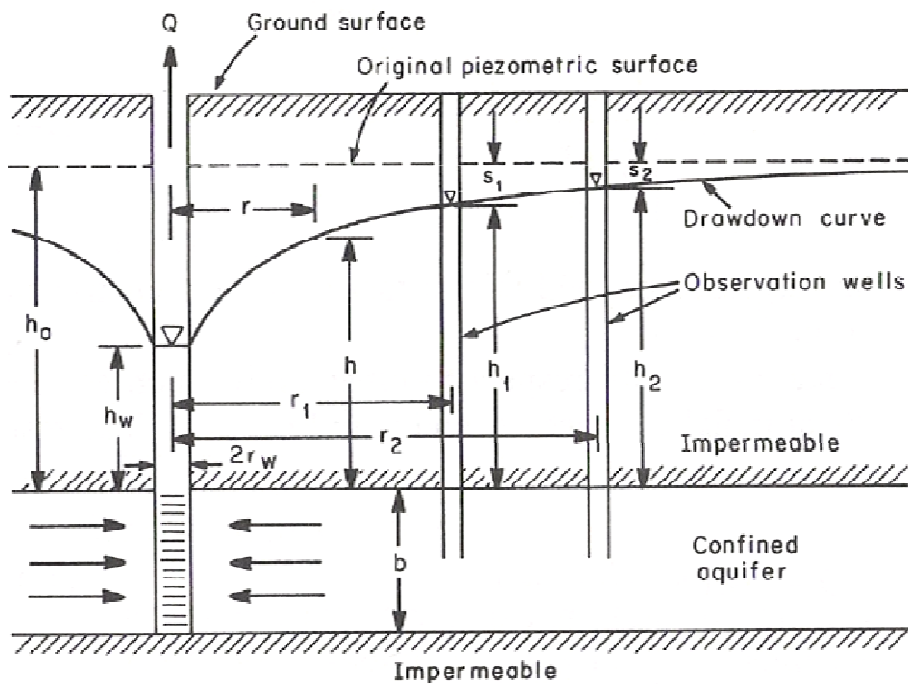


Figure 11-1 Schematic demonstrating different types of aquifer formations. (Adapted from Bear, 1979.)

(Cuenca, 1989)

Γεωτρήσεις

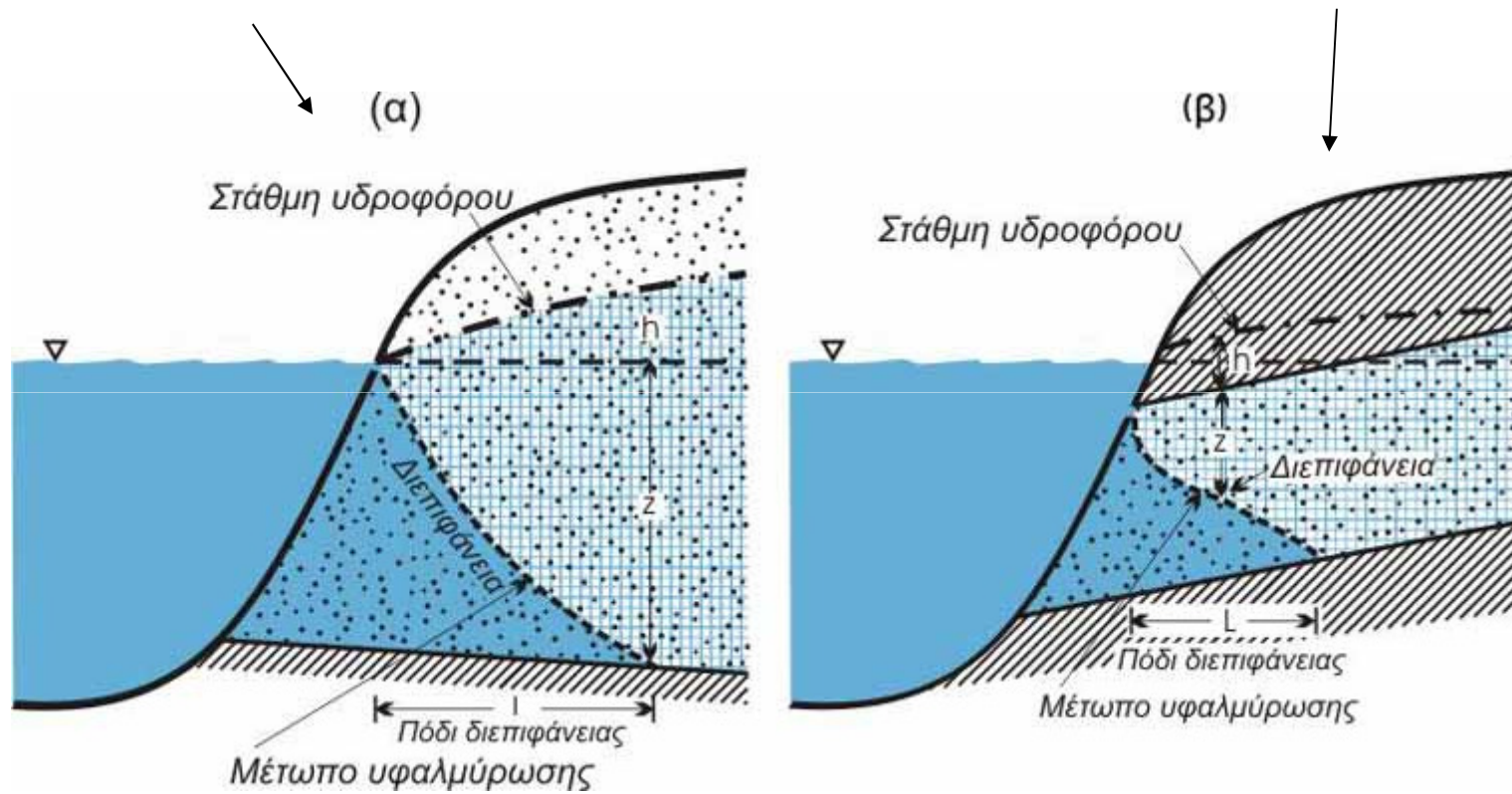
Άντληση από γεώτρηση σε υδροφόρο ορίζοντα υπό πίεση και ελεύθερο



