

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ (ΤΕΧΝΗΤΟΥ) ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ

**(GROUNDWATER ARTIFICIAL RECHARGE)
MANAGED AQUIFER RECHARGE - MAR**

Εισαγωγή

- η αυξανόμενη ζήτηση για νερό,
- οι κλιματικές αλλαγές,
- η έλλειψη κατάλληλων θέσεων για την κατασκευή φραγμάτων για επιφανειακή αποθήκευση νερού,
- η αυξανόμενη δυσκολία στην κατασκευή φραγμάτων λόγω υδρολογικών, τεχνικών, περιβαλλοντικών, κοινωνικών, οικονομικών και άλλων περιορισμών.



ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΠΟΓΕΙΩΝ ΝΕΡΩΝ (Τ.Ε.)



- συνδυασμένη χρήση επιφανειακού και υπόγειου νερού και μακροχρόνια υπόγεια αποθήκευση νερού
- επαναχρησιμοποίηση και αποθήκευση πλεονάζοντος νερού για χρήση σε περιόδους έλλειψης διαθέσιμου νερού

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΤΗΣ WORLD COMMISSION ON DAMS

Φ Ρ Α Γ Μ Α Τ Α Κ Α Ι Α Ν Α Π Τ Υ Ξ Η

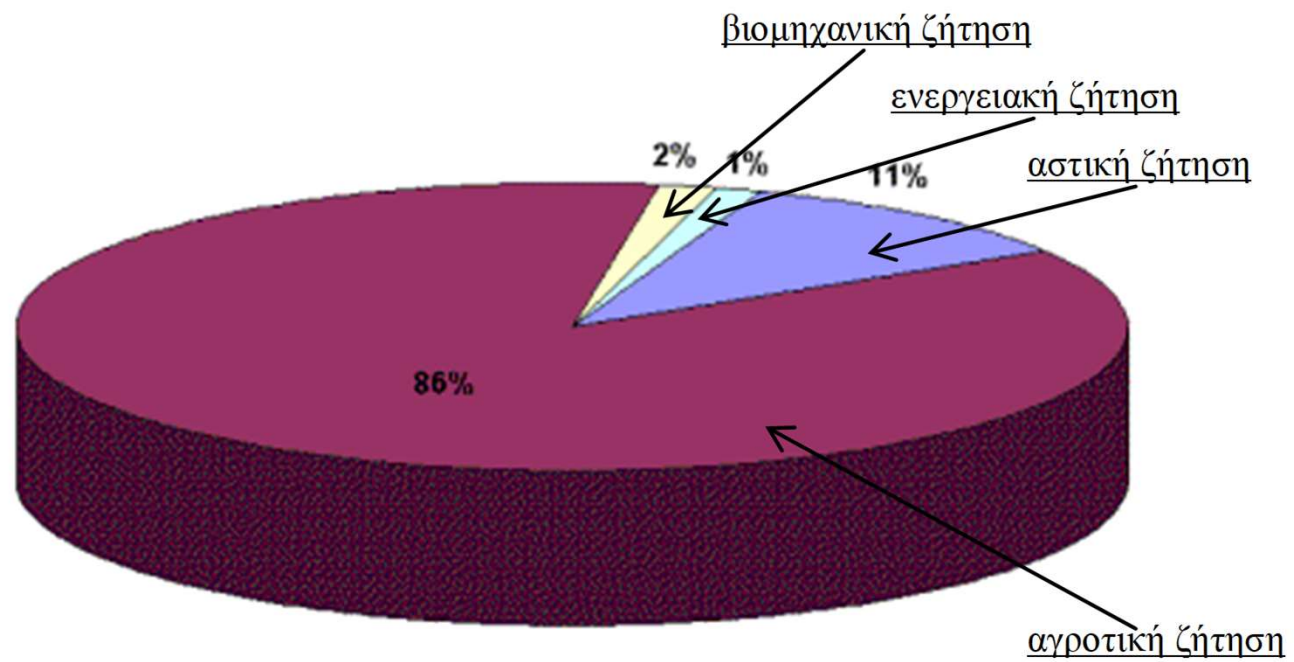
ΕΝΑ ΝΕΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΛΗΨΗΣ ΑΠΟΦΑΣΗΣ

(ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2000)

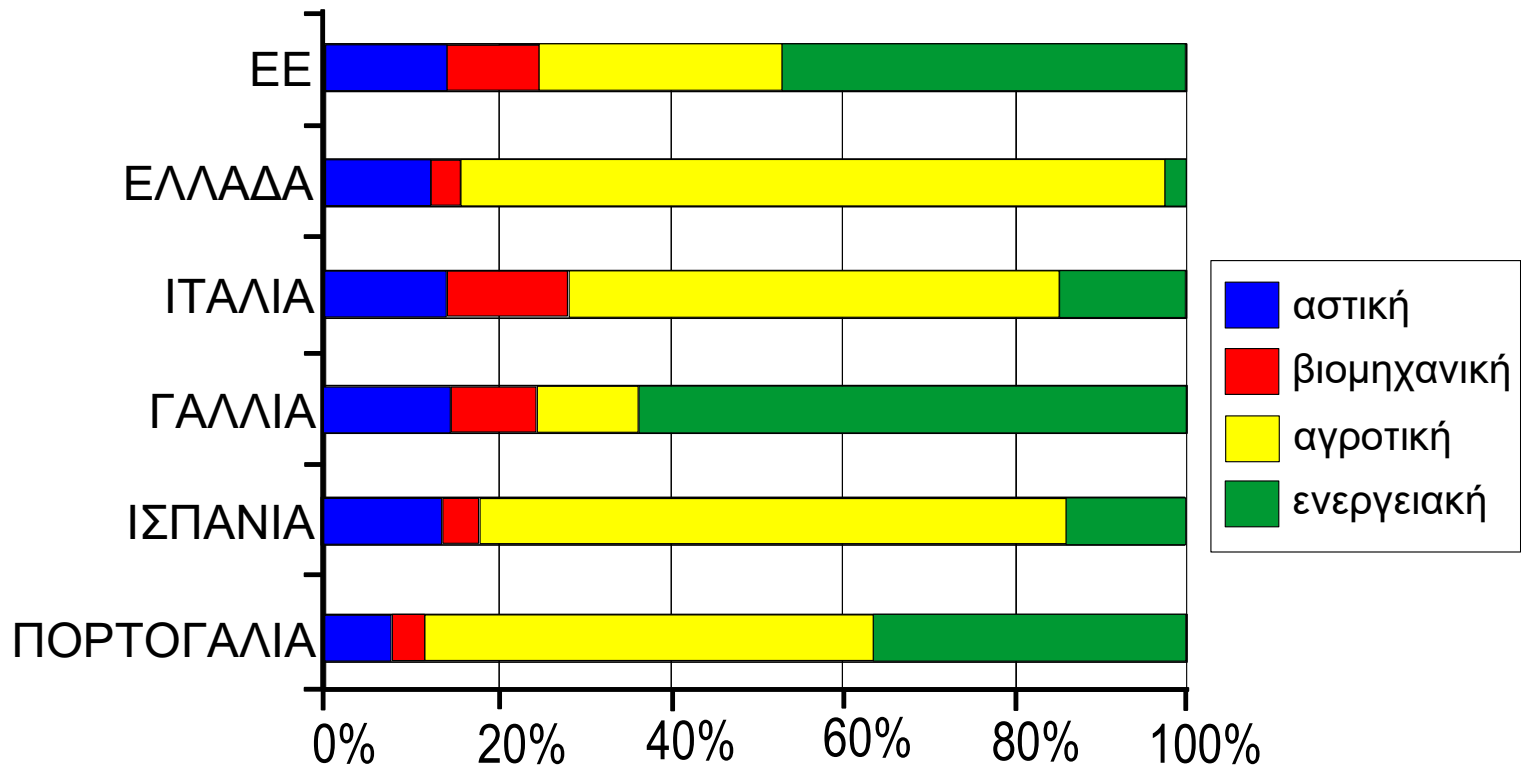
- ❑ The WCD (www.dams.org/) was an independent, international, multi-stakeholder process which addressed the controversial issues associated with large dams. It provided a unique opportunity to bring into focus the many assumptions and paradigms that are at the centre of the search to reconcile economic growth, social equity, environmental conservation and political participation in the changing global context.
- ❑ The Commission completed its work with the launch of its final report and disbanded.
- ❑ A project of the United Nations Environment Programme (UNEP, www.unep.org/dams/), the Dams and Development Project (DDP) (2001-2007) promotes dialogue on improving decision-making, planning and management of dams and their alternatives based on the WCD core values and strategic priorities.
- ❑ International Commission on Large Dams (ICOLD) (www.icold-cigb.org/) .

- ☑ Η συνολική ετήσια απόληψη γλυκού νερού, σήμερα, ανέρχεται σε 3.800 km³, διπλάσια και πλέον της αντίστοιχης 50 χρόνια πριν. Η επιτακτική παροχή γλυκού νερού σε αναπτυσσόμενες κοινωνίες και οικονομίες, όταν συγχρόνως παρατηρείται εξάντληση των υπόγειων νερών, υποβάθμιση της ποιότητας των νερών (επιφανειακών και υπόγειων), ενώ ανακύπτουν ολοένα και πιο πολλοί σοβαροί περιορισμοί στην απόληψη νερού, έχει οδηγήσει τη διαχείριση των υδατικών πόρων στην κορυφή της ατζέντας της διεθνούς ανάπτυξης.
- ☑ Κατά τις τελευταίες δεκαετίες το νερό αναγνωρίζεται πλέον ως ένας σπάνιος φυσικός πόρος που αναδεικνύει το δικαίωμα δίκαιης κατανομής στη διάθεσή του.

- ☑ Το 1990 περισσότεροι από 1 δισεκατομμύριο άνθρωποι είχαν διαθέσιμο νερό λιγότερο από 50 lt/άτομο/ημέρα για την κάλυψη βασικών ανθρώπινων αναγκών (πόσιμο νερό, υγιεινή, καθαριότητα, μαγείρεμα), ενώ την ίδια στιγμή νοικοκυριά τόσο στις βιομηχανικές χώρες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες χρησιμοποιούσαν 4 – 14 φορές περισσότερο νερό.
- ☑ Ο ανταγωνισμός για την απόληψη νερού, με σκοπό την κάλυψη διεθνώς των αναγκών της γεωργίας (67%), της βιομηχανίας (19%) και για δημόσιες και αστικές χρήσεις (9%), αναμένεται να αυξηθεί στα επόμενα χρόνια.



Συνολική κατανομή της ζήτησης νερού στην Ελλάδα



Συγκριτικό διάγραμμα χρήσεων νερού στις μεσογειακές χώρες της Ε.Ε.

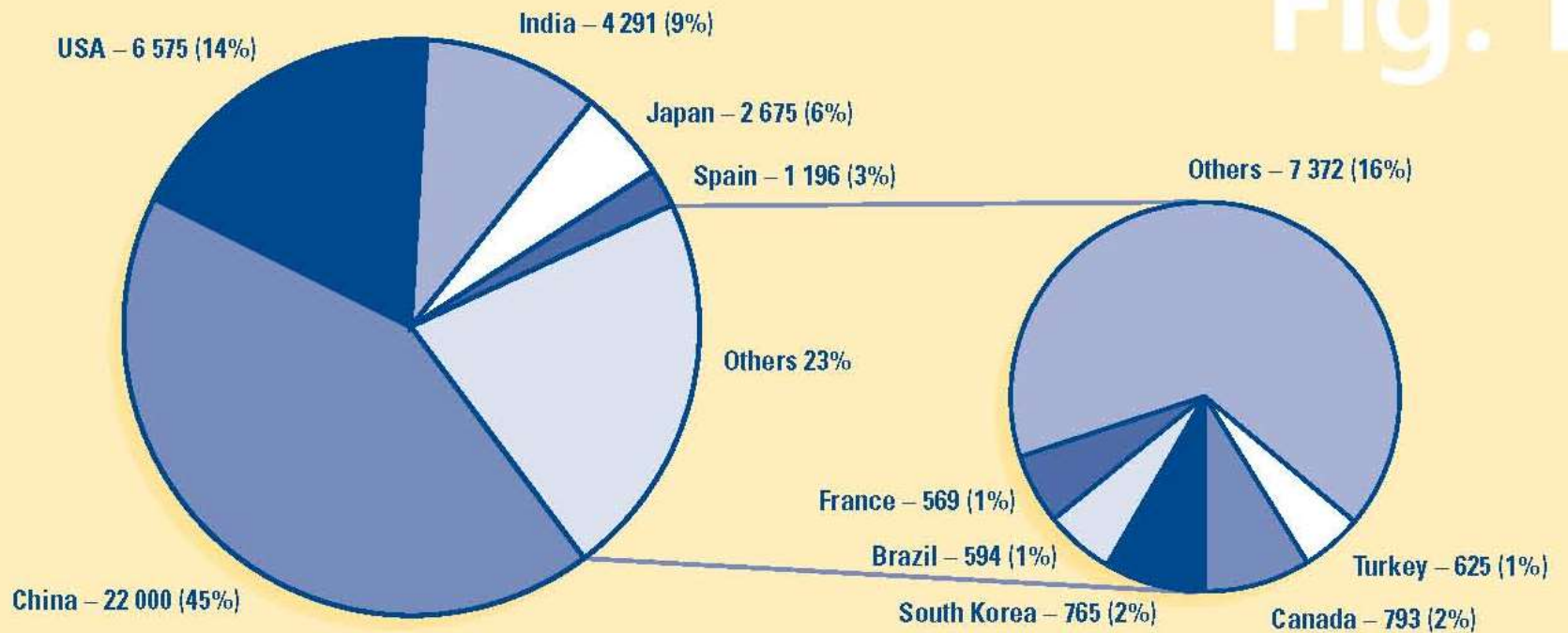
- ☑ 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι στερούνται τον ηλεκτρισμό, ενώ οι ανάγκες για παροχή ηλεκτρικού ρεύματος στις αναπτυσσόμενες χώρες συνεχίζουν να αυξάνονται.
- ☑ Είδη που ζουν στο γλυκό νερό ολοένα και περισσότερο απειλούνται, σημαντικό ποσοστό υγροτόπων ήδη έχουν εξαφανιστεί, ενώ η ικανότητα των υδατικών οικοσυστημάτων να παράγουν πολλών ειδών αγαθά και υπηρεσίες ραγδαία υποβαθμίζεται.

- ☑ Από τη δεκαετία του 1930 έως αυτήν του 1970 η κατασκευή φραγμάτων ταυτίστηκε με την αναπτυξιακή και οικονομική πρόοδο. Η κατασκευή τους γνώρισε δραματική αύξηση και θεωρήθηκαν σύμβολα του μοντέρνας τεχνολογίας και της ικανότητας του ανθρώπου να ελέγξει και να χρησιμοποιήσει τους φυσικούς πόρους. Αυτή η τάση έφθασε στην αποκορύφωσή της στη δεκαετία του 1970, όταν κατά μέσο όρο 2 ή 3 νέα μεγάλα φράγματα σχεδιάζονταν για κατασκευή κάθε μέρα κάπου σε ολόκληρο τον κόσμο. Από τότε παρατηρείται μια δραματική μείωση στην κατασκευή νέων φραγμάτων, κυρίως στη Β. Αμερική και στην Ευρώπη, όπου οι πιο ελκυστικές από τεχνική άποψη θέσεις για φράγμα έχουν ήδη αξιοποιηθεί.

- ☑ Στις 5 χώρες με τα περισσότερα φράγματα διεθνώς, βρίσκονται περισσότερα από τα 3/4 όλων των μεγάλων φραγμάτων του κόσμου, με περίπου 2/3 των μεγάλων φραγμάτων να βρίσκονται στις αναπτυσσόμενες χώρες.
- ☑ Η υδατική ενέργεια είναι υπεύθυνη για την παραγωγή περισσότερο από το 90% της συνολικής παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας σε 24 χώρες, όπως τη Βραζιλία και τη Νορβηγία. Σε τουλάχιστον 75 χώρες έχουν κατασκευαστεί μεγάλα φράγματα με σκοπό τον αντιπλημμυρικό έλεγχο. Για πολλά κράτη τα μεγάλα φράγματα συνεχίζουν να αποτελούν τη μεγαλύτερη μοναδική επένδυση στην αναπτυξιακή πολιτική τους.

World population of dams, by country

Fig. 1



Source: WCD estimates, based on ICOLD and other sources.

- ☑ Περίπου 45.000 μεγάλα φράγματα έχουν κατασκευαστεί για υδρευτικούς ή ενεργειακούς σκοπούς.

[Μεγάλα φράγματα: $h > 15 \text{ m}$ ή όπου $15 > h > 5 \text{ m}$ με ταμειυτήρα χωρητικότητας $> 3 \times 10^6 \text{ m}^3$]

- ☑ Στα μισά σχεδόν από τα ποτάμια σε όλο τον κόσμο έχει κατασκευαστεί τουλάχιστον ένα μεγάλο φράγμα.
- ☑ Σήμερα, το 1/3 των χωρών όλου του κόσμου στηρίζεται στο υδατικό δυναμικό για την παραγωγή περισσότερο από το μισό της παρεχόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ τα μεγάλα φράγματα παράγουν το 19% της συνολικής παρεχόμενης διεθνώς ηλεκτρικής ενέργειας.

- ☑ Ένας παράγοντας απωλειών νερού, που θεωρείται σημαντικός στα ξερά κλίματα, είναι η εξάτμιση από τους ταμιευτήρες των φραγμάτων (5% των συνολικών απολήψεων νερού).
- ☑ Τα τελευταία 50 χρόνια έχουν αρχίσει να διαφαίνονται οι κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις των μεγάλων φραγμάτων.
- ☑ Τα φράγματα έχουν αποκόψει και μεταμορφώσει ποτάμια, ενώ υπολογίζεται ότι $40 - 80 \times 10^6$ άνθρωποι έχουν εκτοπιστεί μετά από την κατασκευή ταμιευτήρων στις περιοχές τους.
- ☑ Τα μεγάλα φράγματα με τα τεράστια απαιτούμενα κονδύλια επένδυσης και τις ευρείας κλίμακας επιπτώσεις τους αποτελούν σήμερα ένα από τα πλέον σοβαρά και υπό αμφισβήτηση ζητήματα της βιώσιμης ανάπτυξης.

⇒ Οι υποστηρικτές της σκοπιμότητας των μεγάλων φραγμάτων τονίζουν τις κοινωνικές και οικονομικές αναπτυξιακές ανάγκες που τα έργα αυτά έρχονται να καλύψουν (άρδευση, εξηλεκτρισμός, αντιπλημμυρική προστασία, παροχή νερού για ύδρευση και βιομηχανική χρήση). Τα οφέλη που προκύπτουν μπορούν και δικαιολογούν τις σοβαρές πολυδάπανες επενδύσεις για την κατασκευή και λειτουργία τους.

⇒ Οι επικριτές, από την άλλη, επικεντρώνονται στις αρνητικές επιπτώσεις των έργων αυτών, όπως υπερχρεώσεις, υπερκοστολογίες, εκτόπιση και εξαναγκασμός σε πτώχευση πληθυσμών, καταστροφή σημαντικών οικοσυστημάτων και πόρων αλιείας, άδικος καταμερισμός κόστους – οφέλους.

➤ **Μεγάλα φράγματα: τεχνολογικό μέσο προς το τέλος του;**

Διαπιστώσεις – κλειδιά της Έκθεσης:

- Τα φράγματα έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην ανάπτυξη των ανθρώπων με αξιοσημείωτα οφέλη από την κατασκευή και λειτουργίας τους.
- Σε πολλές περιπτώσεις ένα υπερβολικό, κατά περίπτωση απαράδεκτο και συχνά μη αναγκαίο κόστος (με την κοινωνική και περιβαλλοντική διάσταση) έχει πληρωθεί για να εξασφαλισθούν αυτά τα οφέλη από ανθρώπινες κοινωνίες στα κατόντη των φραγμάτων, από πληθυσμούς που έχουν εκτοπισθεί, από φορολογούμενους πολίτες και από το φυσικό περιβάλλον.
- Η έλλειψη δίκαιης κατανομής αυτών των οφελών έχει θέσει σε αμφισβήτηση την σκοπιμότητα κάλυψης υδατικών και ενεργειακών αναγκών πολλών φραγμάτων σε σύγκριση με άλλες εναλλακτικές λύσεις.

Διαπιστώσεις – κλειδιά της Έκθεσης:

- Η πρόσκληση σε συζήτηση όλων όσων δικαιωματικά εμπλέκονται στα ζητήματα αυτά και οι οποίοι δέχονται να διακινδυνεύσουν διαφορετικές επιλογές για την αξιοποίηση των υδατικών και ενεργειακών πόρων, μπορεί να δημιουργήσει ευνοϊκές συνθήκες για μια θετική λύση στους διάφορους ανταγωνισμούς και διενέξεις.

Key WCD recommendations

1. **Development needs and objectives should be clearly formulated** through an open and participatory process, before various project options are identified.
2. A **balanced and comprehensive assessment of all options** should be conducted, giving social and environmental aspects the same significance as technical, economic and financial factors.
3. **Before a decision is taken** to build a new dam, outstanding social and environmental issues from existing dams should be addressed, and the benefits from existing projects should be maximized.
4. All **stakeholders should have the opportunity for informed participation in decision-making processes** related to large dams through stakeholder fora. Public acceptance of all key decisions should be demonstrated. Decisions affecting indigenous peoples should be taken with their free, prior and informed consent.
5. The project should provide **entitlements to affected people** to improve their livelihoods and ensure that they receive the priority share of project benefits (beyond compensation for their losses). Affected people include communities living downstream of dams and those affected by dam-related infrastructure such as transmission lines and irrigation canals.

Key WCD recommendations

6. Affected people should be able to **negotiate mutually agreed and legally enforceable agreements** to ensure the implementation of mitigation, resettlement and development entitlements.
7. The project should be selected based on a **basin-wide assessment of the river ecosystem** and an attempt to avoid significant impacts on threatened and endangered species.
8. The project should provide for the release of **environmental flows** to help maintain downstream ecosystems.
9. Mechanisms to **ensure compliance** with regulations and negotiated agreements should be developed and budgeted for, compliance mechanisms should be established, and compliance should be subject to independent review.
10. A dam should not be constructed on a **shared river** if other riparian States raise an objection that is upheld by an independent panel.

World Declaration - Water Storage for Sustainable Development

5th June 2012 in Kyoto

**The International Commission On Large Dams (ICOLD),
The International Commission on Irrigation and Drainage (ICID),
The International Hydropower Association (IHA),
and the International Water Resources Association (IWRA).**

- Το νερό είναι ζωή και οι υποδομές αποθήκευσής του απαραίτητο εργαλείο για την κοινωνία.
- Οι επενδύσεις σε υποδομές αποθήκευσης νερού είναι επένδυση στην πράσινη οικονομία.
- Οι υπηρεσίες που παρέχουν θα είναι ζωτικής σημασίας για την αντιμετώπιση, και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.
- Για την κάλυψη της αυξανόμενης ζήτησης σε νερό, τροφή και ενέργεια, είναι πλέον η κατάλληλη στιγμή να αναπτυχθούν λύσεις για την καλύτερη χρήση των υδάτινων πόρων, ιδιαίτερα για τις αναπτυσσόμενες χώρες, και να συμβαδίσουν οι πολιτικές δεσμεύσεις με τη δράση.
- Απαιτείται μια ισορροπημένη προσέγγιση, συνδυάζοντας μεγάλους, μεσαίους και μικρούς ταμιευτήρες, που θα λαμβάνει υπόψη την αειφόρο ανάπτυξη, με απόλυτη προσήλωση στην ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων.
- Οι οργανισμοί που υπογράφουν τη συγκεκριμένη διακήρυξη δεσμεύονται να συνεργαστούν με όλους τους εταίρους και τα ενδιαφερόμενα μέρη που μοιράζονται αυτό το κοινό όραμα.

	Υπόγεια αποθήκευση	Μικρά φράγματα & επιφανειακή αποθήκευση νερού	Μεγάλα φράγματα & ταμιευτήρες
Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Μικρή εξάτμιση - Μεγάλη εξάπλωση - Λειτουργική αποτελεσματικότητα - Διάθεση σε περίπτωση ζήτησης - Ποιότητα νερού 	<ul style="list-style-type: none"> - Ευκολία λειτουργίας - Ανταπόκριση στις βροχοπτώσεις - Πολλαπλή χρήση - Εμπλουτισμός Υ.Ν. 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγάλη και ασφαλής απόδοση - Δυνατότητα μεταφοράς νερού - Χαμηλό κόστος ανά m³ αποθηκευμένου νερού - Πολλαπλή σκοπιμότητα - Εμπλουτισμός Υ.Ν.
Περιορισμοί	<ul style="list-style-type: none"> - Χαμηλός ρυθμός εμπλουτισμού - Ρύπανση Υ.Ν. - Κόστος άντλησης - Περιορισμένη δυνατότητα αποκατάστασης 	<ul style="list-style-type: none"> - Μεγάλες απώλειες από εξάτμιση - Σχετικά μεγάλο κόστος - Δυσκολία υπερετήσιας αποθήκευσης 	<ul style="list-style-type: none"> - Περίπλοκη λειτουργία - Δυσκολίες στην επιλογή κατάλληλης θέσης - Υψηλό κόστος αρχικής επένδυσης - Χρονοβόρος σχεδιασμός και κατασκευή
Επίμαχα ζητήματα - προβλήματα	<ul style="list-style-type: none"> - Διακύμανση της στάθμης των Υ.Ν. - Διαχείριση και χρήση των Υ.Ν. - Υφαλμύριση Υ.Ν. - Ρύπανση Υ.Ν. 	<ul style="list-style-type: none"> - Φερτά υλικά και ιζήματα - Επαρκής σχεδιασμός - Ασφάλεια - αστοχίες - Επιπτώσεις περιβαλλοντικές 	<ul style="list-style-type: none"> - Επιπτώσεις κοινωνικές - Επιπτώσεις περιβαλλοντικές - Φερτά υλικά και ιζήματα - Ασφάλεια - αστοχίες

Φυσικός εμπλουτισμός και κλιματική αλλαγή

Ο φυσικός εμπλουτισμός (Φ.Ε.) προέρχεται από :

- ✓ διηθήσεις από υδατορεύματα
- ✓ κατείσδυση προς το υπέδαφος του νερού της βροχόπτωσης
- ✓ διαφυγές από μικρές λίμνες νερού, από λίμνες και από δεξαμενές
- ✓ υποεπιφανειακή ροή

Η κατείσδυση της βροχόπτωσης επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως:

- ✓ τη δομή και τη διαβάθμιση των επιφανειακών και υποεπιφανειακών αποθέσεων και την κατακόρυφη περατότητα τους
- ✓ τη σύσταση και το είδος της επιφανειακής φυτικής επικάλυψης
- ✓ τη συχνότητα, τον όγκο και την ένταση της βροχόπτωσης
- ✓ την τοπογραφία της περιοχής
- ✓ τη θερμοκρασία

Ανθρώπινες ενέργειες και δραστηριότητες, που μπορούν να μειώσουν τον (Φ.Ε.):

- ✓ εγκιβωτισμός καναλιών για αντιπλημμυρικά και αντιδιαβρωτικά έργα
- ✓ συλλογή λυμάτων και βιομηχανικών αποβλήτων, πλούσιων σε μεταλλικά στοιχεία, και διοχέτευση αυτών στη θάλασσα ή έξω από τη λεκάνη του υδροφόρου
- ✓ δόμηση των περιοχών (Φ.Ε.) (δρόμοι, πεζόδρομοι, αεροδρόμια, θέσεις πάρκινγκ, κτίρια)
- ✓ εκτροπή επιφανειακών νερών, τα οποία σε άλλη περίπτωση θα διείσδυαν προς τον υπόγειο υδροφόρο

Οι **επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών** στα υδατικά, κυρίως τα υπόγεια υδατικά συστήματα μπορούν να συνοψιστούν στα εξής (ΕΜΕΚΑ, 2011):

- ✓ Γενική μείωση της τροφοδοσίας και ανανέωσης του νερού των υδροφόρων λόγω της μείωσης των βροχοπτώσεων και της αύξησης της εξατμισοδιαπνοής.
- ✓ Αυξημένη υφαλμύριση των παράκτιων και υποθαλάσσιων υδροφόρων, ιδιαίτερα των καρστικών, με προέλαση του μετώπου υφαλμύρισης προς την ενδοχώρα λόγω του μειωμένου δυναμικού της χερσαίας υδατικής φάσης εξαιτίας της μειωμένης τροφοδοσίας και της υπεράντλησης.
- ✓ Αύξηση της συγκέντρωσης ρυπαντικού φορτίου στα παράκτια υδατικά σώματα και στη θάλασσα λόγω μικρότερης αραιώσης.
- ✓ Εντατικοποίηση της αποδόμησης των δελταϊκών περιοχών, που ήδη έχει ξεκινήσει λόγω της κατασκευής εγκάρσιων φραγμάτων στην ανάντη ζώνη (μείωση απορροής και στερεοπαροχής) και παράλληλων αναχωμάτων στην πεδινή ζώνη των δέλτα (άφιξη μεταφερόμενου υλικού σε ένα και μοναδικό στόμιο).
- ✓ Ρύπανση ή αποξήρανση των παράκτιων υγροτόπων.
- ✓ Επιδείνωση του φαινομένου της ερημοποίησης λόγω υδατικού ελλείμματος και εδαφικών μεταβολών (συμπυκνώσεις στεγανοποιήσεις κ.λπ.).

Έκδοση της International Association of Hydrogeologists (IAH) (Treidel et al., 2012) - **Climate change effects on groundwater resources - A global synthesis of findings and recommendations**, όπου αναπτύσσονται ζητήματα και περιγράφονται περιπτώσεις στο διεθνή χώρο που αφορούν στις επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στους υπόγειους υδατικούς πόρους:

- ✓ Η άμεση επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε φυσικές διεργασίες (εμπλουτισμός υπόγειου νερού, εκφόρτιση υπόγειου νερού, υπόγεια αποθήκευση νερού, διείσδυση θαλασσινού νερού, βιοχημικές αντιδράσεις, χημική απομείωση και μεταφορά) μπορεί να επιδεινωθεί από ανθρώπινες ενέργειες (έμμεση επίδραση).
- ✓ Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους υπόγειους υδατικούς πόρους σχετίζονται στενά με άλλες κινητήριες παγκόσμιες αλλαγές, που περιλαμβάνουν την αύξηση του πληθυσμού, την αστικοποίηση και την αλλαγή στη χρήση γης, σε συνδυασμό με άλλες κοινωνικοοικονομικές και πολιτικές τάσεις.
- ✓ Η απόκριση του υπόγειου νερού σε αυτές τις αλλαγές σε παγκόσμια κλίμακα αποτελεί μια σύνθετη διαδικασία, που εξαρτάται από την κλιματική αλλαγή και μεταβλητότητα, την τοπογραφία, τα χαρακτηριστικά των υπόγειων υδροφόρων συστημάτων, τη δυναμική των καλλιεργειών και τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η έκδοση περιέχει 20 περιπτώσεις έρευνας από διάφορα συστήματα υδροφόρων, σε 30 χώρες, που έχουν διερευνηθεί στο πλαίσιο του προγράμματος της UNESCO-HIP Groundwater Resources Assessment under the Pressure of Humanity and Climate Change (GRAPHIC).

Ο Νομός Ξάνθης:

1. περιοχή έρευνας στο ανατολικό τμήμα του Δέλτα του Ποταμού Νέστου
2. περιοχή έρευνας στα Βαφείκια
3. περιοχή έρευνας στον Πολύσιτο

και οι θέσεις των σταθμηγράφων:

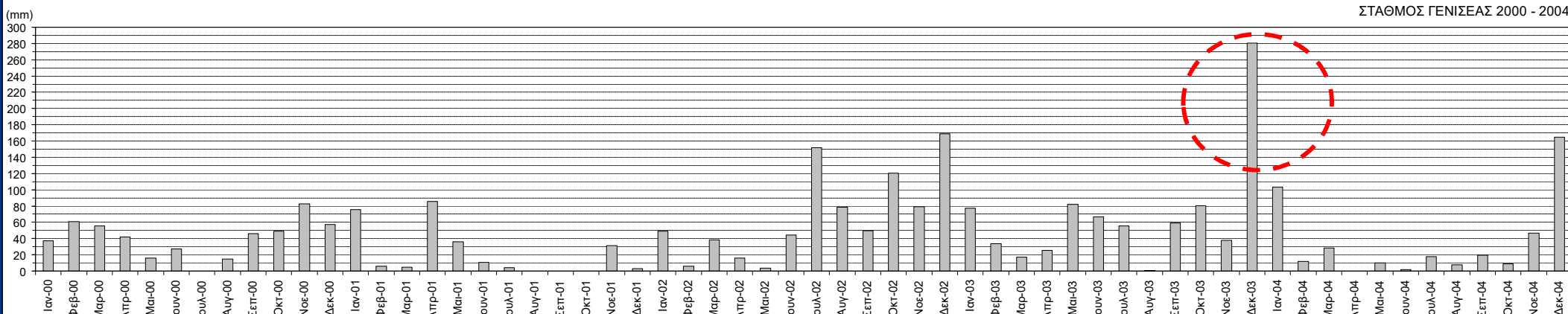
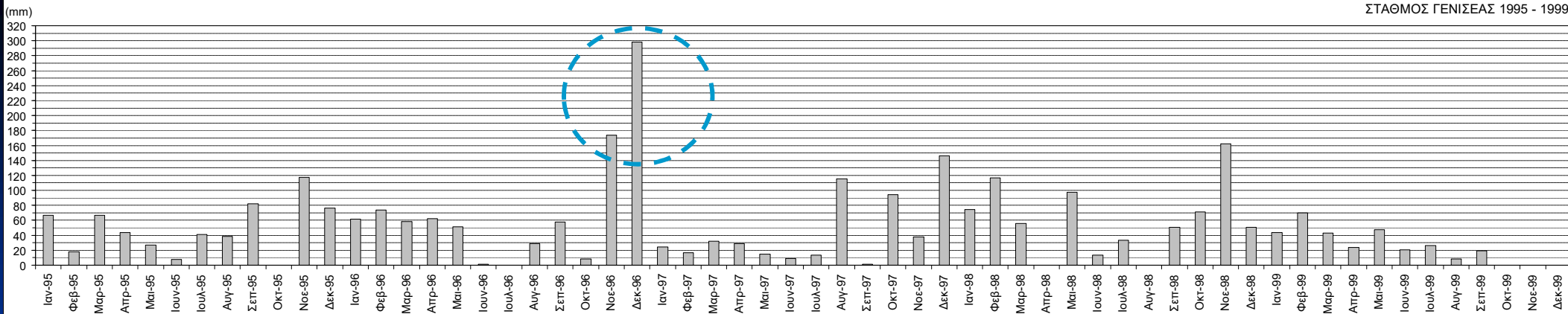
ΣΤ1: σταθμηγράφος Αβάτου

ΣΤ2: σταθμηγράφος Βαφείκων

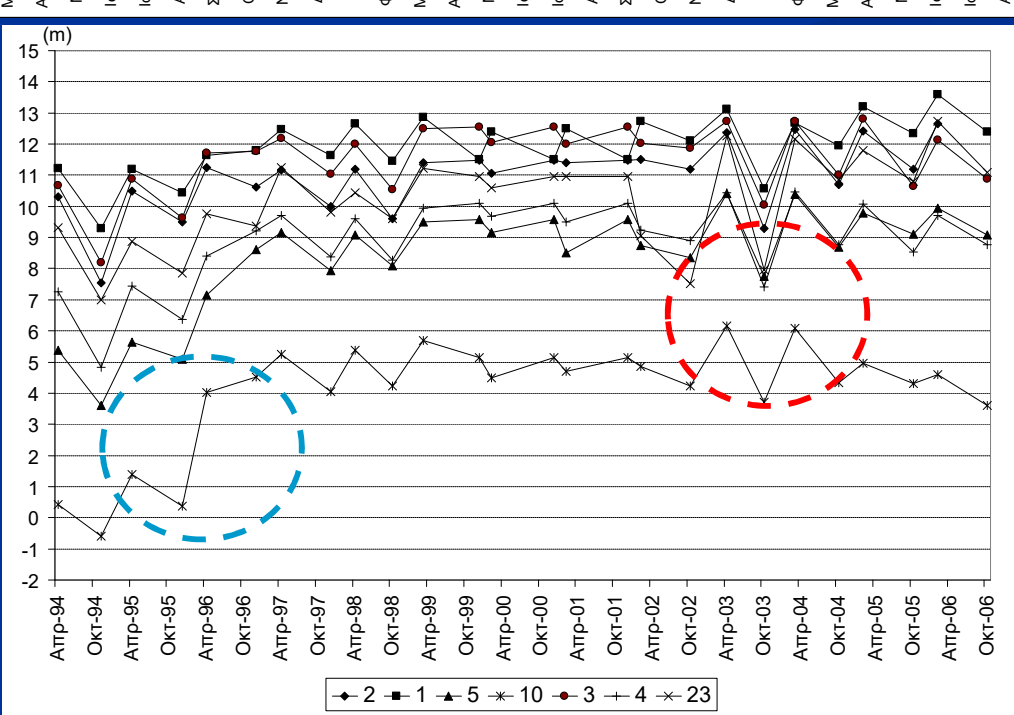
ΣΤ3: σταθμηγράφος Νέας Κεσσάνης

(Δαμιανίδης, 2011).

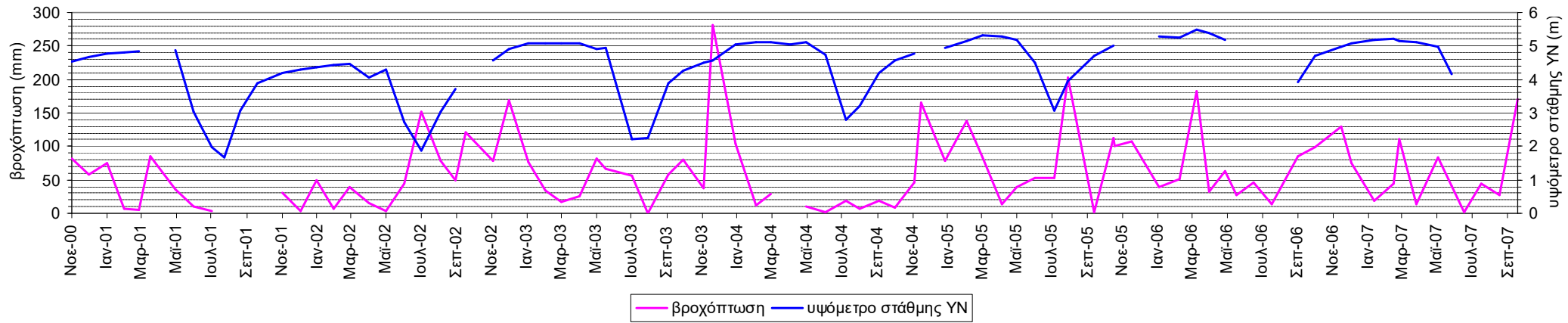




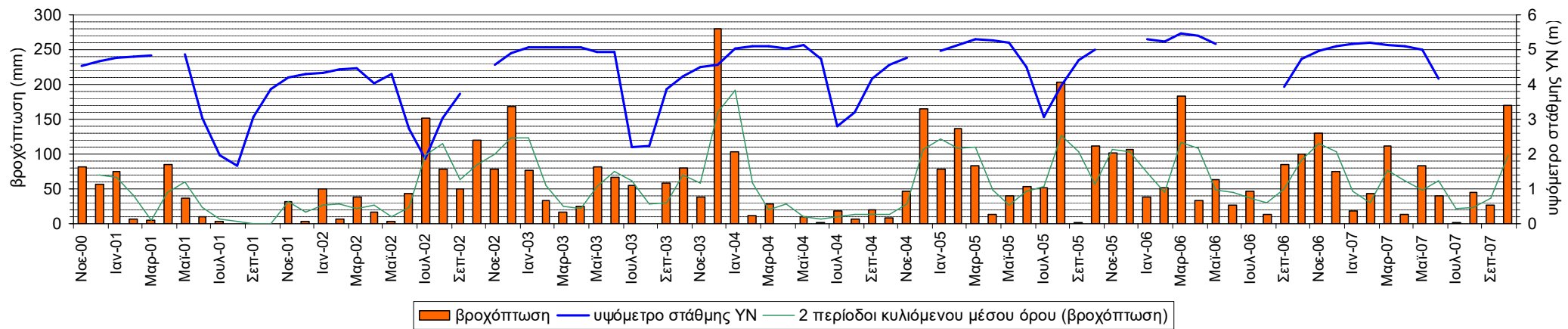
Διαγράμματα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισσέας) και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (περιοχή Πολυσιίου Ν. Ξάνθης), περίοδος: Απρ 1994 - Οκτώβριος 2006.



16/11/2000-2/10/2007

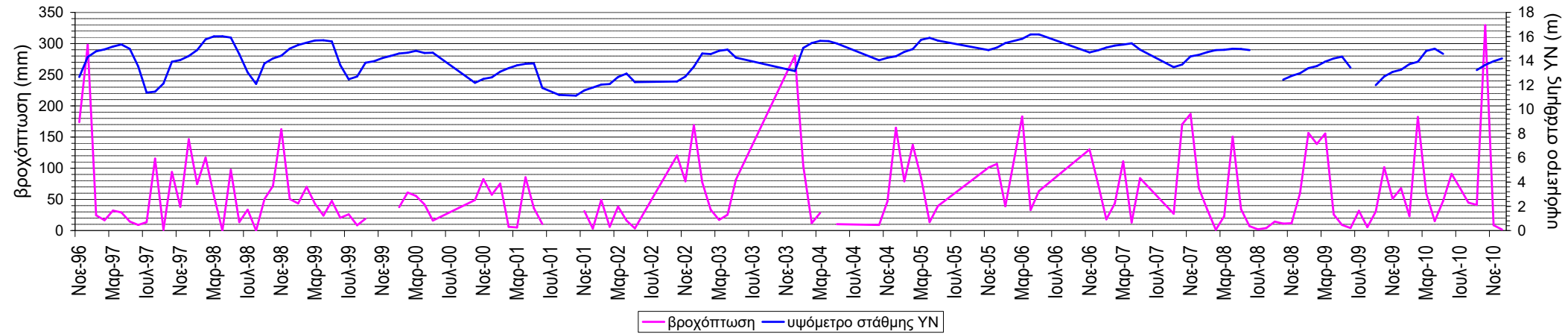


16/11/2000-2/10/2007

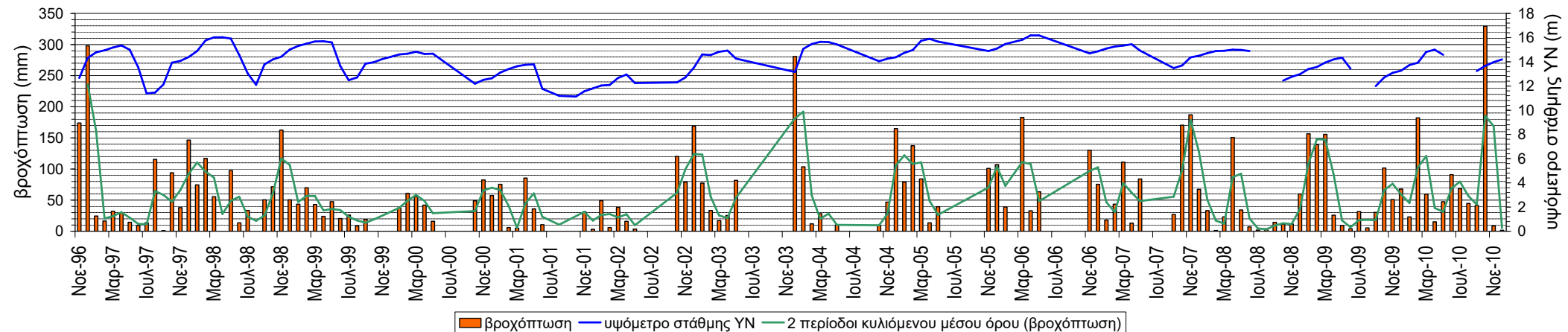


Ενιαία διαγράμματα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισέας)-κυλιόμενου μέσου όρου και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (από σταθμηγράφο Αβάτου), περίοδος: 16/11/2000–2/10/2007 (υψόμετρο θέσης: 8,6 m) (Δαμιανίδης, 2011).

13/11/1996 - 15/12/2010

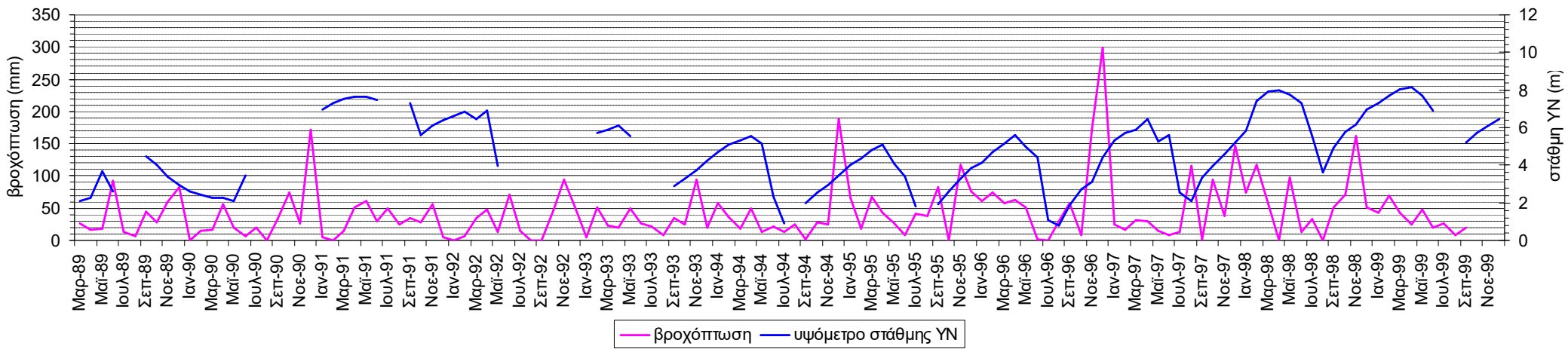


13/11/1996 - 15/12/2010

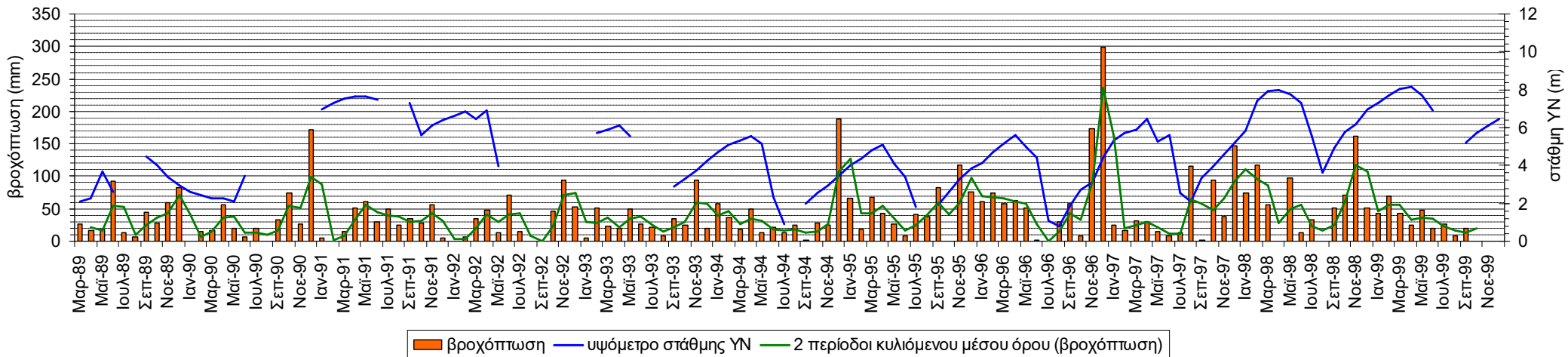


Ενιαία διαγράμματα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισέας)-κυλιόμενου μέσου όρου και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (από σταθμηγράφο Βαφέικων), περίοδος: 13/11/1996–15/12/2010 (υψόμετρο θέσης: 19,5 m) (Δαμιανίδης, 2011).

15/3/1989-31/12/1999

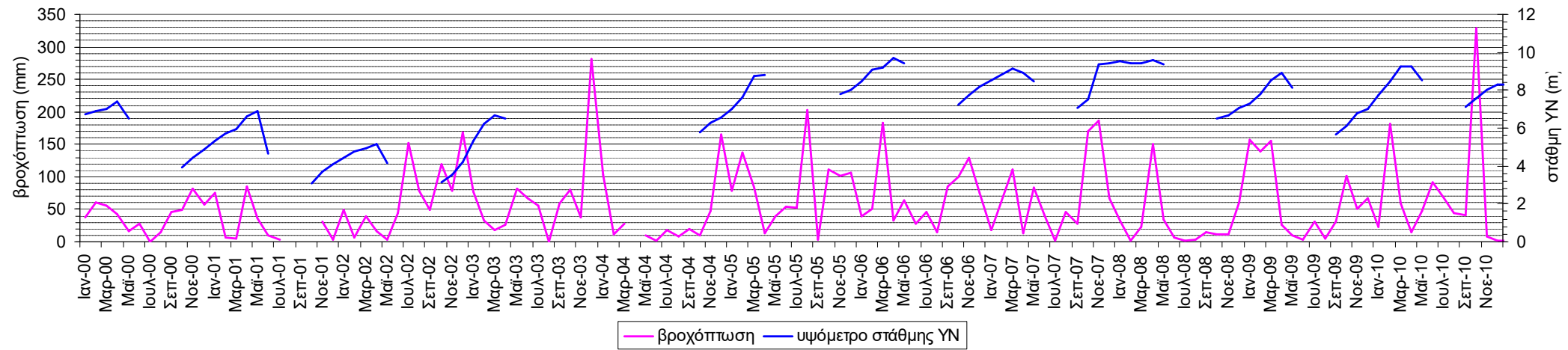


15/3/1989-31/12/1999

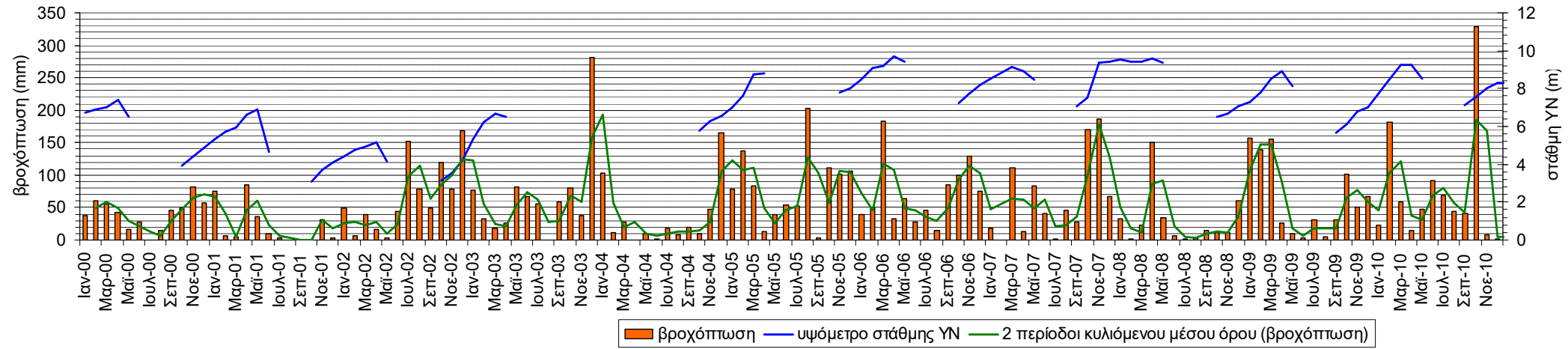


Ενιαία διαγράμματα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισέας)-κυλιόμενου μέσου όρου και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (από σταθμηγράφο **N. Κεσσάνης**), περίοδος: 15/3/1989–31/12/1999 (υψόμετρο θέσης: 10,0 m) (Δαμιανίδης, 2011).

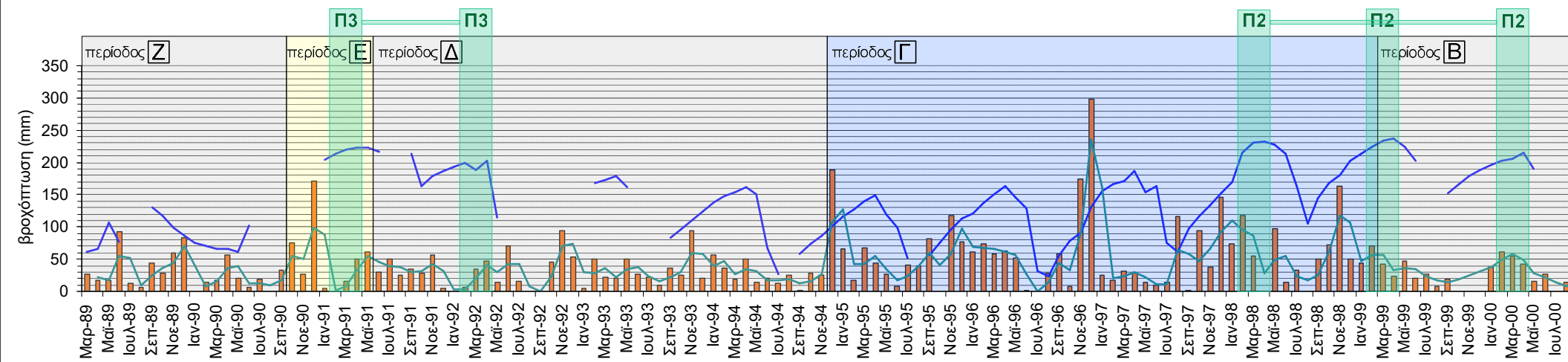
1/1/2000-15/12/2010



1/1/2000-15/12/2010

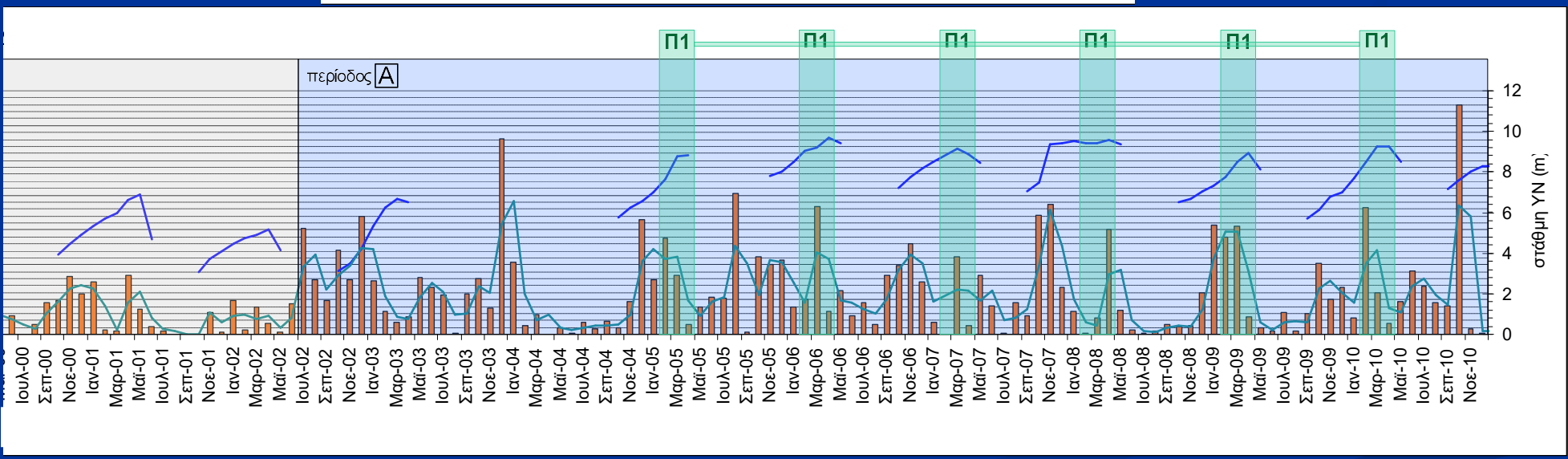


Ενιαία διαγράμματα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισέας)-κυλιόμενου μέσου όρου και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (από σταθμηγράφο Ν. Κεσσάνης), περίοδος: 1/1/2000–15/12/2010 (υψόμετρο θέσης: 10,0 m) (Δαμιανίδης, 2011).



τιμές KM: >100 mm τιμές KM: 50-100 mm τιμές KM: περί τα 50 mm

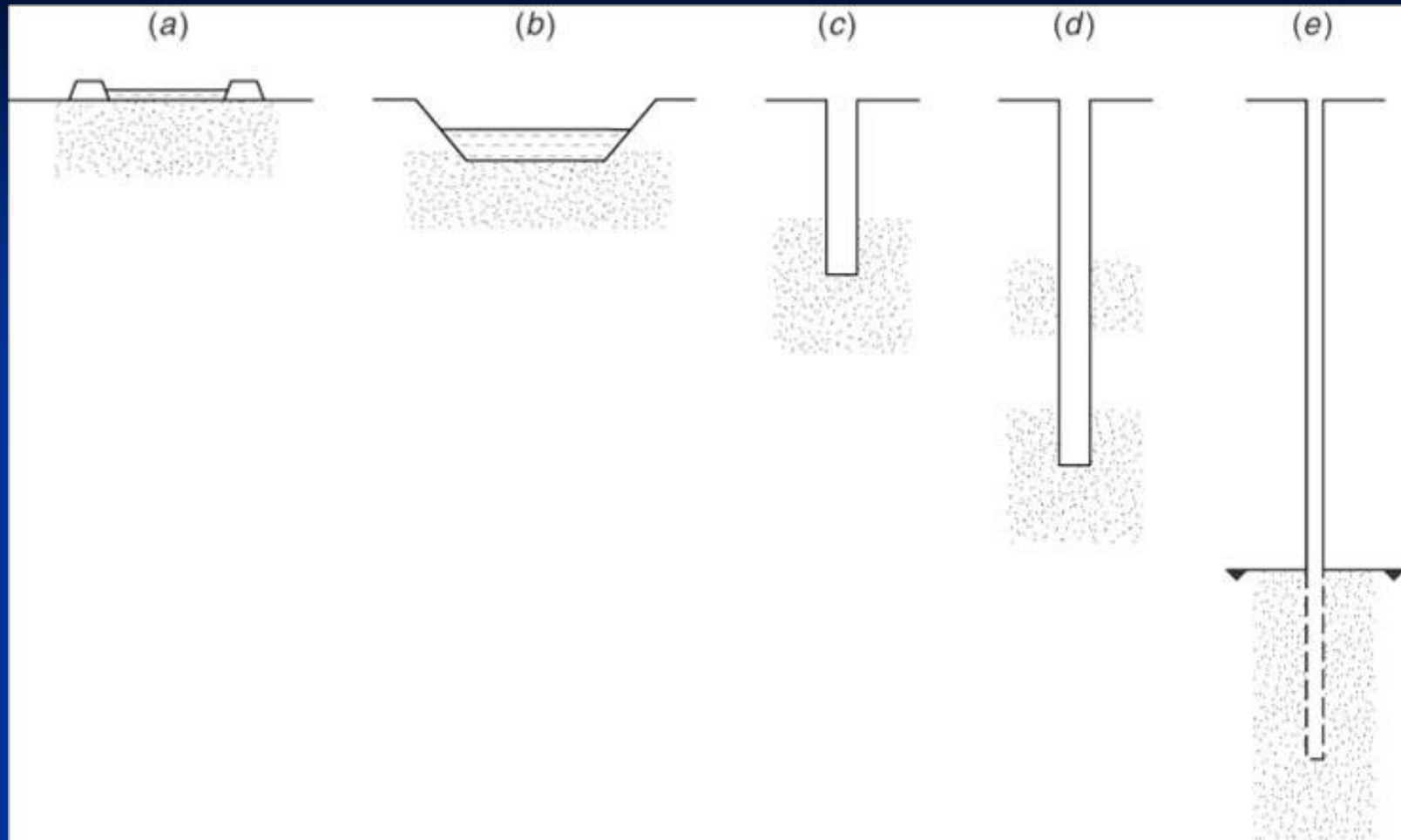
βροχόπτωση υψόμετρο στάθμης ΥΝ 2 περίοδοι κυλιόμενου μέσου όρου (βροχόπτωση)



Ενιαίο διάγραμμα μεταβολής μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (από βροχομετρικό σταθμό Γενισέας)-κυλιόμενου μέσου όρου και τιμών του υψόμετρου στάθμης του υπόγειου νερού (καταγραφή από σταθμηγράφο Ν. Κεσσάνης) για την περίοδο 15/3/1989–15/12/2010 (υψόμετρο θέσης: 10,0 m). Διάκριση χρονικών περιόδων Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ, Π1, Π2, Π3 και χρωματική διαβάθμιση με βάση τις τιμές του κυλιόμενου μέσου όρου (KM) (Δαμιανίδης, 2011).

Γενικές μέθοδοι Τ.Ε.:

- επιφανειακός Τ.Ε.: λεκάνες κατάκλυσης, αυλάκια, τάφροι, διευθέτηση υδρορρευμάτων
- υπεδαφικός Τ.Ε.: τάφροι ή φρεάτια στην ακόρεστη ζώνη, γεωτρήσεις εμπλουτισμού
- εμπλουτισμός μέσω των συστημάτων SAT (Soil-Aquifer Treatment Systems)
- εμπλουτισμός με γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης (ASR wells, Aquifer Storage Recovery wells)
- συνδυαστικά συστήματα Τ.Ε.
- επαγωγικός και συμπτωματικός εμπλουτισμός



Συστήματα εμπλουτισμού υδροφόρων σε διάφορα βάθη:

(a) επιφανειακή λεκάνη κατάκλυσης,

(b) λεκάνη κατάκλυσης μετά από εκσκαφή,

(c) τάφρος εμπλουτισμού,

(d) φρεάτιο εμπλουτισμού στην ακόρεστη ζώνη,

(e) γεώτρηση εμπλουτισμού (Bouwer, 1999, Todd and Mays, 2005).

Ο Τ.Ε. έχει χρησιμοποιηθεί στο διεθνή κυρίως χώρο εδώ και 200 χρόνια περίπου, με ελάχιστες εφαρμογές στην Ελλάδα κατά τις τελευταίες δεκαετίες, σ' ένα ευρύ φάσμα περιπτώσεων, όπως:

- τη συνδυασμένη διαχείριση υπόγειων και επιφανειακών νερών,
- την αντιμετώπιση προβλημάτων που έχουν σχέση με την ποσότητα και την ποιότητα του υπόγειου νερού και τη διείσδυση της θάλασσας,
- την αντιμετώπιση προβλημάτων καθίζησης του εδάφους,
- την επεξεργασία και αποθήκευση χρησιμοποιούμενων νερών προκειμένου να ξαναχρησιμοποιηθούν,
- τη διατήρηση ή αύξηση του φυσικού υπόγειου νερού ως οικονομικού πόρου,
- τη δημιουργία υπόγειας αποθήκευσης για τα εισαγόμενα στην κατά περίπτωση περιοχή νερά,
- την εξοικονόμηση ή παραγωγή ενέργειας με τη μορφή ζεστού ή κρύου νερού,
- τον έλεγχο πλημμυρών,
- την άντληση πετρελαίου με μικρότερο κόστος,
- την ανάπτυξη καλλιεργειών,
- την αύξηση των ποσοτήτων ροής των υδρορρευμάτων,
- την αύξηση τροφοδοσίας των υδροφόρων στρωμάτων μετά από έμμεσα επιζήμια ανθρώπινη παρέμβαση (κατασκευή δρόμων ή αεροδρομίων, διευθετήσεις χειμάρρων, καταστροφές δασών).

- Η επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου είναι συνάρτηση (Καλλέργης, 1986, Pettyjohn, 1981):
 - των γεωλογικών, μορφολογικών και υδρογεωλογικών συνθηκών της ευρύτερης περιοχής,
 - της διαθεσιμότητας της περιοχής εφαρμογής του Τ.Ε.,
 - της προέλευσης, διαθεσιμότητας, φυσικής και χημικής ποιότητας του νερού εμπλουτισμού,
 - της ύπαρξης ή δυνατότητας κατασκευής των βασικών απαραίτητων έργων υποδομής όπως και του κόστους χρήσης και συντήρησής τους,
 - διαφόρων οικονομικών και νομικών παραγόντων και κριτηρίων.

Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής του Τ.Ε. και κυρίως της χρήσης του υπόγειου νερού σε συστήματα δημόσιας διάθεσής του, μπορεί να επισκιασθούν από ορισμένα **μειονεκτήματα**, όπως είναι (Oaksford, 1985, Buchan, 1958):

- η πιθανή αδυναμία επαναπλήρωσης του νερού εμπλουτισμού,
- η μεγάλη επιφάνεια που απαιτείται για τη λειτουργία και συντήρηση ενός συστήματος διάθεσης υπόγειου νερού (συμπεριλαμβανομένου και του αντίστοιχου υπόγειου ταμιευτήρα) σε σχέση με εκείνη που απαιτείται για ένα ανάλογο σύστημα παροχής επιφανειακού νερού,
- η δυσκολία απομάκρυνσης των αλάτων ασβεστίου, μαγνησίου, σιδήρου, μαγγανίου ή άλλων στοιχείων που πιθανόν να υπάρχουν στο νερό εμπλουτισμού,
- η δυσκολία αποτελεσματικής αντιμετώπισης του φαινομένου clogging (απόφραξη των πόρων του εδάφους),
- η αδυναμία ικανοποίησης αιφνιδίων απαιτήσεων σε νερό, αφού οι υπόγειοι υδροφορείς δεν μπορούν να αποστραγγιστούν τόσο εύκολα όπως οι αντίστοιχοι επιφανειακοί ταμιευτήρες,
- το μεγάλο σχετικά κόστος μιας ενδεχόμενης επέκτασης των συστημάτων διάθεσης υπόγειου νερού.

Οι λεπτομέρειες της οργάνωσης, λειτουργίας και διαχείρισης έργων Τ.Ε. ποικίλλουν ανάλογα με:

- το είδος του έργου, το σκοπό του,
- την επιλεγμένη μέθοδο εφαρμογής,
- τα χαρακτηριστικά του νερού εμπλουτισμού,
- τη διαπερατότητα της περιοχής έρευνας,
- την ιδιαίτερη φροντίδα για την πρόληψη προβλημάτων που έχουν σχέση με το φαινόμενο clogging,
- τα διάφορα ζιζάνια, τρωκτικά και κουνούπια,
- τη διατήρηση της ταχύτητα διήθησης σε επαρκή επίπεδα,
- τη συντήρηση των διαφόρων κατασκευών όπως και τα ζητήματα ασφάλειας.

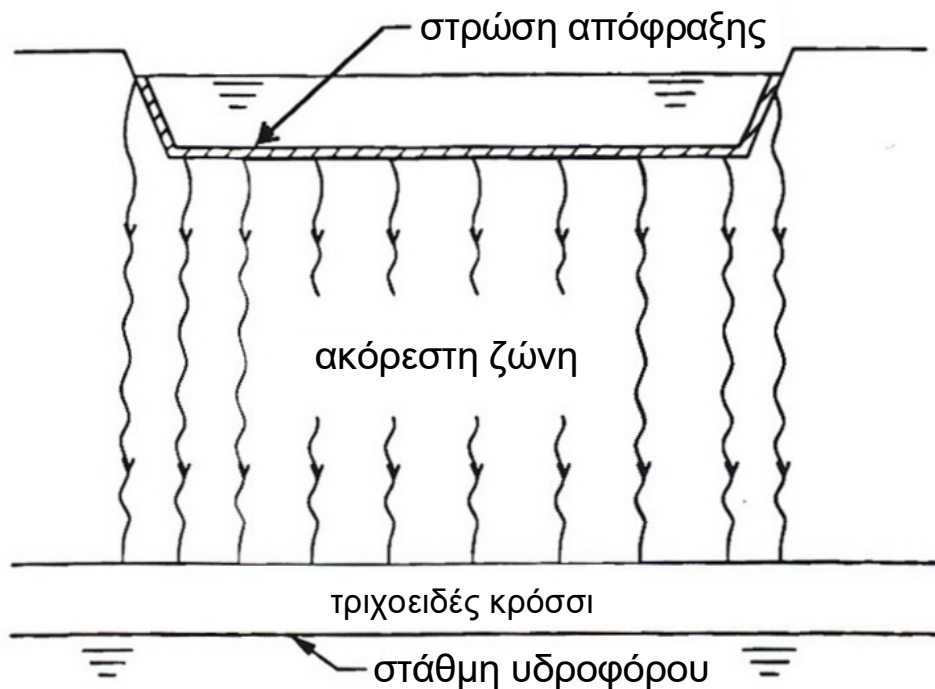
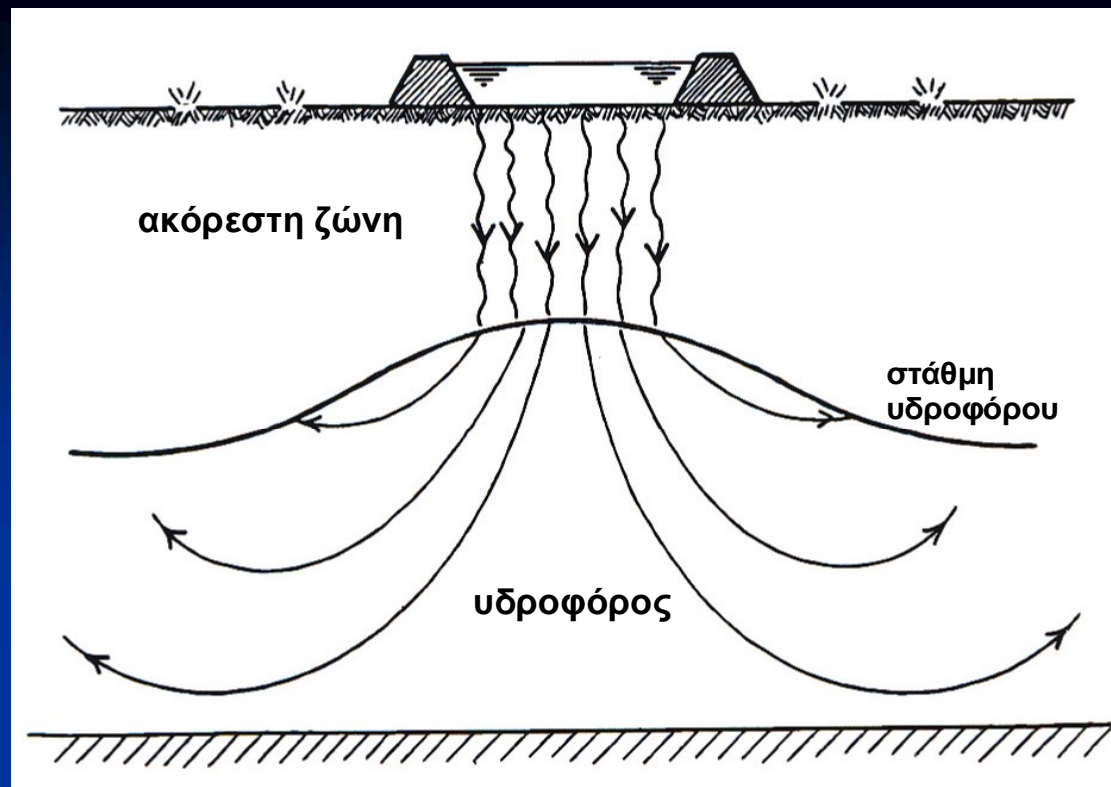
Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στην επιφάνεια

- ✓ Μέθοδος λεκάνης
- ✓ Μέθοδος φυσικής επεξεργασίας μέσω του συστήματος εδάφους-υδροφορέα (Soil-Aquifer Treatment Systems, SAT)
- ✓ Μέθοδος τάφρων και αυλάκων
- ✓ Μέθοδος πλημμύρας
- ✓ Μέθοδος διευθέτησης υδρορρευμάτων
- ✓ Επανενεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδρορρευμάτων
- ✓ Μέθοδος άρδευσης

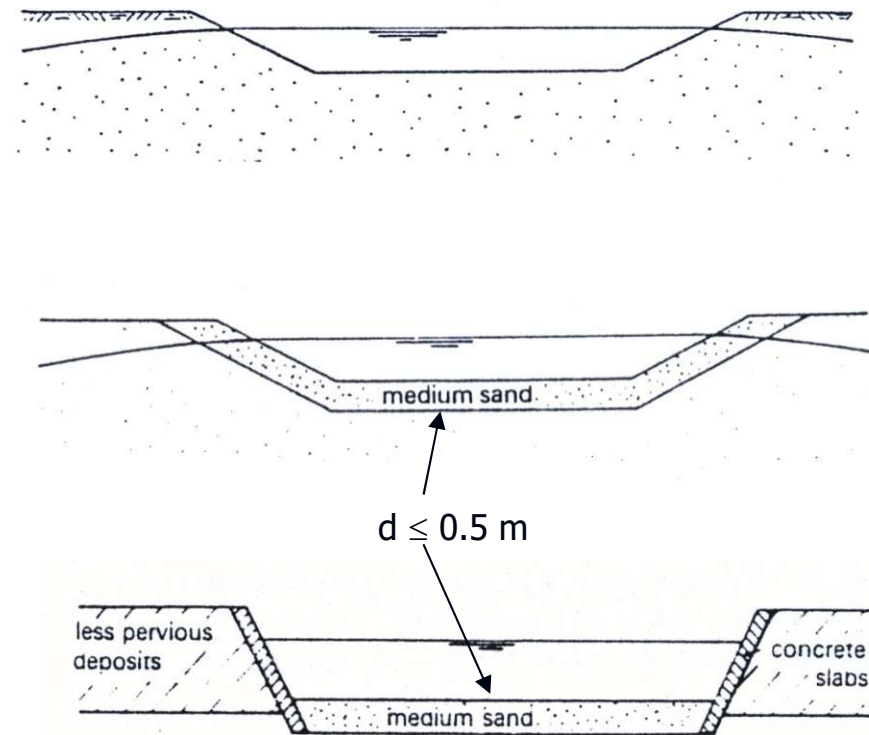
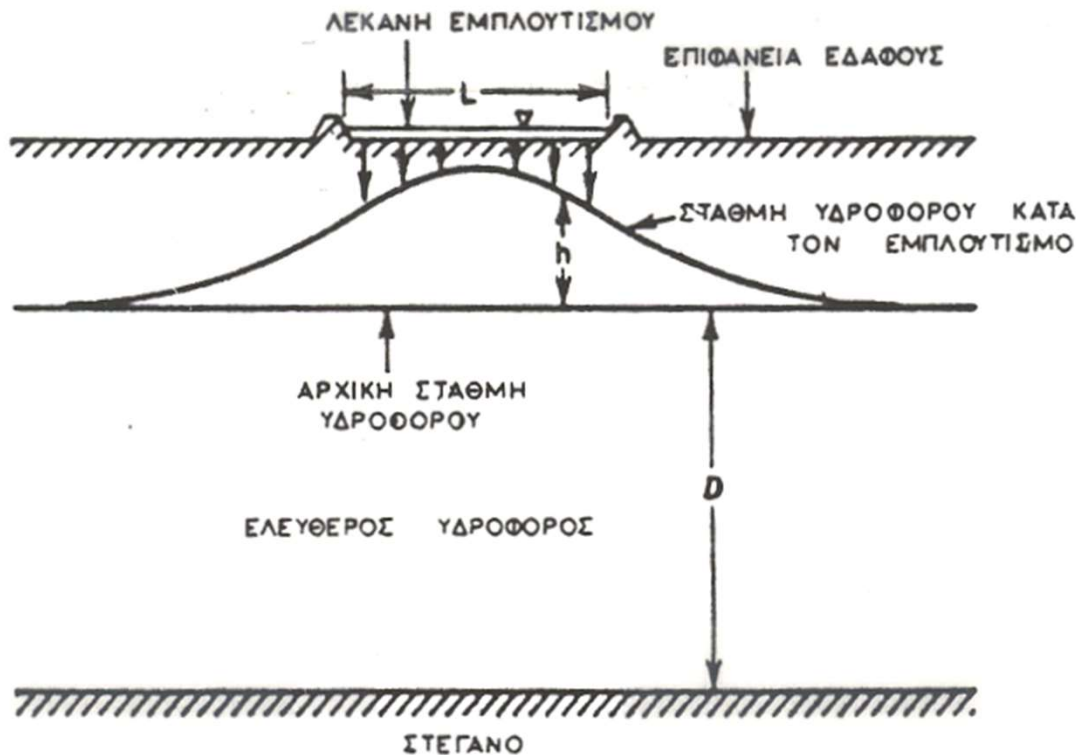
Μέθοδος λεκάνης κατάκλισης (basin method)



Τομή ενός τυπικού συστήματος τεχνητού εμπλουτισμού με λεκάνη διήθησης (κατάκλυσης) και ύβωμα του υπόγειου νερού κάτω από τη λεκάνη (Bouwer, 2002).



Ακόρεστη ροή προς υδροφόρο κάτω από λεκάνη διήθησης με στρώμα απόφραξης, και τριχοειδές κρόσσι πάνω από την επιφάνεια του νερού (Bouwer, 2002).



(Todd, 1980, Καλλέργης 1986)

(Huisman and Olsthoorn, 1983)

- επαρκής χρήση της επιφάνειας του εδάφους και σχετικά απλή συντήρηση
- κατασκευή αναχωμάτων, τάφρων ή εκσκαφών
- το μέγεθος και το σχήμα της λεκάνης προσαρμόζεται στη μορφολογία του εδάφους
- η γεωμετρία του υβώματος εξαρτάται από εκείνη της λεκάνης, τα χαρακτηριστικά του υδροφόρου, την παροχή και τη διάρκεια εμπλουτισμού

Πλεονεκτήματα των λεκανών:

- πλέον προσφιλής μέθοδος
- μέγεθος και σχήμα λεκανών προσαρμόζεται στη μορφολογία εδάφους, ενώ ανάλογα με την τοπογραφία, μπορεί να έχουν μια επιφάνεια από λίγες εκατοντάδες m² μέχρι κάποιες δεκάδες στρέμματα
- δυνατότητα επαρκούς εκμετάλλευσης της εδαφικής επιφάνειας που προσφέρεται για εμπλουτισμό αφού το νερό εμπλουτισμού έρχεται σε άμεση επαφή με το 75-90% της περιοχής εμπλουτισμού
- δυνατότητα συγκράτησης των διαθέσιμων ποσοτήτων νερού με την κατασκευή ανάλογων λεκανών καταλλήλων διαστάσεων,
- δυνατότητα αποθήκευσης περιοδικών πλημμυρών για μελλοντική χρήση τους με σκοπό τον εμπλουτισμό,
- αντιμετώπιση του φαινομένου clogging.

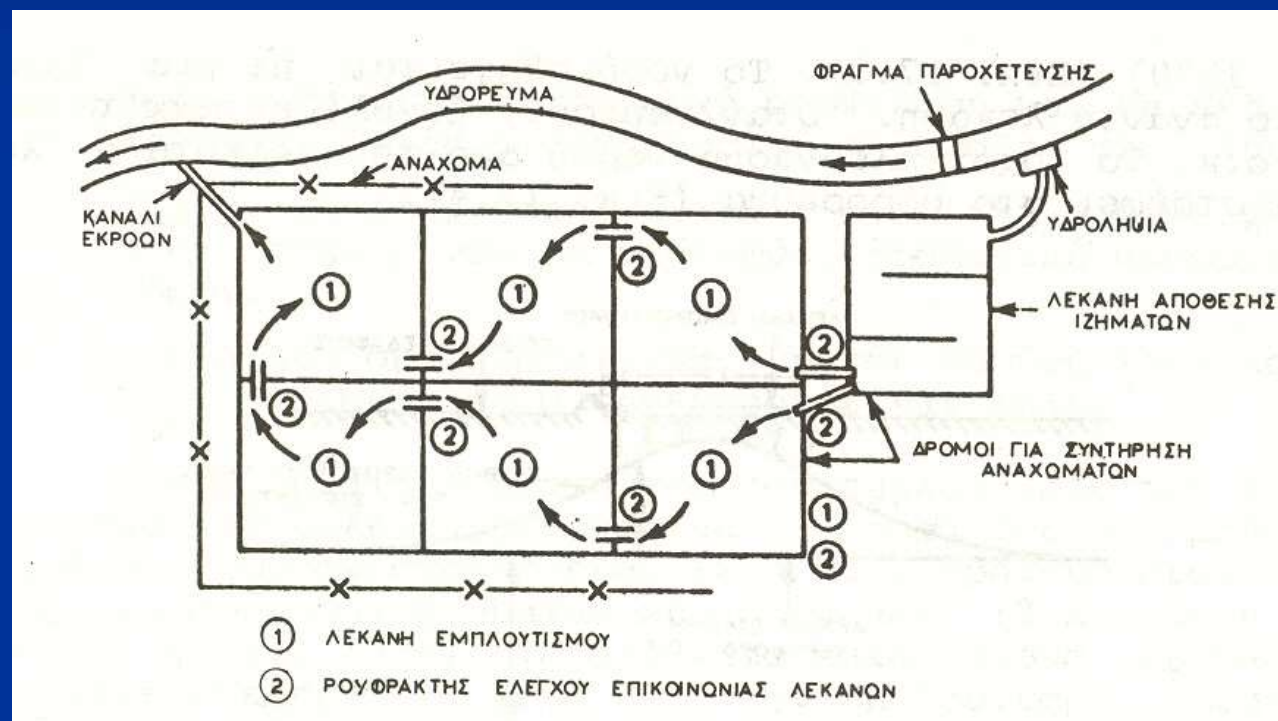
Η διάταξη πολλαπλών λεκανών παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως:

- η δυνατότητα αποθήκευσης διευκολύνει την αύξηση του χρόνου εμπλουτισμού,
- οι ανάντη πρώτες λεκάνες βοηθούν στη διαδικασία καθαρισμού του νερού που οδηγείται στις επόμενες κατάντη λεκάνες,
- παρέχεται η ευχέρεια να τίθενται εκτός λειτουργίας λεκάνες που χρειάζονται συντήρηση (ξύσιμο, σκάψιμο, αναμόχλευση) χωρίς να παρεμποδίζεται η όλη λειτουργία του έργου εμπλουτισμού.

✓ Οι λεκάνες δεν θα πρέπει ποτέ να είναι συνδεδεμένες σε σειρά έτσι ώστε το νερό που εκρέει από τη μια να πέφτει μέσα σε χαμηλότερες λεκάνες γιατί σε τέτοια συστήματα οι λεκάνες δεν μπορούν να αποξηρανθούν και να καθαριστούν ανεξάρτητα η μια από την άλλη.

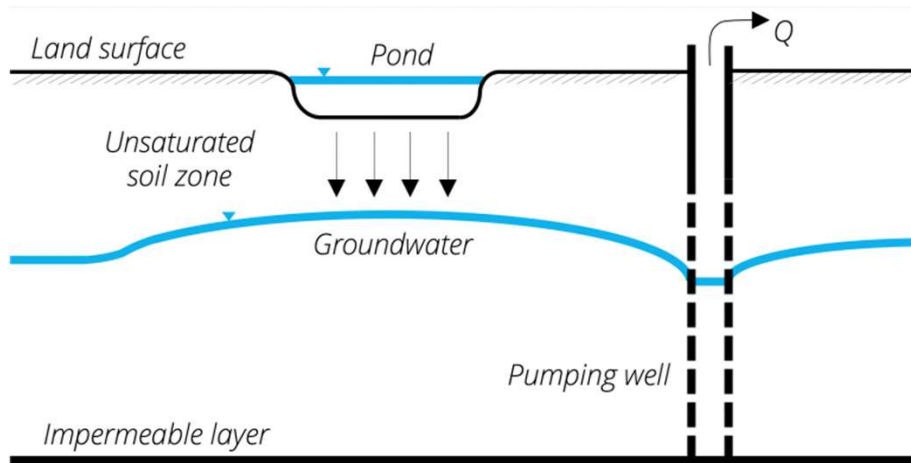
✓ Συχνά οι πρώτες λεκάνες «θυσιάζονται» ως εγκαταστάσεις καθίζησης.

✓ Ρυθμός διήθησης κατά την κατάκλυση: 0,3 - 3 m/ημέρα ή 30 - 300 m/χρόνο (συμπεριλαμβανομένου του χρόνου για αποξήρανση και καθαρισμό των λεκανών).



(Καλλέργης, 1986)

Infiltration ponds and basins



Surface spreading and specifically infiltration ponds are among the most applied MAR techniques around the world. They are based on the retention and spreading of water over a mostly flat area in order to enhance infiltration. Infiltration to the unconfined aquifer is enhanced by the construction of excavations, dikes or levees. Surface spreading and infiltration ponds are used when site surface and subsurface characteristics allow the aquifer to be recharged from ground level.

Advantages

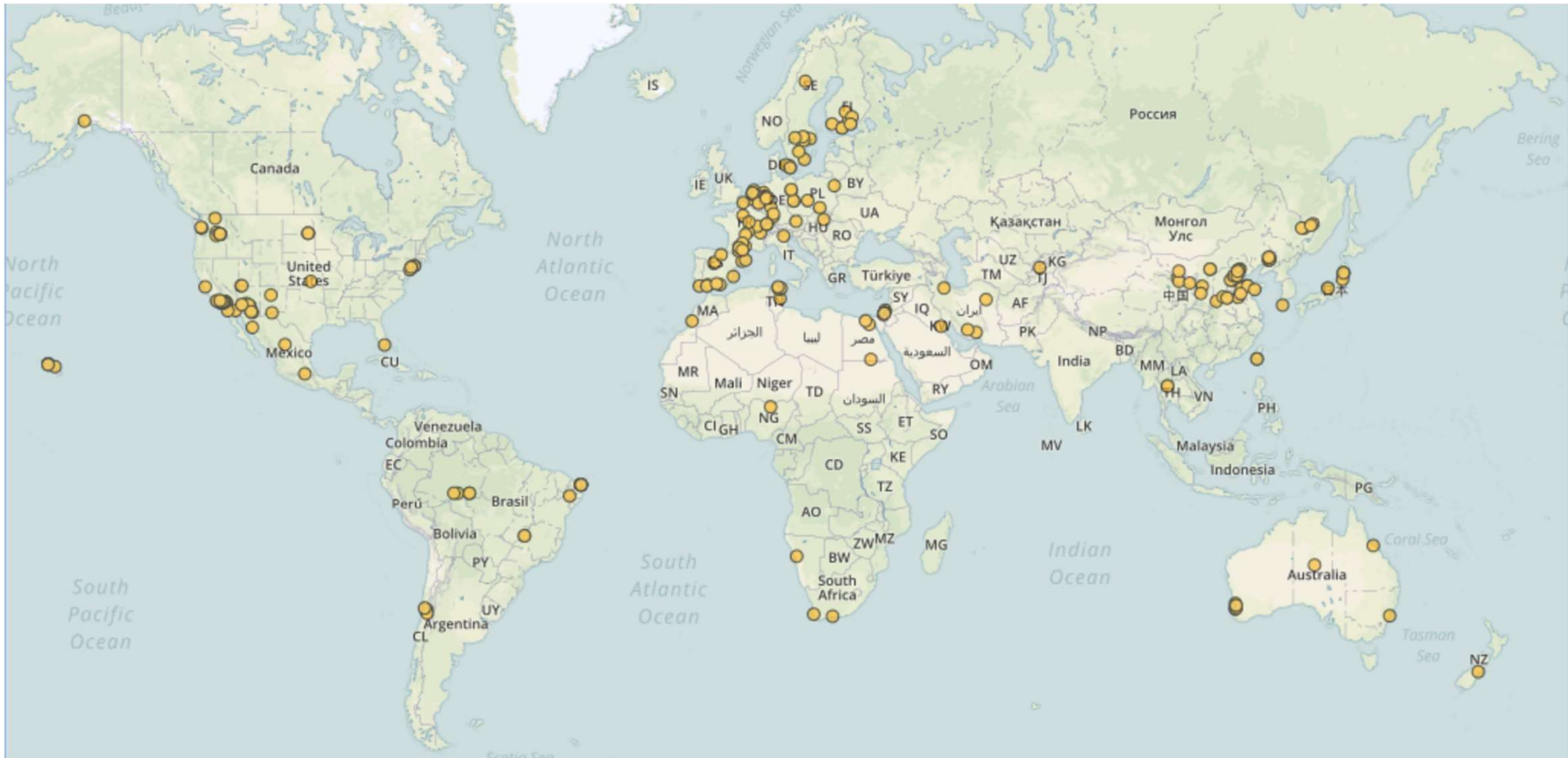
- Low infrastructure demand.
- Infiltration of large quantities of water at relatively low cost, and maintenance.
- Relatively simple anti-clogging procedures.
- Pollutants contained in source water may be removed by the soil.

Limitations

- Can be applied only to unconfined aquifers.
- Requires large flat permeable areas.
- Potential for surface water-related diseases.
- Potential water pollution.
- Potential evaporation (water losses).

Typical system capacity scale	Household – Town ($\approx 10^2 \text{m}^3/\text{year}$ – higher than $10^6 \text{m}^3/\text{year}$).
Geology	Unconfined aquifers composed of permeable sedimentary rocks and fractured crystalline rocks.
Topography	Flat or gently sloped terrains to enhance infiltration and reduce clogging.
Soils	Permeable soils able to guaranty water quality standards of the targeted aquifer.
Water source	River water, stormwater, treated water, lake water.
Pre-treatment	Depending on water source quality, mostly to prevent clogging
MAR main objective	Agriculture, domestic, and industrial.
Relative cost	Low – Medium.

Infiltration ponds and basins



MAR sites using surface spreading as main infiltration method. Source: [Global MAR Portal](https://inowas.com/category/mar-methods/)

(<https://inowas.com/category/mar-methods/>)

Fig. 15.10 Aerial photograph of the Granite Reef Underground Storage Project, Mesa, Arizona (September 2012; *Source* U.S. Geological Survey)

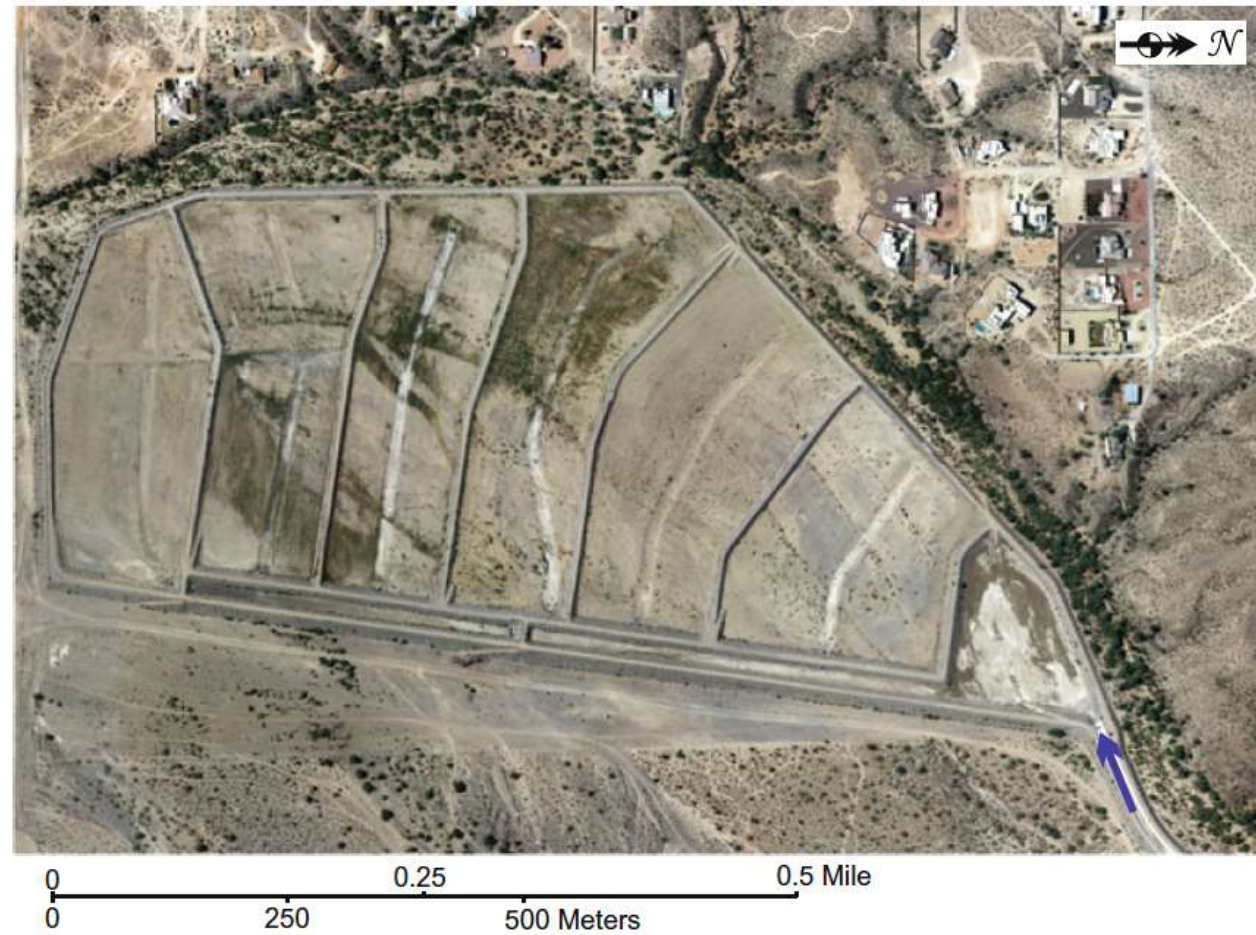
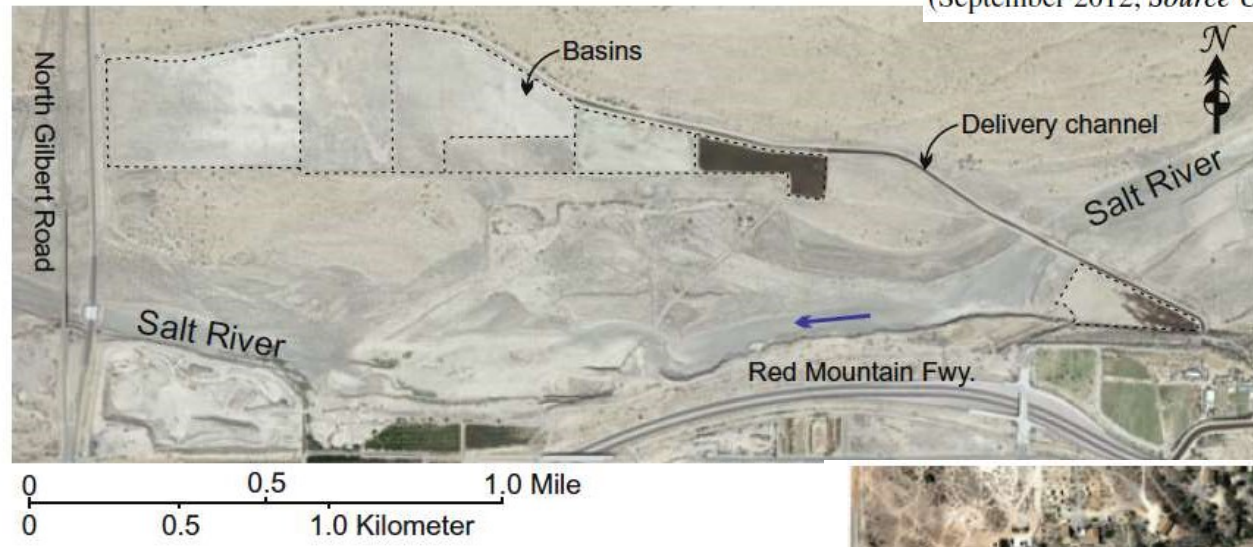


Fig. 15.11 Aerial photograph of the Agua Fria Recharge Project near Peoria, Arizona, in which the infiltration basin system is divided into cells (*Source* U.S. Geological Survey)

(Maliva, 2020)



0 0.5 1.0 Mile
0 0.5 1.0 Kilometer

Fig. 22.1 Aerial photograph of the Rio Hondo Spreading Grounds, Los Angeles County, California (December 2013, *Source* U.S. Geological Survey)



Fig. 15.12 Aerial photographs of the Central Avra Storage and Recovery Project located near Tucson, Arizona (May 2015; *Source* U.S. Geological Survey)

Wet basin

Dry basin

0 0.5 1.0 Mile
0 0.5 1.0 Kilometers

Διαχείριση και σχεδιασμός λεκανών

➤ Το νερό που χρησιμοποιείται για τεχνητό εμπλουτισμό μπορεί να προέρχεται από (Bouwer, 1989):

- το πλεονάζον νερό ρεμάτων και ποταμών,
- την απορροή καταιγίδων ή από το λιώσιμο χιονιών,
- το πλεόνασμα νερού από υδραγωγεία ή εγκαταστάσεις μεταφοράς νερού,
- αστικά λύματα ή άλλου είδους υγρά απόβλητα.

➤ Προτιμώνται διαμήκεις και στενές λεκάνες εμπλουτισμού ή σειρά από λεκάνες που δημιουργούν χαμηλότερα υβώματα από ό,τι οι τετράγωνες ή κυκλικές λεκάνες με το ίδιο εμβαδόν και υδραυλικά φορτία.

➤ Είναι προτιμότερο το μικρό βάθος νερού (10-20 cm), γεγονός που αποτρέπει τη ανάπτυξη αλγών.

➤ Απαραίτητη η φύλαξη και η περίφραξη των εγκαταστάσεων εμπλουτισμού σε κατοικημένες περιοχές κυρίως.

➤ Πρόβλεψη για τα προβλήματα από κουνούπια, ποντίκια και μυρωδιές από τα άλγη.

➤ Σε αρκετές περιπτώσεις οι χώροι των λεκανών μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως χώροι αναψυχής.

Το βασικό πρόβλημα στα συστήματα Τ.Ε. είναι η **απόφραξη (clogging)** της επιφάνειας διήθησης (**πυθμένες λεκανών**, τοιχώματα τάφρων και φρεατίων στην ακόρεστη ζώνη, τοιχώματα γεωτρήσεων εμπλουτισμού), που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού διήθησης και προκαλείται με διεργασίες:

- **Φυσικές:** συσσώρευση ανόργανων και οργανικών αιωρούμενων υλικών του νερού εμπλουτισμού, κατακόρυφη κίνηση λεπτών σωματιδίων εδάφους του νερού διήθησης ή του ίδιου του εδαφικού υλικού και συσσώρευσή τους σε λεπτό στρώμα απόφραξης σε μικρό βάθος, δημιουργία επιφανειακής κρούστας σε ξηρές λεκάνες όταν εκτίθενται σε βροχή.
- **Βιολογικές:** συσσώρευση φυκιών και βακτηριακών συγκεντρώσεων στο διηθούμενο νερό, ανάπτυξη πάνω και μέσα στο έδαφος βιοφίλμ και βιομάζας, που φράζουν τους πόρους.
- **Χημικές:** καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου, γύψου, φωσφορικού άλατος και άλλων χημικών πάνω και μέσα στο έδαφος, παραγωγή αερίων από βακτήρια (άζωτο, μεθάνιο) ή όταν το νερό εμπλουτισμού περιέχει παγιδευμένο αέρα, διείσδυση σιδήρου και οξειδίου του μαγγανίου ή υδροξειδίων στον εμπλουτισμό με γεωτρήσεις.
- **Τεχνικές:** αυξάνοντας το βάθος του νερού στις λεκάνες εμπλουτισμού ή την πίεση της έγχυσης στις γεωτρήσεις, συμπιέζεται το στρώμα της απόφραξης μειώνοντας τη διαπερατότητα και κατά συνέπεια το ρυθμό διήθησης.

Η απόφραξη ελέγχεται στα επιφανειακά συστήματα διήθησης:

- ✓ με λεκάνες καθίζησης πριν τον εμπλουτισμό με τη βοήθεια πηκτικών οργανικών πολυμερών,
- ✓ με φράγματα ελέγχου της ροής του ποταμού,
- ✓ με περιοδική ξήρανση και απομάκρυνση των υλικών απόφραξης, στο τέλος μιας ξηρής περιόδου, μηχανικά με εκσκαφείς, αποξέστες ή χειρονακτικά,
- ✓ με απομάκρυνση του αζώτου, του φωσφόρου και του οργανικού άνθρακα από το νερό εμπλουτισμού (σε εμπλουτισμό με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα),
- ✓ με απολύμανση με χλώριο ή άλλα απολυμαντικά.

- ✓ Στην εφαρμογή του εμπλουτισμού για αστική χρήση η απόφραξη των λεκανών κατάκλυσης δεν αποτελεί σοβαρό πρόβλημα. Οι ποσότητες του νερού που χρησιμοποιούνται είναι μικρές, ενώ η υψηλή τιμή πώλησης του νερού που αντλείται δίνει περιθώρια για πιθανή σοβαρή αρχική επεξεργασία όταν αυτή είναι αναγκαία.
- ✓ Οι πραγματικές δυσκολίες εμφανίζονται όταν ο Τ.Ε. γίνεται για γεωργική χρήση, όπως για παράδειγμα για να ανεβάσουμε την υποβιβασμένη λόγω υπερεκμετάλλευσης στάθμη ενός υδροφόρου. Οι ποσότητες νερού που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν εδώ είναι μεγαλύτερες, αποφέροντας σχετικά χαμηλό κέρδος, πράγμα που σημαίνει ότι μόνο οι πλέον οικονομικές μέθοδοι μπορούν να ληφθούν υπόψη για να διατηρηθεί ή και να αυξηθεί ο ρυθμός εμπλουτισμού.