(Cuenca, 1989)

Γεωτρήσεις

Ισορροπία μετώπου υφαλμύρισης σε παράκτιους υδροφόρους ορίζοντες
ελεύθερος υδροφόρος ορίζοντας υπό πίεση



(Σούλιος, 2007)

Γεωτρήσεις



*Περιοχές με
επικινδυνότητα
θαλάσσιας διείσδυσης
λόγω υπεράντλησης*

(Σούλιος, 2007)

Γεωτρήσεις

Κύριο νομικό πλαίσιο

- **N3199, ΦΕΚ 280 9/12/2003** «Προστασία & διαχείριση των υδάτων - Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/10 ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23/10/2000»
- **ΚΥΑ 43504, ΦΕΚ 1784 20/12/2005** «Κατηγορίες αδειών χρήσης υδάτων και εκτέλεσης έργων αξιοποίησης τους, διαδικασία έκδοσης, περιεχόμενο και διάρκεια ισχύος αυτών»
- **Οδηγία 2000/60/ΕΚ** Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτ. 2000 «Για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων»,
 - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:EL:PDF>
 - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2000:327:0001:0072:EN:PDF>

Παλαιότερες διατάξεις:

- **Π.Δ. 256/89** ως ερμηνευτική και διοικητική πράξη του
- **Ν. 1739/87 "περί Διαχείρισης Υδατικών Πόρων"**

Γεωτρήσεις

Αποθηκευτική ικανότητα υδάτινου ταμιευτήρα – storativity,

$$S = \Delta V_w / (A \Delta h)$$

ΔV_w όγκος αντληθέντος νερού, m^3

A οριζόντια επιφάνεια του ταμιευτήρα, m^2

Δh μεταβολή του πιεζομετρικού ύψους ή του ύψους στάθμης, m

Υδάτινοι ταμιευτήρες υπό πίεση $10^{-6} \leq S \leq 10^{-4}$

Ελεύθεροι υδάτινοι ταμιευτήρες – storativity,

$$S_y + S_r = \varepsilon$$

S_y ειδική απόδοση (specific yield) $0,20 \leq S_y \leq 0,30$

S_r ειδική κατακράτηση (specific retention)

ε πορώδες

Table 9: GUIDELINES FOR INTERPRETATION OF WATER QUALITY FOR IRRIGATION

Potential irrigation problem	Units	Degree of restriction on use		
		None	Slight to moderate	Severe
Salinity				
EC _w ¹	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
or				
TDS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltration				
SAR ² = 0 - 3 and EC _w		> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Specific ion toxicity				
Sodium (Na)				
Surface irrigation	SAR	< 3	3 - 9	> 9
Sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
Chloride (Cl)				
Surface irrigation	me/l	< 4	4 - 10	> 10
Sprinkler irrigation	m ³ /l	< 3	> 3	
Boron (B)	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Trace Elements (see Table 10)				
Miscellaneous effects				
Nitrogen (NO ₃ -N) ³	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	me/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
pH	Normal range 6.5-8			

Ποιότητα νερού για αρδεύσεις

(FAO)