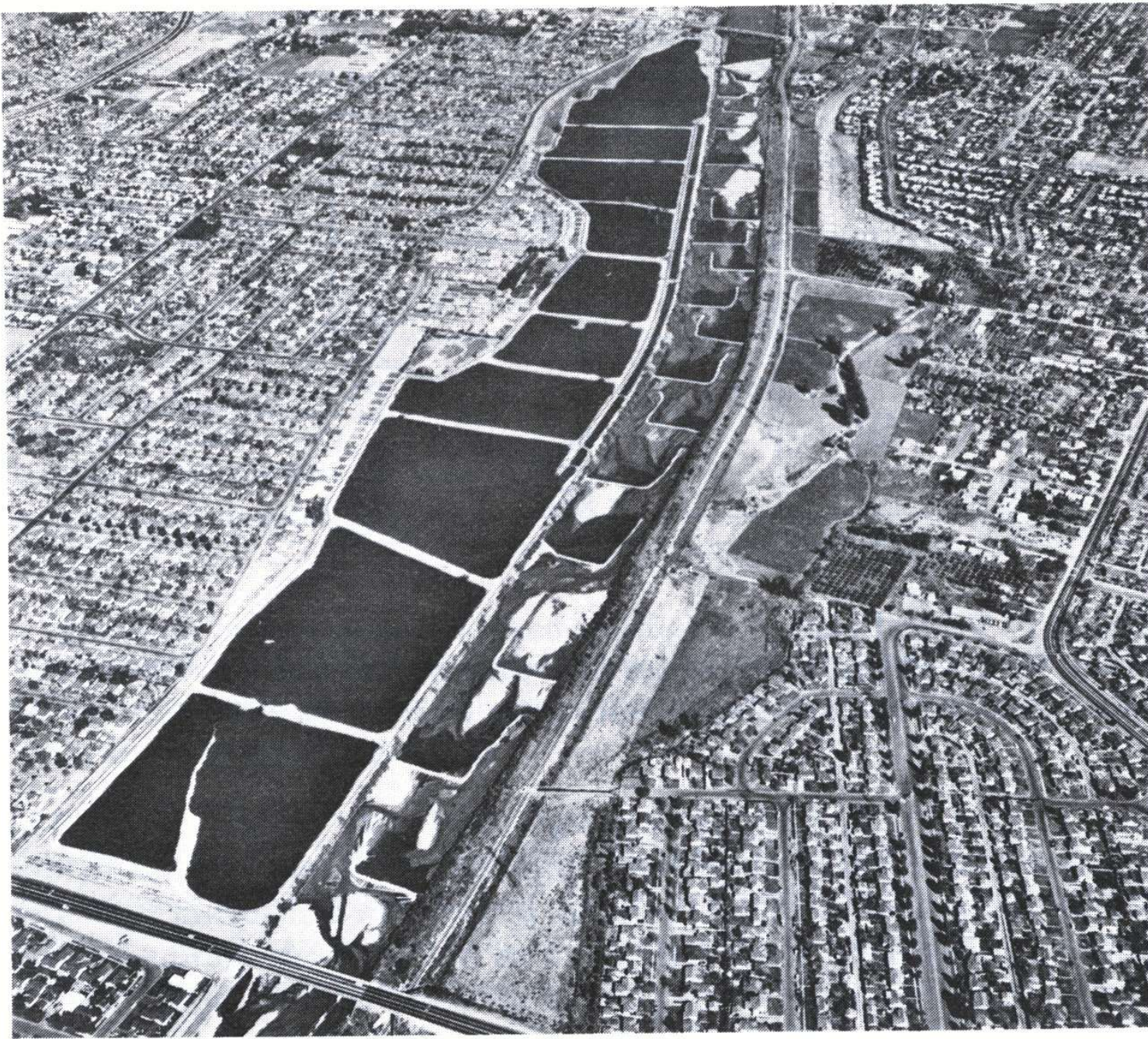
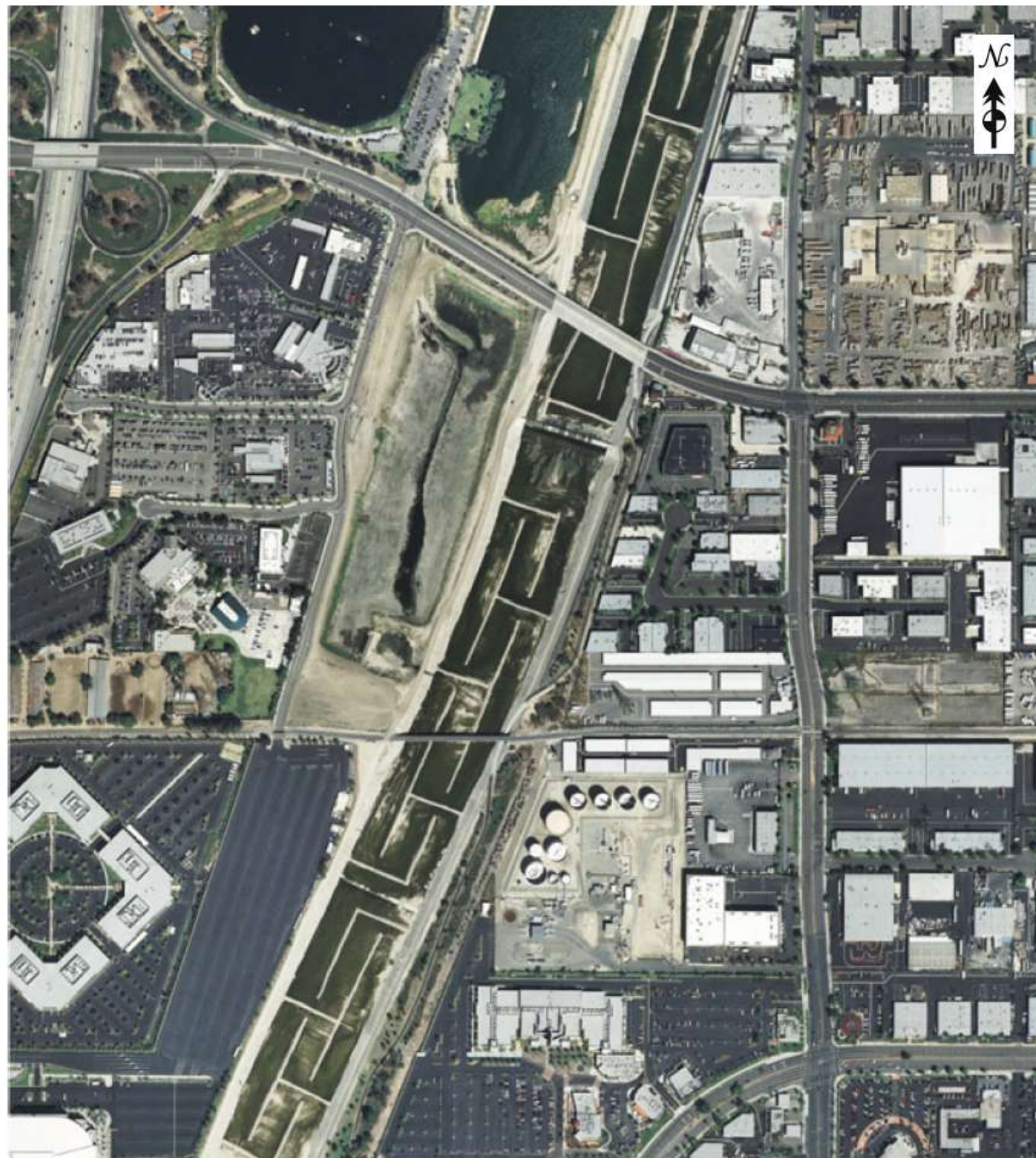


Fig. 13.2 Aerial view of spreading basins adjoining the San Gabriel River, Los Angeles, California, and temporary finger dikes within the river channel (courtesy Los Angeles County Flood Control District).



0 0.25 0.5 Mile
0 250 500 Meters

Fig. 15.13 Santa Ana River, Orange County, California, in-channel and off-channel recharge facilities. A series of low berms in the main river channel (A) create a more tortuous and slower flow. Off-channel recharge basins parallel the main channel (B) and are present further to the north (Source U.S. Geological Survey)



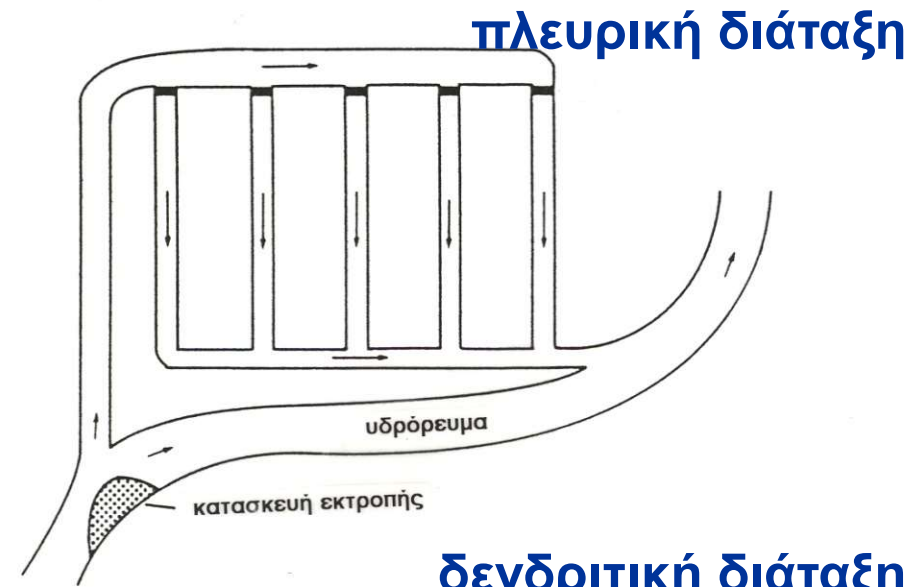
0 0.25 0.5 Mile
0 250 500 Meters

Fig. 16.3 Temporary in-channel levees in the Santa Ana River, Anaheim, California (March 28, 2010, *source* U.S. Geological Survey)

Μέθοδος τάφρων και αυλάκων (ditch and furrow method)

- προτιμητέα όπου το νερό εμπλουτισμού περιέχει μεγάλα φορτία αιωρούμενων υλικών
- καλή σε ανώμαλο εδαφικό ανάγλυφο
- κάλυψη 10% της επιφάνειας εφαρμογής του εμπλουτισμού

A



B



Γ





Fig. 13.4 Spreading ditches in Tujunga Wash, Los Angeles, California (courtesy City of Los Angeles Department of Water and Power).

Ditches and furrows

Ditches, furrows or drains are point or linear structures that allow for the recharge water to infiltrate to the aquifer underneath. They are usually shallow, flat-bottomed and closely spaced structures that are excavated. This spreading methods is used mainly on irregular terrains to collect and allocate the water or in areas where an impermeable layer is present in the upper soil profile. These methods also include reverse drainage, which means that the recharge water flows into a network of perforated drainage pipes from which it infiltrates into the soil.

Advantages

- Structures can be installed on irregular terrain.
- In case of reverse drainage, structures are independent of land use and as such good solutions for expensive land (combined use).

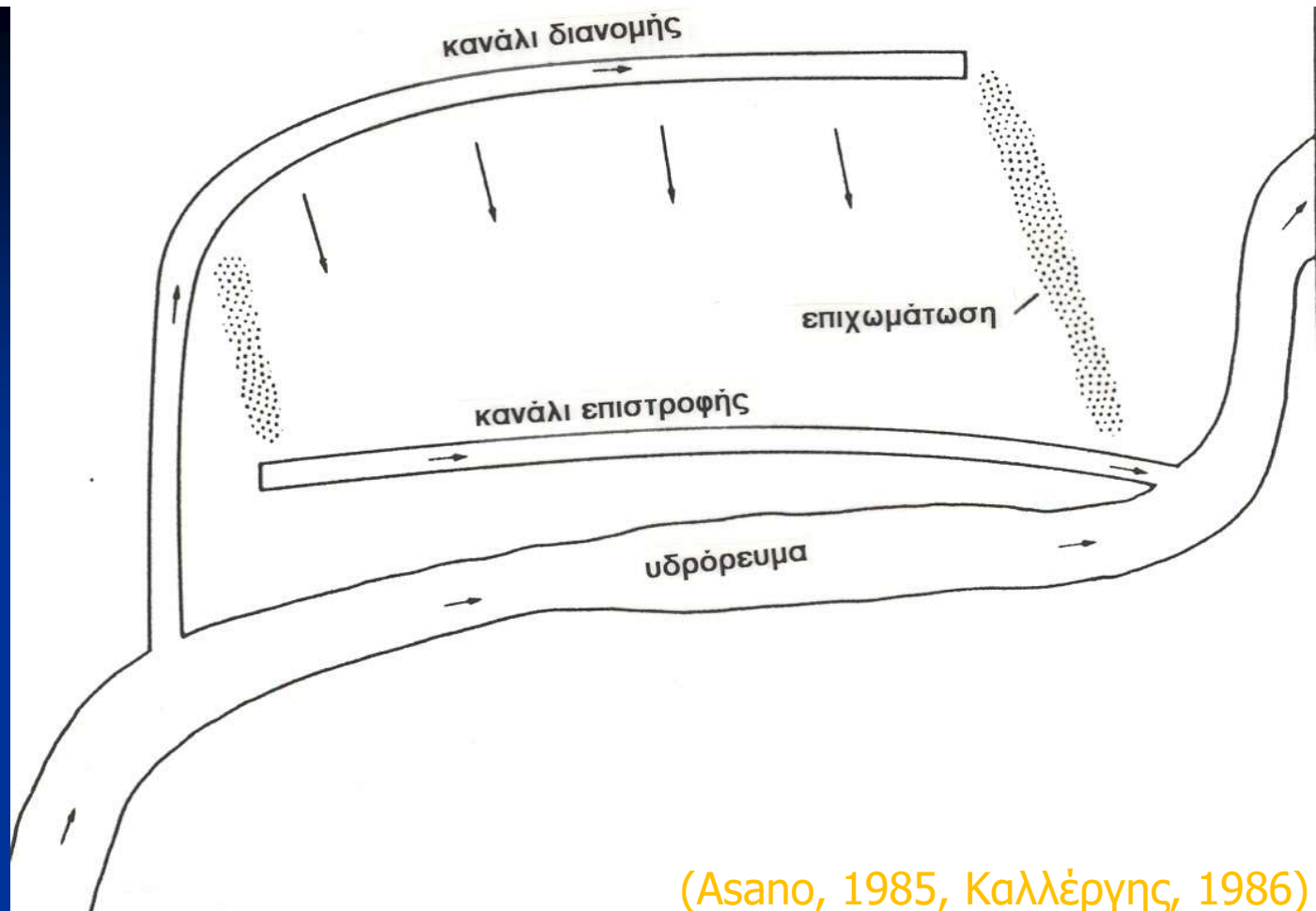
Limitations

- Can be applied only to unconfined aquifers.
- Require large permeable areas.
- Potential for surface water-related diseases and vectors breeding.
- Potential water pollution.

Typical system capacity scale	Household – Town ($10^2\text{m}^3/\text{year}$ – $10^6\text{m}^3/\text{year}$).
Geology	Unconfined aquifers composed of permeable sedimentary rocks and fractured crystalline rocks.
Topography	Preferably flat or gentle sloped terrain. Slope characteristics can be interrupted to enhance infiltration by using these technologies.
Soils	Permeable soils able to guaranty water quality standards to the targeted aquifer. Impermeable layers in the upper soil profile may be overcome by the use of these techniques.
Water source	River water, stormwater, treated water, lake water.
Pre-treatment	Depending on water source quality.
MAR main objective	Agriculture, domestic, and industrial.
Relative cost	Low – Medium.

Μέθοδος πλημμύρας (flooding method)

- σε σχετικά μικρής κλίσης (1-3%) περιοχές
- πλεονέκτημα: σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής και συντήρησης

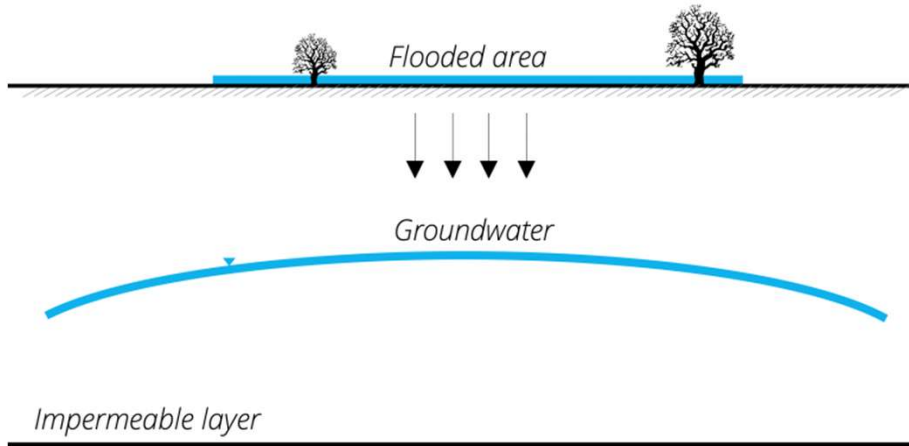


(Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

μειονεκτήματα:

- η απαίτηση για μεγάλη έκταση εφαρμογής της,
- η εξάτμιση μεγάλων ποσοτήτων από το νερό εμπλουτισμού,
- η δυσκολία ικανοποιητικής ανάσχεσης του νερού που πλημμυρίζει.

Flooding



Flooding as a MAR technique is used on when excess river water is available during high flow season or when flood events need to be managed. The system uses passive infiltration delivers and spreads the recharge water which then infiltrate through the vadose zone to the underlying aquifer. These systems can combine many benefits such as flood protection, drought preparedness, aquifer remediation, and ecosystem restoration. However, (often highly demanded) land needs to be held available to allow for periodic flooding. Thus, compensations systems need to be put into place for land owners.

Advantages

- Flood risk management as benefit.
- Ecosystem enhancement.
- Broad areas may be used for aquifer recharge.

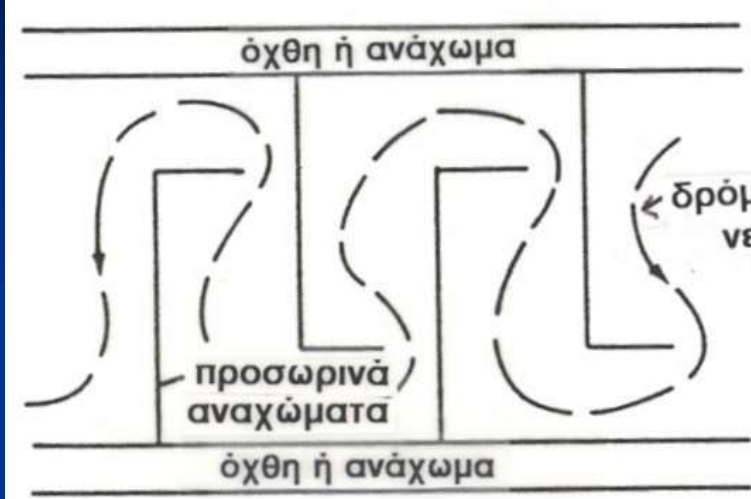
Limitations

- Can be applied only to unconfined aquifers.
- Competition with other land uses along rivers.
- Unreliable water source.
- Potential of soil and aquifer pollution with nutrients and salt concentration on the soil profile.

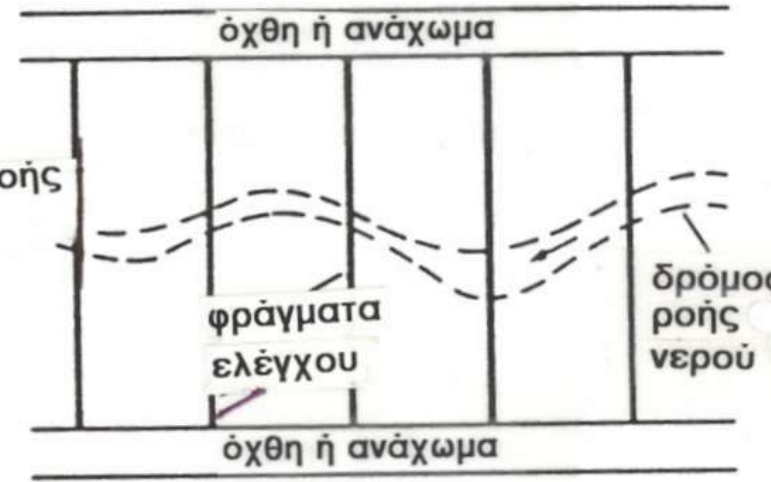
Typical system capacity scale	Household - Town ($\approx 10^2 \text{m}^3/\text{year}$ - $\approx 10^6 \text{m}^3/\text{year}$).
Geology	Unconfined aquifers composed of permeable sedimentary rocks.
Topography	Preferably flat or gentle sloped terrain, close to rivers.
Soils	Permeable soils able to guaranty water quality standards to the target aquifer.
Water source	River water.
Pre-treatment	None.
MAR main objective	Agriculture.Flood Risk management.
Relative cost	Low.

Μέθοδος διευθέτησης υδρορρεύματος (stream channel modification)

με εκτροπή →

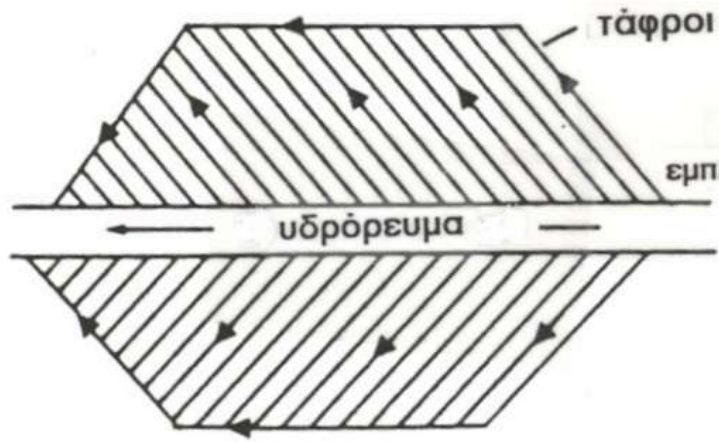


(A)

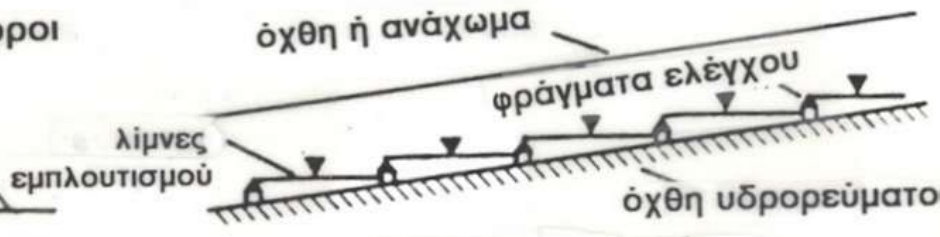


ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΓΡΑΦΙΑ

με τάφρους →



(B)



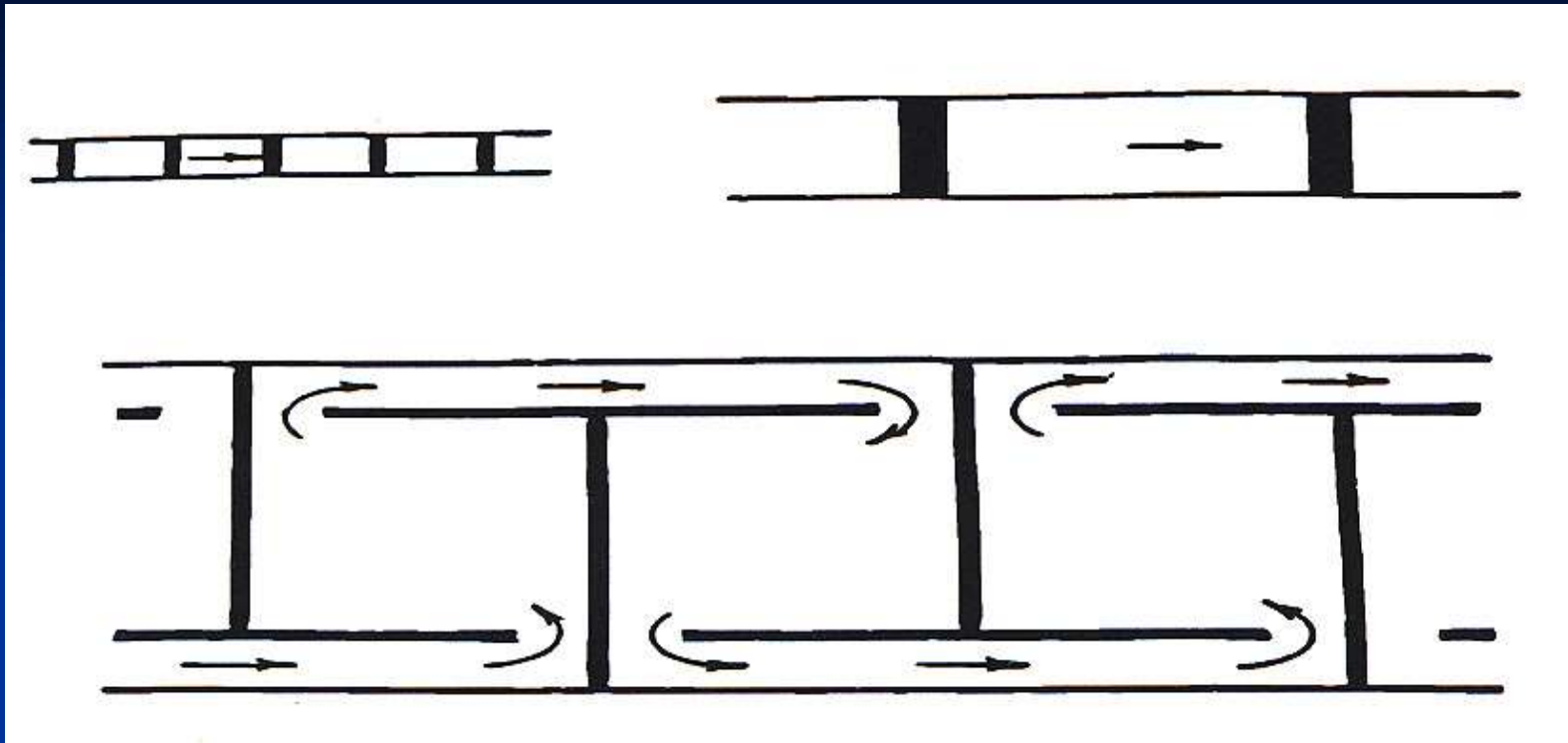
ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΤΟΜΗ

(Γ)

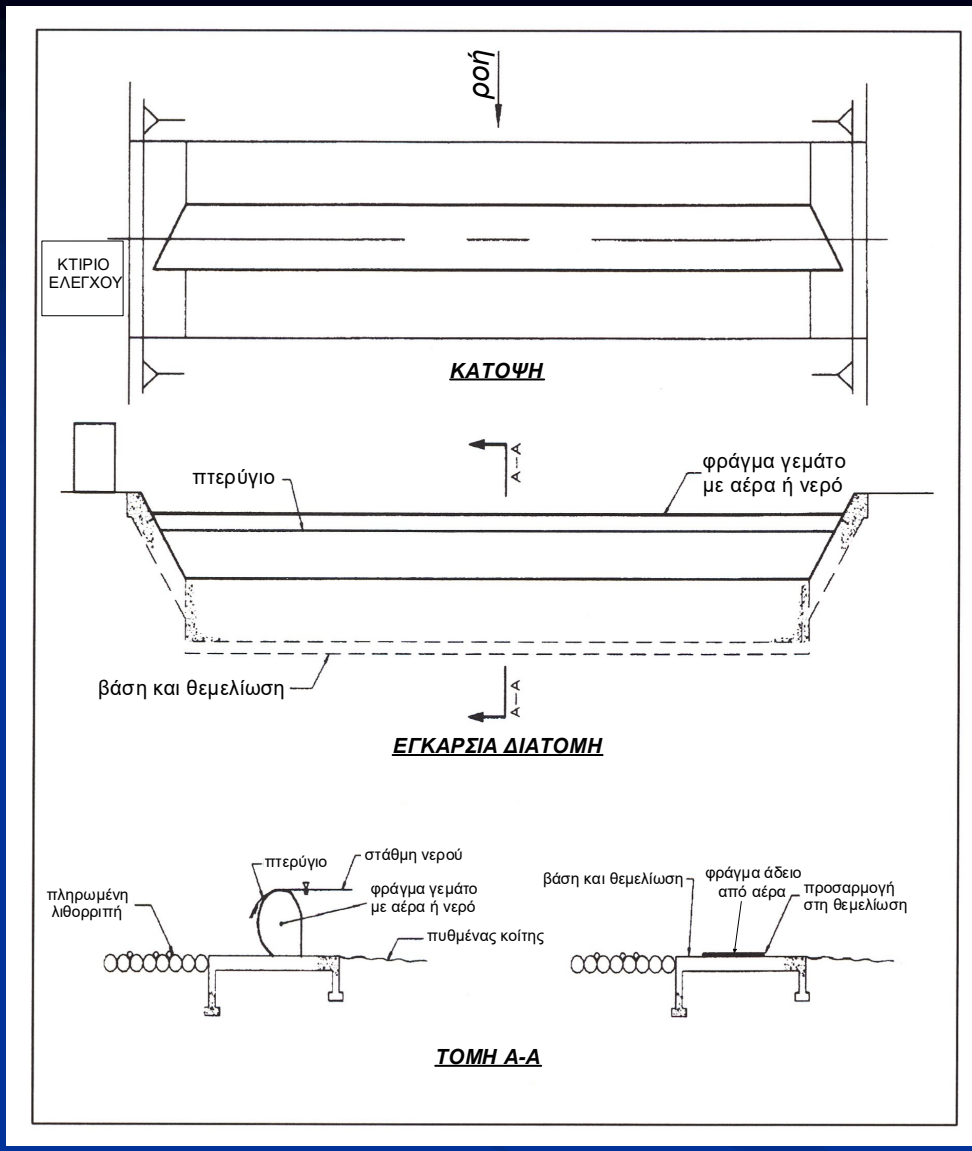
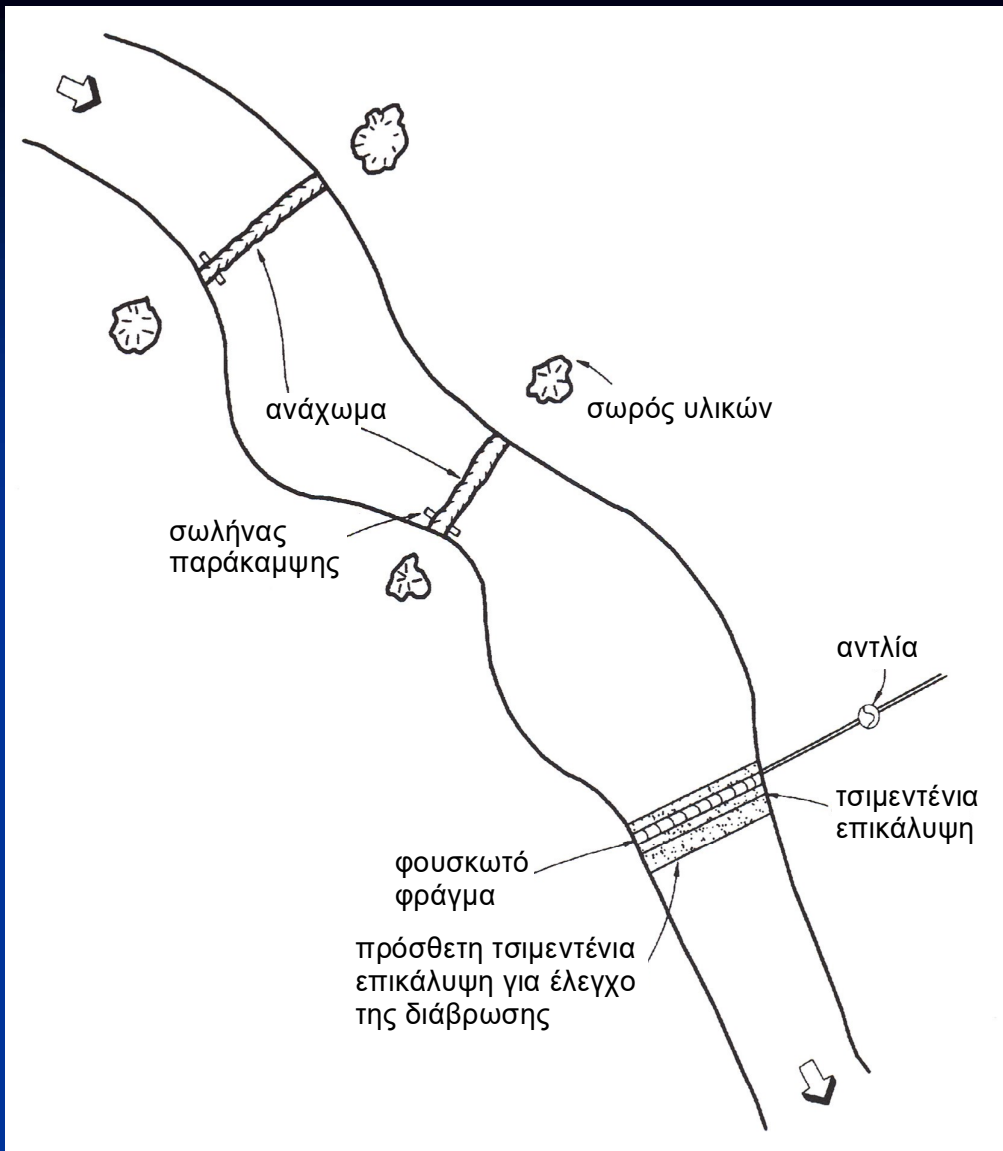
(Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

με μικρά φράγματα και
λεκάνες ελέγχου





Κατόψεις συστημάτων διήθησης με κανάλια (in-channel infiltration systems) με χαμηλά μικρά φράγματα υπερχειλίσης, κατασκευασμένα σε στενό κανάλι μεγάλης κλίσης (επάνω αριστερά), με μεγαλύτερα φράγματα σε πλατύτερο κανάλι πιο ήπιων κλίσεων (επάνω δεξιά) και με αναχώματα σχήματος T σε κανάλι μεγάλου πλάτους μηδαμινής κλίσης (κάτω) (Bouwer, 2002).



Εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού σε χειμάρρο (ASCE, 2001).

Φουσκωτό φράγμα σε κάτοψη, εγκάρσια διατομή και σε κατάσταση γεμάτο με νερό και αέρα, όπως και σε κατάσταση άδειο από αέρα (ASCE, 2001).

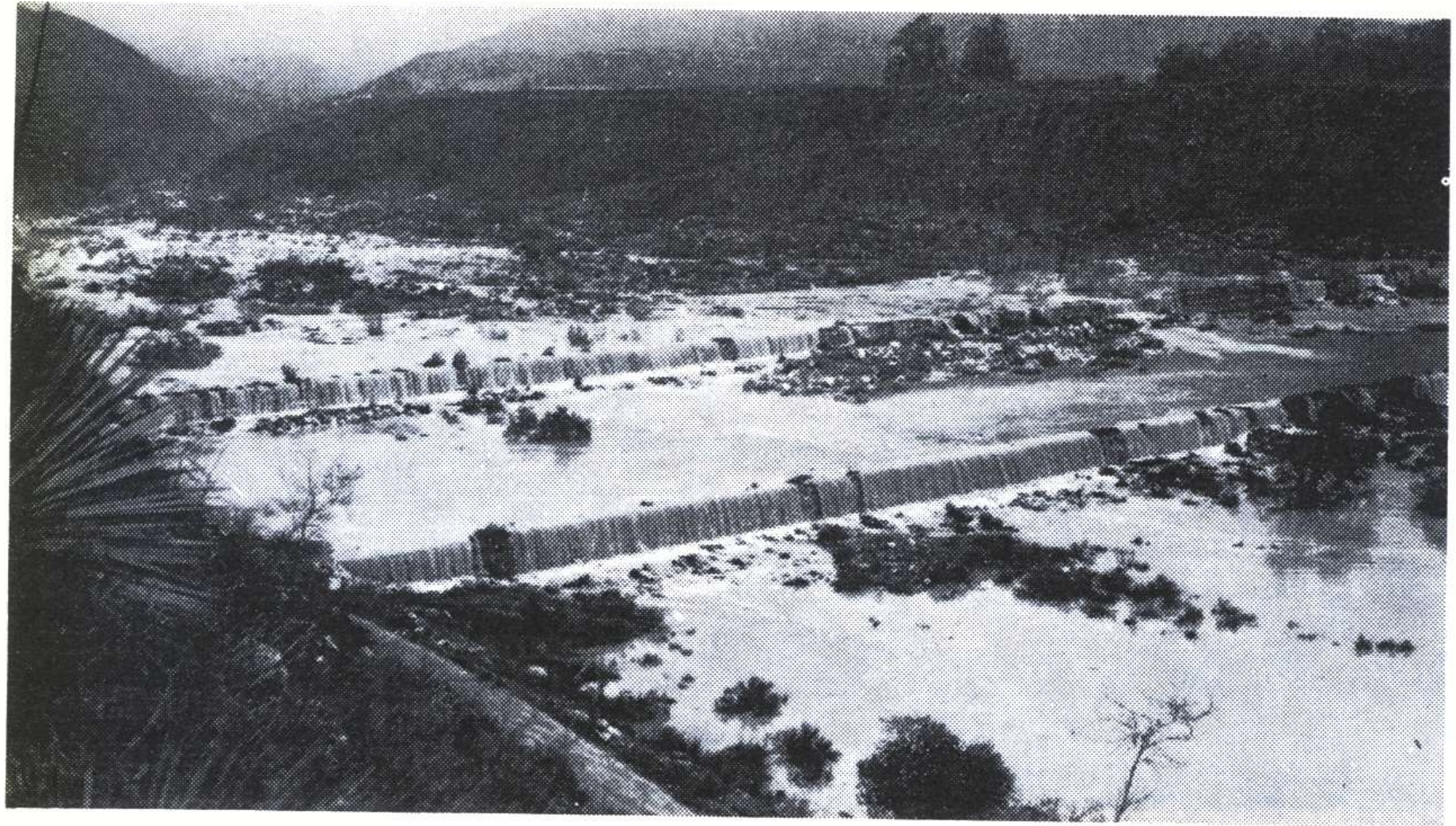


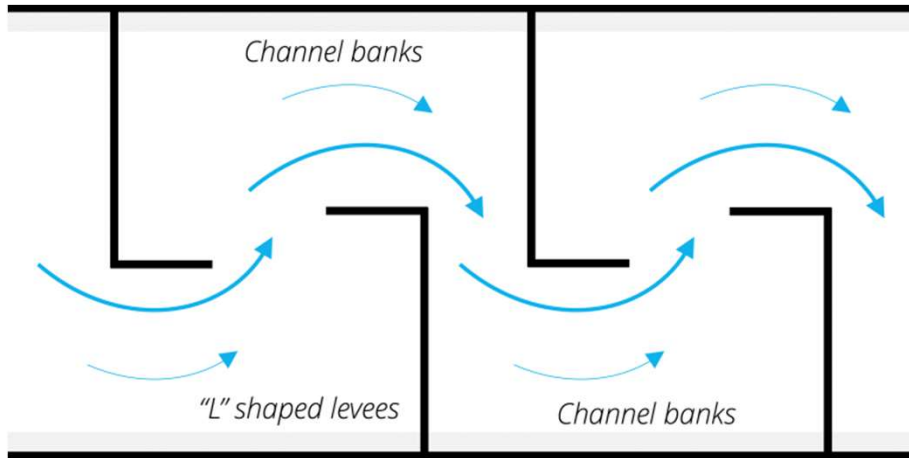
Fig. 13.3 Channel spreading with rock-and-wire check dams in Cucamonga Creek near Upland, California (courtesy D. C. Muckel).



Fig. 16.7 Check dams in the Chiricahua Mountains, Arizona (*Source* U.S. Geological Survey)

- σκοπός: επιβράδυνση της ροής του νερού στο υδρόρρευμα και αύξηση της επιφάνειας της κοίτης → αύξηση της ικανότητας διήθησης
- τα έργα αυτά είναι συνήθως προσωρινά, φτιαγμένα από τα υλικά του πυθμένα του υδρορρεύματος, εποχιακά, ενώ καταρρέουν εύκολα σε πιθανές πλημμύρες
- η μέθοδος είναι αποτελεσματική όπου αποφασίζεται να εφαρμοστεί, αφού το κόστος κατασκευής των έργων είναι σχετικά χαμηλό, η συντήρησή τους δεν είναι ιδιαίτερα δαπανηρή, ενώ η όλη διαδικασία δεν επηρεάζει άλλες χρήσεις γης.

Channel spreading



Channel spreading is grouping technologies by which the wetted area of a drainage channel or riverbed is artificially increased in order to enhance water infiltration to the aquifer. The drainage channel can be widened, leveled, scarified or dredged. The river flow can also be modified by installing L shaped levees. Recharge is enhanced by increasing the potential infiltration area and slowing down the flow velocity.

Advantages

- Low costs technique.
- Simple design, operation and maintenance.

Limitations

- Available land along riverbeds is often scarce.
- Potential for clogging.
- Vulnerable to destruction during flood events.

Typical system capacity scale	Family to Village (10^2 - 10^3 m ³ /a)
Geology	Unconfined aquifers.
Topography	Rural areas with gently slopes.
Soils	Sandy soils.
Water source	Rain water.
Pre-treatment	None.
MAR main objective	Strategic water storage.
Cost	Low.

Επανενεργοποίηση ή αύξηση της ροής υδρορρεύματος (stream flow reactivation or augmentation)

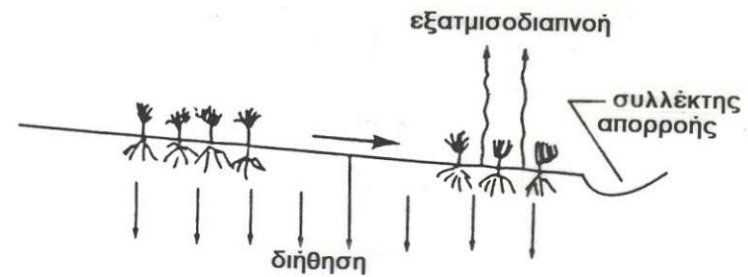
- η μέθοδος χρησιμοποιείται ως εναλλακτική μέθοδος T.E. σε περιοχές όπου υπάρχουν κοίτες εγκαταλειμμένες (Πολύσιτος, Ν. Ξάνθης) ή σε κοίτες που έχει μειωθεί η έκτασή τους εξ αιτίας της μεγάλης πτώσης της στάθμης του υποκείμενου υδροφόρου (Long Island, New York, USA)
- το ευρύτερο περιβάλλον επανακτά τη διαταραγμένη φυσική του λειτουργία.
- η μέθοδος αυτή βέβαια είναι λιγότερο αποτελεσματική από άλλες αφού οι ταχύτητες ροής του νερού στην κοίτη συχνά υπερβαίνουν την ταχύτητα διήθησης ενώ οι οικονομικοί πόροι για την εφαρμογή της δεν είναι πάντα διαθέσιμοι.

Μέθοδος άρδευσης (irrigation method)

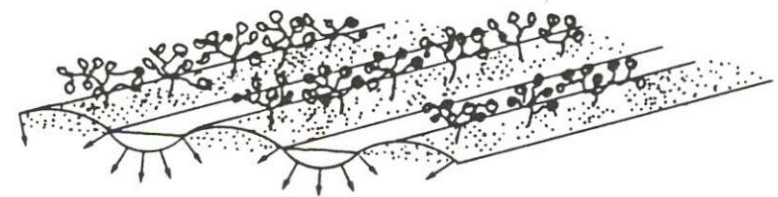
Τεχνικές άρδευσης

- εμπλουτισμός σε αρδευόμενες περιοχές κατά τις περιόδους της αγρανάπαυσης, το χειμώνα ή τις μη αρδευτικές περιόδους
- πολύ φτηνή μέθοδος γιατί χρησιμοποιείται το αρδευτικό σύστημα διανομής του νερού που ήδη είναι εγκαταστημένο και δεν χρειάζεται ιδιαίτερη προπαρασκευή του εδάφους
- το συνηθισμένο πρόβλημα της μεθόδου είναι η απόπλυση των εδαφών (leaching), με τη μεταφορά αλάτων από τη ριζική ζώνη στο υπόγειο νερό ή με την απομάκρυνση λιπασμάτων του εδάφους, προκαλώντας έτσι μείωση της παραγωγής.

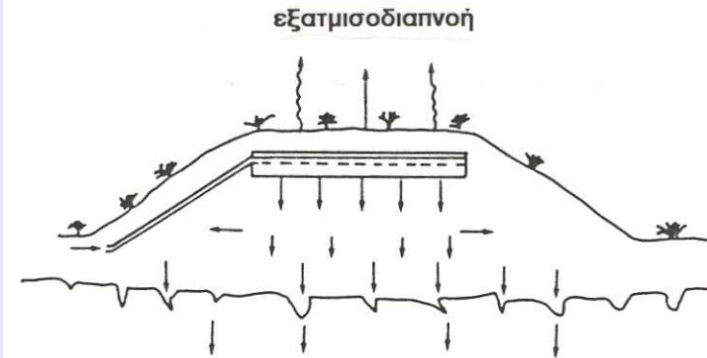
επιφανειακή



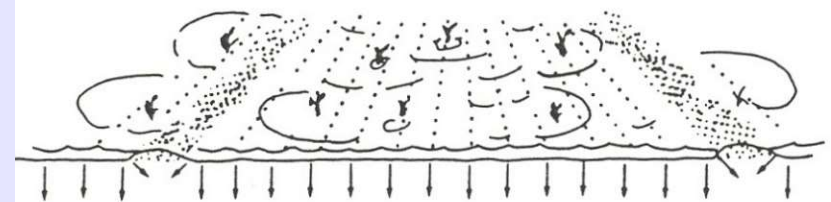
τάφρων και αυλάκων



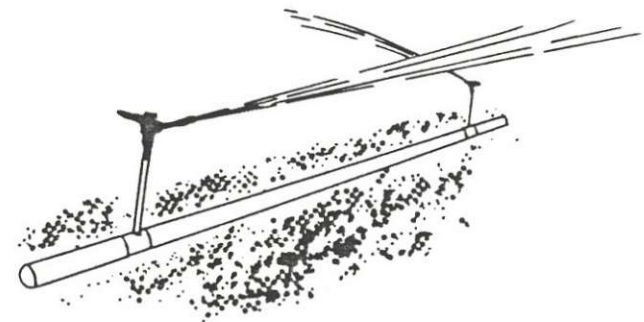
υπεδαφική



πλημμύρας



καταιονισμού



(Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

Excess irrigation

Excess irrigation as a MAR technique is used on irrigated farmland where excess water is available and is spread over the area during dormant or non-irrigated seasons to allow for aquifer recharge. Excess irrigation has possible benefits over other traditional MAR techniques. Irrigated agricultural areas are available worldwide and already have the required infrastructure to connect these areas to water sources. It further does not compete with other land uses and gives farmland a second beneficial purpose. Effects of water-intensive agriculture (declining water tables) can be buffered through application of this method.

Advantages

- No competition with other land uses.
- Relative low cost because existing irrigation infrastructure can be used.
- Broad areas may be used for aquifer recharge.

Limitations

- Can be applied only to unconfined aquifers.
- Can be applied only on croplands where excess water can be provided.
- Depends on specific site cropping cycles.
- Require growers to engage additional coordination issues beyond conventional irrigation for farming.
- Potential of soil and aquifer pollution with nutrients and salt concentration on the soil profile.

Typical system capacity scale	Household – Town ($\approx 10^2 \text{m}^3/\text{year}$ – $\approx 10^6 \text{m}^3/\text{year}$).
Geology	Unconfined aquifers composed of permeable sedimentary rocks.
Topography	Preferably flat or gentle sloped terrain but slope characteristics can be interrupted to enhance water infiltration.
Soils	Permeable soils able to guaranty water quality standards to the target aquifer.
Water source	Source of irrigation water.
Pre-treatment	Depending on water source quality.
MAR main objective	Agriculture.
Relative cost	Low.

Μέθοδοι εμπλουτισμού απευθείας στο υπέδαφος (Direct - subsurface recharge)

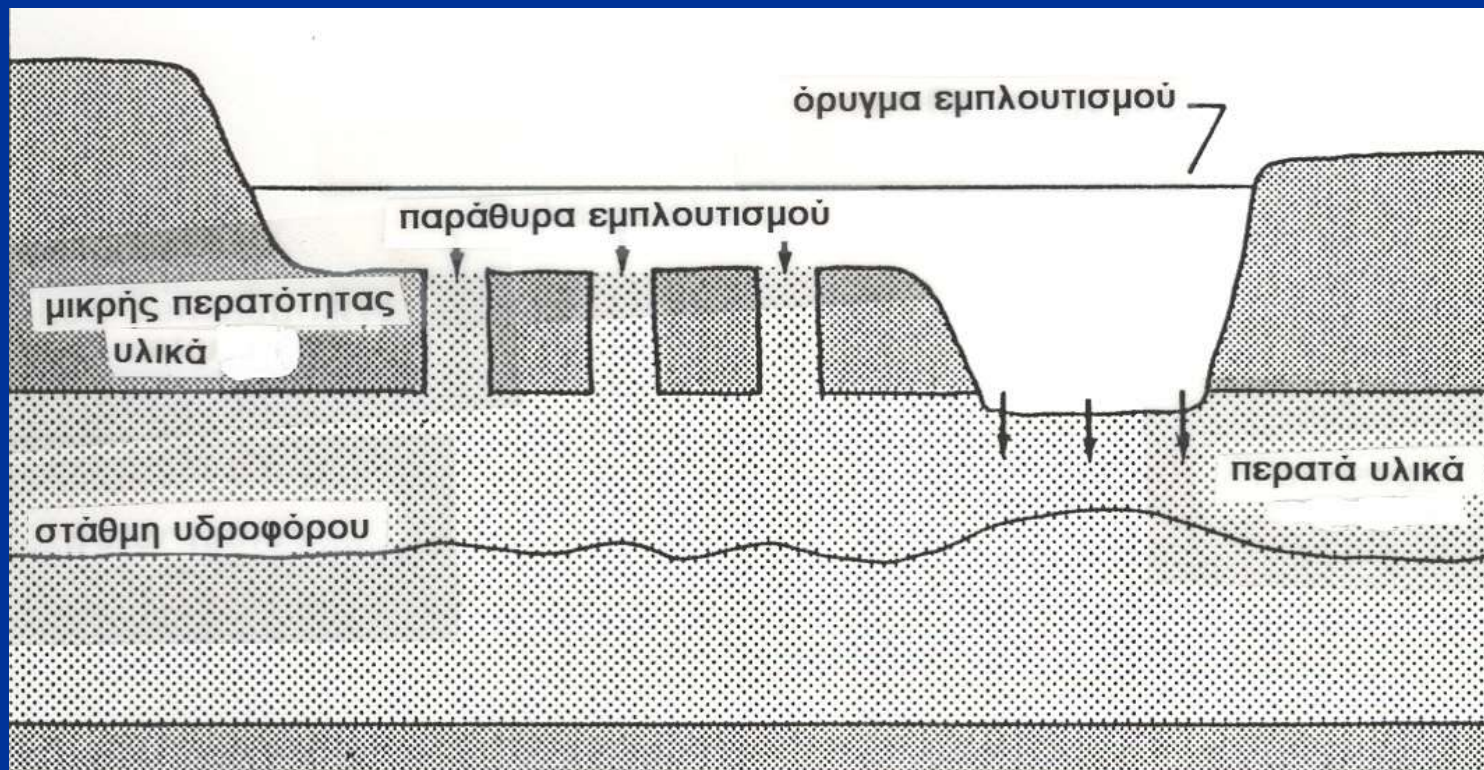
- ✓ Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα
- ✓ Μέθοδος ορυγμάτων
- ✓ Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης
- ✓ Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού
- ✓ Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης – άντλησης (ASR)
- ✓ Μέθοδος με πηγάδια στην ακόρεστη ζώνη

Μέθοδος με φυσικά ανοίγματα (natural openings method)

- Ο εμπλουτισμός επιτυγχάνεται μέσα από φυσικά ανοίγματα που προέρχονται από σπάσιμο ή διάλυση ασβεστολίθων ή άλλων ευδιάλυτων πετρωμάτων.
- Σχετικά χαμηλού κόστους μέθοδος, που μπορεί όμως η εφαρμογή της να επισκιασθεί από ανεπιθύμητες δυσμενείς εδαφικές και γεωλογικές συνθήκες.

Μέθοδος ορυγμάτων (pit method)

- Η εφαρμογή της μεθόδου είναι περιορισμένη αφού η δαπάνη κατασκευής και συντήρησης είναι μεγάλη αν συγκριθεί με τις μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού.
- Μπορεί όμως να μειωθεί αισθητά αν χρησιμοποιηθούν εγκαταλειμμένα ή χαλκώδη ορύγματα.



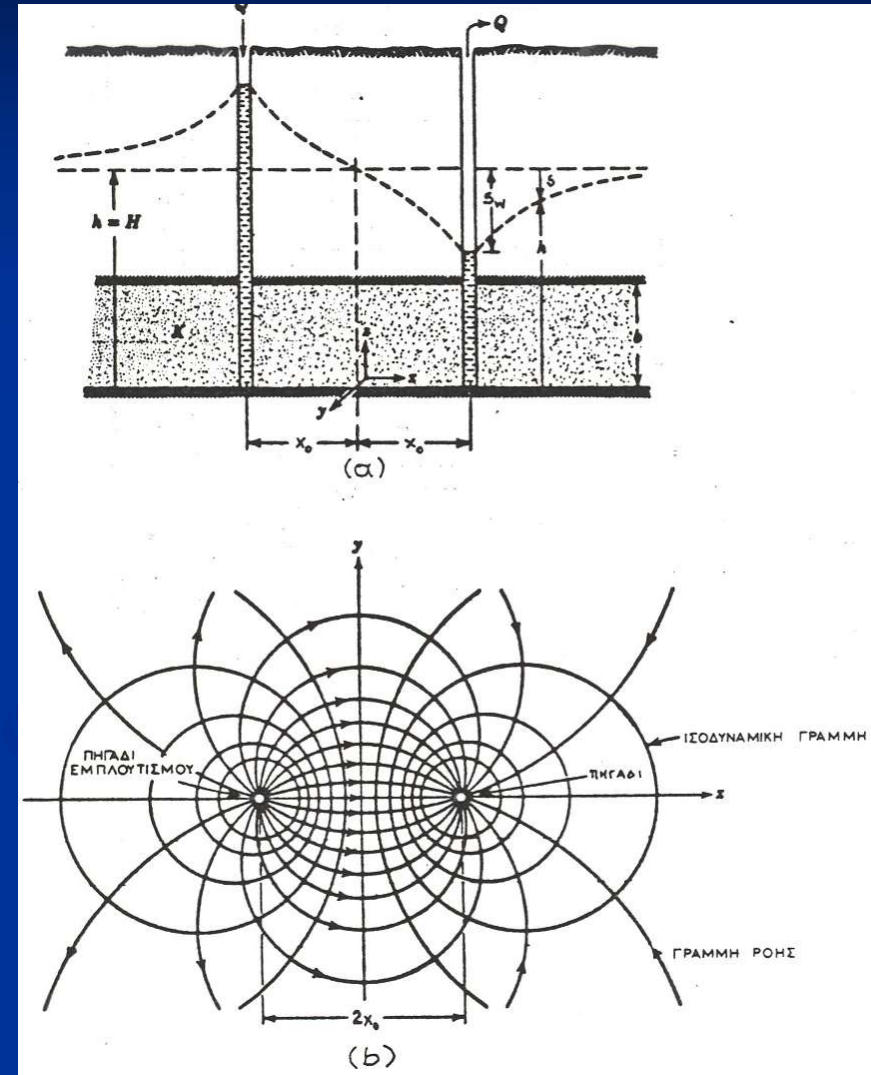
(Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

Μέθοδος αντίστροφης αποστράγγισης (reverse drainage method)

- Με τη μέθοδο αυτή, το νερό διοχετεύεται σε ένα υπόγειο δίκτυο αγωγών από το οποίο διηθείται στο έδαφος, παρόμοια με τη τεχνική της υπόγειας άρδευσης
- Το βασικό πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι η ασήμαντη χρήση της επιφάνειας του εδάφους

Μέθοδος με γεωτρήσεις εμπλουτισμού (recharge well method)

- Εμπλουτισμός βαθιών αρτεσιανών υδροφόρων απομονωμένων από την επιφάνεια εξαιτίας της ύπαρξης ενδιάμεσων υλικών χαμηλής περατότητας
- Εμπλουτισμός σε περιοχές όπου υπεισέρχονται παράγοντες οικονομίας χώρου, όπως σε αστικές περιοχές.
- Εμπλουτισμός δύο ή περισσοτέρων υδροφόρων συγχρόνως ή/και υδραυλική επικοινωνία απομονωμένων μεταξύ τους υδροφόρων.
- Παρέχουν πόσιμο νερό, εμπλουτίζουν υπόγεια νερά που χρησιμοποιούνται για ψύξη, ανανεώνουν με γλυκό νερό τους παράκτιους υδροφορείς που αντιμετωπίζουν προβλήματα διείσδυσης αλμυρού νερού.



(Καλλέργης, 1986)

Σημαντικοί παράγοντες που ελαττώνουν προοδευτικά την απόδοση εμπλουτισμού των γεωτρήσεων αποτελούν:

- ✓ η μείωση της περατότητας των φίλτρων των γεωτρήσεων και του υδροφόρου γύρω από τις γεωτρήσεις, λόγω της απόθεσης αιωρούμενης ιλύος που περιέχει το νερό εμπλουτισμού (clogging effect),
- ✓ η μεταφορά στον υδροφόρο από το νερό εμπλουτισμού, μεγάλων ποσοτήτων διαλυμένου αέρα,
- ✓ η πιθανή παρουσία βακτηρίων στο νερό εμπλουτισμού με συνέπεια την ανάπτυξη ανεπιθύμητων καλλιεργειών στις σωληνώσεις των γεωτρήσεων,
- ✓ η ενδεχόμενη υψηλή περιεκτικότητα σε Na με αποτέλεσμα την πιθανή αποκροκίδωση του εδάφους.

Το βασικό πρόβλημα στα συστήματα Τ.Ε. είναι η **απόφραξη (clogging)** της επιφάνειας διήθησης (πυθμένας λεκανών, τοιχώματα τάφρων και φρεατίων στην ακόρεστη ζώνη, **τοιχώματα γεωτρήσεων εμπλουτισμού**), που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του ρυθμού διήθησης και προκαλείται με διεργασίες:

- **Φυσικές:** συσσώρευση ανόργανων και οργανικών αιωρούμενων υλικών του νερού εμπλουτισμού, κατακόρυφη κίνηση λεπτών σωματιδίων εδάφους του νερού διήθησης ή του ίδιου του εδαφικού υλικού και συσσώρευσή τους σε λεπτό στρώμα απόφραξης σε μικρό βάθος, δημιουργία επιφανειακής κρούστας σε ξηρές λεκάνες όταν εκτίθενται σε βροχή.
- **Βιολογικές:** συσσώρευση φυκιών και βακτηριακών συγκεντρώσεων στο διηθούμενο νερό, ανάπτυξη πάνω και μέσα στο έδαφος βιοφίλμ και βιομάζας, που φράζουν τους πόρους.
- **Χημικές:** καθίζηση ανθρακικού ασβεστίου, γύψου, φωσφορικού άλατος και άλλων χημικών πάνω και μέσα στο έδαφος, παραγωγή αερίων από βακτήρια (άζωτο, μεθάνιο) ή **όταν το νερό εμπλουτισμού περιέχει παγιδευμένο αέρα, διείσδυση σιδήρου και οξειδίου του μαγγανίου ή υδροξειδίων στον εμπλουτισμό με γεωτρήσεις.**
- **Τεχνικές:** αυξάνοντας το βάθος του νερού στις λεκάνες εμπλουτισμού ή την πίεση της έγχυσης στις γεωτρήσεις, συμπιέζεται το στρώμα της απόφραξης μειώνοντας τη διαπερατότητα και κατά συνέπεια το ρυθμό διήθησης.

Η απόφραξη στις γεωτρήσεις εμπλουτισμού ελέγχεται με:

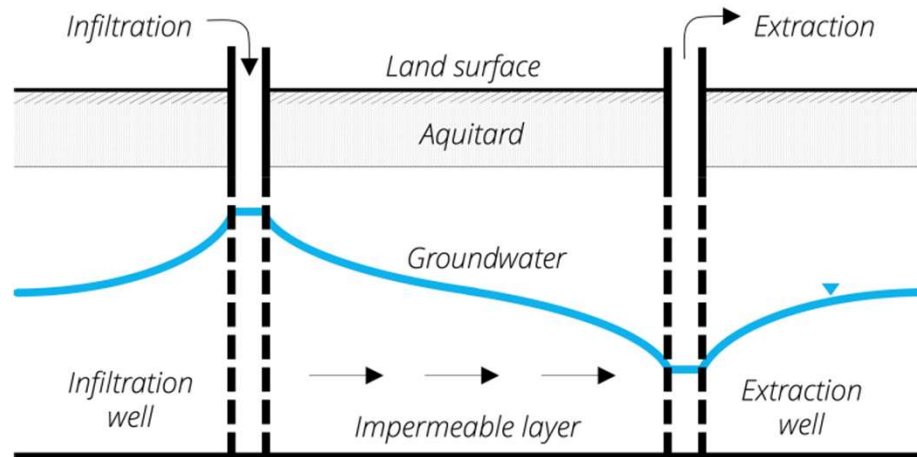
- ✓ με φίλτρα άμμου ή μεμβράνης,
- ✓ με συχνή άντληση και περιοδική ανάπτυξη εκ νέου,
- ✓ με απομάκρυνση του αζώτου, του φωσφόρου και του οργανικού άνθρακα από το νερό εμπλουτισμού (σε εμπλουτισμό με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα),
- ✓ με απολύμανση με χλώριο ή άλλα απολυμαντικά.

- Όπου χρησιμοποιούνται υγρά απόβλητα για εφαρμογή τεχνητού εμπλουτισμού μέσα από γεωτρήσεις, αυτά, πρέπει να υπόκεινται σε εκτενή και σοβαρή επεξεργασία, που περιλαμβάνει τον καταρχήν καθαρισμό του νερού μέχρις ότου φθάσει η ποιότητά του τα στοιχειώδη κριτήρια ποιότητας πόσιμου νερού και στη συνέχεια σε προηγμένες διαδικασίες καθαρισμού (Advanced Wastewater Treatment - AWT).
- Η χρήση υγρών αποβλήτων για εμπλουτισμό με γεωτρήσεις περιορίζεται μόνον σε περιπτώσεις που πρόκειται να αντιμετωπισθούν ειδικά προβλήματα, όπως η καθίζηση του εδάφους, η διείσδυση θαλασσινού νερού κλπ.
- Η δαπάνη επεξεργασίας των αποβλήτων είναι αρκετά υψηλή, προκειμένου να φθάσει η ποιότητά τους τα επιτρεπόμενα όρια ποιότητας χρήσης νερού εμπλουτισμού με τη μέθοδο αυτή.

Μέθοδος με γεωτρήσεις αποθήκευσης - άντλησης (aquifer storage and recovery wells - ASR wells)

- Αποτελούν συνδυασμό γεωτρήσεων εμπλουτισμού και άντλησης. Χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει διαθέσιμο πλεονάζον νερό, και αντλούνται όταν το νερό χρειάζεται.
- Συνήθως οι γεωτρήσεις ASR χρησιμοποιούνται για εποχική αποθήκευση πόσιμου νερού σε περιοχές όπου:
 - οι απαιτήσεις για νερό είναι αρκετά ψηλότερες το καλοκαίρι από ό,τι το χειμώνα ή αντίθετα, ή/και
 - εκεί όπου η επιφανειακή αποθήκευση του νερού δεν είναι δυνατή ή είναι πολύ ακριβή.
- Το χειμερινό πλεόνασμα νερού, με τις ASR γεωτρήσεις, αποθηκεύεται υπόγεια και αντλείται κατά το καλοκαίρι (ή το αντίστροφο), αυξάνοντας έτσι τις ποσότητες πόσιμου νερού που παρέχουν οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας πόσιμου νερού και συντελώντας στη μείωση του κόστους της λειτουργίας όλου του συστήματος, αφού μετά την άντληση, το νερό χρειάζεται απλώς μόνο χλωρίωση.
- Η χρήση των γεωτρήσεων ASR είναι συχνά φθηνότερη από ό,τι η χρήση εγκαταστάσεων επεξεργασίας νερού και επιφανειακών δεξαμενών

Aquifer storage, transfer, and recovery (ASTR)



For Aquifer Storage, Transfer, and Recovery (ASTR) water is injected into the aquifer through one well and is extracted by another well located some distance away. The underground passage facilitates physical and chemical processes that improve the quality of the injected water. This type of MAR is mainly used where thick and low permeability strata is present above the targeted aquifer. Well injection techniques demand a high water quality as the recharged water is injected directly into the aquifer.

Advantages

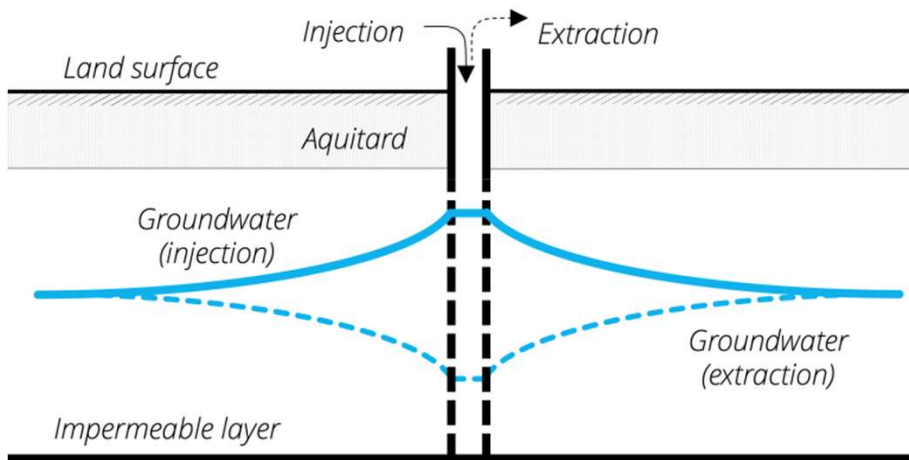
- Infiltration of large quantities of water at relatively low cost.
- Groundwater recharge is not determined by surface characteristics.
- Underground passage as additional treatment step.

Limitations

- Complex design, construction, operation, and maintenance.
- Intensive monitoring of system performance is required.
- High water quality demands of source water.
- High potential for well clogging.

Typical system capacity scale	Village - Town ($\approx 10^4$ m ³ /year - higher than 10^6 m ³ /year).
Geology	Confined or unconfined aquifers composed by unconsolidated rocks.
Topography	Not relevant for this kind of technology.
Soils	Not relevant for this kind of technology.
Water source	River water, lake water, treated wastewater, groundwater, etc. High water quality is required to prevent clogging and pollution of the aquifer.
Pre-treatment	Water must be treated to prevent clogging and to comply with local groundwater regulations
MAR main objective	Treatment of source water, and recovery of groundwater levels.
Relative cost	Medium-High.

Aquifer storage and recovery (ASR)



Advantages

- Clogging is partially remediated during the recovery cycle (water extraction).
- Infiltration of large quantities of water at relatively low cost.
- Non-operative well infrastructure can be used reducing costs. (wells that had fallen dry)
- Groundwater recharge is not determined by surface characteristics.

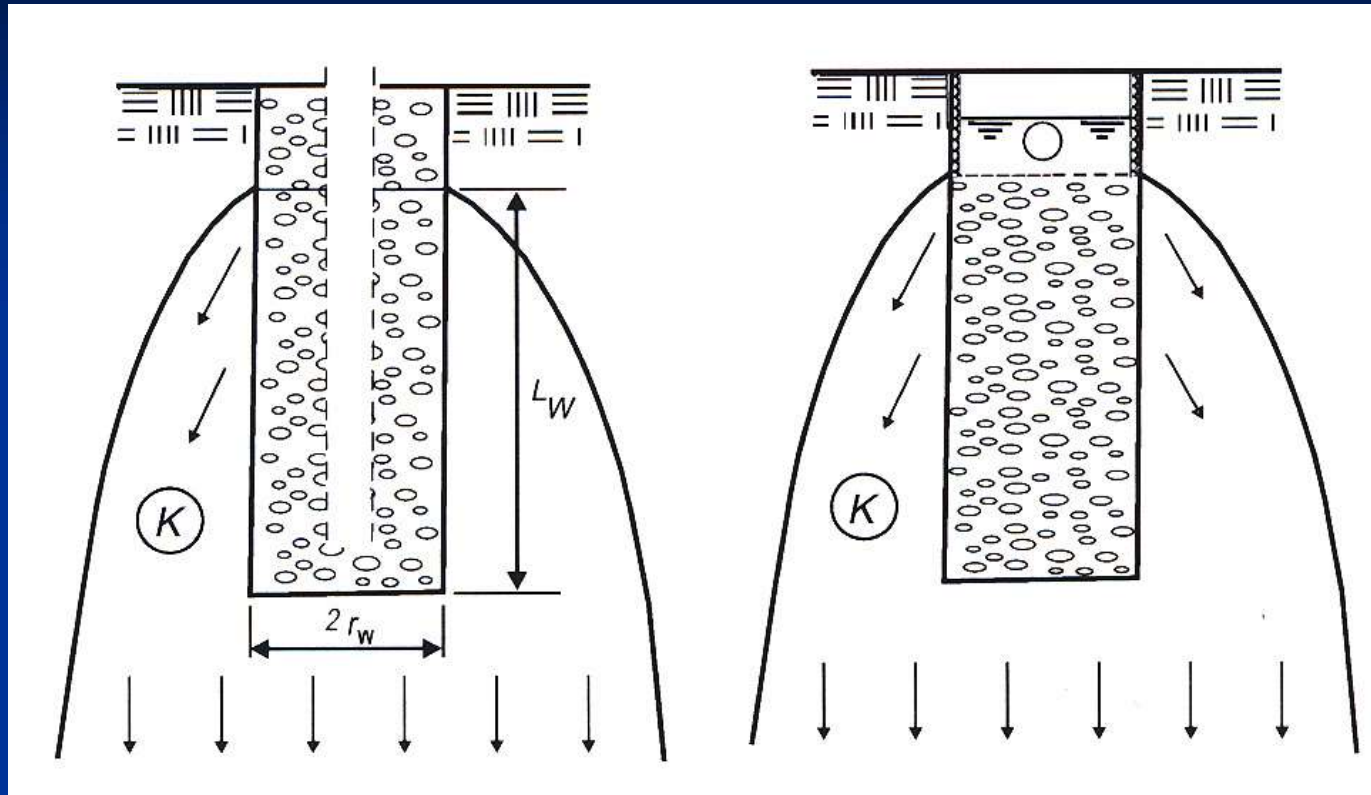
Limitations

- Complex design, construction, operation, and maintenance.
- Intensive monitoring of system performance is required.
- High quality source water.

For Aquifer Storage and Recovery (ASR) a constructed deep well is connected to the targeted aquifer and is used for both water extraction and injection and mainly where thick and low permeability strata is present above the aquifer. Most currently operating ASR systems store drinking water in the aquifer for recovery in during peak demand or to transfer it from times of high to low availability (e.g. rainy to dry season). Well injection methods demand a high water quality for the water to be injected as it is directly injected into the aquifer. Overlaying soil strata is of no importance and only little surface area is required for this technology.

Typical system capacity scale	Village - Town ($\approx 10^4$ m ³ /year - higher than 10^6 m ³ /year).
Geology	Confined or unconfined aquifers composed of unconsolidated rocks.
Topography	Not relevant for this kind of technology.
Soils	Not relevant for this kind of technology.
Water source	River water, lake water, storm water, groundwater, etc. High water quality is expected to prevent clogging and pollution of the aquifer.
Pre-treatment	High needs for pre-treatment. Water must be treated to prevent clogging and to comply with local groundwater standards.
MAR main objective	Recover groundwater levels and to serve as a barrier for saline intrusion.
Relative cost	Low-medium.

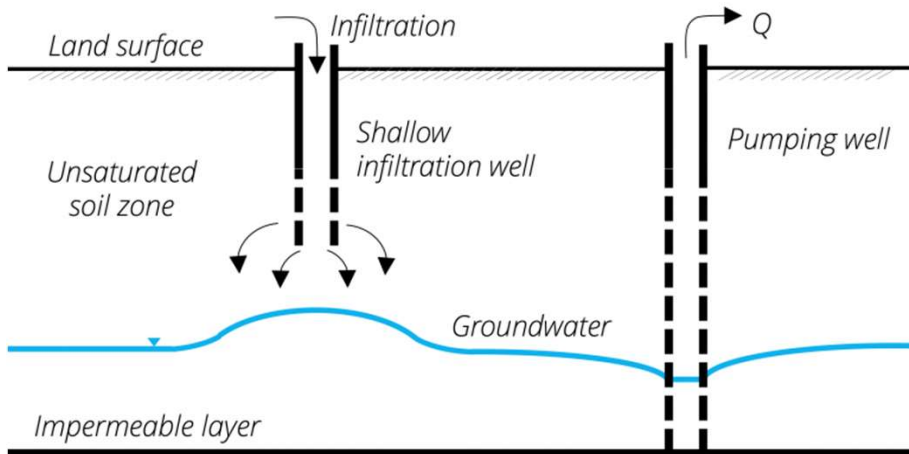
Μέθοδος με πηγάρια στην ακόρεστη ζώνη (vadose - zone wells)



Τομή φρεατίου εμπλουτισμού στην ακόρεστη ζώνη (αριστερά) (vadose-zone well) με αμμώδη ή χαλικώδη πλήρωση και κατακόρυφου διάτρητου σωλήνα παροχέτευσης νερού και τομή τάφρου εμπλουτισμού (δεξιά) (recharge trench) με επικάλυψη, πληρωμένης με αμμώδη ή χαλικώδη υλικά και σωλήνα παροχέτευσης νερού που επικάθεται της πλήρωσης. Τα βέλη απεικονίζουν τη ροή μέσα στη διαβρεγμένη ζώνη υδραυλικής αγωγιμότητας K (Bouwer, 2002).

- Είναι πηγάδια που διατρέχουν την ακόρεστη ζώνη φτάνοντας σε βάθος 10-50 m και έχουν διάμετρο 1-2 m.
- Χρησιμοποιούνται για την απόθεση και διήθηση των απορροών των καταιγίδων σε περιοχές με σχετικά χαμηλές βροχοπτώσεις και χωρίς εγκαταστάσεις αποχέτευσης όμβριων νερών.
- Όπου το βάθος του υδροφόρου είναι μεγάλο (100-300 m), η εφαρμογή αυτού του τύπου των πηγαδιών είναι αρκετά πιο φτηνή από εκείνη των γεωτρήσεων εμπλουτισμού, και προτιμάται η πρώτη.
- Το κύριο πρόβλημα είναι η δημιουργία του φαινομένου clogging στα τοιχώματα του πηγαδιού
- Αρκετά πιο δαπανηρή από τις αντίστοιχες μεθόδους επιφανειακού εμπλουτισμού.

Shallow wells, shafts and pits infiltration



The infiltration through shallow wells, shafts or pits is usually practiced to recharge a phreatic aquifer where spreading methods cannot be applied because of the existence of a low permeability surface layers. Often abandoned wells or pits are used that had previously fallen dry. The water fed into the structure will slowly replenish the aquifer. It is a cost effective method because recharge is governed by gravity flow only.

Advantages

- Existing facilities may be used to reduce costs of building new infrastructure.
- In the case of shallow wells, water recovery through the same structure reduces clogging.

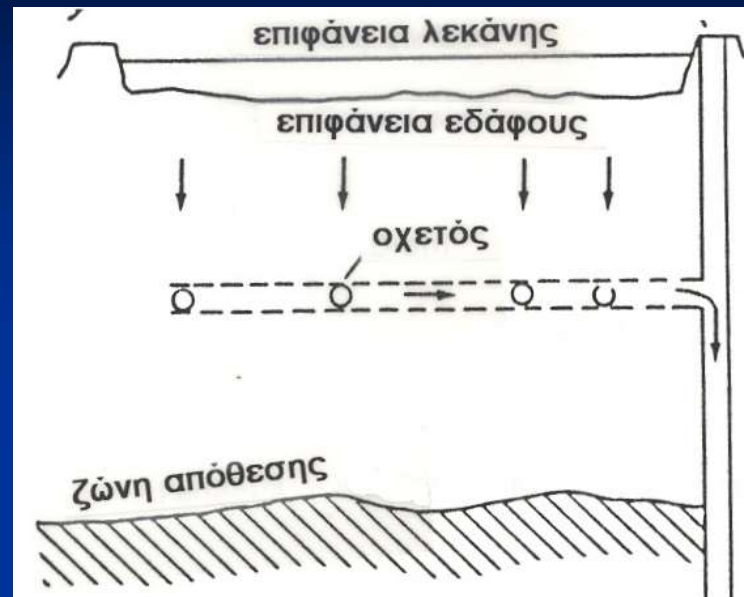
Limitations

- High water quality demands of source water.

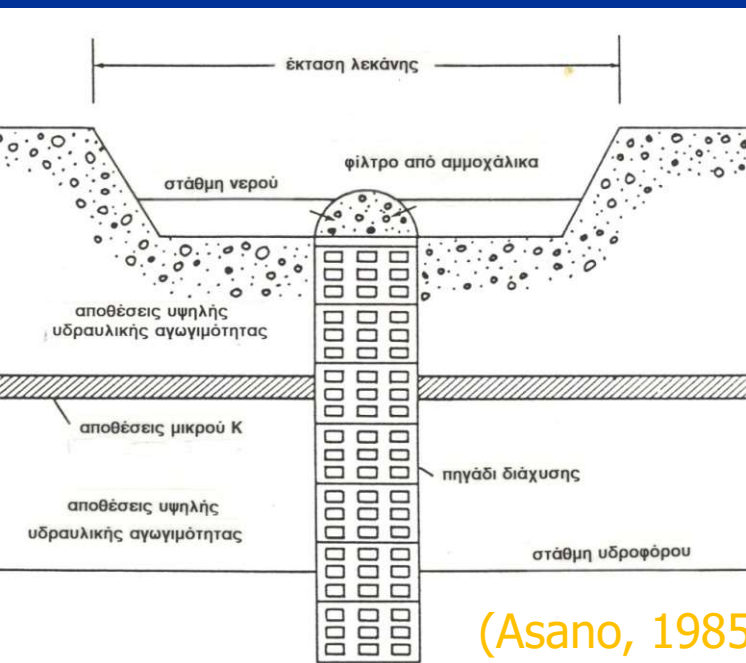
Typical system capacity scale	Village – Town ($\approx 10^4$ m ³ /year – $\approx 10^6$ m ³ /year).
Geology	Unconfined aquifers composed of unconsolidated rocks where a surface low permeability layer is present.
Topography	Flat terrains may be associated with lower erosion and less clogging by sediments.
Soils	Not relevant for this kind of technology.
Water source	River water, lake water, treated wastewater, storm water.
Pre-treatment	Water treatment is recommended to prevent clogging and to comply with local groundwater regulations.
MAR main objective	Recover groundwater levels.
Relative cost	Low-Medium (existing infrastructure may be used to reduce costs).

Συνδυασμοί επιφανειακού και υπεδαφικού εμπλουτισμού (combination of surface - subsurface recharge)

- ✓ Συνδυασμός λεκάνης εμπλουτισμού και αποστραγγιστικού δικτύου (basins with subsurface drainage collectors and wells)



(Bianchi et al., 1978, Καλλέργης 1986)

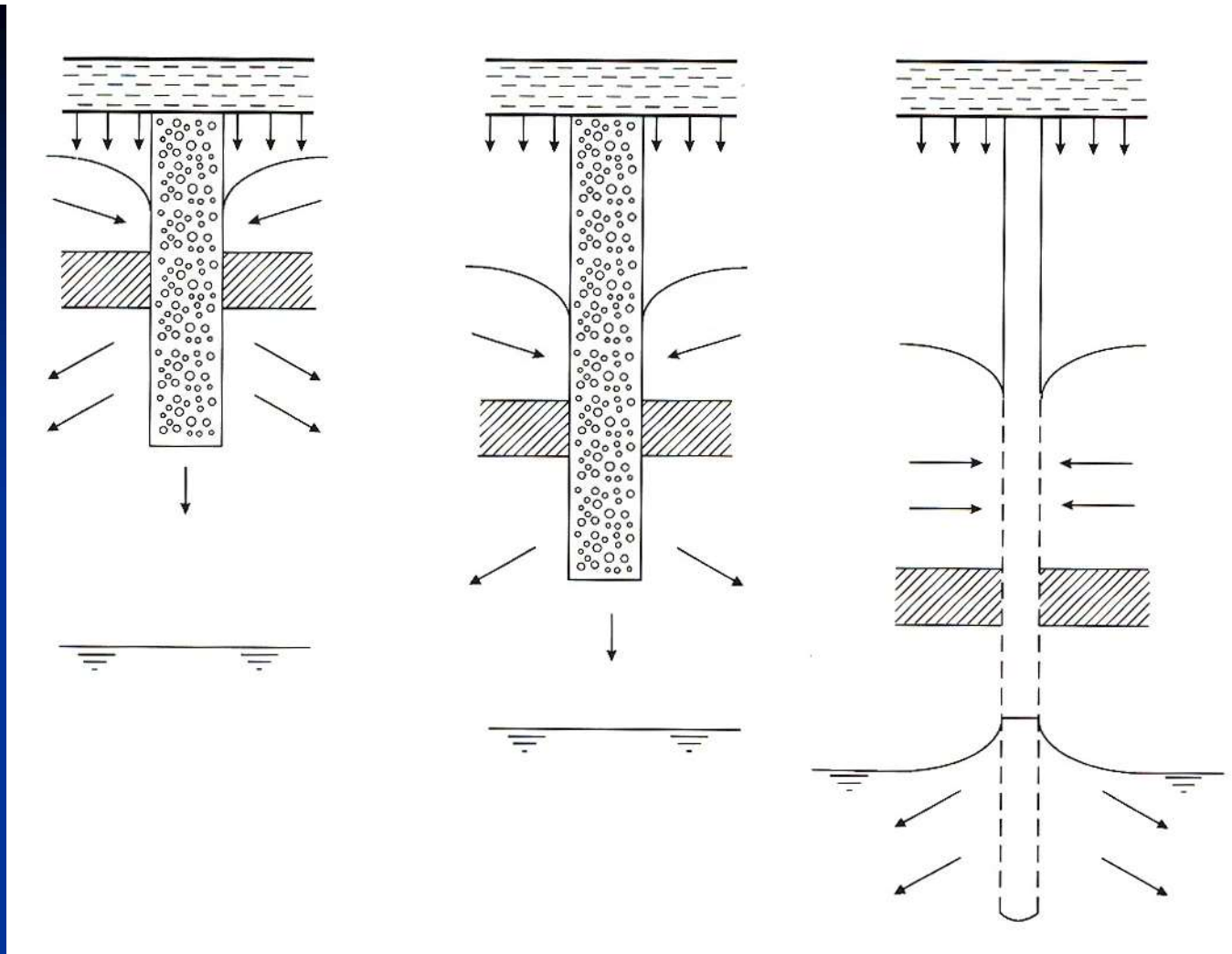


(Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

- ✓ Συνδυασμός λεκανών και ορυγμάτων, εκσκαφών ή γεωτρήσεων (basins with pits, shafts, or wells)



Συνδυάζονται τα πλεονεκτήματα του επιφανειακού εμπλουτισμού (ευκολία συντήρησης, μεγάλες επιφάνειες διήθησης, δυνατότητα αποθήκευσης νερού) με αυτά του υπεδαφικού εμπλουτισμού (προσπέλαση σε βαθύτερους υδροφόρους και ελάχιστες απαιτήσεις σε γη).



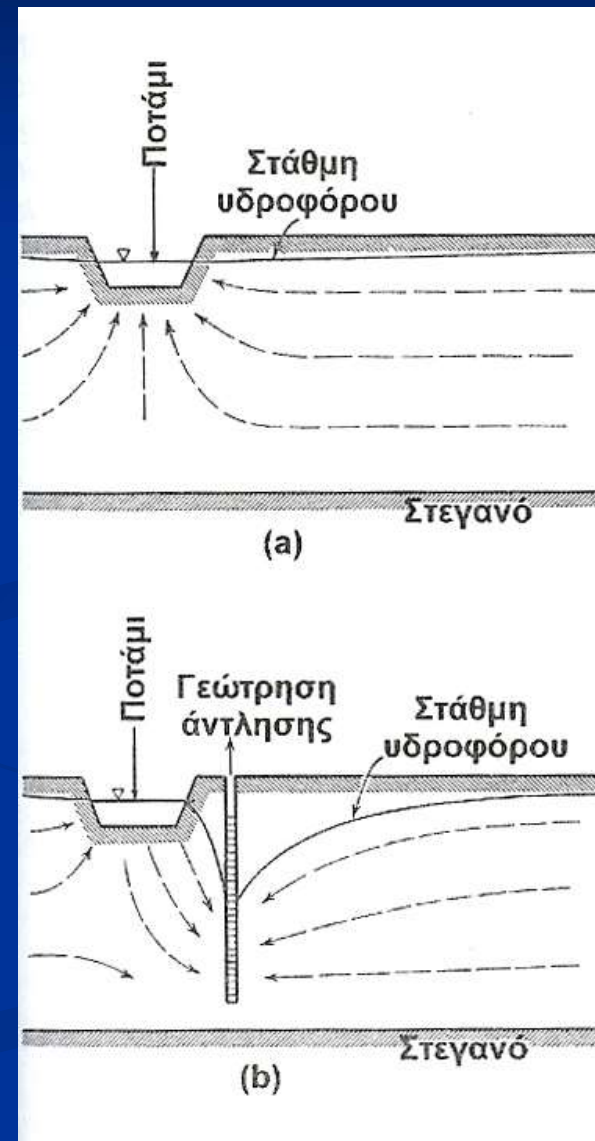
Τομές όπου παρουσιάζονται συστήματα επιφανειακής διήθησης με ενστρώσεις παρεμπόδισης (με γραμμοσκίαση) και κρεμάμενο υπόγειο νερό να αποστραγγίζεται προς υποκείμενο ελεύθερο υδροφόρο διαμέσου τάφρου (αριστερά), διαμέσου φρεατίου στην ακόρεστη ζώνη (στο μέσο) και διαμέσου γεώτρησης (δεξιά) (Bouwer, 2002).

Μέθοδοι έμμεσου εμπλουτισμού (indirect recharge)

- ✓ Επαγωγικός εμπλουτισμός
- ✓ Συμπωματικός εμπλουτισμός
- ✓ Διευθέτηση υδροφορέων

Επαγωγικός εμπλουτισμός (induced surface water recharge)

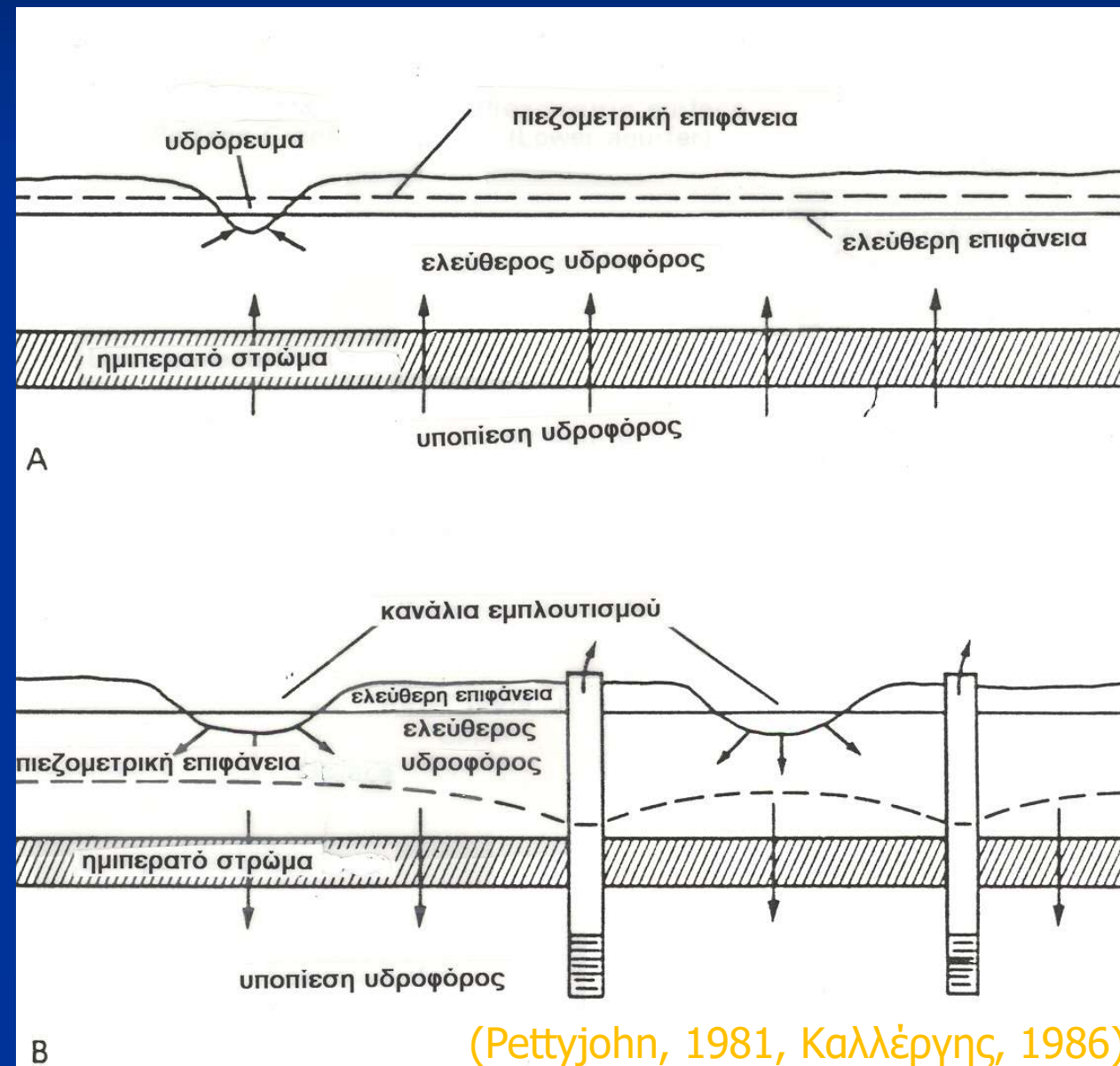
- Άντληση υπόγειου νερού σε περιοχή σε άμεση υδραυλική επικοινωνία (γειτνιάζει) με ένα υδρόρρευμα ή μια λίμνη
- Μέθοδος φθινή και πολύ αποτελεσματική
- Η ποσότητα του νερού που εισέρχεται στον υδροφόρο, εξαρτάται από την ποσότητα και την εγγύτητα του επιφανειακού νερού
- Παροχή νερού ελεύθερου οργανικών υλών και παθογόνων βακτηρίων



(Καλλέργης, 1986)

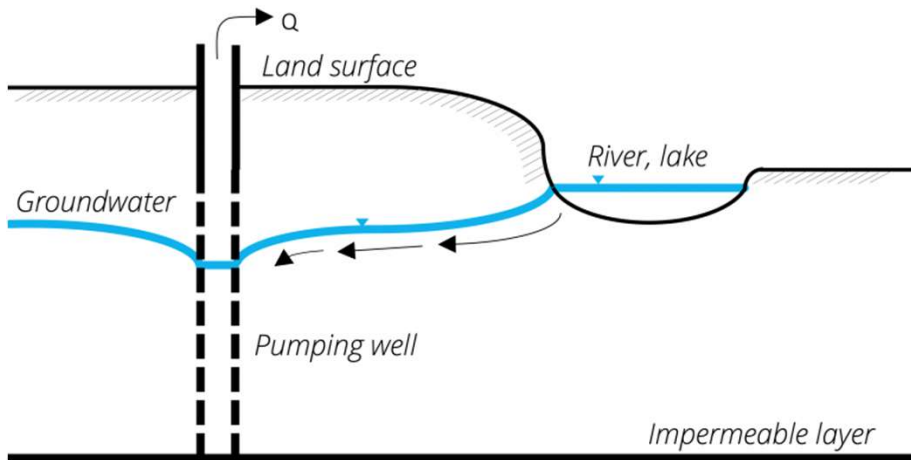
A: κατάσταση πριν την άντληση

B: μετά την άντληση



(Pettyjohn, 1981, Καλλέργης, 1986)

Induced bank filtration



For river/lake bank filtration surface water from a river or lake is induced to infiltrate by pumping on a well gallery or line of wells parallel to the bank of the water source. Pumping at the gallery of wells lowers the water table adjacent to the river or lake, inducing water to infiltrate into the aquifer system. This process serves as a principal treatment step improving the water quality of the surface water. The passage of water through the river or lake bed and the aquifer removes dissolved and suspended pollutants and pathogens by chemical, physical and biological processes.

Advantages

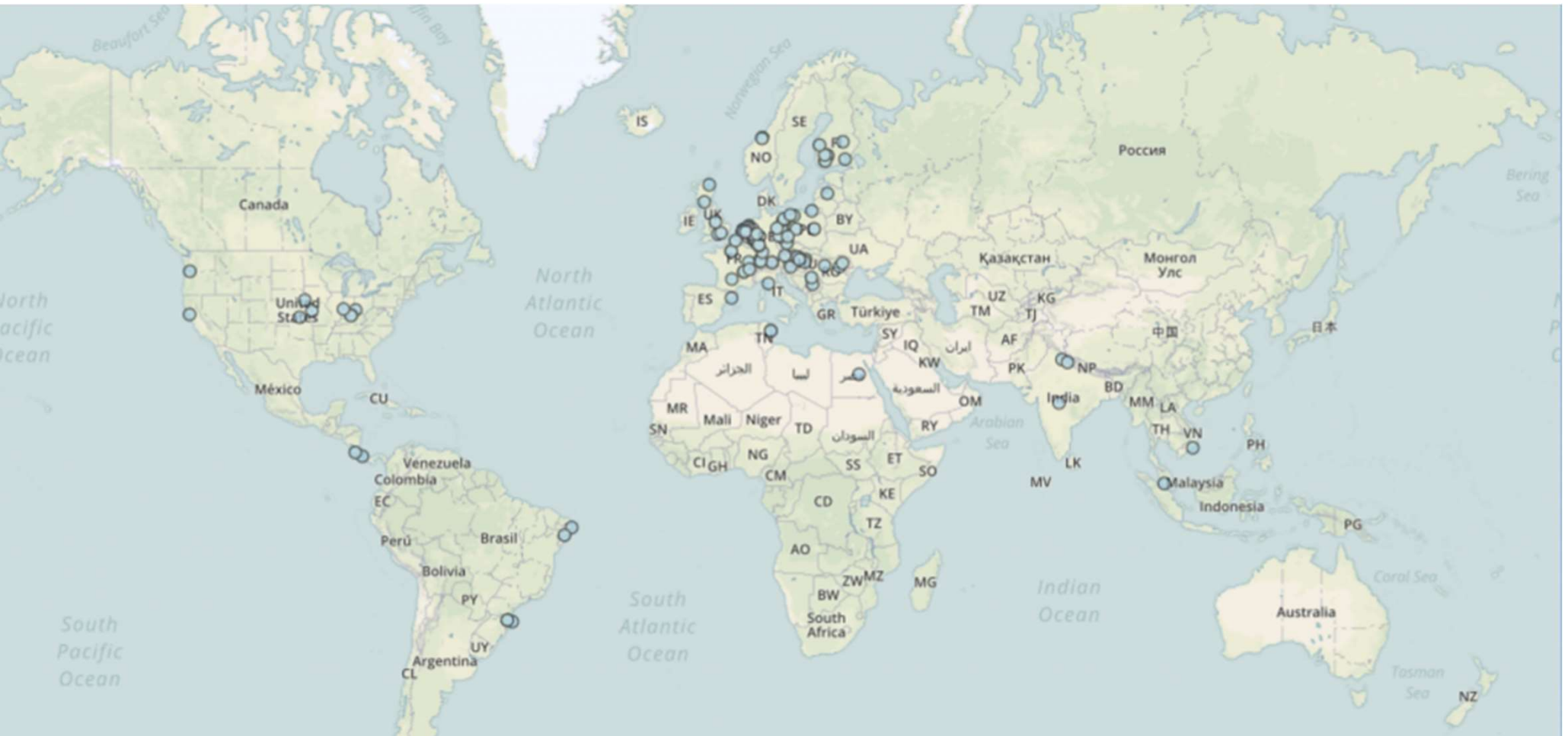
- Large quantities of water can be withdrawn.
- Pollutants contained in source water may be removed by filtration processes.

Limitations

- Complex design, construction, operation, and maintenance.
- Intensive monitoring of system performance is required.
- High potential for well clogging.
- High costs.

Typical system capacity scale	Village - Town ($\approx 10^4$ m ³ /year - higher than 10^6 m ³ /year).
Geology	Unconfined sediments.
Topography	Floodplains, lake banks.
Soils	Sand, gravel.
Water source	River water, lake water.
Pre-treatment	Not required. Commonly riverbank filtration is used as a pre-treatment process.
MAR main objective	Improve water quality.
Relative cost	Medium-high.

Induced bank filtration



Induced bank filtration sites worldwide (source: [Global MAR Portal](https://inowas.com/category/mar-methods/))

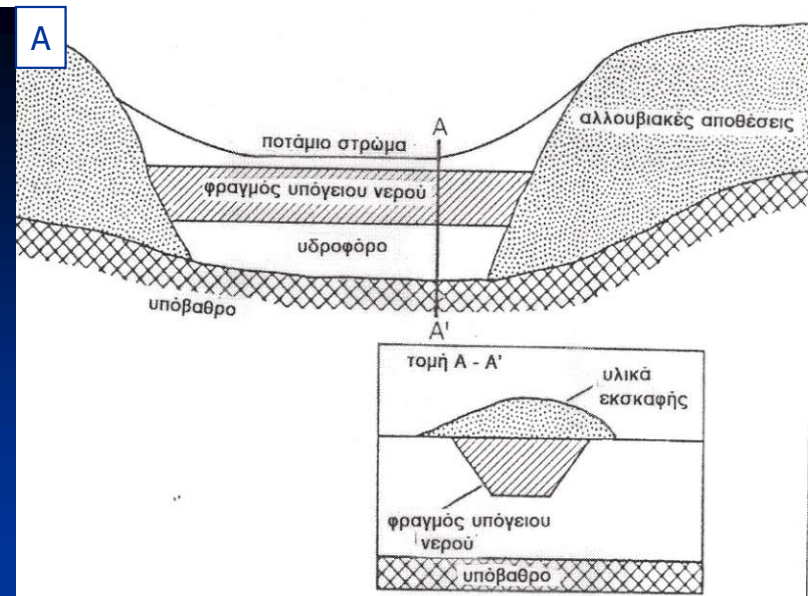
(<https://inowas.com/category/mar-methods/>)

Συμπτωματικός εμπλουτισμός (incidental recharge)

- Ο εμπλουτισμός αυτός είναι αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του ανθρώπου, που δεν συνδέονται κατ' αρχήν με τον Τ.Ε. των υδροφόρων.
- Σ' αυτήν την κατηγορία ανήκει ο εμπλουτισμός που προέρχεται από τις επιστροφές από άρδευση, τις διαρροές καταβοθρών, σηπτικών δεξαμενών, διαφόρων υπονόμων, αγωγών, καναλιών κ.λ.π

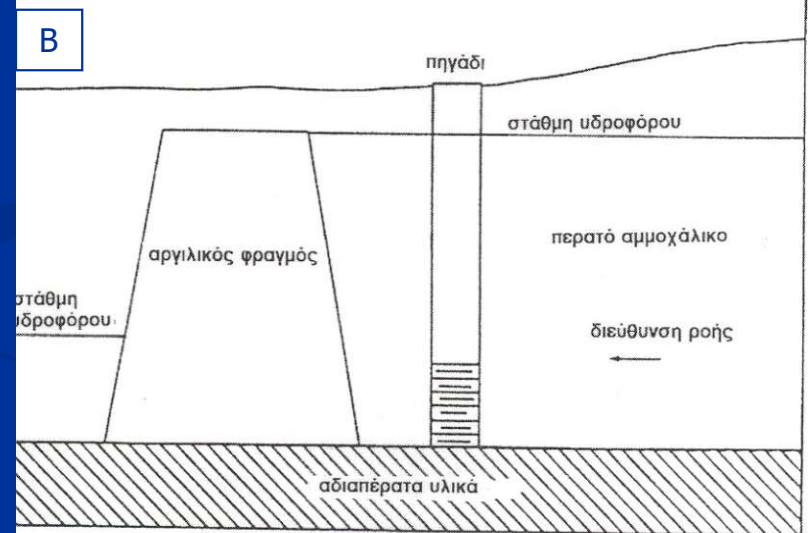
Διευθέτηση υδροφορέων (aquifer modification)

A: παρεμπόδιση της εξόδου ροής

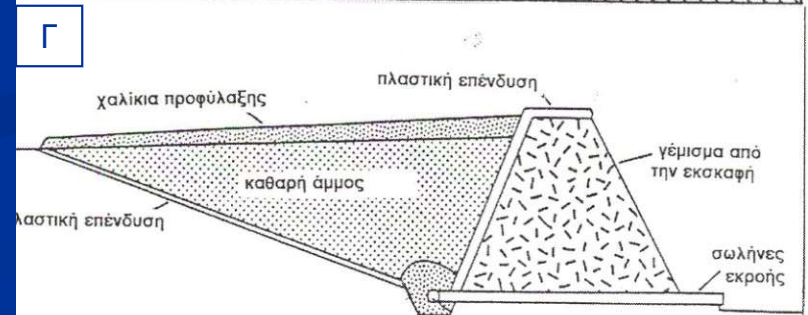


(Asano, 1985, Καλλέργης, 1986)

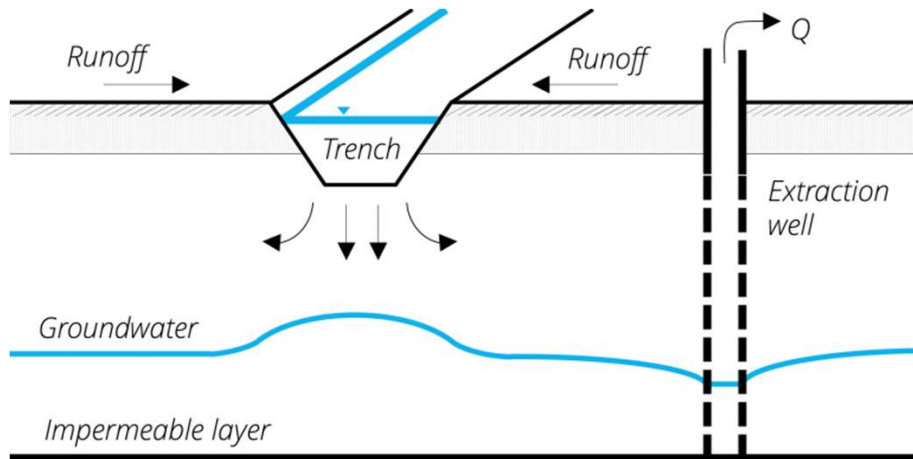
B: αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας
(υπόγειο διάφραγμα)



Γ: κατασκευή τεχνητού υδροφορέα



Trenches



Rainwater harvesting is being increasingly used to collect precipitation water. The idea of trenches is to obstruct surface runoff from catchments and concentrate the water to be infiltrated. The collected rainwater can be recharged through trenches, ditches and pits. These structures are easy to build and maintain and very adaptable.