¹ EC_w means electrical conductivity in deciSiemens per metre at 25 °C

² SAR means sodium adsorption ratio

³ NO₃-N means nitrate nitrogen reported in terms of elemental nitrogen

Αρδεύσεις & Βιολογικός καθαρισμός

Αρδεύσεις & προϊόντα μον. βιολογικού καθαρισμός

EXAMPLE 1 - AGRONOMIC AND ECONOMIC BENEFITS OF WASTEWATER USE IN IRRIGATION

As an example, a city with a population of 500,000 and water consumption of 200 l/d per person would produce approximately 85,000 m³/d (30 Mm³/year) of wastewater, assuming 85% inflow to the public sewerage system. If treated wastewater effluent is used in carefully controlled irrigation at an application rate of 5000 m³/ha.year, an area of some 6000 ha could be irrigated. In addition to the economic benefit of the water, the fertilizer value of the effluent is of importance. With typical concentrations of nutrients in treated wastewater effluent from conventional sewage treatment processes as follows:

Nitrogen (N) - 50 mg/l
Phosphorus(P) - 10 mg/l
Potassium (K) - 30 mg/l

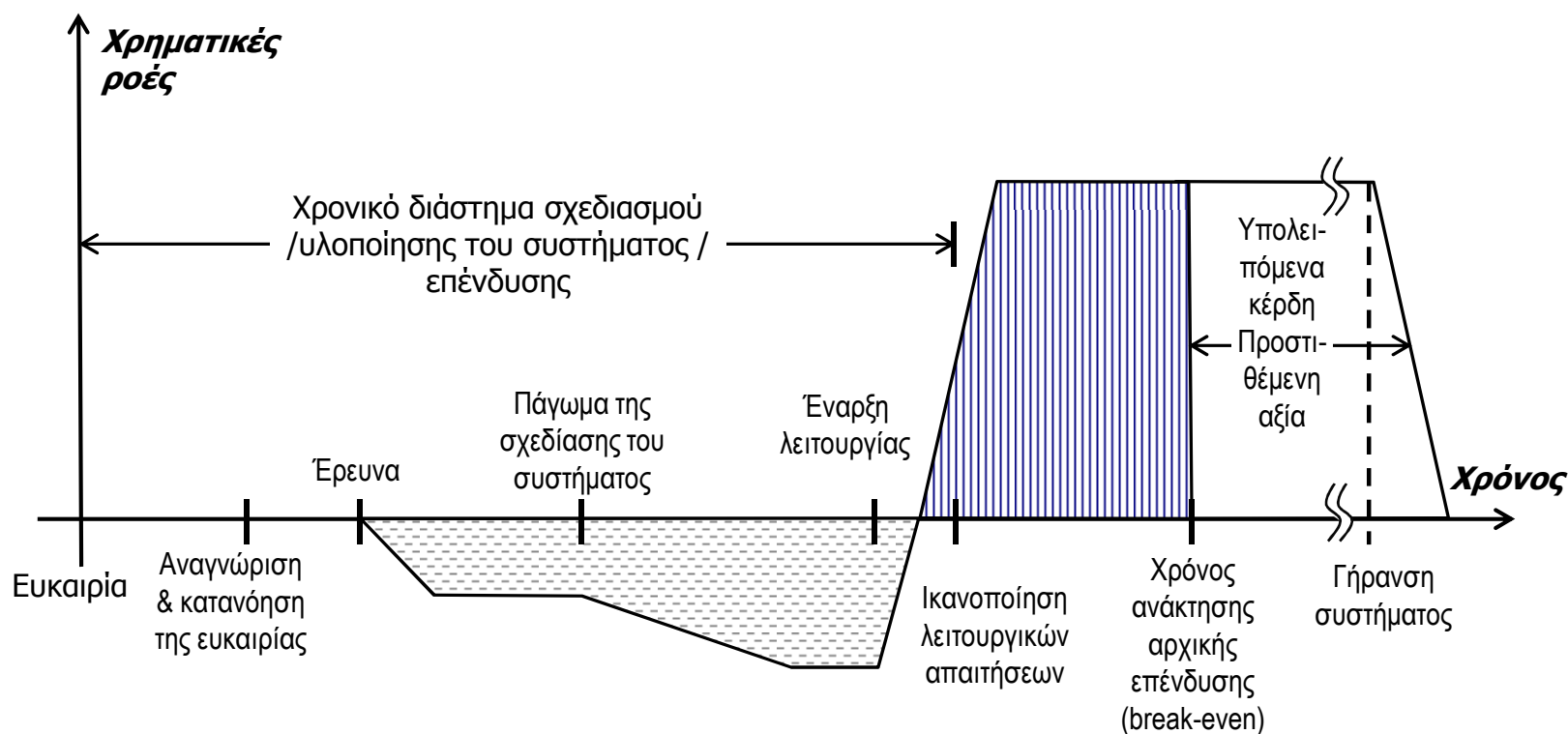
and assuming an application rate of 5000 m³/ha.year, the fertilizer contribution of the effluent would be:

N - 250 kg/ha. year
P - 50 kg/ha. year
K - 150 kg/ha. year

Thus, all of the nitrogen and much of the phosphorus and potassium normally required for agricultural crop production would be supplied by the effluent. In addition, other valuable micronutrients and the organic matter contained in the effluent will provide additional benefits.