Advantages

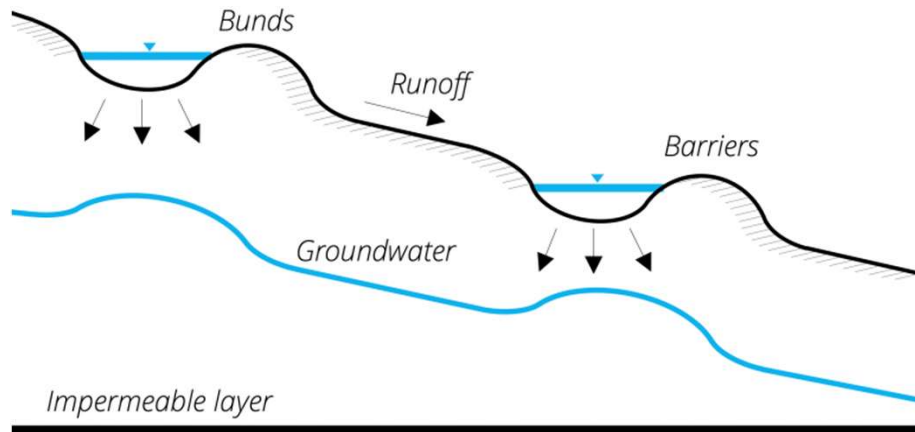
- Low cost and simple design.
- Prevention of soil erosion.

Limitations

- Water quality might be problematic (fertilizer).
- Relatively small infiltration quantities.

Typical system capacity scale	Family to Village (10^2 - 10^3 m ³ /a)
Geology	Unconfined aquifers.
Topography	Rural areas with gently slopes.
Soils	Sandy soils.
Water source	Rain water.
Pre-treatment	None.
MAR main objective	Strategic water storage.
Cost	Low.

Barriers and bunds



Rainwater harvesting is being increasingly used to collect precipitation water. The idea of barriers is to obstruct surface runoff from catchments and prohibit flow of the water to be infiltrated. The collected rainwater can be achieved by building bunds, barriers or contour ridges. These structures are easy to build and maintain and very adaptable. They can also be used in combination with trenches.

Advantages

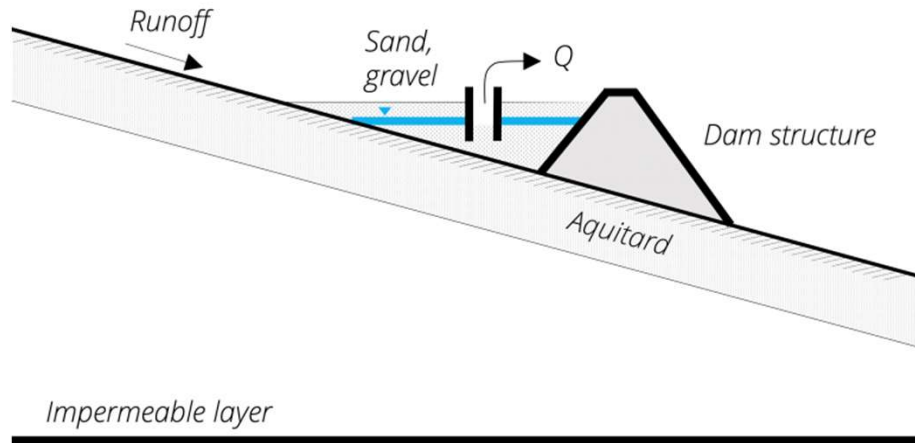
- Low cost and simple design.
- Prevention of soil erosion.

Limitations

- Water quality might be problematic (fertilizer).
- Relatively small infiltration quantities.

Typical system capacity scale	Family to Village (10^2 - 10^3 m ³ /a)
Geology	Unconfined aquifers.
Topography	Rural areas with gently slopes.
Soils	Sandy soils.
Water source	Rain water.
Pre-treatment	None.
MAR main objective	Strategic water storage.
Cost	Low.

Sand dams



Sand dams are impounding structures constructed above ground within intermittent river channels. During rainfall events, storm water runoff will accumulate sands and gravels behind the dam structure. This creates an artificial aquifer upstream of the dam that can store the storm water runoff. The reservoirs will fill during rainfall events and store the water instead of losing it to the catchment. Sand dams can increase water availability during dry seasons, prevent water evaporation, and protect water from contamination. They can be built with local materials.

Advantages

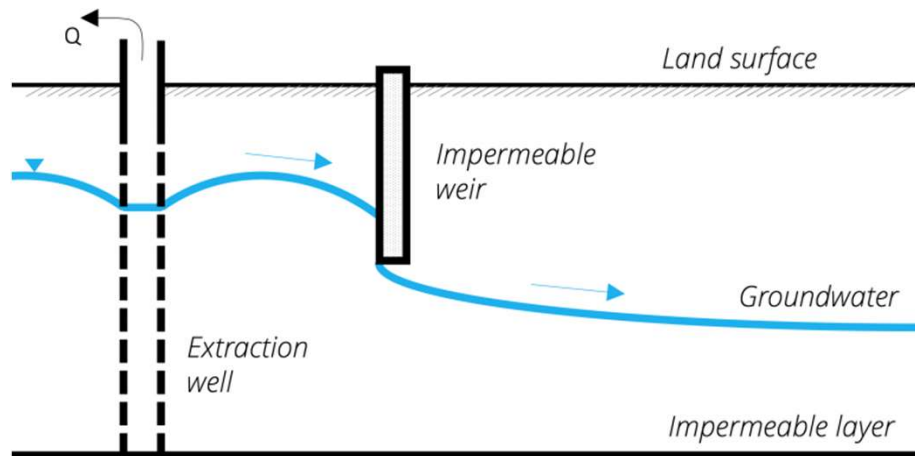
- Low costs of construction.
- Low maintenance.
- No interference with other land use.

Limitations

- Potential ownership conflicts.
- Potential for water pollution.
- Relatively small infiltration rates.

Typical system capacity scale	Village – Town ($\approx 10^4$ m ³ /year – $\approx 10^6$ m ³ /year).
Geology	Mainly crystalline rocks with sandy riverbeds.
Topography	Natural drainage channels with gentle slopes.
Soils	Sandy riverbeds.
Water source	Stormwater.
Pre-treatment	No pretreatment is used.
MAR main objective	Water storage.
Relative cost	Low.

Subsurface dams



Subsurface dams are barriers of low permeability that are constructed underground. These structures reduce or stop the lateral flow of groundwater in order to store water below ground and elevate the groundwater table. To construct a subsurface dam, a trench is built across a stream or valley until the depth of the bedrock or a layer of clay is reached. Within the trench, an impervious or low permeability wall is constructed and the trench is afterwards filled with the excavated material.

Advantages

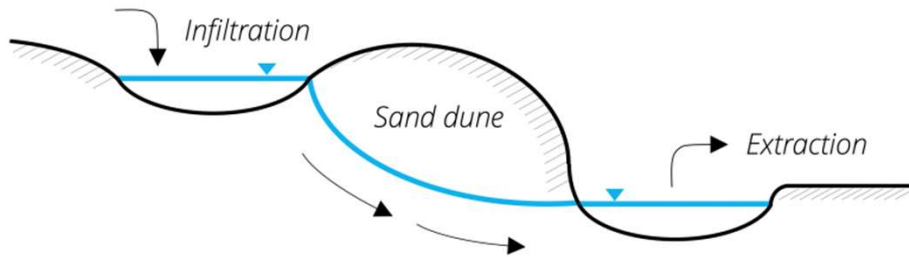
- Low costs of construction.
- Low maintenance.
- No interference with other land use.

Limitations

- Potential ownership conflicts.
- Relatively small infiltration rates.
- Quality control of the dam may be difficult.
- Very specific sub-surface characteristics need to be met.

Typical system capacity scale	Village - Town ($\approx 10^4$ m ³ /year - $\approx 10^6$ m ³ /year).
Geology	Unconfined aquifers with an impervious layer located a few meters below the surface.
Topography	Natural drainage channels, mainly on intermittent or ephemeral stream conditions.
Soils	Unconsolidated sands and gravels.
Water source	River water.
Pre-treatment	No pretreatment is used.
MAR main objective	Water storage.
Relative cost	Low.

Dune filtration



Impermeable layer

For dune filtration surface water is infiltrated into the dune system and after soil passage retrieved by pumping on a well gallery or lower lying ponds. This process serves as an additional treatment step improving the water quality of the infiltrated water. The passage of water through the dune system removes dissolved and suspended pollutants and pathogens by chemical, physical and biological processes.

Advantages

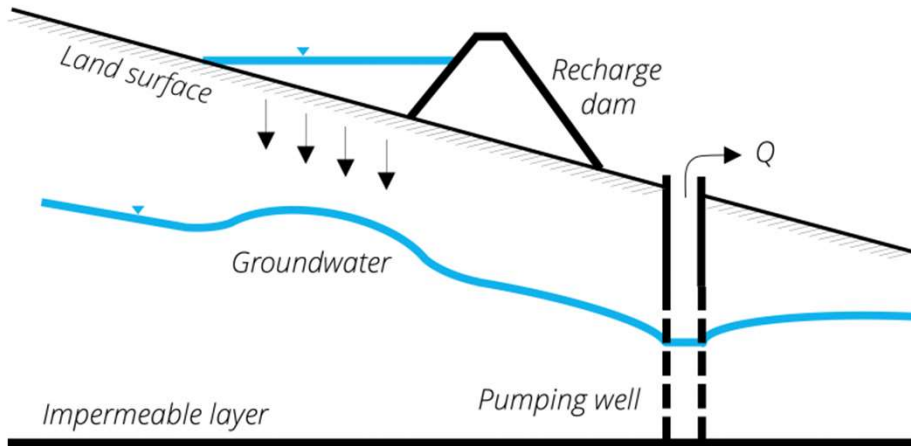
- Large quantities of water can be withdrawn.
- Pollutants contained in source water may be removed by filtration processes.

Limitations

- Intensive monitoring of system performance is required.
- High potential for clogging.

Typical system capacity scale	Village – Town ($\approx 10^4$ m ³ /year – higher than 10^6 m ³ /year).
Geology	Unconfined sediments.
Topography	Dunes.
Soils	Sand, gravel.
Water source	Rain water, river water, treated wastewater.
Pre-treatment	Dependent on source water – coagulation and sedimentation.
MAR main objective	Improvement of water quality.
Relative cost	Medium.

Recharge dams



Recharge dams are impermeable structures built into stream channels that store stream runoff water by creating surface reservoirs upstream of the dam. They can be either designed to recharge the groundwater by enhancing surface water infiltration behind the recharge dam or by controlled release of water through the dam and downstream infiltration through the river bed.

Advantages

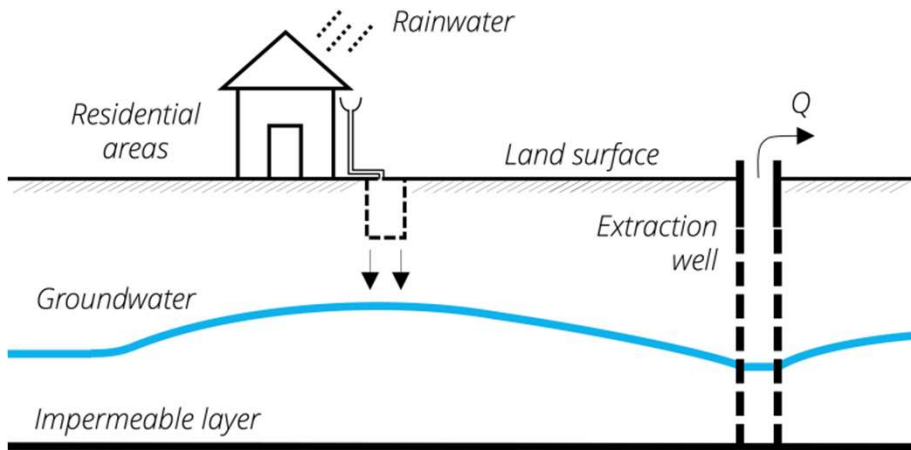
- Little interference with other land use.
- Storage of flash floods.

Limitations

- Dam failure may cause high damages downstream the dam.

Typical system capacity scale	Village – Town ($\approx 10^4 \text{m}^3/\text{year}$ – $\approx 10^6 \text{m}^3/\text{year}$).
Geology	Unconfined aquifers.
Topography	Natural drainage channels, mainly on intermittent or ephemeral stream conditions.
Soils	Permeable river bed, sand gravel.
Water source	River water.
Pre-treatment	Silt traps may be used to mitigate clogging.
MAR main objective	Strategic water storage.
Relative cost	Low to moderate (depends on size of the dam).

Rooftop rainwater harvesting



Rooftop rainwater harvesting is being increasingly used in urban areas to collect precipitation water. Uses are manifold and include surface storage in tanks, usage for irrigation and groundwater recharge. The collected rainwater can be reached through trenches, reverse drainage or any other methods with small area requirements. As urban areas are characterized by sealed surfaces, harvesting and recharge can help to sustain groundwater levels. They also help to decrease storm water runoff with its potential threats of pollutant accumulation.

Advantages

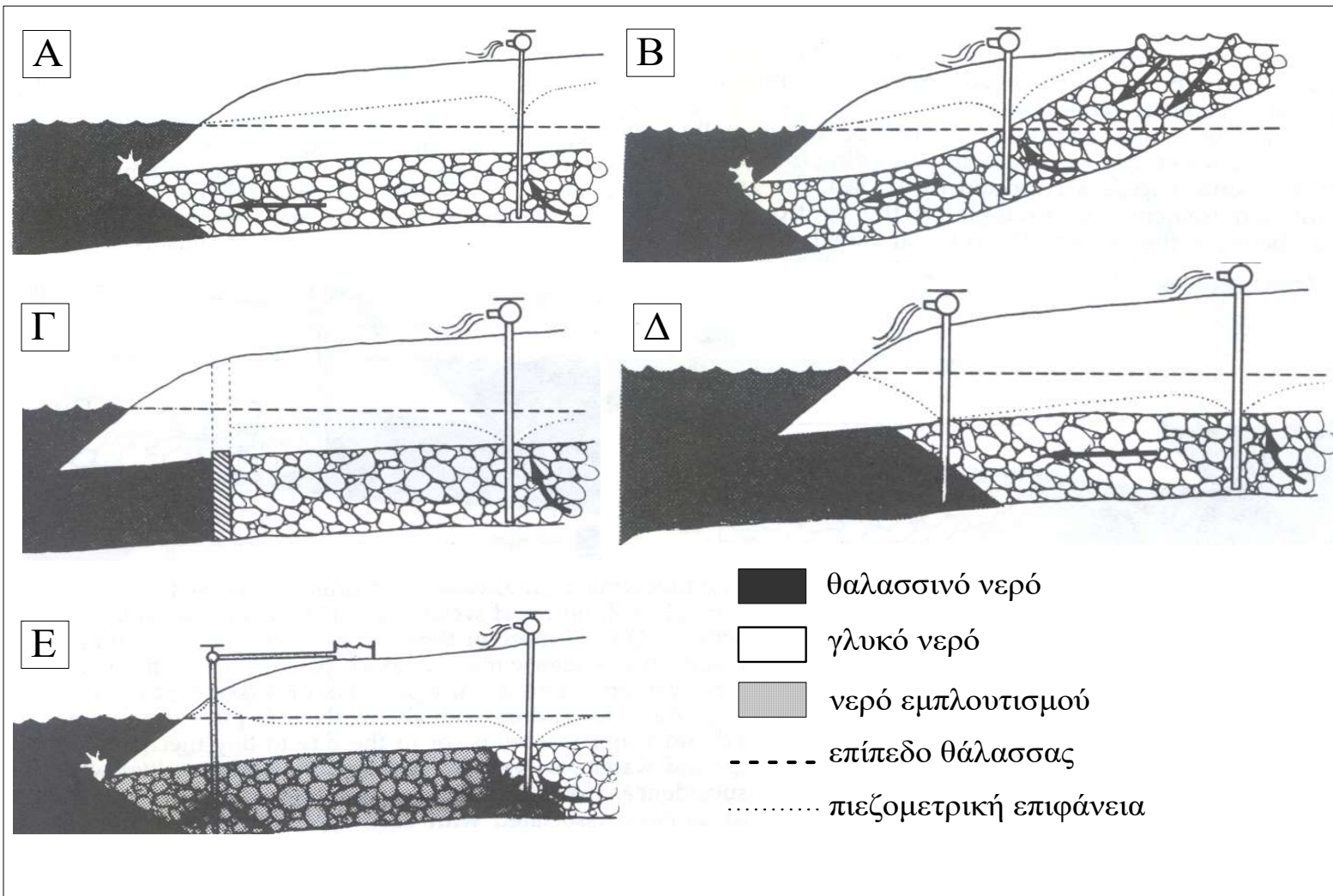
- Use of already existing structures (rooftops, roads).
- Storage of rain events, less flooding.
- Relief of WWTP in case of mixed water collection.

Limitations

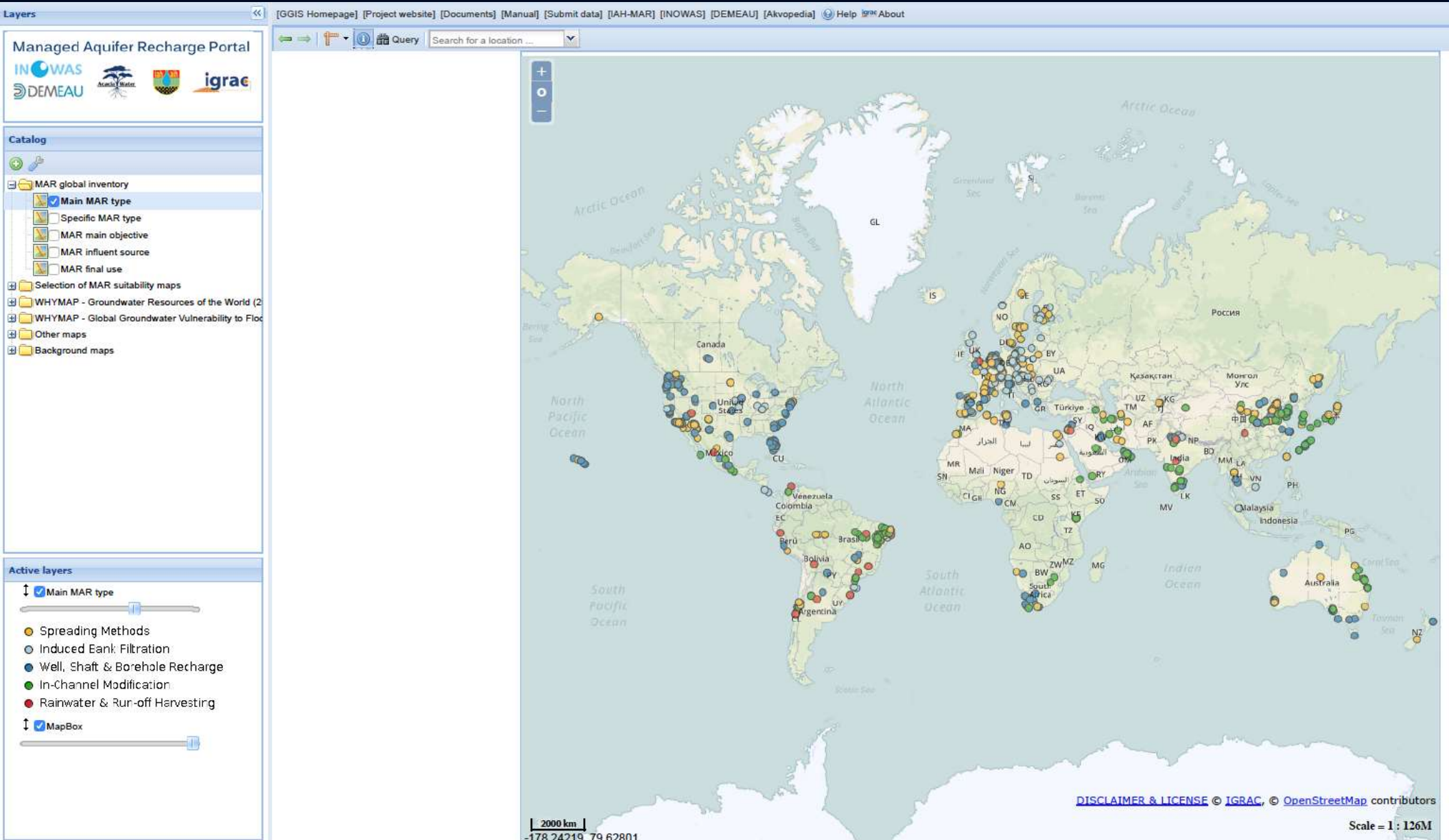
- Water quality might be problematic (road pollution).

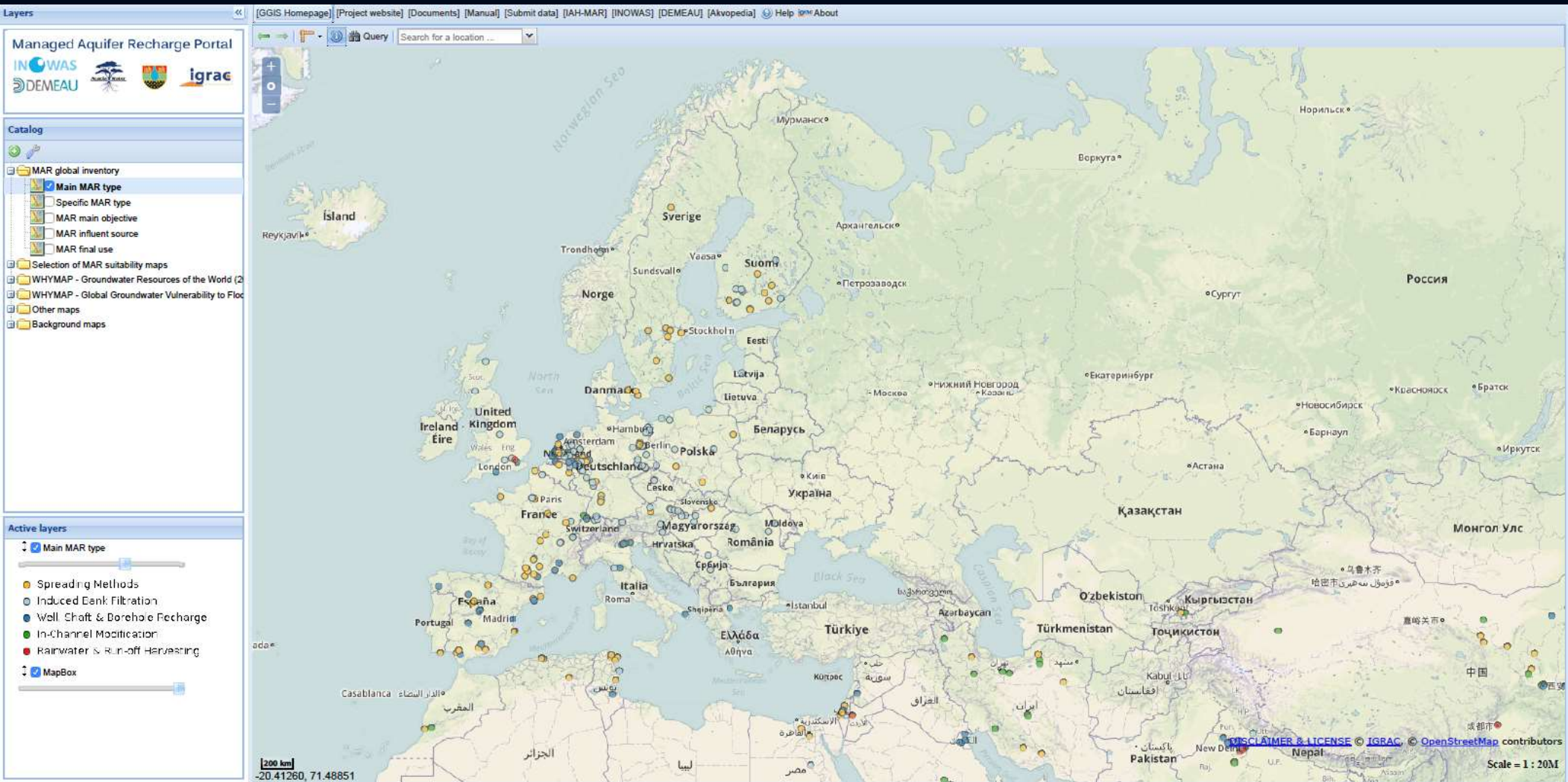
Typical system capacity scale	Family to Village (10^2 - 10^3 m ³ /a)
Geology	Unconfined aquifers.
Topography	Urban areas. Sealed surfaces.
Soils	Sandy soils.
Water source	Rain water.
Pre-treatment	Depending on local requirements, e.g. greened roofs.
MAR main objective	Strategic water storage. Mitigation of effects of urbanization.
Cost	Moderate.

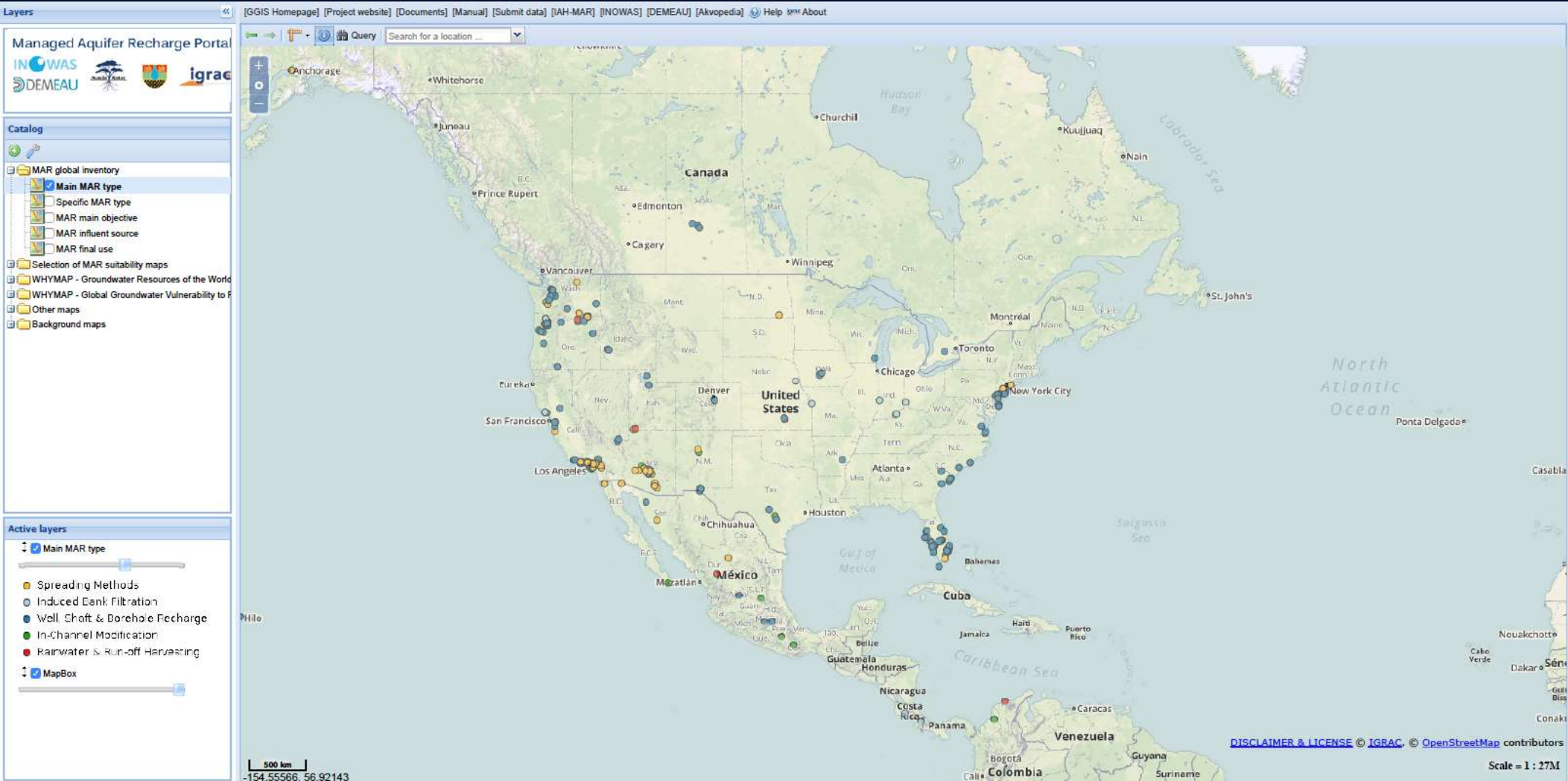
Εφαρμογή Τ.Ε. για την αντιμετώπιση της θαλάσσιας διείσδυσης (sea water intrusion)



Μέθοδοι αντιμετώπισης της θαλάσσιας διείσδυσης σε υπό πίεση υδροφόρους με:
(A) ελεγχόμενες αντλήσεις, (B) επιφανειακό τεχνητό εμπλουτισμό, (Γ) υπόγειο φυσικό φραγμό, (Δ) κοίλωμα άντλησης (rumping-trough), (E) συνδυασμό ελεγχόμενων αντλήσεων και γεωτρήσεων εμπλουτισμού (από ASCE, 1987).







ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ Τ.Ε.

Στο πλαίσιο της βιώσιμης διαχείρισης του υπόγειου νερού, είναι σημαντικό να εκτιμάται η αποτελεσματικότητα των συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού σε σχέση με την ικανότητά τους να εμπλουτίζουν τους υδροφόρους.

**Η αποτελεσματικότητα των εφαρμογών Τ.Ε.
(effectiveness of groundwater artificial recharge)**
επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες που έχουν σχέση με:

- το κλίμα,
- τη γεωλογία τη γεωμορφολογία και την υδρογεωλογία,
- τη διαθεσιμότητα και την ποιότητα του νερού,
- ζητήματα λειτουργίας και συντήρησης των εγκαταστάσεων Τ.Ε.,
- περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές θεωρήσεις.

ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ Τ.Ε.

Μέθοδοι εκτίμησης της αποτελεσματικότητας των συστημάτων Τ.Ε. στην κλίμακα τόσο του ταμιευτήρα όσο και της λεκάνης απορροής:

- μελέτη και προσδιορισμός των όρων ενός λεπτομερούς υδρολογικού ισοζυγίου,
- μέτρηση της στάθμης στον ταμιευτήρα,
- παρακολούθηση της στάθμης του υπόγειου νερού,
- υπολογισμός της εξατμίσης από το ισοζύγιο μάζας χλωρίου (chloride mass balance), με την τεχνική διείσδυσης άλατος (salt penetration technique), ή με τη μέθοδο σταθερών ισοτόπων (stable isotope method),
- διηθήμετρα (infiltrometers),
- μετρητές διαρροής (seepage meters),
- εμπειρικοί τύποι,
- αριθμητικά μοντέλα.

	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ	ΑΛΛΟΥΒΙΑ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΑ ΥΔΡΟΦΩΡΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΚΛΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΛΕΠΤΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΖΩΝΗ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗ-ΡΙΣΤΙΚΑ	Ποτάμεις, θαλάσσιες και λιμναίες αποθέσεις κλιμακούμενες σε πάχος από μερικές δεκάδες μέτρα έως χιλιόμετρα. Επαλληλία στρώσεων αργίλου, άμμου και χαλικιών καθώς και ασβεστούχων στρωμάτων. Χαμηλότερες απολήξεις ποταμών που διαμορφώνουν πλημμυρικά πεδία αρκετά χαμηλής μορφολογίας.	Ποτάμεις και διλουβιακές αποθέσεις σε ανάντη τμήματα ποταμών. Οι αποθέσεις είναι αμμόδεις έως χονδρόκοκκες και σχηματίζουν υδροφόρους πάχους μερικών δεκάδων μέτρων. Οι υποκείμενοι υδροφόροι εμφανίζονται σε ρωγματομένα, εκρηξιγενή ή και μεταμορφωμένα πετρώματα, συνήθως σε υδραυλική σύνδεση με τους υπερκείμενους αλλουβιακούς σχηματισμούς.	Ο υδροφόρος εμφανίζεται σε ρωγματομένο βραχώδες υπόβαθρο που αποτελείται από εκρηξιγενή μεταμορφωμένα ή και ηφαιστειακά πετρώματα. Η εδαφική αποσαθρωμένη ζώνη είναι πολύ λεπτή για να αποθηκεύσει νερό παρά μόνο πολύ λίγο κατά τόπους. Συνήθως φρεατικοί υδροφόροι σε σκληρά πετρώματα με εξάρτηση από την αλληλοσυνδέση των ασυνεχειών.	Υδροφόροι που το εδαφικό τους υλικό αποτελείται από μείγμα κόκκων άμμου που συγκρατούνται μεταξύ τους με κάποιο υλικό (π.χ. ασβεστιτικό, πυριτικό) ή έχουν σχηματιστεί μέσω μεταμορφωσιγενούς διαδικασίας, με ευρύ φάσμα υδραυλικών ιδιοτήτων.	Υδροφόροι με υδραυλικές ιδιότητες που ελέγχονται από τη διαλυτότητα του πετρώματος. Φαινόμενα έντονης διάλυσης μπορεί να οδηγήσουν σε καρστική ροή.
ΦΡΕΑΤΙΟΣ Ή ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ ΥΔΡΟΦΟΡΟΣ	Φρεάτιος αν υπάρχει περατή στρώση στην επιφάνεια, που γίνεται υπό πίεση καθώς εμφανίζεται σε μεγαλύτερα βάθη. Διαστρωματωμένοι υδροφόροι με ποικίλη επικοινωνία μεταξύ τους.	Τα χονδρόκοκα αλλούβια οδηγούν σε φρεατικές συνθήκες με τον βραχώδη υδροφόρο να είναι σε υδραυλική επικοινωνία.	Χαμηλή ικανότητα αποθήκευσης στις ασυνέχειες, που μπορεί να εξαντληθεί μετά από υπεράντληση.	Μέρος της αποθήκευσης στο εδαφικό υλικό αυτών των υδροφόρων καθορίζεται από το πορώδες, το βαθμό συνεκτικότητας και ρωγμάτωσης.	Φρεατικοί υδροφόροι εφόσον δεν υπάρχει αλλουβιακή επικάλυψη ή στρώση αργίλου.
ΠΟΡΩΔΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ	Υψηλό πορώδες, αλλά περιορισμένη αποτελεσματική αποθήκευση σε στρώσεις άμμου και χονδρόκοκκων υλικών.	Υψηλό πορώδες και αποθήκευση στα αλλούβια που περιορίζεται μόνο από το πάχος των υλικών. Χαμηλή ικανότητα αποθήκευσης στις ασυνέχειες σε σκληρά πετρώματα αλλά η αποστράγγιση των αλλουβίων μπορεί να διατηρήσει καλές αποδόσεις.	Μέρος της αποθήκευσης στο εδαφικό υλικό αυτών των υδροφόρων καθορίζεται από το πορώδες, το βαθμό συνεκτικότητας και ρωγμάτωσης.	Μέρος της αποθήκευσης στο εδαφικό υλικό αυτών των υδροφόρων καθορίζεται από το πορώδες, το βαθμό συνεκτικότητας και διάλυσης.	
ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΡΟΗ	Ροή κυρίως σε χονδρόκοκκες στρώσεις ώστε η αλληλοσύνδεση όπως και η σύνδεση με τη ζώνη εμπλουτισμού να καθορίζει την πορεία ροής. Χαμηλές υδραυλικές κλίσεις οδηγούν σε αργή ροή υπόγειου νερού.	Η ροή στα αλλούβια αποστραγγίζεται προς τα ρεύματα γρήγορα, εξαντλώντας τα αποθέματα. Οι υδροφόροι έχουν γενικά χαμηλή διαπερατότητα ρωγμών με εξαίρεση τις ζώνες με μεγάλες ασυνέχειες.	Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ασυνεχειών των σκληρών πετρωμάτων, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση των γεωτρήσεων και η ταχύτητα επαναπλήρωσής τους.	Η διαπερατότητα και η ροή καθορίζονται από το πορώδες και το βαθμό συνεκτικότητας και ρηγμάτωσης.	Η διαπερατότητα και η ροή καθορίζονται από το πορώδες, το βαθμό συνεκτικότητας και ρωγμάτωσης και το βαθμό διάλυσης.
ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΙΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΟΥ ΥΠΟΓΕΙΟΥ ΝΕΡΟΥ	Εξαιτίας της υψηλής ικανότητας αποθήκευσης η διακύμανση είναι μικρή, μερικά μέτρα. Σε ρηχούς υδροφόρους υπάρχει περιορισμένο περιθώριο για εμπλουτισμό. Η πτώση στάθμης λόγω άντλησης μπορεί να δημιουργήσει επιπρόσθετη αποθήκευση εάν γίνει η κατάλληλη διαχείριση.	Αν η στάθμη του υπόγειου νερού είναι στον υδροφόρο του σκληρού πετρώματος, τότε αυτή θα αποκριθεί γρήγορα στην άντληση και στον εμπλουτισμό, αλλά σε περιορισμένη ακτίνα εξαιτίας της χαμηλής διαπερατότητας. Όταν η στάθμη του υπόγειου νερού είναι μέσα στα αλλούβια, τότε ισχύουν όσα γράφονται στους αλλουβιακούς υδροφόρους (αριστερά).	Η στάθμη του υπόγειου νερού αυξάνεται και μειώνεται γρήγορα αποκρινόμενη άμεσα στον εμπλουτισμό και την άντληση.	Εκεί όπου το πορώδες του υδροφόρου είναι υψηλό, οι διακυμάνσεις της στάθμης του υπόγειου νερού είναι σχετικά ήπιες αποκρινόμενες στην άντληση και τον εμπλουτισμό.	Εκεί όπου οι ασυνέχειες συνεισφέρουν στο κύριο πορώδες, οι διακυμάνσεις του υπόγειου νερού είναι γρήγορες.

	ΑΛΛΟΥΒΙΑΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ	ΑΛΛΟΥΒΙΑ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΑ ΥΔΡΟΦΟΡΩΝ ΜΕΣΑ ΣΕ ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΚΛΗΡΑ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	ΡΩΓΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΒΡΑΧΩΔΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΜΕ ΛΕΠΤΗ ΕΔΑΦΙΚΗ ΖΩΝΗ ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗΣ	ΣΥΝΕΚΤΙΚΟΙ ΨΑΜΜΙΤΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟΙ ΥΔΡΟΦΟΡΟΙ
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ	Υψηλή, αν η επιφανειακή στρώση είναι αμμόδης, αλλά χαμηλή αν υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο. Απαιτούνται χονδρόκοκα υλικά για την πλήρωση της ζώνης εμπλουτισμού. Η άργιλος, ή άλλο στρώμα χαμηλής διαπερατότητας, σε μικρό βάθος περιορίζει τον εμπλουτισμό.	Καλή σε αμμόδεις αλλουβιακούς σχηματισμούς που μπορούν να αποθηκεύσουν νερό και έτσι να διευκολυνθεί η διήθηση προς το υποκείμενο ρωγματομένο πέτρωμα.	Ίκανότητα διήθησης που περιορίζεται από τον αριθμό των ανοιχτών διακλάσεων και έτσι η απορροή μπορεί να είναι μεγάλη.	Πολύ υψηλή εκεί όπου δεν υπάρχει επικάλυψη και το εδαφικό υλικό έχει δημιουργηθεί από τον ψαμμίτη.	Πολύ υψηλή εκεί όπου δεν υπάρχει επικάλυψη. Η ανάπτυξη του εδάφους είναι συνήθως πολύ λεπτή και η επιφανειακή απορροή είναι ελάχιστη.
ΘΕΜΑΤΑ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ	Η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι καλή σε ζώνες ενεργής ροής αλλά υποβαθμίζεται εκεί όπου η ροή είναι αργή ή λόγω της θαλάσσιας διείσδυσης. Εκεί όπου υπάρχει μικρή κίνηση του φυσικού υπόγειου νερού, οι περιεκτικότητες στοιχείων όπως σίδηρος, μαγνήσιο, αρσενικό και φθόριο πιθανόν να υπερβούν τα αποδεκτά όρια. Ο Τ.Ε. μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα του υπόγειου νερού μέσω διαδικασιών αραίωσης ή απομάκρυνσης. Η τρωτότητα στη ρύπανση εξαρτάται από τη διαπερατότητα των επιφανειακών στρωμάτων.	Η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι καλή σε ζώνες ενεργής ροής. Τα διαπερατά αλλουβία είναι τρωτά σε ρύπανση.	Η ποιότητα του υπόγειου νερού είναι καλή σε ζώνες ενεργής ροής αλλά τρωτή σε ραγδαία ρύπανση. Η λεπτή εδαφική επικάλυψη προσδίδει μόνο περιορισμένη προστασία.	Πολύ καλή ποιότητα υπόγειου νερού έχει όπου υπάρχει έντονος εμπλουτισμός αλλά ευάλωτη σε μόλυνση, ειδικά εκεί όπου η εδαφική επικάλυψη είναι λεπτή.	Πολύ καλή ποιότητα υπόγειου νερού έχει όπου υπάρχει έντονος εμπλουτισμός αλλά ευάλωτη σε μόλυνση.
ΕΝΤΑΣΗ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	Εμφανίζεται επιφανειακή ροή εάν ξεπεραστεί ο ρυθμός διήθησης ή το έδαφος είναι κορεσμένο. Εκτεταμένη πλημμύρα προκύπτει σε πεδιά πλημμυρικών αποθέσεων.	Ραγδαία απορροή από παρακείμενο βραχώδες υπόβαθρο στη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης πιθανόν να προκαλέσει διάβρωση των αλλουβιακών και εδαφικών σχηματισμών.	Ραγδαία απορροή στη διάρκεια έντονης βροχόπτωσης πιθανόν να προκαλέσει διάβρωση του εδαφικού υλικού.	Πιθανόν η ικανότητα διήθησης να είναι υψηλή, οπότε και ο εμπλουτισμός να είναι υψηλός. Ακραία φαινόμενα ίσως προκαλέσουν διάβρωση του εδάφους και προσδώσουν νερό για Τ.Ε.	Πρόκληση διήθησης μετά από βροχόπτωση εκτός της περίπτωσης ακραίων φαινομένων. Λεπτά εδαφικά στρώματα διαβρώνονται εύκολα.
ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ	Η βροχόπτωση και η εξάτμιση ποικίλλουν αρκετά τόσο στο χρόνο όσο και στο χώρο. Η ετήσια μεταβλητότητα στις βροχοπτώσεις είναι υψηλή, έτσι οι μέσες τιμές πρέπει να χρησιμοποιούνται ανάλογα. Παρακάτω ακολουθούν οι συνιστώσες του υδατικού ισοζυγίου σε τρεις λεκάνες απορροής στην Καρνατάκα (Ινδία), που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόδειγμα και όχι να εφαρμοστούν ευρέως [22]. Η μακροπρόθεσμη ετήσια μέση βροχόπτωση είναι 520mm και η δυναμική εξατμισοδιαπνοή είναι 1750mm. Ενδεικτικά οι τιμές του υδατικού ισοζυγίου σε κλίμακα πεδίου σε μη αρδευτικές περιοχές είναι: Ε/Δ από το έδαφος: 45%, Ε/Δ από καλλιεργούμενες εκτάσεις: 25% , επιφανειακή απορροή: 10% και εμπλουτισμός του Υ.Ν.: 10%. Η εξάτμιση ανοιχτής επιφάνειας νερού θα συμβεί σε δυναμικά μέγιστο ρυθμό για στατικά σώματα νερού, περίπου 2000 mm/χρόνο (5,5 mm/μέρα). Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από τις λεκάνες κατάκλυσης μπορούν να μειωθούν με την αύξηση του βάθους του νερού με αποτέλεσμα να μειωθεί η αναλογία της επιφάνειας προς τον όγκο. Η υπόγεια αποθήκευση μέσω του Τ.Ε. προφανώς θα εξαλείψει τις απώλειες λόγω εξάτμισης, μετά τη διήθηση.				

(British Geological Survey, 2002)

ΚΟΙΝΩΝΙΚΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ Τ.Ε.

Η κοινωνική ανάπτυξη στην περιοχή ενός έργου Τ.Ε. έχει αποφασιστική επιρροή στο κόστος του συγκεκριμένου έργου το οποίο σχετίζεται με τον οικονομικό προϋπολογισμό του έργου και την επιλογή της μεθόδου εμπλουτισμού.

Γενικά, όπου η περιοχή εμπλουτισμού είναι κοντά σε **κατοικημένη περιοχή**, πρέπει να αναπτύσσονται τεχνικές ελέγχου του διαθέσιμου νερού εμπλουτισμού, όπως κατασκευή και λειτουργία γεωτρήσεων εμπλουτισμού, τάφρων και λεκανών, ενώ θα πρέπει:

- τα αναχώματα, όπου χρησιμοποιούνται, να σχεδιάζονται έτσι ώστε να εμποδίζονται οι διαφυγές νερού,
- να υπάρχει περίφραξη για την προστασία των ιδιοκτησιών και τον περιορισμό ανεξέλεγκτης εισόδου στο έργο,
- να υπάρχει συνεχής έλεγχος για τη μείωση της πιθανής δυσοσμίας και της παρουσίας εντόμων,
- σε κατοικημένες περιοχές, να λαμβάνεται υπόψη και η εναλλακτική διάθεση του νερού εμπλουτισμού και για χρήσεις αναψυχής.

Οφέλη από την αποδοτική αξιοποίηση και διαχείριση του υπόγειου νερού:

- αύξηση της **στάθμης** του υπόγειου νερού ή μείωση του ρυθμού της πτώσης της,
- αύξηση της **βασικής ροής** με αποτέλεσμα επιφανειακά σώματα νερού να ρέουν για μεγαλύτερες περιόδους και εποχιακά ρεύματα να αναπτύσσουν σταθερή ροή,
- υψηλότερες **αποδόσεις των γεωτρήσεων** με επακόλουθη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας που καταναλώνεται για την άντληση νερού,
- αύξηση της εδαφικής υγρασίας που συχνά οδηγεί σε γενικότερη βελτίωση της **χλωρίδας και πανίδας**,
- εξασφάλιση υπόγειου νερού για **άρδευση**, που είναι ασφαλέστερο από ποιοτική άποψη από τους επιφανειακούς πόρους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με υψηλότερο επίπεδο ελέγχου,
- αύξηση της **αρδευόμενης γης** εξαιτίας της αυξημένης διαθεσιμότητας σε νερό, ή αύξηση στην **απόδοση της συγκομιδής** ανά εκτάριο που συνδέεται με βελτιώσεις στην παραγωγικότητα του εδάφους ή στις πολλαπλές συγκομιδές.

Οφέλη από την αποδοτική αξιοποίηση και διαχείριση του υπόγειου νερού:

- η ανάγκη **συμμετοχικής διαχείρισης** των υδατικών πόρων, που συνεπάγεται νέους τρόπους δράσης διευθέτησης οικονομικών πόρων, διαχείρισης έργων, λήψης αποφάσεων κλπ, για τις κοινότητες, τους ιδιώτες, τις κυβερνητικές και αναπτυξιακές υπηρεσίες που εμπλέκονται, όπως επίσης αλλαγές στο αναγνωρισμένο δικαίωμα της δύναμης της λήψης αποφάσεων και στην πρόσβαση στους υδατικούς πόρους,
- **στις αναπτυσσόμενες χώρες,** σημαντική συμβολή:
 - ✓ στη μείωση της φτώχειας και στη σταθερότητα των βιοτικών πόρων,
 - ✓ στη μείωση της οικονομικής και υγειονομικής επικινδυνότητας,
 - ✓ στην αύξηση αποδόσεων που απορρέουν από αξιόπιστη άρδευση,
 - ✓ στις αυξημένες οικονομικές επιστροφές,
 - ✓ σε δίκαιη κατανομή (υψηλότερες στάθμες νερού σημαίνει αυξημένη πρόσβαση για όλους),
 - ✓ στη μειωμένη τρωτότητα (ξηρασία, διακυμάνσεις των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων).

ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΖΗΤΗΜΑΤΑ Τ.Ε.

- Η Εκτελεστική Επιτροπή της IAH (International Association of Hydrogeologists), στη συνεδρίασή της στη Βαρκελώνη τον Ιανουάριο του 2002, λαμβάνοντας υπόψη ότι η UNESCO έθεσε τον εμπλουτισμό των υπόγειων νερών ως τομέα προτεραιότητας στο 6ο Διεθνές Υδρολογικό Πρόγραμμα (6th International Hydrological Program) 2002-2007, ενέκρινε τη μετονομασία της Ομάδας Εργασίας Τεχνητού Εμπλουτισμού (IAH Artificial Recharge Working Group), σε **Επιτροπή Διαχείρισης Εμπλουτισμού Υδροφόρων (IAH-MAR, IAH Commission on the Management of Aquifer Recharge)**.
- Οι κυριότεροι στόχοι της επιτροπής IAH-MAR:
 - ✓ συνεχής βελτίωση στο σχεδιασμό και τη διαχείριση όλων των τύπων των προγραμμάτων του εμπλουτισμού
 - ✓ συγκέντρωση των διεθνών και εθνικών προσπαθειών για τη διαχείριση του εμπλουτισμού υδροφόρων στο διεθνή χώρο και αποτελεσματική επικοινωνία μέσω ιστοσελίδων, ηλεκτρονικού ταχυδρομείου και συνδέσεων με άλλες οργανώσεις με κοινούς στόχους
 - ✓ θέσπιση και προώθηση προγραμμάτων κατάρτισης και εκπαίδευσης, διασκέψεις και συνέδρια (διεθνή, εθνικά ή και τοπικά) προκειμένου να εξασφαλιστεί αποτελεσματική επικοινωνία σε όλους που απαιτείται να γνωρίζουν, και με ιδιαίτερο ενδιαφέρον στις αναπτυσσόμενες χώρες.

ΔΙΕΘΝΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΖΗΤΗΜΑΤΑ Τ.Ε.

- Από το Ινστιτούτο EWRI (Environmental & Water Resources Institute) της ASCE (American Society of Civil Engineers):
 - ✓ έχει συσταθεί επιτροπή σταθερότυπων τεχνητού εμπλουτισμού των υπόγειων νερών (ARGW SC, Artificial Recharge of Groundwater Standards Committee), η οποία απαρτίζεται από 3 υποεπιτροπές: υποεπιτροπή για τις καθιζήσεις του εδάφους (Land Subsidence Sub-committee), υποεπιτροπή για τον εμπλουτισμό με αποθήκευση και άντληση υδροφόρων (ASR, Aquifer Storage and Recovery Sub-committee), υποεπιτροπή για την εκπαίδευση (Sub-committee on training).
 - ✓ έχουν εκδοθεί πρότυπες οδηγίες για τον Τ.Ε. (Standard Guidelines for Artificial Recharge of Groundwater EWRI/ASCE 34-01), που περιγράφουν τα απαραίτητα βήματα για τη μελέτη, το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση έργων Τ.Ε.

- Η International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC) και το Acacia Institute έχουν εφαρμόσει από το 2006 στο πλαίσιο του προγράμματος: "Artificial Recharge of Groundwater in the World", σε συνεργασία με την IAH-MAR Commission και την UNESCO-IHP, δραστηριότητες για τη βελτίωση της δομής, της προβολής, της διάδοσης και της επαναχρησιμοποίησης πληροφοριών και γνώσεων που αφορούν σε ζητήματα MAR.
- Μια ευρεία απογραφή πηγών πληροφόρησης που περιλαμβάνει πληροφορίες από ανθρώπους και οργανισμούς, έγγραφα, ιστοσελίδες κ.λ.π., είναι διαθέσιμη μέσα από μια βάση δεδομένων στο <https://www.un-igrac.org/>, μαζί με επεξεργασμένη ταξινόμηση και περιγραφή όλων των τεχνικών MAR.

■ Διεθνή Συμπόσια MAR

- ✓ 1ο Διεθνές Συμπόσιο: ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUND WATER. ASCE, Anaheim, California, USA, 23-27/8/1988.
- ✓ 2ο Διεθνές Συμπόσιο: ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUND WATER, II. ASCE, Orlando, Florida, USA, 17-22/7/1994.
- ✓ 3ο Διεθνές Συμπόσιο: ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUND WATER, TISAR 98. Kiwa Research and Consultancy, Amsterdam, The Netherlands, 21-25/9/1998.
- ✓ 4ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE FOR SUSTAINABILITY, ISAR-4, Adelaide, Australia, 22-26/9/ 2002.
- ✓ 5ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE – RECHARGE SYSTEMS FOR PROTECTING AND ENHANCING GROUNDWATER RESOURCES, ISMAR-5, 11-16/6/2005, Berlin, Germany.
- ✓ 6ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE FOR SUSTAINABILITY, ISMAR6, Phoenix, Arizona, USA, 28/10 – 2/11/ 2007.
- ✓ 7ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE: ACHIEVING WATER SUPPLY SUSTAINABILITY AND RELIABILITY THROUGH MANAGED AQUIFER RECHARGE, ISMAR-7, Abu Dhabi των Ενωμένων Αραβικών Εμιράτων, 9-13/10/2010.
- ✓ 8ο Διεθνές Συμπόσιο: ISMAR-8, Πεκίνο, Κίνα, 15-19 Οκτωβρίου 2013.
- ✓ 9ο Διεθνές Συμπόσιο: ISMAR-9, Mexico City, Mexico, 20-24 Ιουνίου 2016.
- ✓ 10ο Διεθνές Συμπόσιο: ISMAR-10, Μαδρίτη, Ισπανία, 20-24 Μαΐου 2019.

- Στην Ελλάδα, η Ελληνική Επιτροπή Υδρογεωλογίας της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας (Ε.Γ.Ε.) σε συνεργασία με το Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης και το Νομαρχιακό Διαμέρισμα Ξάνθης, διοργάνωσε Ημερίδα με θέμα: “Τεχνητός Εμπλουτισμός Υπόγειων Υδροφορέων” στην Ξάνθη, στις 28 Μαΐου 1999.

1^ο Διεθνές Συμπόσιο: ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUND WATER (1988)

- Οικονομικές και θεσμικές θεωρήσεις
- Κατείσδυση και υπόγεια υδραυλική
- Ανακτημένο νερό και ποιότητα νερού
- Σχεδιασμός, λειτουργία και διαχείριση συστημάτων τεχνητού εμπλουτισμού
- Συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών

2^ο Διεθνές Συμπόσιο: ARTIFICIAL RECHARGE OF GROUND WATER, II (1994)

- Μέθοδοι εμπλουτισμού απ' ευθείας στην επιφάνεια
- Εμπλουτισμός με γεωτρήσεις
- Γεωτρήσεις εμπλουτισμού και άντλησης (ASR)
- Εμπλουτισμός με υγρά απόβλητα
- Εμπλουτισμός με νερά καταιγίδων
- Έλεγχος της διείσδυσης αλμυρού νερού
- Επιπτώσεις στην ποιότητα του νερού
- Μοντέλα
- Το φαινόμενο της απόφραξης των γεωτρήσεων
- Εμπλουτισμός σε υδροφόρους βραχωδών πετρωμάτων

3^ο Διεθνές Συμπόσιο: ARTIFICIAL
RECHARGE OF GROUND WATER, TISAR
98 (1998)

- Εμπλουτισμός με λεκάνες, γεωτρήσεις, επεξεργασμένα υγρά απόβλητα
- Υδρολογικά θέματα
- Ικανότητα αποθήκευσης και ανάκτησης
- Το πρόβλημα της απόφραξης στα συστήματα εμπλουτισμού
- Χημικές αντιδράσεις και εμπλουτισμός με γεωτρήσεις
- Έρευνες υπαίθρου και γραφείου, σχεδιασμοί και σχετικές περιπτώσεις
- Διαχείριση νερού σε ξηρές περιοχές
- Ρυπαντές και διήθηση όχθης
- Ρυπαντές και εμπλουτισμός με λεκάνες
- Μικροβιολογικοί παράγοντες
- Πρόβλεψη και μοντελοποίηση της ποιότητας του υπόγειου νερού
- Βιολογική επεξεργασία και απομάκρυνση οργανικών συστατικών

4^ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF
AQUIFER RECHARGE FOR
SYSTAINABILITY, ISAR-4 (2002)

- Θέματα λεκανών διήθησης και διήθησης όχθης, έγχυσης σε γεωτρήσεις
- Υδραυλική των υπόγειων νερών και θέματα αποθήκευσης-άντλησης
- Γεωχημεία και αλλαγές στην ποιότητα του νερού στο υπέδαφος
- Αντιμετώπιση της παρουσίας παθογόνων συστατικών και οργανικών συστατικών
- Διαχείριση της απόφραξης υδροφόρων
- Εμπλουτισμός σε ρωγματωμένα πετρώματα
- Διαχείριση του νερού σε ξηρές περιοχές
- Θέματα επιλογής θέσης εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού
- Βιωσιμότητα του εμπλουτισμού
- Επαναχρησιμοποίηση του νερού μέσω υδροφόρων
- Περιβαλλοντικές εφαρμογές σε προγράμματα εμπλουτισμού
- Διαχείριση του νερού σε αστικές και σε αγροτικές πρακτικές

5^ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE – RECHARGE SYSTEMS FOR PROTECTING AND ENHANCING GROUNDWATER RESOURCES, ISMAR-5, 11-16/6/2005, Berlin, Germany.

- Εμπλουτισμός με λεκάνες, γεωτρήσεις, γεωτρήσεις ASR, σύγχρονες εναλλακτικές τεχνικές
- Γεωχημεία κατά την κατείσδυση και τη ροή του υπόγειου νερού
- Προσομοίωση και υδραυλική των υπόγειων νερών
- Απόφραξη
- Βιωσιμότητα της διαχείρισης συστημάτων εμπλουτισμού
- Επαναχρησιμοποίηση νερού στη γεωργία
- Θέματα υγείας και αντιμετώπιση παθογόνων και οργανικών ρυπαντών

6^ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE FOR SUSTAINABILITY, ISMAR-6, Phoenix, Arizona, USA, 28/10 – 2/11/ 2007.

- Εμπλουτισμός με λεκάνες
- Ποιότητα του υπόγειου νερού κατά τον T.E.
- Ο ρόλος του T.E. στην ολοκληρωμένη διαχείριση των υδατικών πόρων
- Η υδραυλική των υπόγειων νερών και η αποθήκευσή τους
- Γεωχημεία του εμπλουτισμού των υδροφόρων
- Αντιμετώπιση παθογόνων και οργανικών ρυπαντών
- Εμπλουτισμός ρωγματωμένα σκληρά πετρώματα
- Ζητήματα διοικητικά, οικονομικά και κανονισμοί

7^ο Διεθνές Συμπόσιο: MANAGEMENT OF AQUIFER RECHARGE: ACHIEVING WATER SUPPLY SUSTAINABILITY AND RELIABILITY THROUGH MANAGED AQUIFER RECHARGE, ISMAR-7, Abu Dhabi των Ενωμένων Αραβικών Εμιράτων, στις 9-13 Οκτωβρίου 2010.

- Ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων και στρατηγικές
- Προσομοίωση και υδραυλική των υπόγειων νερών
- Ζητήματα διοικητικά, οικονομικά και κανονισμοί
- Γεωχημεία κατά την κατείσδυση και τη ροή του υπόγειου νερού
- Εξασθένιση παθογόνων και οργανικών ρυπαντών
- Ζητήματα λειτουργίας και διαχείρισης
- Εναλλακτικά συστήματα εμπλουτισμού
- Επαναχρησιμοποίηση νερού και διαχείριση εμπλουτισμού υδροφόρων
- Διαχείριση εμπλουτισμού υδροφόρων σε ξηρά περιβάλλοντα
- Διαχείριση και καταγραφή δεδομένων
- Ο ρόλος της διαχείρισης του εμπλουτισμού των υδροφόρων στην κλιματική αλλαγή
- Αξιολόγηση επικινδυνότητας και αβεβαιότητα

8^ο Διεθνές Συμπόσιο: Managed Aquifer Recharge: Meeting the Water Resource Challenge, ISMAR-8, Πεκίνο, Κίνα, στις 15-19 Οκτωβρίου 2013 - 1

- Σχεδιασμός και κατασκευή συστήματος MAR (εναλλακτικά συστήματα εμπλουτισμού, κόστος αποτελεσματικότητας MAR, καινοτομία σε εφαρμογές MAR, προχωρημένες μέθοδοι για την επιλογή υδροφορέων, κατάλληλων τοποθεσιών και τεχνικών)
- Λειτουργία και συντήρηση συστημάτων MAR (παρακολούθηση και προσομοίωση συστημάτων MAR, διαχείριση του clogging, ζητήματα γεωχημείας, μικροβιολογικής οικολογίας, υδραυλικής και υδρογεωλογίας, καινοτομίες σε τεχνικές συλλογής και αποθήκευσης πλημμυρικών απορροών)
- Διαχείριση συστημάτων MAR (ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων, πολιτικές, στρατηγικές και κανονισμοί εμπλουτισμού, ανάλυση κινδύνου και σχέδια ασφάλειας, εμπλοκή και επαγρύπνηση κοινοτήτων, επιπτώσεις σε κατάντη ποταμούς, MAR και ζήτηση υπόγειου νερού)

8^ο Διεθνές Συμπόσιο: Managed Aquifer Recharge: Meeting the Water Resource Challenge, ISMAR-8, Πεκίνο, Κίνα, στις 15-19 Οκτωβρίου 2013 - 2

- Εφαρμογές MAR στο πλαίσιο της διαχείρισης υδατικών πόρων (επαναχρησιμοποίηση ανακυκλωμένου νερού, συστήματα συλλογής νερού βροχής και καταιγίδων και MAR, MAR για τη βελτίωση της ποιότητας του πόσιμου νερού, MAR σε βιομηχανικές εφαρμογές, MAR και γεωθερμικές εφαρμογές, εφαρμογή MAR στην αντιμετώπιση θαλάσσιας διείσδυσης και εδαφικών καθιζήσεων, MAR και διάθεση νερού για αστικές και αγροτικές χρήσεις, οφέλη και κόστος εφαρμογών MAR, MAR και συνδυασμένη χρήση επιφανειακών και υπόγειων νερών)
- Άλλα ζητήματα MAR (MAR και κλιματική αλλαγή, εφαρμογές MAR σε καρστικούς υδροφορείς, εφαρμογές MAR σε αστικές περιοχές, χρηματοδότηση εφαρμογής MAR για υδατική και επισιτιστική ασφάλεια, εκπαιδευτικές και περιβαλλοντικές θεωρήσεις αναφορικά με τη λειτουργία συστημάτων MAR)

9^ο Διεθνές Συμπόσιο: SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT SOLUTIONS TO SCARCITY AND CLIMATE CHANGE, ISMAR-9, Mexico City, Mexico, 20-24/6/2016 - 1.

- Στρατηγικές ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων
- Κανονισμοί, οδηγίες, διαχείριση, οικονομικά στοιχεία που αφορούν σε εφαρμογές MAR
- Προσομοίωση συστημάτων MAR
- Ζητήματα γεωχημείας, μικροβιολογίας, δημόσιας υγείας σε εφαρμογές MAR
- MAR και κλιματική αλλαγή
- MAR σε αναπτυσσόμενες χώρες
- MAR σε σκληρά πετρώματα και σε συστήματα καρστ
- Συστήματα διήθησης, συστήματα SAT
- Καινοτομία σε γεωτρήσεις έγχυσης και ανάκτησης

9ο Διεθνές Συμπόσιο: SUSTAINABLE WATER MANAGEMENT SOLUTIONS TO SCARCITY AND CLIMATE CHANGE, ISMAR-9, Mexico City, Mexico, 20-24/6/2016 - 2.

- Σχεδιασμός και λειτουργία φραγμών σε θαλάσσια διείσδυση
- MAR και επαναχρησιμοποίηση νερού
- Συστήματα συλλογής νερού από βροχόπτωση και καταιγίδες και MAR
- Συλλογή πλημμυρικών απορροών μέσω MAR
- Ποιότητα νερού και επιλογή μεθόδων επεξεργασίας
- MAR και υδροφορείς υπό εξάντληση και προστασία οικοσυστημάτων εξαρτώμενων από υπόγειο νερό

10^ο Διεθνές Συμπόσιο: MAR TO SOLVE THE GLOBAL WATER CRISIS, ISMAR-10,
Madrid, Spain, 20-24/5/2019.

- MAR και ολοκληρωμένη διαχείριση υδατικών πόρων
- MAR και κλιματική αλλαγή
- MAR και επαναχρησιμοποίηση νερού
- MAR σε αναπτυσσόμενες χώρες
- Κανονισμοί, διαχείριση, οικονομικά στοιχεία που αφορούν σε εφαρμογές MAR
- Προσομοίωση συστημάτων MAR
- Ζητήματα υγείας - απομάκρυνση και απομείωση μικροοργανισμών και οργανικών ενώσεων
- Ζητήματα γεωχημείας σε εφαρμογές MAR
- Λειτουργία και διαχείριση εναλλακτικών συστημάτων εμπλουτισμού
- Ανάλυση κινδύνου, δείκτες και συγκριτική αξιολόγηση
- Ζητήματα υγείας
- Μέθοδοι και στρατηγικές MAR
- Κυκλική οικονομία και MAR

11^ο Διεθνές Συμπόσιο: A KEY TO SUSTAINABILITY, ISMAR-11, Long Beach, California, USA, 11-15/4/2022.

- ASR
- MAR - Geophysics
- MAR - Emerging Contaminants
- FLOOD - MAR
- International MAR
- MAR - Integrated Water Management
- MAR - Environment
- MAR Engineering & Design
- MAR - Water Markets
- The Role of MAR Governance and Policy

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΕΡΓΩΝ Τ. Ε.

- Τα έργα Τ.Ε. πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έτσι ώστε να ικανοποιούν τις κατά περίπτωση αναγκαίες απαιτήσεις σε σχέση με το ελάχιστο και λογικό δυνατό κόστος, παίρνοντας επίσης υπόψη και τις ανάλογες περιβαλλοντικές δεσμεύσεις και ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής εφαρμογής.
- Η έννοια των έργων αυτών μπορεί να ποικίλει από μια πολύπλοκη προσεχτικά καλοσχεδιασμένη και εφαρμόσιμη μελέτη έως ένα αρκετά απλό σχήμα εφαρμογής στην ύπαιθρο.
- Η γενική σχέση που συνδέει την ικανότητα κατείσδυσης (infiltration capacity) και το μέγεθος των έργων Τ.Ε. είναι: $A = Q / I$

όπου:

A : η έκταση που διαβρέχεται από το νερό εμπλουτισμού [L²],

Q : η διαθέσιμη ποσότητα νερού που παροχετεύεται προς το έργο εμπλουτισμού [L³T⁻¹]

I : η μεγάλης διάρκειας ικανότητα κατείσδυσης στην περιοχή του έργου εμπλουτισμού μετά από μια περίοδο κατάκλυσης 2-4 εβδομάδων (long-time infiltration capacity) [LT⁻¹].

Συνήθως κάποια παράλληλα με αυτά τα κύρια έργα του Τ.Ε. κατασκευάζονται με σκοπό:

- την εκτροπή του νερού από την πηγή τροφοδοσίας,
- τη βελτίωση της ποιότητας του νερού,
- τη μεταφορά του νερού στην περιοχή εφαρμογής του εμπλουτισμού,
- τη διατήρηση και έλεγχο της συνεχούς ροής του νερού μέσα στην έκταση της περιοχής εμπλουτισμού,
- τη διατήρηση και λειτουργία του όλου έργου εμπλουτισμού σε επαρκή και ασφαλή επίπεδα,
- σε μερικές περιπτώσεις, τη μεταφορά του νερού που μπορεί να περισσεύει από τη διαδικασία εμπλουτισμού πίσω στην πηγή τροφοδοσίας.

[Ο σχεδιασμός και η μελέτη των σύνδρομων αυτών έργων στηρίζεται σε υδραυλικές και υδρολογικές αρχές, και εξαρτάται από τις ιδιότητες των διαθέσιμων στην περίπτωση δομικών υλικών].

Οι λεπτομέρειες της οργάνωσης και λειτουργίας και διαχείρισης έργων Τ.Ε. ποικίλλουν ανάλογα με:

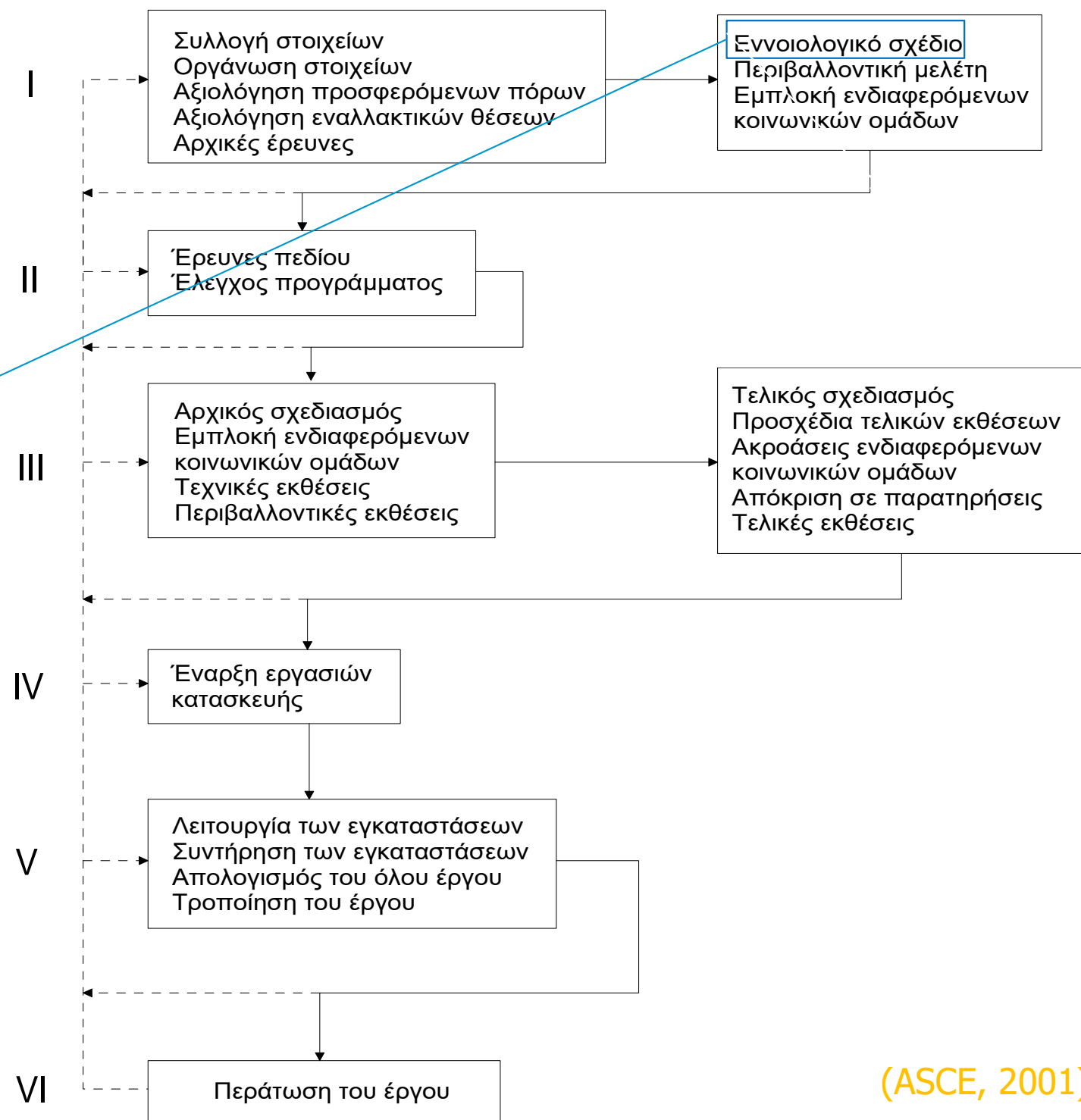
- το είδος του έργου,
- το σκοπό του,
- την επιλεγμένη μέθοδο εφαρμογής,
- τα χαρακτηριστικά του νερού εμπλουτισμού,
- τη διαπερατότητα της περιοχής έρευνας,
- την ιδιαίτερη φροντίδα για την πρόληψη προβλημάτων που έχουν σχέση με το φαινόμενο clogging, τα διάφορα ζιζάνια, τρωκτικά και κουνούπια,
- τη διατήρηση της ταχύτητα διήθησης σε επαρκή επίπεδα,
- τη συντήρηση των διαφόρων κατασκευών,
- τα ζητήματα ασφάλειας.

Σχεδιάγραμμα εργασιών στο πλαίσιο του σχεδιασμού, της λειτουργίας και της συντήρησης ενός έργου τεχνητού εμπλουτισμού

- τύπος και ιδιότητες υδροφόρων (ελεύθερος ή υπό πίεση, K, S, T)
- βάθος και πάχος υδροφόρου
- παρουσία βραδυδροφόρων (aquitards) και ανυδροφόρων (aquicludes) στρωμάτων και πολύ μικρής περατότητας στρώσεις αργίλου ή ιλύος
- απόσταση επιρροής, θέση, τύπος (εμπλουτισμού ή φραγμός) και διαστάσεις των ορίων των υδροφόρων
- πιεζομετρία

ΦΑΣΗ

ΕΙΔΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



(ASCE, 2001)

Στην 1η φάση ενός ερευνητικού προγράμματος Τ.Ε. πρέπει να εξετάζονται τα παρακάτω:

- συγκέντρωση και μελέτη της σχετικής βιβλιογραφίας
- η επάρκεια νερού για τον εμπλουτισμό
- η ποιότητα των νερών εμπλουτισμού και υδροφόρου
- η γεωλογία, στρωματογραφία, τεκτονική και μορφολογία της περιοχής
- το υδρολογικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής
- νομικά προβλήματα χρήσης ή μεταφοράς του νερού εμπλουτισμού
- επιλογή των ενδεικνυόμενων μεθόδων εμπλουτισμού και προϋπολογισμός κατασκευής ενός ή περισσότερων πιλοτικών έργων για εκτέλεση πειραμάτων εμπλουτισμού
- διερεύνηση της τυχόν απαιτούμενης επεξεργασίας του νερού πριν χρησιμοποιηθεί για εμπλουτισμό, καθώς και υπόδειξη του τρόπου καθαρισμού του
- οι υδρογεωλογικές συνθήκες της περιοχής, όπως (εννοιολογικό μοντέλο):
 - τύποι υδροφόρων (ελεύθεροι, υπό πίεση),
 - γεωμετρικά χαρακτηριστικά των υδροφόρων, κοκκομετρία, παροχές γεωτρήσεων κ.λ.π.,
 - μετρήσεις της υπόγειας στάθμης νερού και σύνταξη χαρτών ισοπιεζομετρικών καμπυλών,
 - προσδιορισμός των υδραυλικών παραμέτρων των υδροφόρων στρωμάτων,
 - κατάσταση εκμετάλλευσης των υπόγειων νερών,
 - συνθήκες τροφοδοσίας και μελέτη των αδιαπέρατων ορίων του υδροφόρου.

Τα αντικείμενα μελέτης της **2ης φάσης** ενός ερευνητικού προγράμματος μπορεί να είναι:

- η εκτέλεση δοκιμαστικής άντλησης πριν από κάθε πείραμα εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων για τον προσδιορισμό των υδραυλικών παραμέτρων του υδροφόρου, καθώς και μετά το πέρας του πειράματος εμπλουτισμού για τον προσδιορισμό τυχόν επίδρασης του εμπλουτισμού πάνω στη γεώτρηση και τον υδροφόρο
- πριν και μετά το πείραμα εμπλουτισμού, λήψη δειγμάτων νερού απ' τον υδροφόρο για να εξετασθεί πιθανή μεταβολή της ποιότητας του νερού του υδροφόρου λόγω εμπλουτισμού
- η εκτέλεση πειραμάτων Τ.Ε. για τον προσδιορισμό:
 - των ποσοτήτων νερού εμπλουτισμού που δέχεται ο υδροφόρος χωροχρονικά,
 - της πορείας ανόδου της στάθμης νερού στη γεώτρηση εμπλουτισμού και στα πιεζόμετρα,
 - των μεταβολών της ειδικής παροχής εμπλουτισμού συναρτήσει του χρόνου και του όγκου του νερού εμπλουτισμού,
 - των προβλημάτων που μπορεί να προκύψουν, κυρίως λόγω clogging στο έργο εμπλουτισμού.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ	ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ
Ιλύς	Συσώρευση κόκκων σε μικρορωγμές σε μικρό βάθος από την επιφάνεια του εδάφους με αποτέλεσμα την μείωση της διαπερατότητας.	Χρήση νερού που να μην έχει μεγαλύτερη θολερότητα από 25 μονάδες Jackson. Χρήση λεκανών ή σύστημα λεκανών καθίζησης για απομάκρυνση της ιλύος. Παράκαμψη του νερού, μέχρι η συγκέντρωση ιλύος στο νερό να είναι κατάλληλη για τον συγκεκριμένο τύπο εδάφους. Οι τάφροι μπορούν γενικά να δεχτούν νερά με μεγαλύτερη συγκέντρωση σε ιλύ, αρκεί να διατηρείται ικανοποιητική ταχύτητα στο έργο για να μεταφέρεται η ιλύς πίσω στο κύριο κανάλι. Απόξεση ή σβάρνισμα μετά την αποξήρανση. Η περίοδος αποξήρανσης κυμαίνεται γύρω στις 1 με 7 μέρες και εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες και αυτές του εδάφους. Αφαίρεση της ιλύος μετά την αποξήρανση. Η ιλύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κατασκευή αναχωμάτων στις λεκάνες και τις τάφρους. Διατήρηση της βλάστησης. Άδειασμα της ιλύος από τις τάφρους και τα αυλάκια για περιορισμό της διάβρωσης.
Ζιζάνια	Αύξηση του ρυθμού κατείσδυσης και περιορισμός της περιόδου αποξήρανσης που απαιτείται για εργασίες αφαίρεσης ιλύος από τη λεκάνη. Κίνδυνος πυρκαγιάς από τη φυτική κάλυψη.	Έλεγχος με χημικά μέσα ή αφαίρεση τους όταν υπάρχει πιθανότητα πυρκαγιάς, ειδικά γύρω από την κατασκευή. Χρήση χειροκίνητων μέσων και όχι μηχανοκίνητων για τη συντήρηση της ικανότητας διήθησης. Διατήρηση της φυτικής κάλυψης σε βρεχόμενες περιοχές, αν αυτό είναι δυνατό. Παρατεταμένες συνθήκες έντονης πλημμύρας θα καταστρέψει τη βλάστηση.
Τρωκτικά	Διαρροές και κατάρρευση φραγμάτων και αναχωμάτων. Δημόσιος κίνδυνος κοντά σε κατοικημένη περιοχή.	Δηλητήριο δύο φορές το χρόνο. Χρήση παγίδων. Τοποθέτηση πινακίδων όταν χρησιμοποιούνται δηλητηριώδη χημικά.
Κουνούπια	Δημόσιος κίνδυνος.	Χρήση χημικών ή αποξήρανση για την καταπολέμησή τους.

ΠΡΟΒΛΗΜΑ**ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ****ΔΙΟΡΘΩΤΙΚΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΕΣ**

Ασφάλεια

Αλλαγές στην ποιότητα του νερού που θα ήταν βλαβερές στην υγεία.

Περιοδικές χημικές αναλύσεις με ειδική και συχνή δειγματοληψία σε περιπτώσεις αλλαγής της ποιότητας του εισερχόμενου νερού και μετά από φυσικά και καταστροφικά γεγονότα, όπως διοχέτευση χημικών στα ανάντη. Χημικές αναλύσεις θα πρέπει να γίνονται για ανίχνευση επιβλαβών χημικών χαρακτηριστικών.

Πιθανά ατυχήματα ατόμων. Η πιθανότητα ατυχήματος είναι μεγαλύτερη, όταν το βάθος του νερού είναι μεγάλο.

Περίφραξη της περιοχής. Περιπολία της περιοχής πριν και κατά την διάρκεια των εργασιών.

Διατήρηση της ικανότητας διήθησης.

Μείωση της ικανότητας κατείσδυσης θα μειώσει την αποδοτικότητα του συστήματος, αυξάνοντας τη μονάδα κόστους του εμπλουτιζόμενου νερού.

Κατάλληλη επεξεργασία του νερού. Απολάσπωση του νερού μέχρι την επιθυμητή συγκέντρωση. Προγραμματισμός ενδιάμεσων περιόδων αποξήρανσης για να αποφευχθούν προβλήματα διόγκωσης στο έδαφος. Ανάπτυξη της βλάστησης για τη μείωση της περιόδου αποξήρανσης, μετατοπίζοντας το νερό στο ριζικό υπόστρωμα και χαλαρώνοντας το έδαφος. Μελέτες έδειξαν ότι το χόρτο bermuda χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στη διατήρηση του ποσοστού, ακόμα και σε παρατεταμένες συνθήκες πλημμύρας. Αύξηση του φορτίου του νερού γενικά με την αύξηση του βάθους του. Χρήση χειροκίνητων μηχανημάτων, ώστε να αποφεύγεται ο βαρύς εξοπλισμός που θα συμπύκνωνε το έδαφος, ιδιαίτερα όταν αυτό είναι βρεγμένο. Απόξεση και σβάρνισμα μετά την απαραίτητη περίοδο αποξήρανσης. Διατήρηση της ταχύτητας σχεδιασμού, για τη μείωση της ποσότητας ιλύος που συσσωρεύεται στα κανάλια και τις τάφρους. Έλεγχος της πιθανότητας χημικών αντιδράσεων στη βάση. Το έδαφος μπορεί να αναδομηθεί, με τη χρήση οργανικών ουσιών ή χημικών στοιχείων.

Συντήρηση των έργων εκτροπής και έλεγχος.

Δυσμενείς επιπτώσεις στις εγκαταστάσεις και τις εργασίες κατάκλυσης.

Συστηματική συντήρηση και περιπολία κατά τη διάρκεια των εργασιών. Έλεγχος των ξύλινων κατασκευών, αφού αυτές καταστρέφονται γρηγορότερα λόγω των συχνών κύκλων κατάκλυσης και αποξήρανσης. Έλεγχος της καθίζησης των κατασκευών που αλλάζουν τις συνθήκες ροής. Έλεγχος για υποσκαφές των κατασκευών ιδιαίτερα στα κατάντη. Υδατοστεγές κανάλι για αφαίρεση ιλύος και μπαζών που συσσωρεύτηκαν κοντά στο έργο εκτροπής.

- Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει προηγούμενη εμπειρία εφαρμογής Τ.Ε., θα πρέπει να προηγείται η κατασκευή ενός **μικρού πιλοτικού έργου** για να αποκτηθεί η σχετική εμπειρία και να συνταχθούν τα κατάλληλα κριτήρια για την πλήρη εφαρμογή και διαχείριση του έργου. Έτσι θα αποφευχθούν λάθη που στοιχίζουν χρήμα, χρόνο, και περικλείουν κινδύνους μόλυνσης του υδροφορέα.
- Ένα ερευνητικό πρόγραμμα Τ.Ε. κρίνεται σκόπιμο να διαρκεί περί τα 5 χρόνια, στη διάρκεια των οποίων πρέπει να παρακολουθούνται τα πειράματα και να συλλέγονται και να διατυπώνονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για τις υδρογεωλογικές παραμέτρους του υδροφόρου, την ποιότητα του νερού του υδροφόρου, τα τεχνικά, οικονομικά και διαχειριστικά χαρακτηριστικά της εφαρμογής εμπλουτισμού.

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Τ.Ε.

- (i) Η βέλτιστη χρήση των υπόγειων νερών επιτελείται όταν έχουμε απόληψη νερού με ταχύτητες τέτοιες που τα καθαρά οφέλη (συνολικά οφέλη μείον το συνολικό κόστος) από τη χρήση αυξάνονται με το χρόνο.
- (ii) Το συνολικό κόστος μιας εφαρμογής Τ.Ε. αποτελείται από τις δαπάνες για:
- την απόκτηση ή χρήση της απαιτούμενης γης,
 - την κατασκευή των απαραίτητων έργων,
 - την απόληψη νερού,
 - τη λειτουργία και συντήρηση του όλου έργου.
- (iii) Το κόστος αυτό ποικίλλει ανάλογα με:
- το σκοπό του έργου,
 - τη μέθοδο εμπλουτισμού που επιλέγεται,
 - την ποσότητα και την ποιότητα του διαθέσιμου νερού για εμπλουτισμό, όπως και τις συνθήκες ροής του νερού,
 - τις ιδιότητες του εδαφικού υλικού στην επιφάνεια και στο υπέδαφος,
 - την τοποθεσία που επιλέγεται για εφαρμογή του εμπλουτισμού,
 - τις δυνατότητες και τις απαιτήσεις των διαφόρων υπηρεσιών που εμπλέκονται στην όλη διαδικασία εφαρμογής.

Στις μεθόδους εμπλουτισμού με γεωτρήσεις το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους οφείλεται:

- στο είδος των ανάλογων έργων παροχέτευσης του νερού,
- στο είδος των επιλεγμένων γεωτρήσεων,
- στο είδος του απαιτούμενου συνοδευτικού εξοπλισμού,
- στη λειτουργία και συντήρηση του όλου έργου, αφού η χρήση γεωτρήσεων εμπλουτισμού είναι από μόνη της αρκετά δαπανηρή διαδικασία.

Στις μεθόδους εμπλουτισμού με κατακλύσεις, το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους οφείλεται:

- στη διαδικασία εκτροπής του νερού από τους ποταμούς,
- στη μεταφορά του νερού εμπλουτισμού από και προς την περιοχή εμπλουτισμού,
- στη μέτρηση της ποσότητας που εμπλουτίζεται,
- στη συγκράτηση του νερού εμπλουτισμού και στη ρύθμιση της ροής του στην περιοχή εμπλουτισμού,
- στην επαρκή και ασφαλή λειτουργία και συντήρηση των έργων εμπλουτισμού.

Το κόστος εφαρμογής της μεθόδου εξαρτάται από το πόσο μεγαλύτερη ταχύτητα διήθησης μπορεί να επιτευχθεί με τη λιγότερο δυνατή απαιτούμενη επιφάνεια εφαρμογής.

- Ο καθαρισμός του νερού εμπλουτισμού με διήθηση στο υπέδαφος είναι σχετικά φτηνότερη διαδικασία αν συγκριθεί με τη διαδικασία καθαρισμού του νερού με άμεση απόληψη από την πηγή τροφοδοσίας όπως για παράδειγμα ένας ποταμός.
- Η μέθοδος επιφανειακής κατάκλυσης είναι αρκετά πιο φτηνή από τη μέθοδο εμπλουτισμού με γεωτρήσεις.
- Το κόστος του εμπλουτισμού με επανεπεξεργασμένα απόβλητα ποικίλλει αρκετά, αφού οι ανάλογες εφαρμογές μπορεί να ποικίλουν από απλές εργασίες δευτερογενούς επεξεργασίας έως πολύπλοκα και προηγμένα συστήματα καθαρισμού, κυρίως σε εφαρμογές με γεωτρήσεις εμπλουτισμού.
- Το κόστος ενός συστήματος φυσικής επεξεργασίας μέσω εδάφους-υδροφορέα, SAT (Soil-Aquifer Treatment System), είναι αρκετά πιο μικρό από το κόστος της φυσικής-χημικής επεξεργασίας αποβλήτων σε ένα προηγμένο σύστημα επεξεργασίας από το οποίο απολαμβάνεται νερό εφάμιλλης ποιότητας με την πρώτη περίπτωση.

Κατά τη διαδικασία σχεδιασμού αλλά και της εφαρμογής των μεθόδων Τ.Ε. ανακύπτουν διάφορα ζητήματα σκοπιμότητας από νομική και οικονομική πλευρά. Συνήθως τα ερωτήματα που προκύπτουν και χρήζουν απάντησης είναι:

- Ποιος χρηματοδοτεί το έργο;
- Ποιος ωφελείται από την αποθήκευση του νερού;
- Ποιοι οργανισμοί ή υπηρεσίες έχουν τη δικαιοδοσία να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν το έργο; θα πρέπει ή όχι το νερό εμπλουτισμού να αναμιχτεί με το επιφανειακό νερό;
- Ποια είναι τα δικαιώματα και ποιες οι υποχρεώσεις αυτών που αποθηκεύουν υπόγεια το νερό;
- Η απαιτούμενη γη είναι διαθέσιμη και μέσα στα όρια των προδιαγραφών;
- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις του έργου στις συμφωνίες μεταξύ των αρμοδίων Δήμων ή Κοινοτήτων που αφορούν στη διάθεση του νερού και τον έλεγχο πιθανών πλημμυρών;
- Ποιες θα είναι οι επιπτώσεις στη χρήση γης, τον πληθυσμό και την τοπική οικονομία των περιοχών εμπλουτισμού;

Τεχνητός εμπλουτισμός με επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα

- Η σχεδιασμένη επαναχρησιμοποίηση του νερού, παρά τις αντιρρήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (W.H.O), γίνεται όλο και περισσότερο σημαντική σε περιοχές:
 - όπου η ζήτηση του νερού υπερβαίνει τις διαθέσιμες ποσότητες και
 - όπου χείμαρροι ή άλλα επιφανειακά νερά πρέπει να προστατευτούν.
- Επεξεργασμένα υγρά απόβλητα, είναι τεχνικά δυνατό μετά από κατάλληλη επεξεργασία, να χρησιμοποιηθούν ακόμη και ως πόσιμο νερό. Τέτοια τεχνολογία είναι σήμερα διαθέσιμη στις ανεπτυγμένες χώρες.
- Τα αστικά επεξεργασμένα υγρά απόβλητα (ΕΥΑ) χρησιμοποιούνται:
 - στην άρδευση καλλιεργειών και φυτωρίων,
 - στην άρδευση χώρων αναψυχής (πάρκων, γηπέδων, καλλωπιστικών χώρων κλπ.)
 - στη βιομηχανία (ψύξη μηχανών, τροφοδοσία λεβήτων κλπ.)
 - στη δημιουργία χώρων αναψυχής και προστασίας περιβάλλοντος (αύξηση της ροής χειμάρρων, παγοδιάδρομοι, τεχνητές λίμνες κλπ.)
 - σε μη-πόσιμες αστικές χρήσεις (πυρόσβεση, νερό για τουαλέτες κλπ.)
 - στον εμπλουτισμό υδροφόρων.

φυσική επεξεργασία μέσω του συστήματος εδάφους-υδροφορέα (Soil-Aquifer Treatment Systems, SAT)

- Ο κύκλος του εμπλουτισμού του υπόγειου νερού και της ανάκτησής του στο πλαίσιο της διαδικασίας της επαναχρησιμοποίησης έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως είναι:
- η αποθήκευση, που έχει ως στόχο την απορρόφηση των εποχιακών ή μακράς διάρκειας διαφορών ανάμεσα στη διαθέσιμη εκπομπή υγρών αποβλήτων και στις απαιτήσεις για «ανανεωμένο»-«αναγεννημένο» νερό,
 - η βελτιωμένη ποιότητα του υγρού αποβλήτου καθώς ρέει ή φιλτράρεται μέσω του εδάφους και του υδροφόρου (επεξεργασία μέσω του συστήματος εδάφους-υδροφόρου ή γεωκαθαρισμός),
 - οικονομικά πλεονεκτήματα,
 - αισθητικά οφέλη και καλύτερη αποδοχή του επαναχρησιμοποιημένου νερού από το κοινό.

- Μετά από πρωτογενή και δευτερογενή επεξεργασία τους, τα αστικά λύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμπλουτισμό των υπόγειων νερών, με την κατασκευή καταλλήλων λεκανών διήθησης ή με γεωτρήσεις εισαγωγής.
- Το εδαφικό υλικό στην ακόρεστη ζώνη και στη συνέχεια τα υλικά του υδροφορέα επενεργούν ως φυσικά φίλτρα που μπορούν να "καθαρίσουν" ή να επεξεργαστούν τα λύματα έτσι ώστε μετά την απόληψή του από τον υδροφόρο το "ανανεωμένο" πλέον νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ικανοποιήσει σχεδόν όλες τις ανάγκες χρήσης μη πόσιμου νερού ("συστήματα φυσικής επεξεργασίας μέσω του εδάφους-υδροφορέα", "Soil-Aquifer Treatment Systems" (SAT Systems) με πλήρη ανάκτηση του νερού μέσα από κατάλληλα τοποθετημένες γεωτρήσεις ή αγωγούς αποστράγγισης.

- Τα *αιωρούμενα στερεά* διηθούνται, οι *βιοδιασπώμενες οργανικές ενώσεις* διαχωρίζονται, οι *μικροοργανισμοί* απορροφώνται ή καταστρέφονται εξαιτίας άλλων μικροοργανισμών που αναπτύσσονται στο έδαφος, οι *συγκεντρώσεις αζώτου* μειώνονται με απονιτροποίηση, οι *συνθετικές οργανικές ενώσεις* απορροφώνται και/ή βιοδιασπώνται και τέλος, ο *φώσφορος*, οι *φθοριούχες ενώσεις* και τα *βαρέα μέταλλα* προσροφώνται, καθιζάνουν ή αλλιώς αδρανοποιούνται.
- Τα λύματα που μπορούν να θεωρηθούν κατάλληλες πηγές νερού για υπόγειο εμπλουτισμό, περιλαμβάνουν **αστικά λύματα**, **επιφανειακές απορροές** και ροή από **επιστροφές άρδευσης**.
- Από τους τρεις τύπους λυμάτων για εμπλουτισμό, τα επεξεργασμένα αστικά λύματα είναι μακράν τα πιο συνήθη, χωρικά και χρονικά, ποιοτικά και ποσοτικά.
- Εξαιρέση αυτής της γενίκευσης αποτελούν οι περιοχές όπου τα ακατέργαστα αστικά λύματα και τα νερά της βροχής αναμειγνύονται σε ένα κοινό αποχετευτικό σύστημα.
- Η ποιότητα των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων και γενικά των υποβαθμισμένων νερών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν ως νερά εμπλουτισμού ποικίλλει ανάλογα με το επίπεδο επεξεργασίας.
- Τα συστατικά που εμπνέουν ανησυχία στα αστικά λύματα, περιλαμβάνουν οργανικές ενώσεις, αζωτούχες ενώσεις, παθογόνους οργανισμούς και αιωρούμενα στερεά.

Επιφανειακές απορροές

- Η ποιότητα των αστικών επιφανειακών απορροών επηρεάζεται από την ποσότητα και την ποιότητα της βροχόπτωσης, των φυσικών και ανθρωπογενών χαρακτηριστικών της λεκάνης απορροής, του διαστήματος που μεσολάβησε από την τελευταία βροχόπτωση και, για τις βόρειες περιοχές, την εποχή του χρόνου.
- Τα συστατικά που εμπνέουν ανησυχία είναι τα *μέταλλα*, οι οργανικές ενώσεις, οι *παθογόνοι οργανισμοί*, τα *αιωρούμενα στερεά* και, σε βόρεια κλίματα κατά τη χειμερινή περίοδο, τα *αδιάλυτα στερεά* και ο *εμπλουτισμός με χλώριο* εξαιτίας της αποπάγωσης των δρόμων.
- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην περίπτωση των όμβριων υδάτων από βιομηχανικές περιοχές καθώς παρουσιάζουν πολύ ασταθή σύσταση και ενδέχεται να είναι τοξικά.

Ροή από επιστροφές άρδευσης

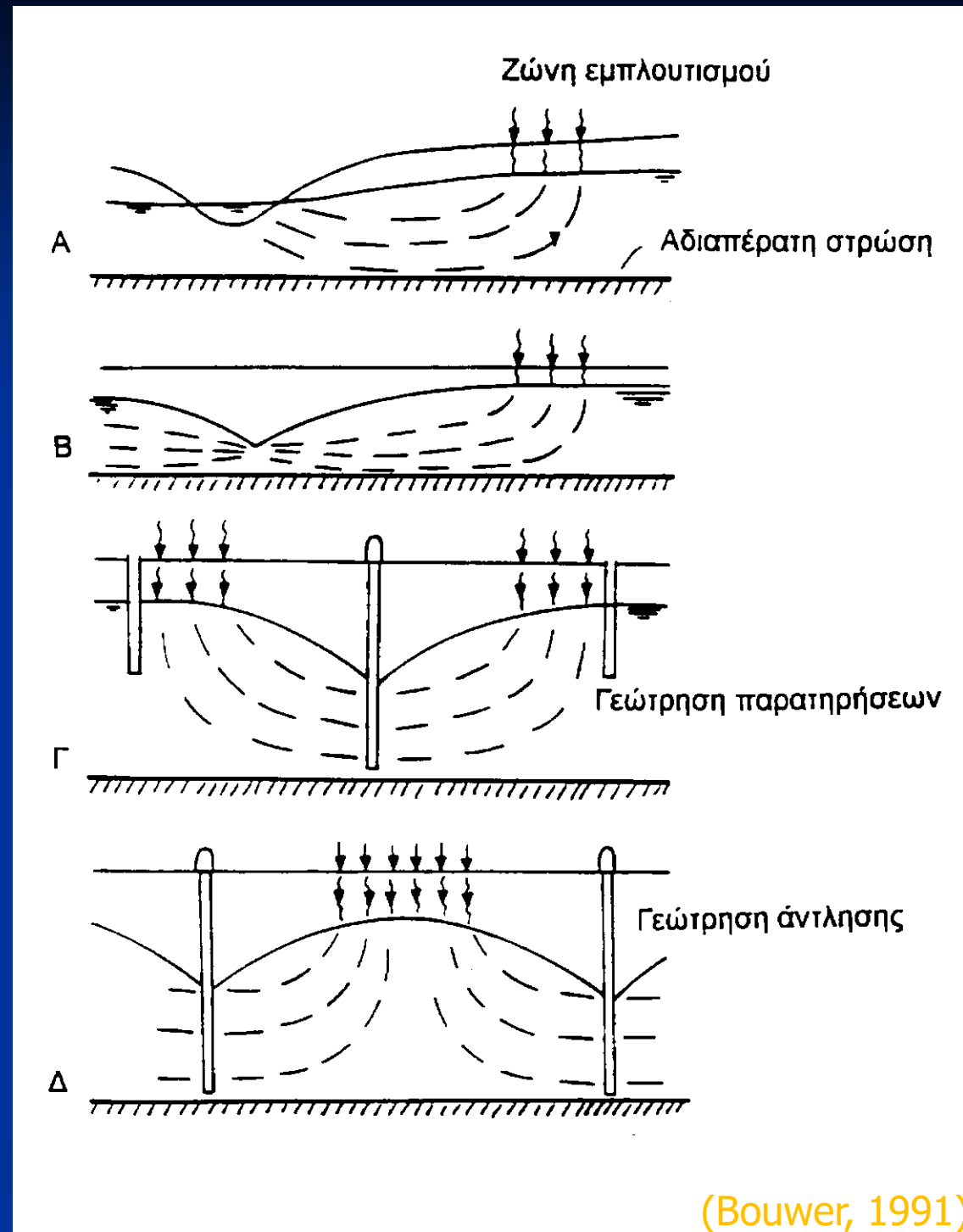
- Η ροή από τις επιστροφές άρδευσης εμφανίζει τη μεγαλύτερη ποιοτική ποικιλομορφία καθώς κυμαίνεται μεταξύ υψηλής ποιότητας επιφανειακά νερά έως νερών με αλατότητα της τάξης των 10.000 mg/L.
- Σε υγρές περιοχές, το περιεχόμενο σε άλατα της ροής από επιστροφές άρδευσης δεν αποτελεί τόσο μεγάλο πρόβλημα όσο σε ημίξηρες περιοχές.