Οικονομοτεχνικά ζητήματα

Σε όλες τις επιχειρηματικές /επαγγελματικές δραστηριότητες, το βασικό επενδυτικό σχήμα είναι η επένδυση ενός χρηματικού ποσού σήμερα για την υλοποίηση και εκμετάλλευση ενός συστήματος και με στόχο τη δημιουργία εσόδων και την αποκόμιση κερδών στο μέλλον.



Οικονομοτεχνικά ζητήματα

Για την υλοποίηση μιας επένδυσης απαιτούνται κεφάλαια. Αυτά είτε θα είναι διαθέσιμα προς επένδυση είτε θα είναι τοποθετημένα σε άλλες επιχειρηματικές δραστηριότητες ή σε άλλες επενδύσεις. Έτσι, απαιτείται η αξιολόγηση μιας προτεινόμενης επιχειρηματικής δραστηριότητας, συγκριτικά με άλλες εναλλακτικές επενδύσεις.

Ένα στοιχείο αξιολόγησης είναι η **Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ, Net Present Value – NPV)** της επένδυσης.

Η εκτίμηση της ΚΠΑ στηρίζεται στη μεθοδολογία της προεξόφλησης χρηματικών ροών

(discounted cash flow – DCF) ↔ «σημερινή αξία 100€ < μελλοντική αξία 100€»

Η **Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV)** μελλοντικών (από σήμερα μέχρι το έτος N) χρηματικών ροών, P_i , με ετήσιο ρυθμό προεξόφλησης M, μείον την αρχική επένδυση I_0 , υπολογίζεται

$$NPV = -I_0 + \sum_{i=1}^N \frac{P_i}{(1+M)^i}$$

Παράρτημα

Τυποποίηση φίλτρων τύπου πλέγματος

TABLE 8-8 Classification of screens and particle sizes. (Adapted from Nakayama, 1986.)

Screen Mesh Number	Equivalent Diameter (microns)	Particle Designation	Equivalent Diameter (microns)
16	1180	Coarse sand	>1000
20	850	Medium sand	250–500
30	600	Very fine sand	50–250
40	425	Silt	2–50
100	150	Clay	<2
140	106	Bacteria	0.4–2
170	90	Virus	<0.4
200	75		
270	53		
400	38		

Φυσικές ιδιότητες νερού

TABLE B-1 Physical properties of liquid water.

Temperature °C	Vapor Pressure		Specific gravity	Specific heat J/g °C	Latent Heat	Surface Tension g/s ²	Thermal	Viscosity g × 10 ⁻² /cm · s	Kinematic Viscosity cm ² /s
	kPa	cm water			of Vaporization kJ/g		Conductivity J × 10 ⁻³ /cm · s · °C		
-10	—	—	0.99794	4.271	2.526	—	—	—	—
-05	—	—	0.99918	4.229	2.514	76.4	—	—	—
0	0.6109	6.23	0.99987	4.216	2.503	75.6	5.61	1.787	0.0179
4	0.8131	8.29	1.00000	4.208	2.493	75.0	5.70	1.567	0.0157
5	0.8721	8.89	0.99999	4.204	2.491	74.8	5.74	1.519	0.0152
10	1.2276	12.51	0.99973	4.191	2.479	74.2	5.87	1.307	0.0131
15	1.7051	17.37	0.99913	4.187	2.467	73.4	5.95	1.139	0.0114
20	2.339	23.81	0.99823	4.183	2.455	72.7	6.03	1.002	0.01007
25	3.169	32.31	0.99708	4.178	2.443	71.9	6.12	0.890	0.00897
30	4.246	43.11	0.99568	4.178	2.432	71.1	6.20	0.798	0.00804
35	5.628	57.05	0.99406	4.178	2.420	70.3	6.28	0.719	0.00733
40	7.384	74.71	0.99225	4.178	2.408	69.5	6.33	0.653	0.00661
45	9.593	96.86	0.99024	4.178	2.396	68.7	6.41	0.596	0.00609
50	12.349	124.42	0.98807	4.183	2.384	67.9	6.45	0.547	0.00556

Adapted from: Hillel, D., *Fundamentals of Soil Physics*. New York: Academic Press, 1980.

Colt Industries, *Hydraulic Handbook*. Kansas City, Kansas: Fairbanks Morse Pump Division, 1980.

Keenan, J. H., F. G. Keyes, P. G. Hill, and J. G. Moore, *Steam Tables: Thermodynamic Properties of Water Including Vapor, Liquid, and Solid Phases*. New York: John Wiley & Sons, 1978.