A. φυσική ανάκτηση του νερού σε χειμάρρο ή άλλο υδατόρευμα, λίμνη ή υδρολεκάνη χαμηλότερου υψομέτρου

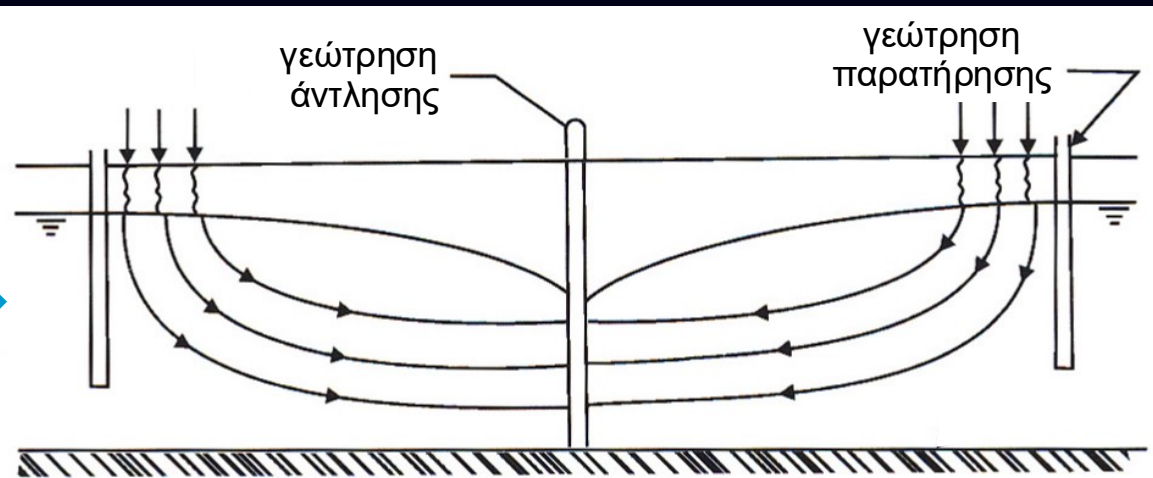
B. συλλογή του νερού με υπόγεια στράγγιση

Γ. άντληση μέσω κεντρικής γεώτρησης

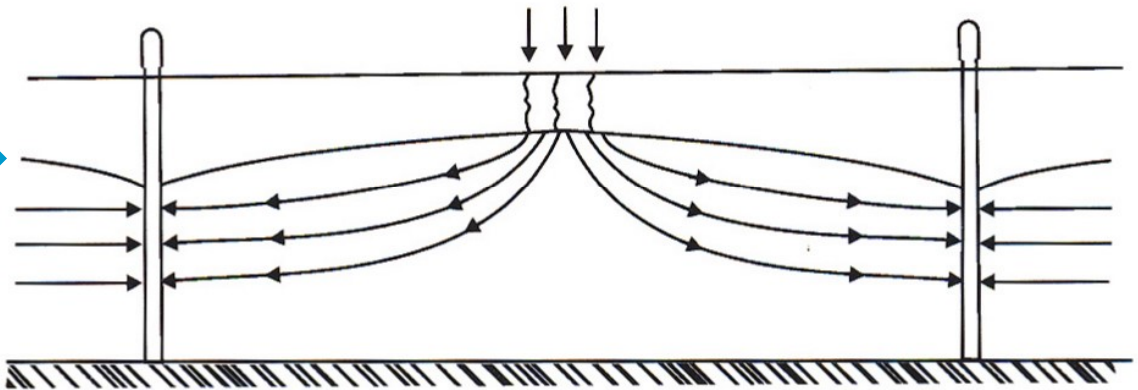
Δ. άντληση μέσω περιφερειακών γεωτρήσεων



περιοχές εμπλουτισμού σε δυο παράλληλες σειρές και μια γραμμή από γεωτρήσεις άντλησης στο μέσον



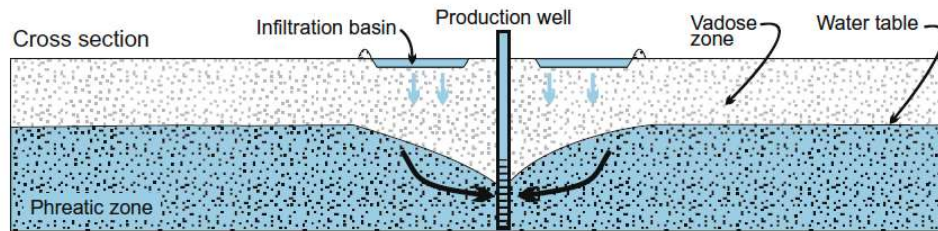
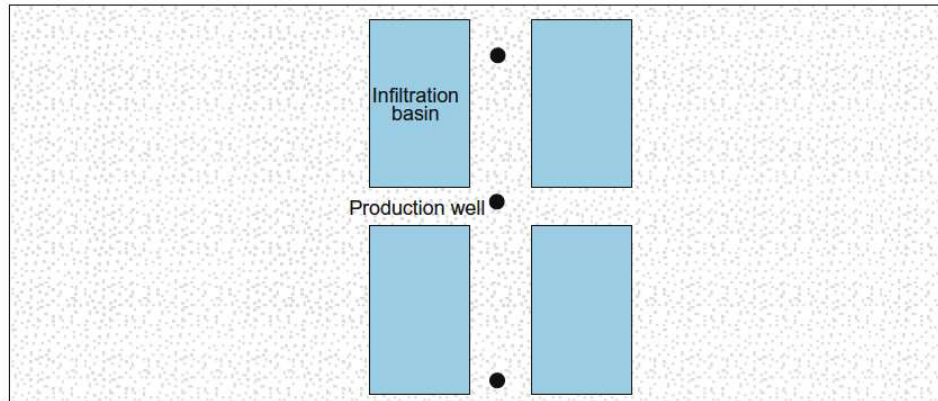
στο κέντρο, περιοχή εμπλουτισμού περιβαλλόμενη από ένα κύκλο γεωτρήσεων άντλησης ή μια επιμήκης λωρίδα εμπλουτισμού με εκατέρωθεν γεωτρήσεις



Συστήματα εμπλουτισμού και ανάκτησης νερού (SAT)
(Bouwer, 2002)

Production wells between basins

Plane view



Production wells outside of basins

Plane view

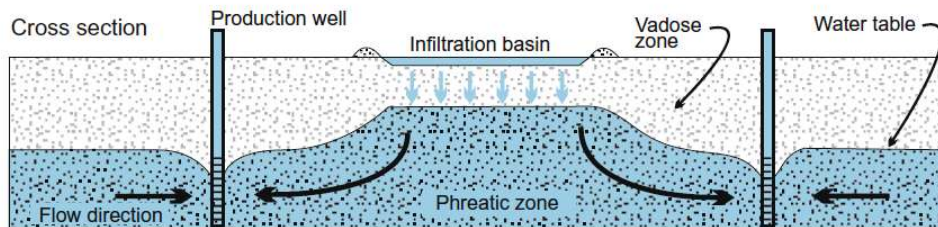
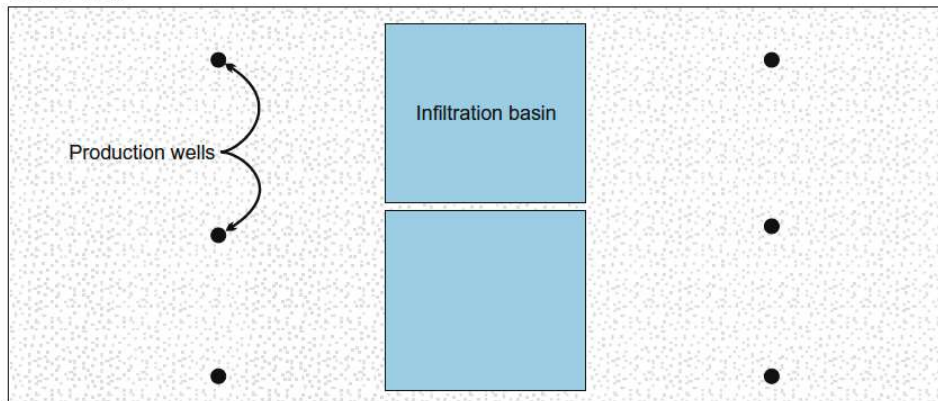
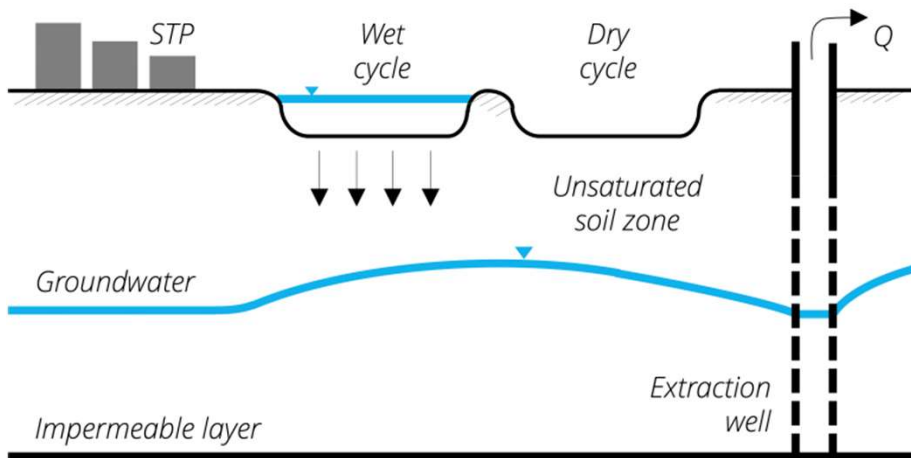


Fig. 19.1 Conceptual diagram of SAT system designs with production wells located between basins (top) and outside of basins (bottom)

Soil aquifer treatment (SAT)



Soil Aquifer Treatment is a technology where water is recharged into the groundwater through soil percolation under controlled conditions. During percolation, natural soil filtration processes occur improving the source water quality by removing nutrients and pathogens. This technique requires unsaturated soil conditions which are achieved by intermittent surface spreading. Focus of this method is on the improvement of quality of the recharged water.

Advantages

- Reclaimed water treatment through the soil.

Limitations

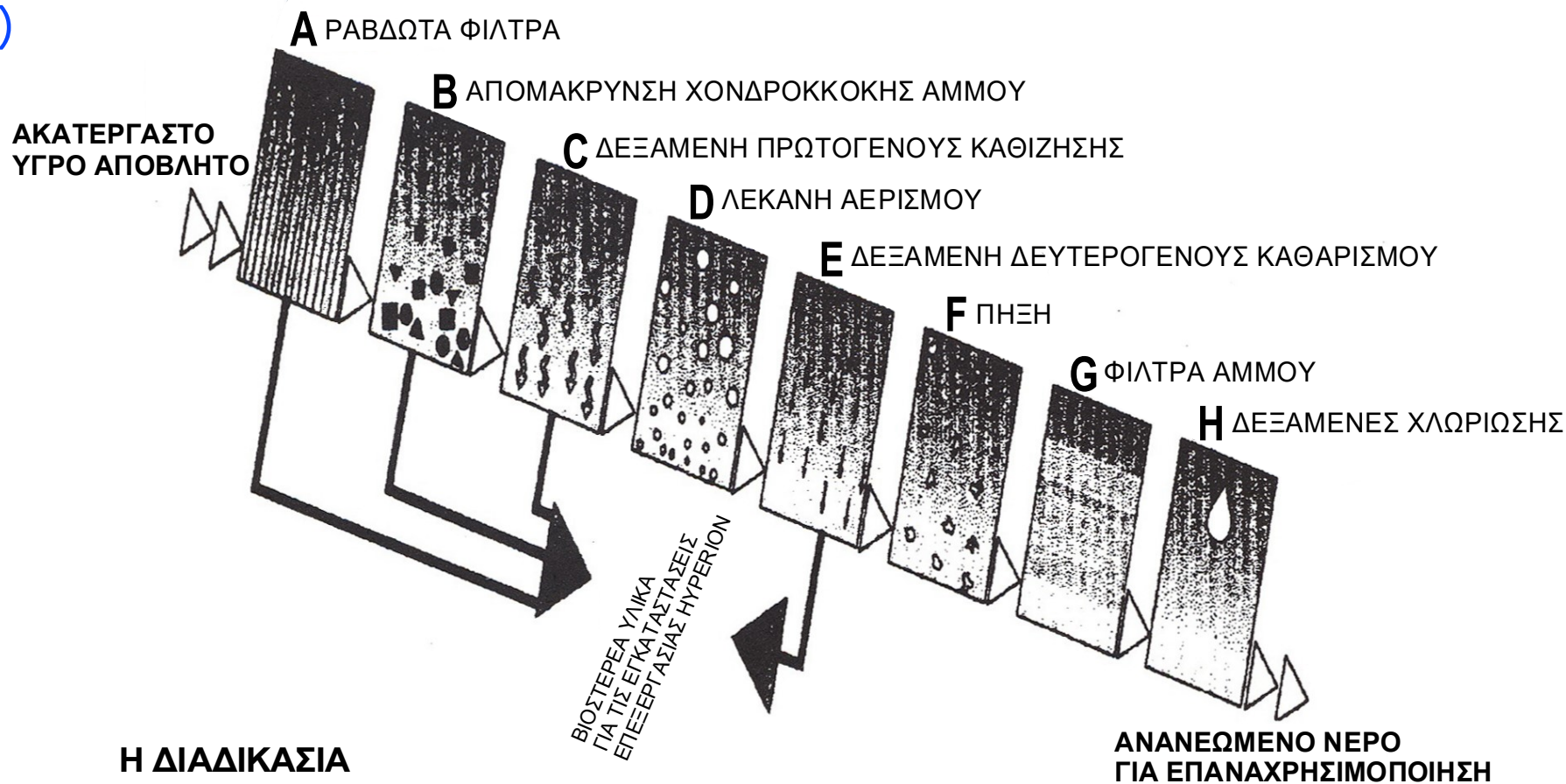
- Unsaturated soil conditions need to be guaranteed.
- Processes need to be controlled to monitor quality improvement.
- High maintenance costs.
- Risk of clogging.

Typical system capacity scale	Village - Town ($\approx 10^4$ m ³ /year - higher than 10^6 m ³ /year).
Geology	Unconfined aquifers composed of permeable sedimentary rocks.
Topography	Preferably flat or gentle sloped terrain but slope characteristics can be interrupted to enhance infiltration.
Soils	Permeable soils able to guarantee water quality standards to the target aquifer.
Water source	Treated wastewater, storm water.
Pre-treatment	Pre-treatment is required.
MAR main objective	Water quality improvement
Relative cost	Medium-high.

- Η πρωτογενής επεξεργασία είναι μια μηχανική διεργασία που απομακρύνει οτιδήποτε επιπλέει ή είναι βυθισμένο στο νερό.
- Η δευτερογενής επεξεργασία είναι μια βιολογική διεργασία όπου βακτήρια υποβαθμίζουν οργανικά συστατικά σε αεριζόμενες δεξαμενές ή σε ειδικά φίλτρα.
- Η τριτογενής επεξεργασία αποτελείται από φιλτράρισμα μέσω της άμμου και απολύμανσης, ενώ η περαιτέρω επεξεργασία αφορά όλες τις άλλες βαθμίδες επεξεργασίας, όπως η νίτρωση-απονίτρωση, προσρόφηση με ενεργό άνθρακα και αντίστροφη όσμωση, κ.α.
- Τα SAT συστήματα είναι σχετικά απλά στην κατασκευή τους και τη λειτουργία τους, ανθεκτικά στο χρόνο και μικρού κόστους.
- Τέτοιου είδους συστήματα μπορούν επίσης να εξασφαλίσουν την αποθήκευση νερού στους υδροφόρους για βραχυπρόθεσμες ή μακροχρόνιες περιόδους.

Στάδια επεξεργασίας
σε εγκατάσταση
βελτίωσης νερού
(ASCE, 2001)

Το Αρχικό Στάδιο:
ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ
ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ TILLMAN



Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

A - C
ΠΡΩΤΟΓΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
Απομάκρυνση 70% όλων των στερεών.

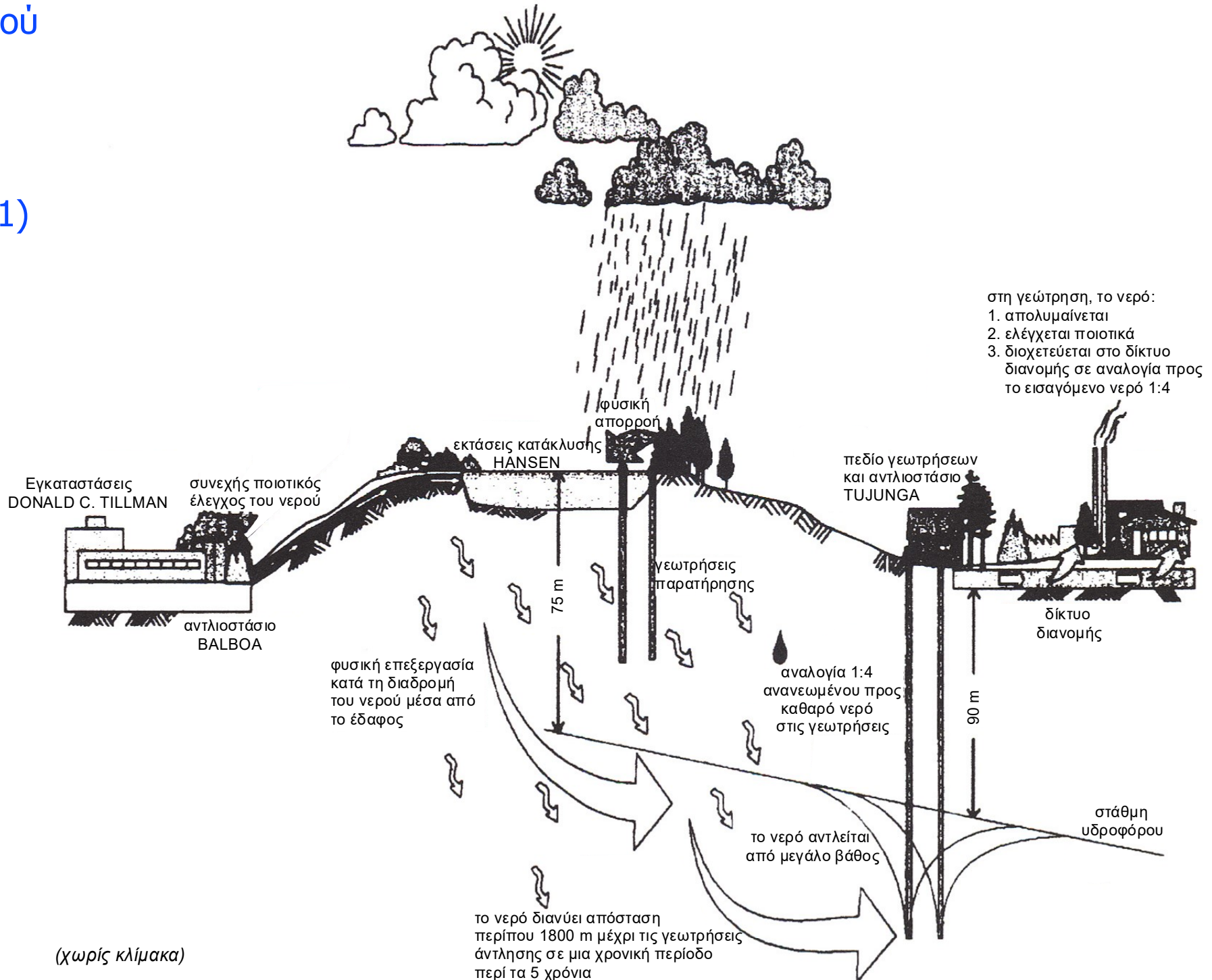
D - E
ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ
Μετατροπή των οργανικών υλικών στο νερό σε μη ζημιογόνα παραπροϊόντα, όπως νερό και αέρα. Απομάκρυνση στερεών, που έχουν παραμείνει, όπως χαλικοαμμώδη και αμμώδη υλικά.

F
Πρόσθεση χημικών για την καλύτερη απομάκρυνση οργανικών υλικών, που έχουν παραμείνει.

G - H
ΤΡΙΤΟΓΕΝΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΛΥΜΑΝΣΗ
Διοχέτευση του νερού από φίλτρα άμμου για την αποφυγή διέλευσης οργανικών υλικών και προσκολλημένων ιών. Πρόσθετη απολύμανση με χλώριο.

Τελικό Στάδιο: ΦΥΣΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ

Σύστημα
εμπλουτισμού
με υγρά
απόβλητα
(ASCE, 2001)



(χωρίς κλίμακα)

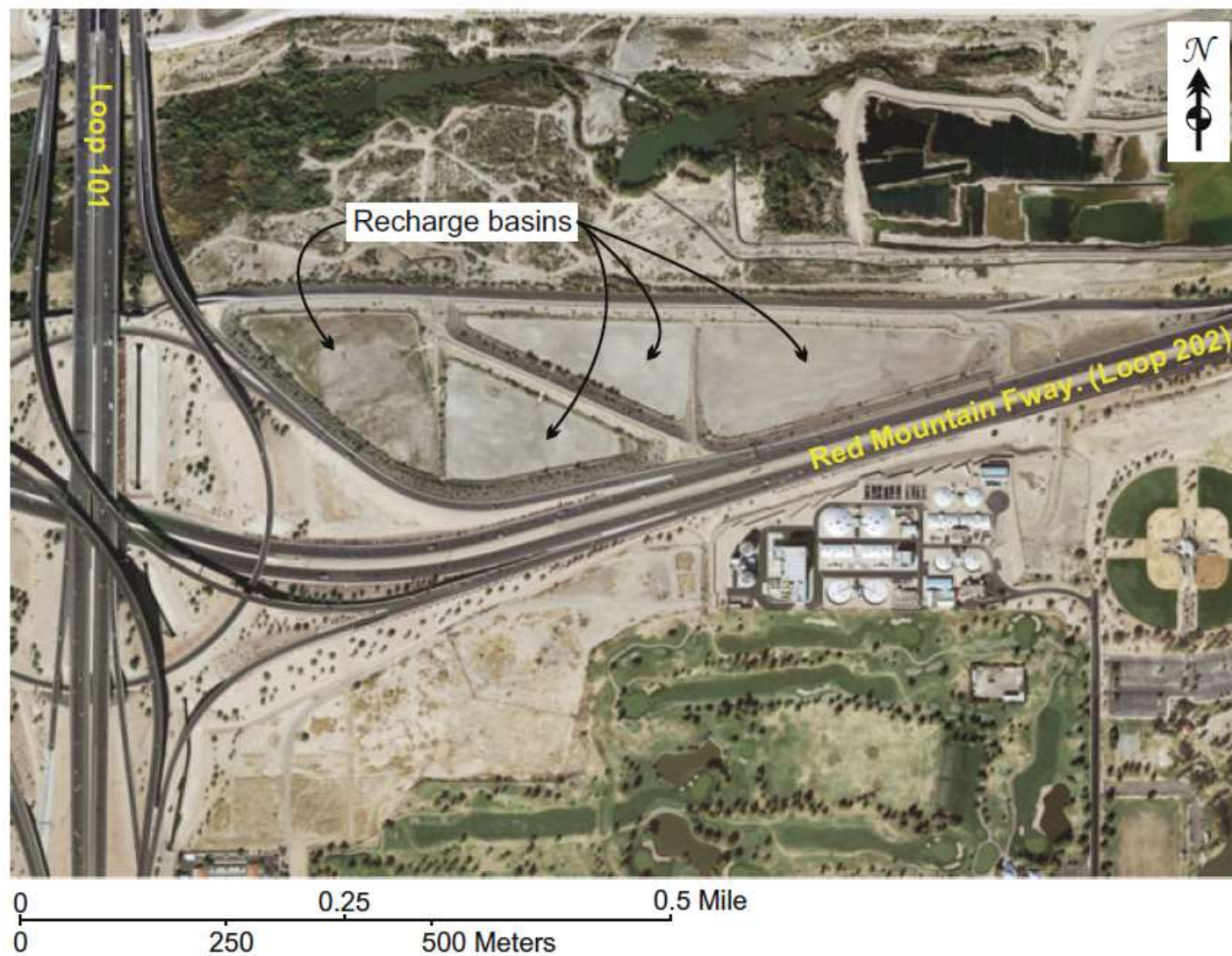


Fig. 19.3 Aerial photograph of the Mesa Northwest Water Reclamation Plant SAT system, Arizona (Photograph source: U.S. Geological Survey)

- ✓ Οι λεκάνες διήθησης πληρούνται διακεκομμένα και καθαρίζονται περιοδικά.
- ✓ Ρυθμός διήθησης: μερικά δέκατα του μέτρου ανά ημέρα κατά τη διάρκεια της κατάκλυσης, και σε ετήσια βάση περίπου 50-100 m³ ανά έτος.
- ✓ Μετά την επεξεργασία του νερού με τη μέθοδο SAT μπορούν να εγκατασταθούν γεωτρήσεις άντλησης ώστε να αντλούν 100% ανανεωμένο (αναγεννημένο) νερό.
- ✓ Εναλλακτικά, οι γεωτρήσεις μπορούν να τοποθετηθούν έτσι ώστε να αντλούν μίγμα ανανεωμένου και φυσικού υπόγειου νερού.
- ✓ Το νερό από τις γεωτρήσεις είναι ουσιαστικά ελεύθερο από παθογενείς παράγοντες με αποτέλεσμα να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πολλούς σκοπούς **εκτός την πόση** (παρουσία υπολείμματος οργανικού άνθρακα, που αποτελείται από ευρύ φάσμα συνθετικών οργανικών χημικών, μερικά από τα οποία είναι καρκινογενή ή μπορεί να έχουν βλαβερές συνέπειες για την υγεία του καταναλωτή).
- ✓ Η λειτουργία ενός συστήματος SAT εξαρτάται από την περιοχή εφαρμογής και έχει σχέση με την ποιότητα που αποβλήτου, το έδαφος, την υδρογεωλογία και το κλίμα.
- ✓ Γι' αυτό σε περιοχές στις οποίες δεν έχει εφαρμοσθεί ποτέ ένα σύστημα SAT, είναι αναγκαία η εγκατάσταση **πυλοτικών ή πειραματικών μονάδων** πριν την εγκατάσταση των μονάδων ευρείας εφαρμογής, για να αξιολογηθεί η δυνατότητα εφαρμογής και να σχεδιαστεί το σύστημα SAT για optimum λειτουργία.
- ✓ Πολύ προσοχή πρέπει να δοθεί στο σωστό σχεδιασμό και λειτουργία του συστήματος επεξεργασίας των αποβλήτων.

- ✓ Μετά από σχετική έρευνα στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ τη δεκαετία του '80, συντάχθηκε κανονισμός για την επαναχρησιμοποίηση των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ΕΥΑ) ειδικά για εμπλουτισμό των υδροφόρων, που καθορίζει ένα σύνολο συνθηκών που απαιτούνται για ένα αποδεκτό σχέδιο τεχνητού εμπλουτισμού με ΕΥΑ. Το βασικό στοιχείο που κυριαρχεί στην εφαρμογή του εμπλουτισμού των υδροφόρων με ΕΥΑ είναι οι πιθανές αρνητικές επιδράσεις στην υγεία από εισαγωγή παθογόνων ή ιχνοστοιχείων ή τοξικών στοιχείων στα υπόγεια νερά τα οποία καταναλώνονται ως πόσιμα από το κοινό.

- ✓ Λεπτομερής αναφορά δίδεται σε μια σειρά αντικειμένων, όπως:
 - έλεγχος της πηγής,
 - διαδικασία επεξεργασίας των υγρών αποβλήτων,
 - τα standards της μεθόδου επεξεργασίας,
 - τη μέθοδο εμπλουτισμού,
 - την περιοχή εμπλουτισμού,
 - την απόσταση διάνοιξης γεωτρήσεων και
 - τα φρεάτια ελέγχου ποιότητας.

- Σύσταση των λυμάτων

- Περιεκτικότητα σε αιωρούμενα στερεά (SS) και σε ολικά διαλυμένα στερεά (TDS),
- οι συγκεντρώσεις σε θρεπτικά συστατικά
- οι συγκεντρώσεις ιόντων (Ca, Mg, Na), καθοριστικών για την τιμή SAR.

- Εξαέρωση

- Αφορά στην εξαέρωση ορισμένων ρυπαντικών ουσιών κατά την παραμονή τους στην ακόρεστη ζώνη και μετέπειτα διάχυσή τους στην ατμόσφαιρα.
- Στα επιφανειακά συστήματα εμπλουτισμού η εξαέρωση λαμβάνει χώρα στην επιφάνεια του στάσιμου νερού της λεκάνης εμπλουτισμού.

Εδαφικές απαιτήσεις εφαρμογής του συστήματος SAT

- Τα συστήματα εμπλουτισμού απαιτούν διαπερατά εδάφη με υψηλή διηθητικότητα, ακόρεστη ζώνη χωρίς περιοριστικές στρώσεις ή άλλα προβλήματα, όπως ρυπασμένες ζώνες ή με ανεπιθύμητες χημικές ουσίες που είναι δυνατόν να υποστούν έκπλυση, με καλή ποιότητα νερού στην ανώτερη στάθμη.
- Μια ιδανική επιφανειακή στρώση εδάφους πρέπει να είναι ομοιόμορφη (με βάθος > 3 m), με χονδρόκοκκη δομή ώστε να έχει υψηλή διηθητικότητα αλλά και με λεπτόκοκκα συστατικά για να έχει ικανοποιητική φίλτραυση (αμμώδης ιλύς, ιλύς ή λεπτόκοκκη άμμος και χαλίκια). Πολύ χονδρόκοκκη άμμος και χαλίκια δεν είναι κατάλληλα, διότι επιτρέπουν τα απόβλητα να διέρχονται πολύ γρήγορα από το επιφανειακό στρώμα του εδάφους, στο οποίο υπάρχει η κύρια βιολογική και χημική δραστηριότητα.
- Τιμές διηθητικότητας από 25 mm/h ή υψηλότερες είναι αναγκαίες για ταχεία διήθηση.
- Οριζόντια ή σχετικά οριζόντια εδάφη είναι επιθυμητά για χρήση στις λεκάνες διήθησης (συνιστάται κλίση $< 5\%$).

ΖΗΤΗΜΑΤΑ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΥΓΕΙΑΣ

- Για να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις στην υγεία από τη χρήση ανακτημένου νερού για υπόγειο εμπλουτισμό, απαιτούνται τα ακόλουθα:
 - τα είδη και οι συγκεντρώσεις των χημικών ουσιών που υπάρχουν στο νερό (νερό εμπλουτισμού, ανακτημένο νερό, νερό τη στιγμή της χρήσης),
 - οι αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον,
 - η μεταφορά, η υποβάθμιση, η μετατροπή αλλά και κάθε άλλη συνέπεια της επεξεργασίας του νερού,
 - τοξικότητα των χημικών ουσιών,
 - τελική χρήση του νερού και
 - καθορισμός της ανθρώπινης έκθεσης σε αυτό.
- Τα ποιοτικά πρότυπα δε βασίζονται αποκλειστικά σε ζητήματα υγείας αλλά επιπλέον στο τι είναι τεχνολογικά εφικτό, ανιχνεύσιμο αλλά και σε οικονομικούς παράγοντες.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ, ΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΣΕΙΣ

- Από οικονομική άποψη, ο εμπλουτισμός με υποβαθμισμένα νερά μπορεί να αποδειχθεί οικονομικά ελκυστικός (και ακόμα περισσότερο στο μέλλον) με δεδομένη και τη διαρκώς έλλειψη επιφανειακών υδατικών πόρων.
- Το κόστος επεξεργασίας και η μεταφορά του νερού αποτελούν παραμέτρους καθοριστικής σημασίας για την οικονομική αποτελεσματικότητα των συστημάτων SAT.
- **Προδιαγραφές και οδηγίες της αριθμ. οικ.145116 απόφασης με τίτλο: Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011)**

ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΧΩΡΕΣ: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΙ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

- Η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων αποτελεί μία ταχύτατα αυξανόμενη πρακτική κυρίως σε ξηρικές και ημιξηρικές περιοχές.
- Εξαιτίας των πλούσιων υδατικών αποθεμάτων της, η ΕΕ δεν έχει ασχοληθεί ιδιαίτερα με αντικείμενα επαναχρησιμοποίησης νερού.
- Τα ποιοτικά κριτήρια για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων αστικών υγρών αποβλήτων εξαρτώνται από την εκάστοτε χρήση που πρόκειται να λάβει χώρα.
- Η επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων βρίσκει ευρεία εφαρμογή στην περίπτωση της άρδευσης καλλιεργειών καθώς εκεί μπορούν να αντιμετωπισθούν σχετικά ευκολότερα οποιαδήποτε ποιοτικά ζητήματα.

Κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης

Οι κύριες κατηγορίες επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ΕΥΑ) είναι:

- η άρδευση,
- ο εμπλουτισμός υδροφορέων,
- η βιομηχανική χρήση,
- η χρήση για αναψυχή,
- η αστική και εμπορική χρήση,
- η χρήση για υδατοκαλλιέργεια και διάφορες άλλες.
- η κυριότερη χρήση είναι η γεωργική, που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη χώρα μας και γενικά στις μεσογειακές χώρες.

Παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη και θέσπιση κριτηρίων

Οι κυριότεροι παράγοντες που καθορίζουν την ανάπτυξη και τη θέσπιση κριτηρίων για την επαναχρησιμοποίηση ΕΥΑ συνοψίζονται στα εξής:

- (α) Προστασία δημόσιας υγείας
- (β) Απαιτήσεις ποιότητας ανάλογα με τη χρήση
- (γ) Περιβαλλοντικές θεωρήσεις
- (δ) Αισθητικοί λόγοι
- (ε) Πολιτικοί λόγοι

Θεωρήσεις που αφορούν την υγεία

- Οι κύριες παράμετροι που θεωρούνται είναι τα παθογόνα, οι οργανικές ενώσεις και τα ανόργανα στοιχεία (κυρίως βαρέα μέταλλα).
- Η δυνατότητα μετάδοσης ασθενειών αποτελεί ζήτημα υπό διερεύνηση και προβληματισμό, ιδιαίτερα σε χώρες χωρίς εμπειρία σε τέτοιες τεχνολογίες.
- Προβλήματα μπορούν επίσης να προκύψουν κατά την άρδευση καλλιεργειών εξαιτίας της συσσώρευσης βαρέων μετάλλων σε αυτές ή κατά τον εμπλουτισμό υπόγειων υδροφόρων που χρησιμοποιούνται για πόσιμη χρήση, εξαιτίας της πλημμελούς απομάκρυνσης διαφόρων τοξικών οργανικών ουσιών στις διηθούμενες εκροές

Οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (WHO) και Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO)

- Η οδηγία του *Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας* (World Health Organization WHO, 1989) καθορίζει κριτήρια ποιότητας νερού άρδευσης, που όμως έχουν εκφραστεί προβληματισμοί για την αποτελεσματικότητά τους. Οι λόγοι αυτοί αφορούν κυρίως στο γεγονός ότι η οδηγία έχει σχεδιαστεί για τον έλεγχο της μικροβιακής ποιότητας ΕΥΑ, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για άρδευση γεωργικών καλλιεργειών, ενώ τα κριτήρια του νερού άρδευσης δεν αφορούν μόνο περιπτώσεις, όπου εκροές υγρών αποβλήτων χρησιμοποιούνται απ' ευθείας για άρδευση.
- Ο *Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών* (Food and Agriculture Organization, FAO) εκτός από την αντιμετώπιση των κινδύνων δημόσιας υγείας, που οφείλονται στη χρήση ΕΥΑ για άρδευση, έχει προτείνει και οδηγίες για τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού καθώς και μια σειρά αγρονομικών μέτρων προκειμένου να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή απόδοση των αρδευόμενων καλλιεργειών.

Διεθνής εμπειρία στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων

■ ΗΠΑ

- Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει ομοσπονδιακή νομοθεσία που να ρυθμίζει άμεσα την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση υγρών αποβλήτων στις ΗΠΑ.
- Ωστόσο, αρκετές Πολιτείες έχουν θεσπίσει σχετική νομοθεσία.
- Επίσης, η US EPA (Environmental Protection Agency) έχει εκδώσει συγκεκριμένη οδηγία.

■ Ε.Ε.

- Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που περιορίζουν την επαναχρησιμοποίηση των υγρών αποβλήτων στην Ευρώπη είναι η απουσία ενός ενιαίου, διεθνούς ή έστω και περιφερειακού, νομοθετικού πλαισίου.
- Η μόνη αναφορά, η οποία είναι αρκετά γενικόλογη, γίνεται στην Οδηγία 91/271/EC "...περί της επεξεργασίας υγρών αποβλήτων", όπου στο άρθρο 12, § 1 αναφέρεται ότι: *"Τα επεξεργασμένα αστικά υγρά απόβλητα πρέπει να επαναχρησιμοποιούνται, όποτε είναι σκόπιμο."*

Σημαντικά σχετικά παραδείγματα

- **Water Factory 21** στην Πολιτεία της Καλιφόρνια των ΗΠΑ, με 23 γεωτρήσεις σε έκταση 5,6 km (μέση απόσταση μεταξύ τους 183 m με δυναμικότητα 1,7 m³/m η καθεμία).
- **Montebello Forebay** στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ, με λεκάνες διήθησης έκτασης 2.635 στρέμματα, μέσου βάθους 1,2 m, όπου εφαρμόζονται 35-40 Mm³/έτος.
- **Phoenix**, στην Αριζόνα των ΗΠΑ, με λεκάνες έκτασης 10,6 στρεμμάτων και δυναμικότητας 1 Mm³/έτος.
- **El Paso**, στο Texas των ΗΠΑ, με υδραυλικό φορτίο 13.815 Mm³/έτος που τροφοδοτείται σε 10 γεωτρήσεις εμπλουτισμού.
- **Long Island**, στη New York των ΗΠΑ, με υδραυλικό φορτίο 84 Mm³/έτος που εφαρμόζεται σε λεκάνες διήθησης έκτασης 12.893 στρεμμάτων (2.124 λεκάνες διήθησης από 4 έως 8 στρέμματα η κάθε μία και μέσο βάθος 3,1 - 4,6 m).
- **Orlando**, στη Florida των ΗΠΑ, όπου χρησιμοποιούνται 310 γεωτρήσεις στράγγισης σε έκταση 320 km², διαμέτρου 10-16 m και βάθους 37-320 m. Το 50% του εφαρμοζόμενου υδραυλικού φορτίου χρησιμοποιείται για εμπλουτισμό από νερά πλημμυρικά, 45% από νερά εκχύλισης λιμνών ή βιοτόπων και το 5% από επεξεργασμένα υγρά απόβλητα. Η συνολική ποσότητα εφαρμογής είναι 0,1 Mm³/ημέρα, δηλ. περίπου 35 Mm³/έτος δευτεροβάθμιας επεξεργασίας.
- **Dan Region**, στο Tel Aviv (Ισραήλ). Το έργο εμπλουτισμού είναι σε δύο θέσεις:
(α) 4 λεκάνες διήθησης έκτασης 390 στρ. και ακόρεστη ζώνη 27-36 m, και
(β) 3 λεκάνες έκτασης 180 στρεμμάτων.

ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΥΓΡΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

- Γενικά η διαχείριση των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα, όπως και στα υπόλοιπα κράτη-μέλη της ΕΕ διέπεται από την οδηγία 91/271/ΕΕC (ΕΥ, 1991)
- Με την αριθ. 5673/400/14.3.97 Κοινή Υπουργική Απόφαση, η επεξεργασία των αστικών υγρών αποβλήτων στην Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως με αυτή της ΕΕ.
- Στη χώρα μας οι βασικές χρήσεις που ενδιαφέρουν είναι η άρδευση καλλιεργειών και χώρων πρασίνου (πρανών δρόμων, πάρκων κ.ά.) και ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων για την προστασία τους κυρίως από την υφαλμύριση
- **Προδιαγραφές και οδηγίες της αριθμ. οικ.145116 απόφασης με τίτλο: Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011)**

Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την επαναχρησιμοποίηση επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων και άλλες διατάξεις (ΦΕΚ 354/Β/8-3-2011)

Άρθρο 1

Σκοπός

- η προώθηση της αξιοποίησης των επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων (ΕΥΑ) και η μέσω αυτής εξοικονόμηση υδατικών πόρων, η οποία θα συμβάλλει σημαντικά στην αντιμετώπιση των επιπτώσεων από:
 - i) την προϊούσα **λειψυδρία** και ξηρασία στην περιοχή της Μεσογείου, καθώς και την αναμενόμενη επιδείνωση του προβλήματος λόγω της **κλιματικής αλλαγής**,
 - ii) την έντονη **ταπείνωση ή/και υφαλμύριση** των υπόγειων υδροφορέων ορισμένων περιοχών της χώρας από την **υπεράντληση**, την προϊούσα λειψυδρία και την **είσοδο του θαλάσσιου μετώπου** σε παραλιακές περιοχές,
- η βελτίωση του υδατικού ισοζυγίου μέσω της **τροφοδότησης** των υπογείων υδροφορέων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επαναχρησιμοποίηση των ΕΥΑ είναι η διασφάλιση της Δημόσιας Υγείας.

Άρθρο 5

Τροφοδότηση ή εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων

➤ Για την αποφυγή συσσώρευσης οργανικών στα υπόγεια ύδατα, που ενδέχεται να παραβιάσουν μελλοντικές χρήσεις των υπογείων υδάτων του υδροφορέα, απαιτείται:

α) Στις περιπτώσεις άμεσου **εμπλουτισμού μέσω γεωτρήσεων** υπό πίεση ή με βαρύτητα σε επιλεγμένες θέσεις γεωτρήσεων, επαρκής βαθμός επεξεργασίας για την απομάκρυνση οργανικών που περιλαμβάνει, εκτός από **δευτεροβάθμια βιολογική και ενδεχόμενη τριτοβάθμια επεξεργασία, προχωρημένες μεθόδους** κατάλληλες για την απομάκρυνση διαλυτού οργανικού υλικού, όπως μέσω μεμβρανών τουλάχιστον υπερδιήθησης ή ισοδύναμης αποτελεσματικότητας εναλλακτικής μεθόδου προχωρημένης επεξεργασίας.

β) Στις περιπτώσεις **εμπλουτισμού με μέθοδο διήθησης δια μέσου στρώματος εδάφους** με κατάλληλα χαρακτηριστικά και επαρκές βάθος, **η αποφυγή των πρόσθετων προχωρημένων μεθόδων επεξεργασίας** στο βαθμό που τεκμηριώνεται ότι επιτυγχάνεται επαρκής κατακράτηση οργανικών από το έδαφος.

- Απαιτείται η εκπόνηση **ειδικής υδρογεωλογικής μελέτης** για τη διασφάλιση της αποφυγής της διείσδυσης υγρών αποβλήτων σε υπόγειους υδροφορείς τα ύδατα των οποίων χρησιμοποιούνται για απόληψη πόσιμου νερού, όπου εξετάζεται μεταξύ των άλλων:
 - α) το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα,
 - β) η ύπαρξη ή μη πολλαπλών γεωλογικών στρωμάτων και η υδραυλική αγωγιμότητα εκάστου στρώματος,
 - γ) το βάθος που θα πραγματοποιείται ο εμπλουτισμός.
- Απαιτείται η **εκπόνηση μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του εμπλουτισμού** (περιλαμβανομένης της υδρογεωλογικής μελέτης), η οποία περιλαμβάνει:
 - α) εξέταση των συγκεντρώσεων στα ΕΥΑ των ουσιών που περιλαμβάνονται στην υπ. αριθ. 39626/2208/2009 ΚΥΑ (Β' 2075),
 - β) εξειδίκευση των προβλεπόμενων στην ανωτέρω ΚΥΑ μέτρων και περιορισμών ανάλογα με τη μέθοδο εφαρμογής του εμπλουτισμού, την ποιότητα των ΕΥΑ και την κατάσταση του υπόγειου υδροφορέα,
 - γ) περιγραφή της ποσότητας και ποιότητας του ανακτημένου ύδατος,
 - δ) προγράμματα παρακολούθησης των ποιοτικών χαρακτηριστικών των επαναχρησιμοποιούμενων υγρών αποβλήτων και των χαρακτηριστικών των ΥΝ,
 - ε) την επιτυγχανόμενη αραιώση με τα ύδατα του υπόγειου υδροφορέα.

- Η τροφοδότηση (εμπλουτισμός) υπόγειων υδροφορέων με ΕΥΑ αποβλέπει κυρίως:
- α) στη **δημιουργία υδραυλικού φράγματος** που θα παρεμποδίζει τη διείσδυση και ανάμιξη του θαλάσσιου νερού με το γλυκό νερό παράκτιων υδροφορέων,
 - β) στην **αποθήκευση** επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για μελλοντική χρήση ή για εξισορρόπηση των διακυμάνσεων της ζήτησης όπως για άρδευση που είναι συνήθως εποχιακή,
 - γ) στην **ανύψωση της στάθμης** του υδροφόρου ορίζοντα, που μπορεί να φθίνει λόγω υπερεκμετάλλευσης και επειδή η φυσική ανανέωση γίνεται με πολύ αργό ρυθμό,
 - δ) στον **έλεγχο πιθανών καθιζήσεων του εδάφους**.

- Στην ειδική περίπτωση εγκαταστάσεων επεξεργασίας λυμάτων (ΕΕΛ) οικισμών με πληθυσμό **μικρότερο από 2000 κατοίκους** (Μονάδες Ισοδύναμου Πληθυσμού), καθώς και στις περιπτώσεις **ιδιωτικών συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων μεμονωμένων κατοικιών ή ομάδων κατοικιών ή ξενοδοχειακών μονάδων**, η εφαρμογή υπεδάφιας διοχέτευσης των επεξεργασμένων λυμάτων, μέσω διήθησης, δια μέσου εδαφικού στρώματος σε υπόγειο υδροφόρα, **επιτρέπεται μόνον εφόσον:**
 - α) εφαρμόζονται τα κατάλληλα συστήματα επεξεργασίας, σύμφωνα με τις απαιτήσεις που προβλέπονται στην υπ. αριθ. 5673/400/1997 ΚΥΑ, όπως ισχύει και
 - β) υποβληθεί μελέτη σχεδιασμού και εφαρμογής, στην οποία μεταξύ άλλων, γίνεται περιγραφή του εδαφικού στρώματος διήθησης, προσδιορίζεται η στάθμη των υπόγειων νερών και τεκμηριώνεται η αποφυγή διείσδυσης των λυμάτων σε υπόγειους υδροφόρους τα ύδατα των οποίων χρησιμοποιούνται για απόληψη πόσιμου νερού.
- Τα προβλεπόμενα στο παρόν άρθρο δεν έχουν ισχύ στις περιπτώσεις στις οποίες λόγω ειδικών χαρακτηριστικών και συνθηκών ισχύει απαγορευτική διάταξη εμπλουτισμού συγκεκριμένου υδροφόρα με επεξεργασμένα υγρά απόβλητα.
- Για το περιεχόμενο της μελέτης σχεδιασμού και εφαρμογής του εμπλουτισμού γνωμοδοτεί η Διεύθυνση Υδάτων της Αποκεντρωμένης Διοίκησης στο πλαίσιο της διαδικασίας έκδοσης προβλεπόμενης σχετικής άδειας επαναχρησιμοποίησης.

Πίνακας 1:

Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξερασμένων υγρών αποβλήτων για περιορισμένη άρδευση, βιομηχανική χρήση νερού ψύξης μιας χρήσης και εμπλουτισμό υπόγειου υδροφορέα, που δεν χρησιμοποιείται για πόση και με διήθηση διαμέσου κατάλληλου εδαφικού στρώματος

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	<i>Escherichia coli</i> (EC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Περιορισμένη άρδευση Περιοχές όπου δεν αναμένεται πρόσβαση του κοινού, καλλιέργειες ζωοτροφών, βιομηχανικές καλλιέργειες, λιβάδια, δένδρα (μη συμπεριλαμβανομένων των οπωροφόρων), με την προϋπόθεση ότι κατά τη συλλογή οι καρποί δεν βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, καλλιέργειες σπόρων και καλλιέργειες που παράγουν προϊόντα τα οποία υποβάλλονται σε περαιτέρω επεξεργασία πριν την κατανάλωσή τους. Άρδευση με καταιονισμό δεν θα εφαρμόζεται</p> <p>Βιομηχανική χρήση Νερό ψύξης μιας χρήσης</p> <p>Τροφοδότηση υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007, (με την επιφύλαξη των παραγράφων 4 και 5 του άρθρου 5 της παρούσας), με διήθηση διαμέσου εδαφικού στρώματος με επαρκές πάχος και κατάλληλα χαρακτηριστικά^(δ)</p>	≤ 200 διάμεση τιμή	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	Σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/1997	-	Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία ^{(α), (β)} Απολύμανση ^(γ)	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>EC: μια ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό χλώριο: συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

BOD < 25 mg/L, COD < 125 mg/L, SS < 35 mg/L (YA 5673/400/1997)

Πίνακας 3:

Όρια για μικροβιολογικές και συμβατικές παραμέτρους καθώς και η κατ' ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία και συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων στην περίπτωση επαναχρησιμοποίησης επεξεργασμένων υγρών αποβλήτων για αστική και περιαστική χρήση και εμπλουτισμό υπόγειων υδροφορέων με γεωτρήσεις.

Τύπος επαναχρησιμοποίησης	Ολικά κολοβακτηρίδια (TC/100 ml)	BOD5 (mg/l)	SS (mg/l)	Θολότητα (NTU)	Κατ ελάχιστον απαιτούμενη επεξεργασία	Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων νερού προς επαναχρησιμοποίηση
<p>Αστική χρήση Μεγάλες εκτάσεις (νεκροταφεία, πρανή αυτοκινητόδρομων, γήπεδα γκολφ, δημόσια πάρκα), εγκαταστάσεις αναψυχής, κατάσβεση πυρκαϊών, συμπύκνωση εδαφών, καθαρισμός οδών και πεζοδρόμων, διακοσμητικά σιντριβάνια Πότισμα με καταιονισμό απαγορεύεται.</p> <p>Εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων που δεν εμπίπτουν στις διατάξεις του άρθρου 7 του ΠΔ 51/2-3-2007 (ΦΕΚ54Α/8-3-2007), με γεωτρήσεις</p> <p>Περιαστικό πράσινο συμπεριλαμβανομένων των αλσών και δασών^(λ)</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων και ≤ 20 για το 95% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 10 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 για το 80% των δειγμάτων</p>	<p>≤ 2 διάμεση τιμή</p> <p>-</p>	<p>Δευτεροβάθμια βιολογική επεξεργασία^(θ)</p> <p>ακολουθούμενη από Προχωρημένη επεξεργασία^(ι) και Απολύμανση^(κ)</p>	<p>BOD₅, SS, N, P: σύμφωνα με τις επιταγές της ΚΥΑ 5673/400/5.3.97 (ΦΕΚ 192/Β/14.3.97)</p> <p>Θολότητα και διαπερατότητα: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους τέσσερις ανά εβδομάδα και δύο ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις</p> <p>TC: για ανακτημένο νερό από εγκαταστάσεις επεξεργασίας με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 50000 κατοίκους επτά ανά εβδομάδα και τρεις ανά εβδομάδα στις υπόλοιπες περιπτώσεις Κατ εξαίρεση για νησιωτικές περιοχές με τεκμηριωμένη έλλειψη κατάλληλης εργαστηριακής υποδομής δύο ανά εβδομάδα</p> <p>Υπολειμματικό Cl₂ συνεχώς (εφόσον εφαρμόζεται χλωρίωση)</p>

Πίνακας 4. Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις μετάλλων και στοιχείων

Μέταλλο	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)
Al (αργίλιο)	5
As (αρσενικό)	0.1
Be (βηρύλλιο)	0.1
Cd (κάδμιο)	0.01
Co (κοβάλτιο)	0.05
Cr (χρώμιο)	0.1
Cu (χαλκός)	0.2
F (φθόριο)	1.0
Fe (σίδηρος)	3.0
Li (λίθιο)	2.5
Mn (μαγγάνιο)	0.2
Mo (μολυβδαίνιο)	0.01
Ni (νικέλιο)	0.2
Pb (μόλυβδος)	0.1
Se (σελήνιο)	0.02
V (βανάδιο)	0.1
Zn (ψευδάργυρος)	2.0
Hg (υδράργυρος)	0.002
B (Βόριο)	2

Πίνακας 6: Μέγιστες επιτρεπόμενες συγκεντρώσεις ουσιών προτεραιότητας και τοξικότητας σε ανακτημένα υγρά απόβλητα

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (μg/l)
Alachlor	15972-60-8	0,7
Ανθρακένιο	120-12-7	1
Ατραζίνη	1912-24-9	2
Βενζόλιο	71-43-2	5
Βρωμιούχος διφαινυλαιθέρας	32534-81-9	0,025
Ανθρακο-τετραχλωρίδιο	56-23-5	MA
C10-13 Χλωροαλκάνια	85535-84-8	1,4
Chlorfenvinphos	470-90-6	0,3
Chlorpyrifos (Chlorpyrifos-ethyl)	2921-88-2	0,1
Aldrin	309-00-2	MA
Dieldrin	60-57-1	MA
Endrin ¹	72-20-8	MA
Isodrin	465-73-6	0,01
DDT ολικό	Δεν	MA
para-para-DDT	50-29-3	MA
1,2 Διχλωροαιθάνιο	107-06-2	20
Διχλωρομεθάνιο	75-09-2	50
Φθαλικό δι(2-αιθυλεξίλιο) – (ΦΔΕΕ-DEHP)	117-81-7	10
Diuron	330-54-1	1.0
Ενδοσουλφάνιο	115-29-7	0,01
Φλουορανθένιο	206-44-0	1
Εξαχλωροβενζόλιο	118-74-1	MA
Εξαχλωροβουταδιένιο	87-68-3	0,6
Εξαχλωροκυκλοεξάνιο	608-73-1	MA
Isoproturon	34123-59-6	1
Ναφθαλένιο	91-20-3	2,4
Εννεύλοφαινόλη [4-εννεύλοφαινόλη]	104-40-5	2

Αριθμός μητρώου CAS (CAS registry number): ένας μοναδικός αριθμός καταγραφής και ταυτοποίησης χημικών στοιχείων, χημικών ενώσεων, πολυμερών, βιολογικών σκευασμάτων, μιγμάτων και κραμάτων. Η Υπηρεσία Χημικής Ταυτοποίησης, *Chemical Abstracts Service, (CAS)*, τμήμα της *Αμερικάνικης Χημικής Εταιρείας*, αποδίδει αυτούς τους αριθμούς μητρώου σε κάθε χημική ουσία που έχει αναφερθεί στη βιβλιογραφία.

Παράμετρος	CAS	Μέγιστη συγκέντρωση (µg/l)
Οκτυλοφαινόλη [(4-(1,1', 3,3'-τετραμεθυλβουτυλική)-φαινόλη)]	140-66-9	1
Πενταχλωροβενζόλιο	608-93-5	0,1
Πενταχλωροφαινόλη	87-86-5	1
Βενζο(α)πυρένιο	50-32-8	0,1
Βενζο(β)φλουορανθένιο	205-99-2	Αθροιστικά=0,03
Βενζο(κ)φλουορανθένιο	207-08-9	
Βενζο(ζ,η,θ)-περιλένιο	191-24-2	Αθροιστικά=0,02
Ινδενο(1,2,3-γδ)πυρένιο	193-39-5	
Σιμαζίνη	122-34-9	1
Τετραχλωροαιθυλένιο	127-18-4	10
Τριχλωροαιθυλένιο	79-01-6	10
Ενώσεις τριβουτυλίνης (κατιόν	36643-28-4	0,003
Τριχλωροβενζόλια (όλα ισομερή)	12002-48-1	0,4
Τριχλωρομεθάνιο	67-66-3	2,5
Τριφθοραλίνη	1582-09-8	0,03
Οξεία τοξικότητα στον οργανισμό δείκτη <i>Daphnia Magna</i> (πρίν από την απολύμανση)		1 Μονάδα Τοξικότητας (TU 50 ≤1

MA= Μη ανιχνεύσιμο

✓ Τα όρια του Πίνακα 6 ισχύουν μόνο για ανακτημένα υγρά απόβλητα από εγκαταστάσεις επεξεργασίας αστικών λυμάτων με ισοδύναμο πληθυσμό μεγαλύτερο από 100.000 κατοίκους και για όλες τις περιπτώσεις υγρών βιομηχανικών αποβλήτων από βιομηχανίες που δεν περιλαμβάνονται στις κατηγορίες (ανεξαρτήτως μεγέθους βιομηχανικής δραστηριότητας) που αναφέρονται στην ΚΥΑ 5673/400/5.3.97.

✓ Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψιών και αναλύσεων για τις παραμέτρους του Πίνακα 6 καθορίζεται σε 2 ανά έτος.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ Τ.Ε.

1. Εμπλουτισμός με επιφανειακά συστήματα διήθησης

$$L_p = L_r \frac{\frac{V_i}{K_r} - 1}{1 - \frac{V_i}{K_s}}$$

όπου

L_p : το ύψος ισορροπίας του κρεμαστού υβώματος πάνω από την περιορισμένη ζώνη (equilibrium height of perched mound),

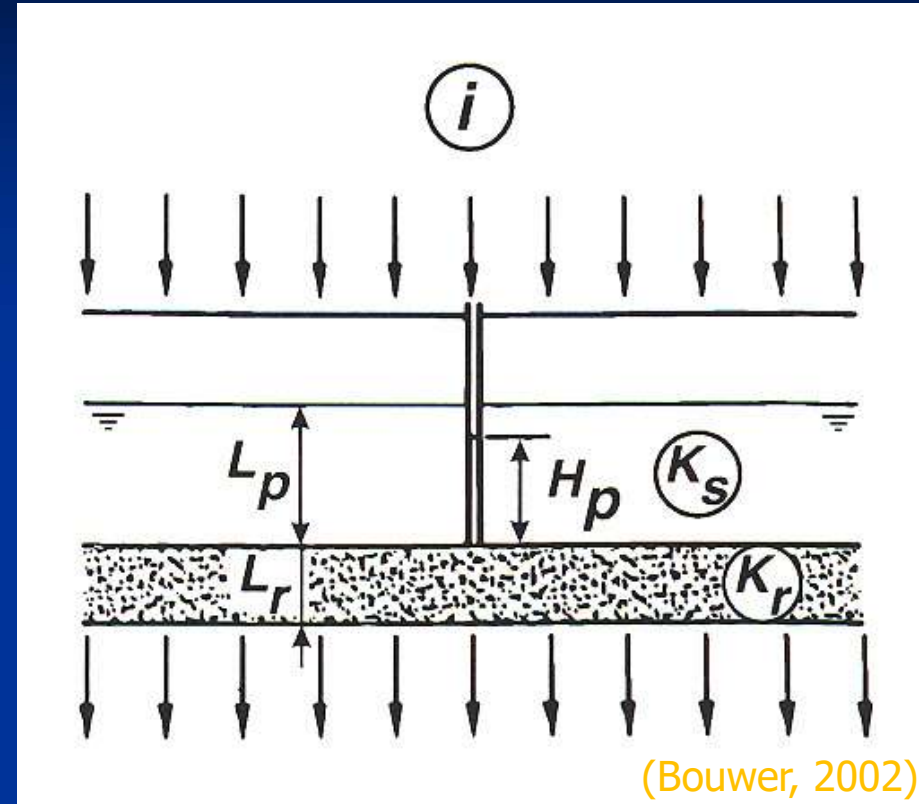
L_r : το πάχος της παρεμβαλλόμενης στρώσης,

V_i : ο ρυθμός διήθησης και κατακόρυφης ροής διαμέσου του εδάφους και της στρώσης,

K_r : η υδραυλική αγωγιμότητα της στρώσης και

K_s : η υδραυλική αγωγιμότητα του εδάφους πάνω από τη στρώση.

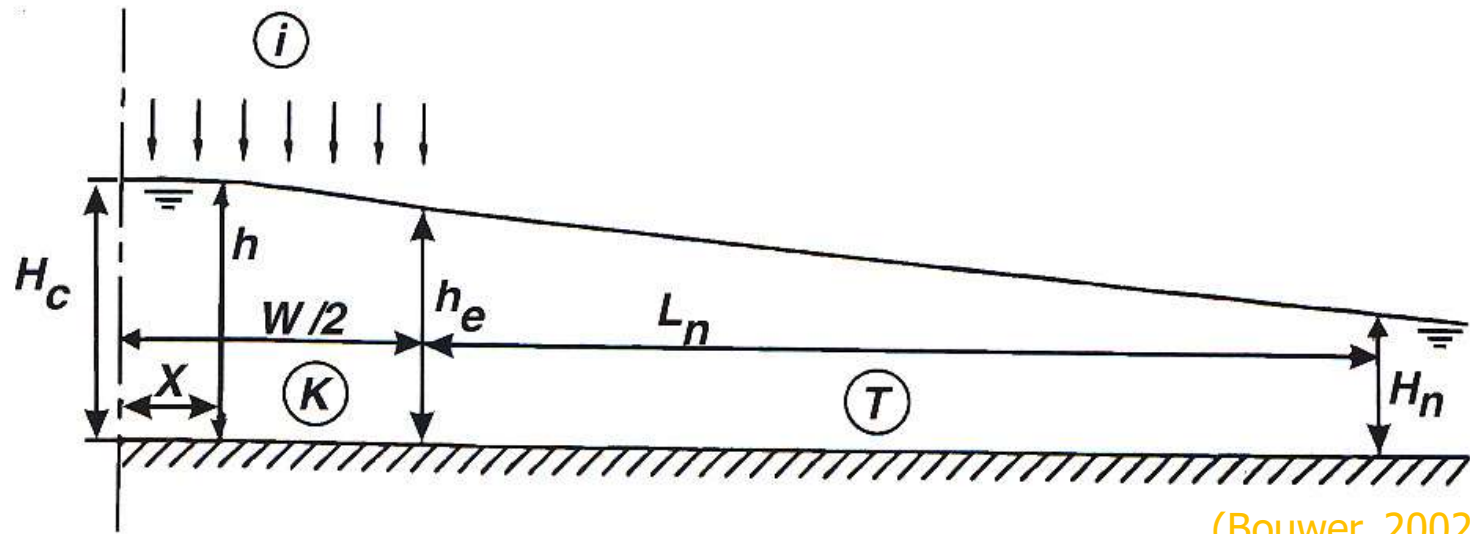
για $K_r \ll V_i \ll K_s$ →
$$L_p = V_i \frac{L_r}{K_r}$$



Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και σχετικοί συμβολισμοί σε σύστημα διήθησης με κρεμάμενο υπόγειο νερό (perched groundwater) πάνω από παρεμβαλλόμενη στρώση με υδραυλική αγωγιμότητα K_r .

- Που θα βρίσκεται το ύψωμα του υπόγειου νερού σε 10, 20 ή 50 χρόνια από τώρα;
- Πόση ποσότητα νερού μπορεί να αποθηκευτεί υπόγεια;
- Θα κατακλυστεί όλη η περιοχή;
- Πως πρέπει να ανακτηθεί το νερό από τον υδροφόρο ώστε να αποφευχθεί ο κατακλυσμός ή η υπερβολική ανύψωση της στάθμης του νερού στην περιοχή εμπλουτισμού και σε παρακείμενες περιοχές;

$$H_c - H_n = \frac{iW}{2T} \left(\frac{W}{4} + L_n \right)$$



(Bouwer, 2002)

όπου

H_c : το ύψος του υβώματος του υπόγειου νερού στο κέντρο της περιοχής εμπλουτισμού,

H_n : το ύψος του υπόγειου νερού στην περιοχή ελέγχου,

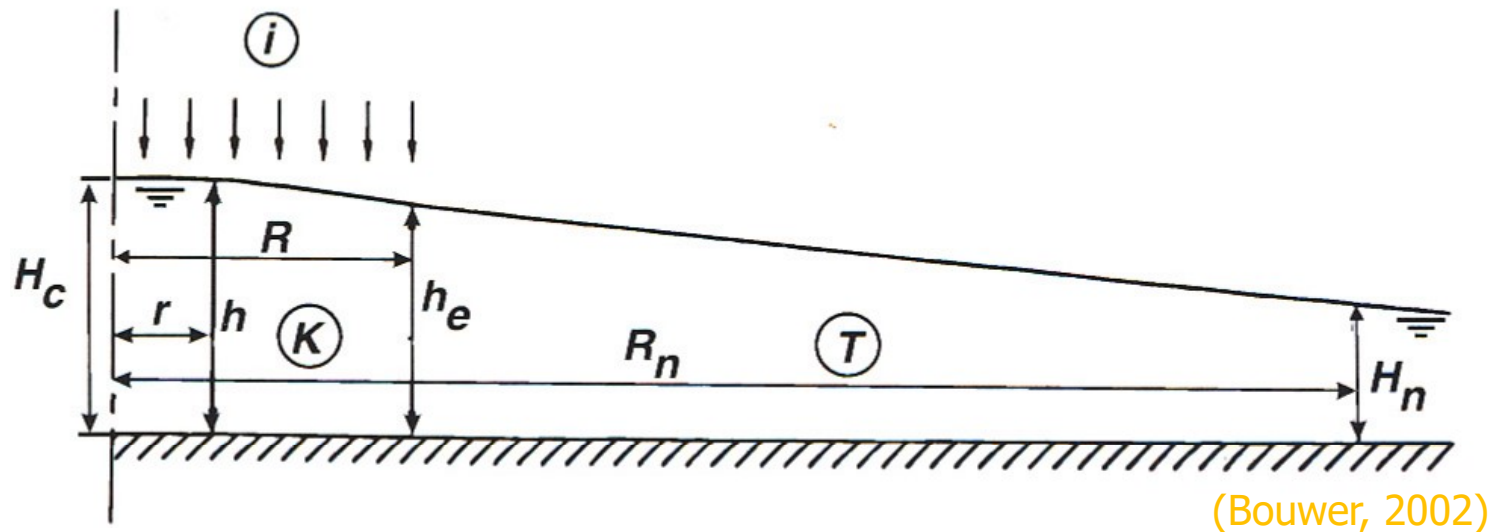
i : ο μέσος ρυθμός διήθησης στην περιοχή εμπλουτισμού (ο συνολικός εμπλουτισμός διαιρεμένος με τη συνολική έκταση),

W : το πλάτος της περιοχής εμπλουτισμού,

L_n : η απόσταση μεταξύ της άκρης της περιοχής εμπλουτισμού και της περιοχής ελέγχου και

T : η μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου.

Τομή με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τους σχετικούς συμβολισμούς υβώματος του υπόγειου νερού κάτω από επιμήκη λωρίδα εμπλουτισμού (μήκους τουλάχιστον πενταπλάσιου του πλάτους) πλάτους W .



(Bouwer, 2002)

Τομή με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και τους σχετικούς συμβολισμούς υψώματος του υπόγειου νερού κάτω από κυκλική ή τετραγωνική περιοχή εμπλουτισμού ακτίνας R.

$$H_c - H_n = \frac{iR^2}{4T} \left(1 + 2 \ln \frac{R_n}{R} \right)$$

όπου

R : η ακτίνα ή η ισοδύναμη ακτίνα της περιοχής εμπλουτισμού,
 R_n : η απόσταση από το κέντρο της περιοχής εμπλουτισμού μέχρι την περιοχή ελέγχου.

$$h_m = \left\{ \frac{WR^2}{2P_h} \left\{ W(u_0) - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \exp(-u_0) + \frac{1}{u_0} [1 - \exp(-u_0)] \right\} + h_i^2 \right\}^{0.5}$$

όταν $t \geq \frac{r^2 S_y}{2P_h m_a}$ και $r \leq R$,

$$h_m = \left\{ \frac{WR^2}{2P_h} [W(u) + 0.5u_0 \exp(-u)] + h_i^2 \right\}^{0.5}$$

όταν $t \geq \frac{r^2 S_y}{2P_h m_a}$ και $r \geq R$,

με

$$u = \frac{R^2 S_y}{4P_h m_a t}, \quad u_0 = \frac{r^2 S_y}{4P_h m_a t}, \quad m_a = 0.5(h_i + h_m)$$

όπου

h_m : το ύψος του υβώματος,

W : η παροχή εμπλουτισμού,

R : η ακτίνα της κυκλικής επιφάνειας κατάκλισης,

P_h : η οριζόντια υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου,

r : η απόσταση μεταξύ του κέντρου της κυκλικής επιφάνειας

κατάκλισης και της γεώτρησης παρατήρησης,

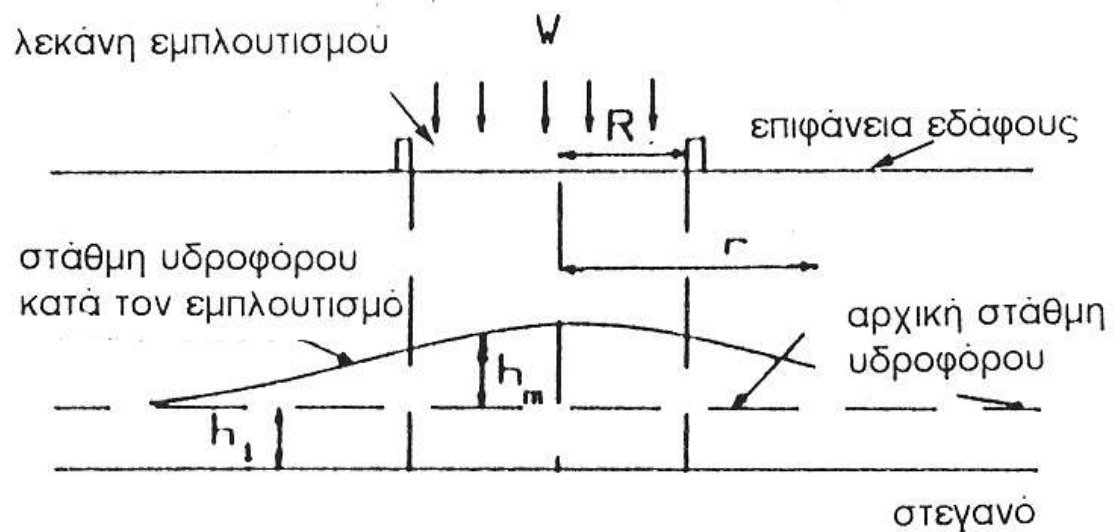
h_i : το ύψος της αρχικής στάθμης από τη βάση του υδροφόρου,

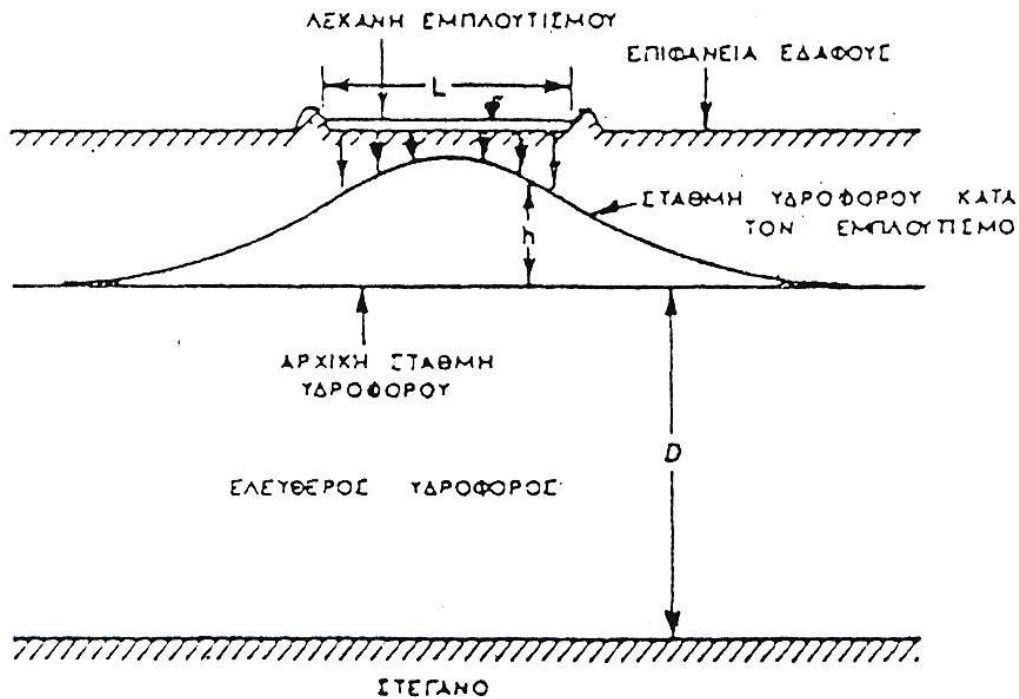
t : ο χρόνος μετά την έναρξη της άντλησης,

S_y : η ειδική απόδοση του υδροφόρου,

$W(u)$ και $W(u_0)$: οι συναρτήσεις της γεώτρησης

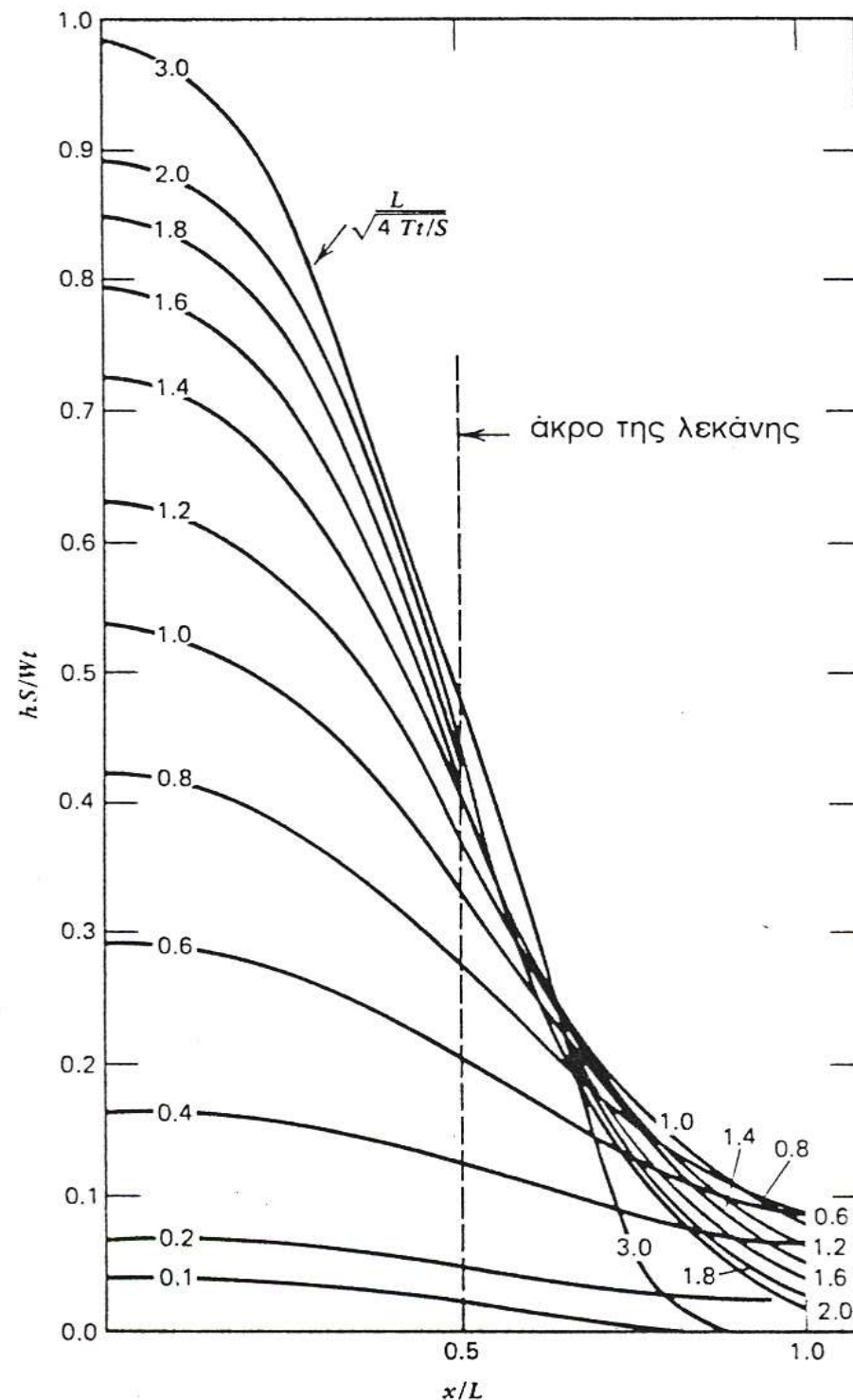
Διάγραμμα ανύψωσης της στάθμης του υδροφόρου κάτω από κυκλική επιφάνεια εμπλουτισμού (από Walton, 1991).

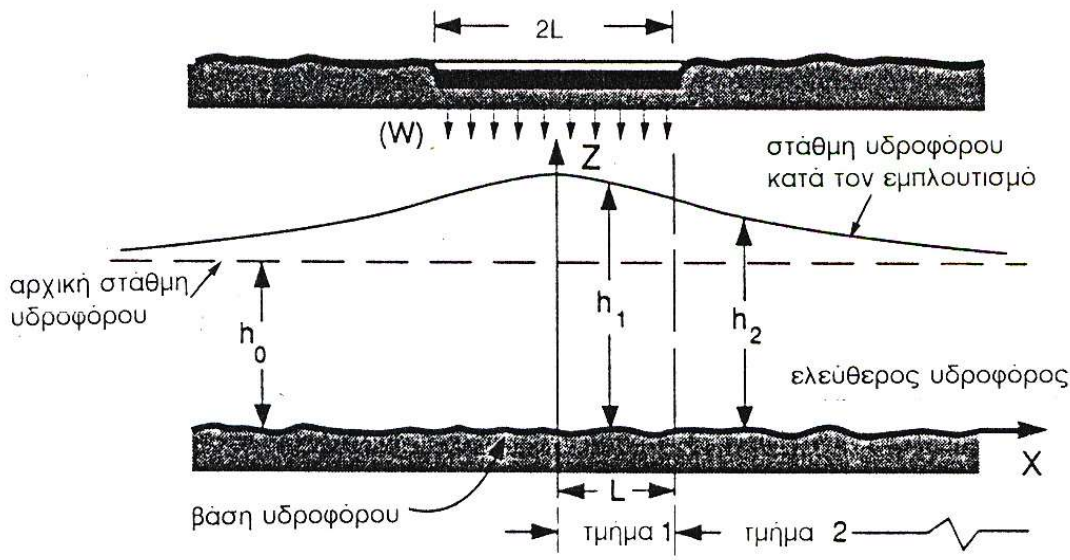




h : το ζητούμενο ύψος του υβώματος,
 S : ο συντελεστής εναποθήκευσης του ελεύθερου υδροφόρου,
 W : η παροχή εμπλουτισμού,
 t : ο χρόνος μετά την έναρξη του εμπλουτισμού,
 L : η μία διάσταση της επιφάνειας εμπλουτισμού,
 T : η μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου ($= K \times D$),
 x : η απόσταση από το κέντρο της επιφάνειας εμπλουτισμού,
 D : το βάθος του υδροφόρου.

Αδιάστατο γράφημα, που προσδιορίζει την ανύψωση και την οριζόντια εξάπλωση της στάθμης νερού του υβώματος, που σχηματίζεται κάτω από τετραγωνική επιφάνεια εμπλουτισμού (από Bianchi and Muckel, 1970).





Διάγραμμα ανύψωσης της στάθμης ελεύθερου υδροφόρου κάτω από ποταμό (από Roscoe Moss Comp., 1990).

$$h_1^2(x,t) = h_0^2 + \frac{2Wkt}{K} \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[4i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{L-x}{\sqrt{4kt}} \right) + 4i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{L+x}{\sqrt{4kt}} \right) \right] \right\}$$

και

$$h_2^2(x,t) = h_0^2 + \frac{Wkt}{K} \left[4i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{x-L}{\sqrt{4kt}} \right) - 4i^2 \operatorname{erfc} \left(\frac{x+L}{\sqrt{4kt}} \right) \right]$$

όπου

h_0 : αρχικό κορεσμένο βάθος του υδροφόρου, [L],

h_1, h_2 : το ύψος του υβώματος από τη βάση του ελεύθερου υδροφόρου, μετά την έναρξη της διήθησης, στα τμήματα 1 και 2 αντίστοιχα, [L],

K : υδραυλική αγωγιμότητα του υδροφόρου, [LT^{-1}],

L : η οριζόντια απόσταση του τμήματος 2 από την αρχή του τμήματος 1, [L],

t : ο χρόνος από την έναρξη της διαδικασίας ροής, [T],

W : η ομοιόμορφη παροχή εμπλουτισμού από τη διήθηση ανά μονάδα επιφάνειας, [LT^{-1}],

$\kappa = \frac{Kh_0}{\theta}$: η υδραυλική διάχυση, [L^2T^{-1}], όπου θ είναι το ενεργό πορώδες,

$4i^2 \operatorname{erfc}(x)$: ολοκλήρωμα της συνάρτησης σφάλματος που δίνεται από σχετικούς πίνακες (Roscoe Moss Company, 1990, Κεφάλαιο 2, Πίνακας 2.2).

2. Εμπλουτισμός με γεωτρήσεις

$$Q_r = \frac{2\pi k b (h_w - h_0)}{\ln(r_0 / r_w)}$$

$$Q_r = \frac{\pi k (h_w^2 - h_0^2)}{\ln(r_0 / r_w)}$$

$$P = BQ + B'Q + CQ^2 \quad \leftarrow \text{Γεωτρήσεις έγχυσης (injection wells)}$$

όπου

P : το φορτίο έγχυσης, [L],

Q : η παροχή έγχυσης, [L³T⁻¹],

B : συντελεστής απωλειών φορτίου του σχηματισμού (formation loss), [L(L³T⁻¹)⁻¹],

B' : συντελεστής απωλειών φορτίου

που έχουν σχέση με αστοχίες της διάτρησης

ή άλλους παράγοντες μείωσης της περατότητας

στη ζώνη κοντά στο φίλτρο της γεώτρησης, [L(L³T⁻¹)⁻¹],

C : συντελεστής απωλειών φορτίου της γεώτρησης, [L(L³T⁻¹)⁻²].

$\frac{Q}{P}$ ικανότητα έγχυσης (specific injection capacity)

ή απλώς ειδική έγχυση (specific injection)

Η απόδοση (efficiency) μιας γεώτρησης έγχυσης ορίζεται ως ο λόγος:

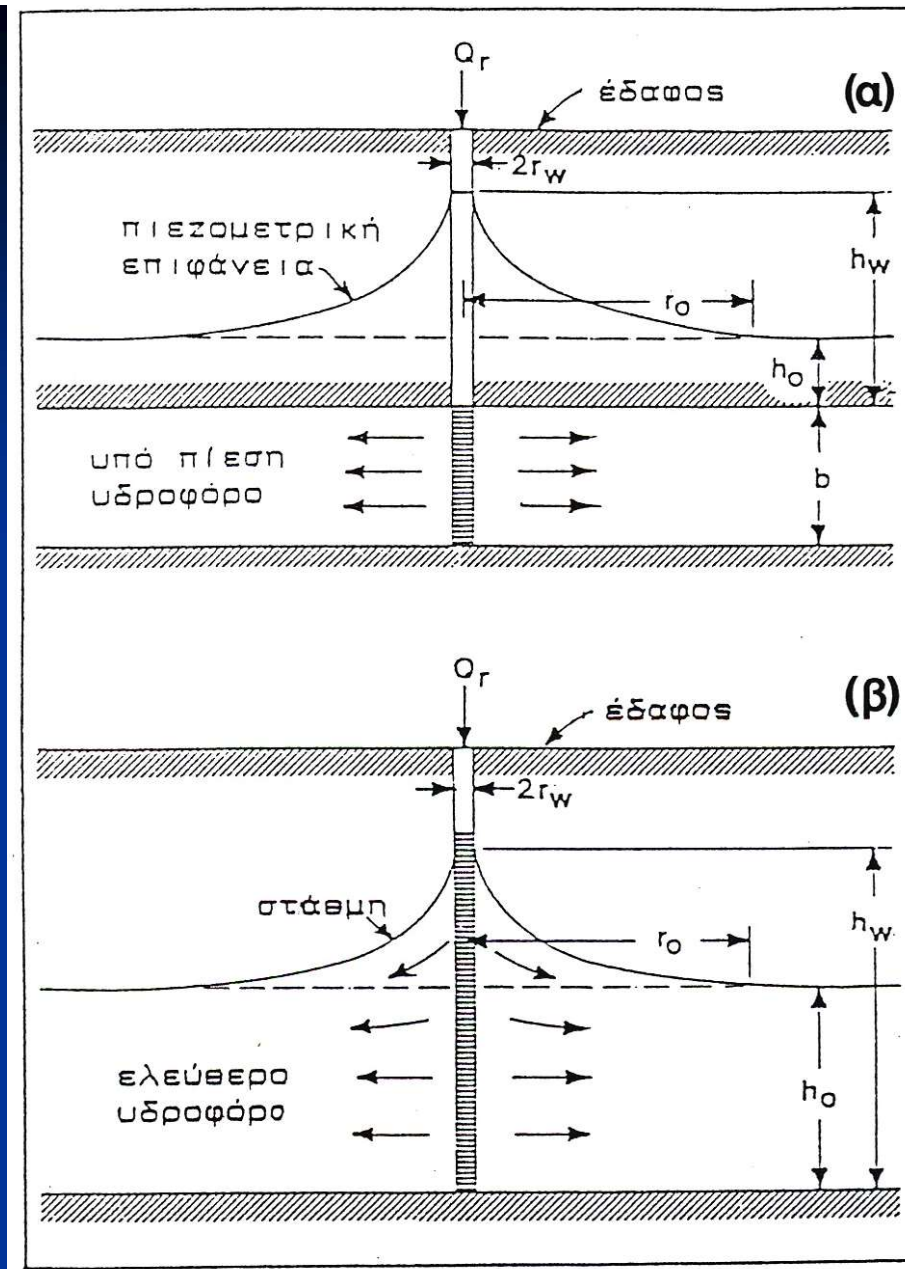
$$E = \frac{Q/P_a}{Q/P_t} \times 100 = \frac{P_t}{P_a} \times 100 \quad \text{ή} \quad E = \frac{100}{1 + (CQ/B)}$$

όπου

Q : η παροχή έγχυσης, [L³T⁻¹],

P_a : το πραγματικό (actual) (μετρημένο στο πεδίο) φορτίο έγχυσης, [L],

P_t : το θεωρητικό (theoretical) φορτίο έγχυσης, [L].



Διάγραμμα ακτινωτής ροής σε γεώτρηση εμπλουτισμού, σε:

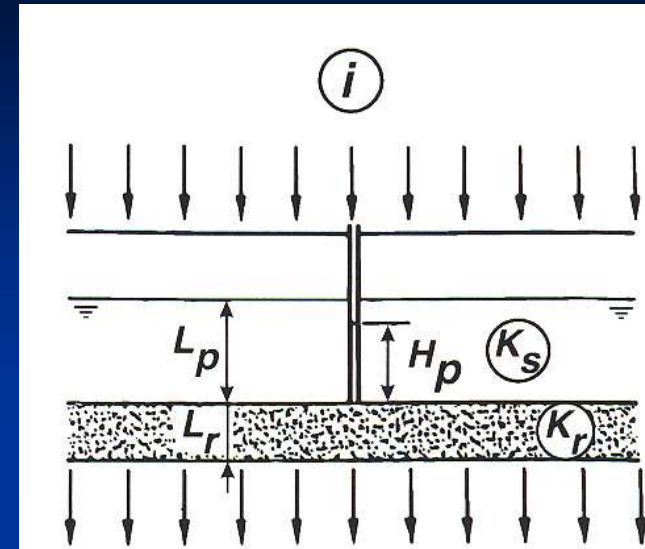
(α) υπό πίεση και

(β) ελεύθερο υδροφόρο

(από Βαφειάδη, 1995, Espina, 1980).

Ασκήσεις

1. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός εμπλουτισμού σε μια περιοχή όπου εφαρμόζεται επιφανειακός τεχνητός εμπλουτισμός, έκτασης 25 km², είναι 10 m/έτος. Μετά από σχετική υδρογεωλογική έρευνα εντοπίστηκε σε βάθος μια παρεμβαλλόμενη στρώση πάχους 3 m, με υδραυλική αγωγιμότητα $K=7,9 \times 10^{-3}$ m/ημέρα. Εάν η υδραυλική αγωγιμότητα της εδαφικής στρώσης που υπέρκειται της παρεμβαλλόμενης στρώσης, είναι 1,7 m/ημέρα, να υπολογίσετε το ύψος (πάχος) του κρεμάμενου υβώματος του υπόγειου νερού από τον εμπλουτισμό, που έχει δημιουργηθεί πάνω από την παρεμβαλλόμενη στρώση.



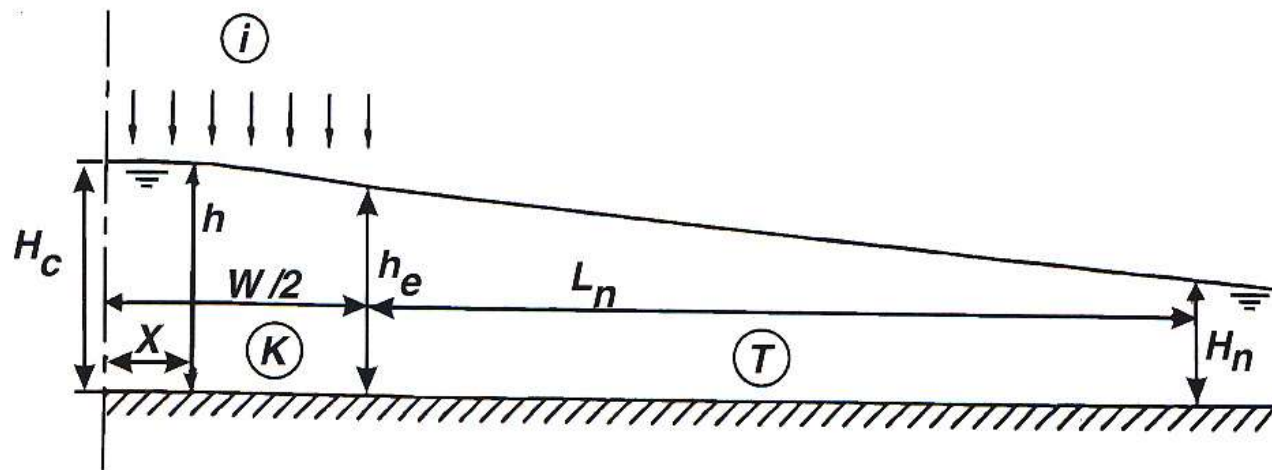
$$V_i = 10 \text{ m/έτος} = 2,74 \times 10^{-2} \text{ m/ημέρα}$$

$$K_s = 1,7 \text{ m/ημέρα}, \quad K_r = 7,9 \times 10^{-3} \text{ m/ημέρα}, \quad L_r = 3,0 \text{ m}$$

$$\text{εξ. (8.19)} \Leftrightarrow L_p = L_r \frac{\frac{V_i}{K_r} - 1}{1 - \frac{V_i}{K_s}} = 3,0 \times \frac{\frac{2,74 \times 10^{-2}}{7,9 \times 10^{-3}} - 1}{1 - \frac{2,74 \times 10^{-2}}{1,7}} = 3,0 \times \frac{2,47}{0,98} = 7,56 \text{ m}$$

Θα πρέπει $V_i > K_r$, αλλιώς L_p : αρνητικό (-) \Leftrightarrow πρακτικά μηδέν!

2. Στο πλαίσιο της διερεύνησης εφαρμογής ΤΕ σε μια περιοχή, προτείνεται η κατασκευή λεκάνης εμπλουτισμού (κατάκλυσης) διαστάσεων 300m × 2500m. Ο μέσος ετήσιος ρυθμός εμπλουτισμού εκτιμάται σε $63 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος}$. Μετά από σχετικές υδρογεωλογικές έρευνες που αφορούσαν τον ελεύθερο υδροφόρο της περιοχής, προέκυψε ότι το βάθος του υδροφόρου είναι 46m, το πάχος του 20m, ενώ η μεταβιαστικότητα Τ είναι $2200 \text{ m}^2/\text{ημέρα}$. Εάν η μέγιστη επιτρεπόμενη ανύψωση του υβώματος του υπόγειου νερού από τον εμπλουτισμό, που θα σχηματισθεί κατά την εφαρμογή του τεχνητού εμπλουτισμού, είναι 38m, να εκτιμήσετε την απόσταση επιρροής από την εφαρμογή του εμπλουτισμού από το κέντρο της λεκάνης ή αλλιώς το πλάτος του υβώματος.



Αφού $L/W > 5$, δηλαδή $2500/300 = 8,3 > 5$, τότε, μπορεί να εφαρμοστεί η εξ. (8.22)*

$$H_c = 20 + 38 = 58 \text{ m}, H_n = 20 \text{ m}, i = \frac{63 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}}{300 \times 2500} = 84 \text{ m} / \text{έτος} = 0,23 \text{ m} / \text{ημέρα}$$

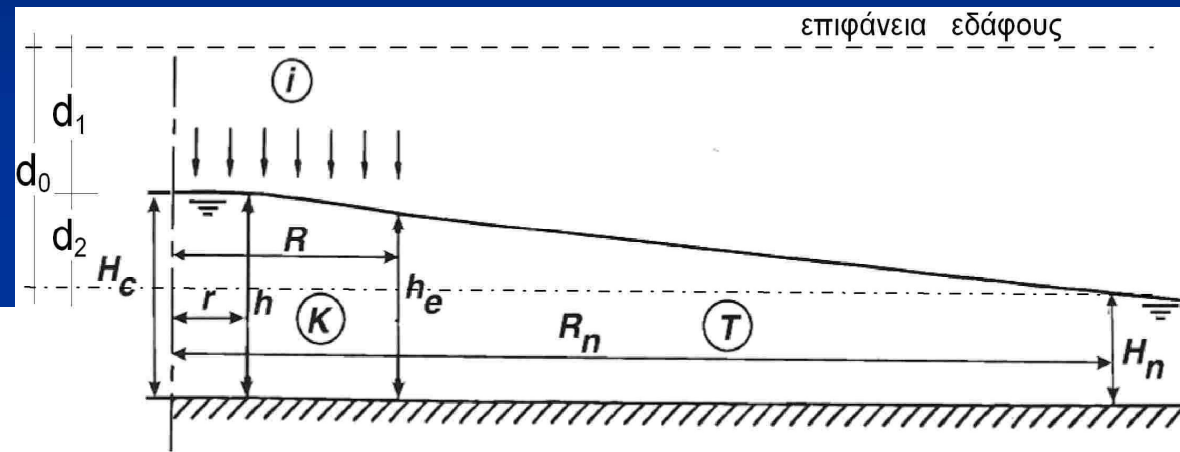
!! μέσος ρυθμός διήθησης (διά την έκταση!)

$$* H_c - H_n = \frac{iW}{2T} \left(\frac{W}{4} + L_n \right) \Rightarrow L_n + \frac{W}{4} = \frac{2T(H_c - H_n)}{iW} \Rightarrow L_n = \frac{2T(H_c - H_n)}{iW} - \frac{W}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_n = \frac{2 \times 2200 \times (58 - 20)}{0,23 \times 300} - \frac{300}{4} = 2423,19 - 75 = 2348,19 \text{ m}$$

$$\text{πλάτος υβώματος: } W + 2L_n = 300 + (2 \times 2348,19) = 4996,38 \text{ m} \approx 5,0 \text{ km}$$

3. Στο πλαίσιο εφαρμογής τεχνητού εμπλουτισμού σε μια περιοχή, μια κατάλληλα διαμορφωμένη κυκλική επιφάνεια ακτίνας 500 m, πρόκειται να κατακλυσθεί με νερό εμπλουτισμού. Το βάθος του υποκείμενου ελεύθερου υδροφόρου είναι 73 m. Εάν ο ρυθμός εμπλουτισμού εκτιμάται ότι θα κυμαίνεται στο επίπεδο των 0,14 m/ημέρα και το ύψωμα εμπλουτισμού πρέπει να διατηρείται τουλάχιστον 10 m κάτω από τον πυθμένα της λεκάνης κατάκλισης που θα σχηματισθεί, να υπολογίσετε μέχρι ποια απόσταση από το κέντρο της λεκάνης θα εκτείνεται το ύψωμα εμπλουτισμού. Η μεταβιβαστικότητα του υδροφόρου, μετά από σχετική υδρογεωλογική μελέτη, έχει εκτιμηθεί σε 440 m²/ημέρα.



$$\begin{array}{l} d_0=73 \text{ m} \\ d_{1\text{max}}=10 \text{ m} \end{array} \quad \Rightarrow \quad d_2=d_0-d_1=63 \text{ m} = H_{c\text{max}}-H_n$$

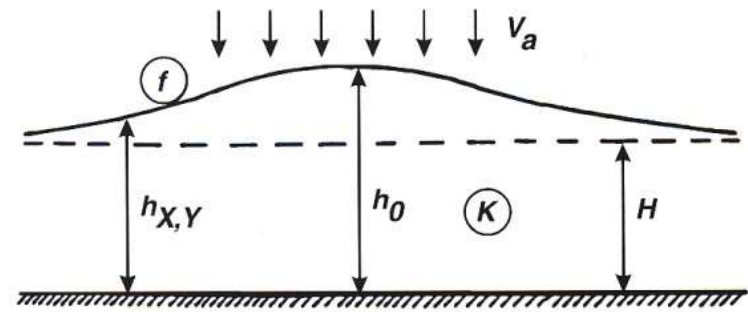
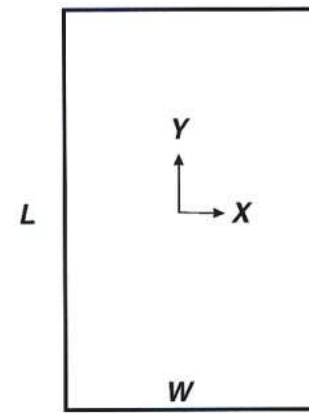
Επίσης $i=0,14 \text{ m/ημέρα}$, $R=500 \text{ m}$, $T=440 \text{ m}^2/\text{ημέρα}$

(ρυθμός εμπλουτισμού)

$$\text{Εξ. (8.23)} \Rightarrow H_c - H_n = \frac{iR^2}{4T} \left[1 + 2 \ln \frac{R_n}{R} \right] \Rightarrow \frac{R_n}{R} = \exp \left[\frac{4T(H_c - H_n) - 1}{iR^2} \right] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_n = \exp \left[\frac{2T(H_c - H_n)}{iR^2} - \frac{1}{2} \right] R \Rightarrow R_n = \exp \left[\frac{880 \times 63}{0,14 \times 500^2} - 0,5 \right] \times 500 \Rightarrow R_n = 1478,24 \text{ m}$$

4. Μια τετράγωνη λεκάνη κατάκλισης διαστάσεων 800 m × 800 m σχηματίσθηκε σε περιοχή, όπου μετά από σχετική υδρογεωλογική έρευνα για τον υποκείμενο ελεύθερο υδροφόρο, υπολογίστηκαν το πάχος του, 50 m και η μεταβιβαστικότητα 1140 m²/ημέρα, ενώ το πορώδες της ακόρεστης ζώνης εκτιμήθηκε σε 0,25. Εάν ο μέσος ετήσιος ρυθμός εμπλουτισμού είναι 25 × 10⁶ m³/έτος και η μέγιστη επιτρεπόμενη ανύψωση του υβώματος εμπλουτισμού είναι 25 m πάνω από την αρχική στάθμη του υπόγειου νερού, να υπολογίσετε σε πόσο χρονικό διάστημα το ύψωμα θα φθάσει σε αυτήν τη μέγιστη στάθμη, όπως επίσης και τον όγκο νερού που μπορεί να αποθηκευτεί υπόγεια κατά την ίδια περίοδο.



$$W=800 \text{ m}, \quad L=800 \text{ m}, \quad [x=0 \text{ m}, y=0 \text{ m}],$$

$$h_{0,0,t}=50+25=75 \text{ m}$$

$$v_a = \frac{25 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{έτος}}{800 \times 800 \text{ m}^2} = 39,0625 \text{ m} / \text{έτος} = 0,107 \text{ m} / \text{ημέρα}$$

$$n = \left[\frac{4tT}{f} \right]^{-1/2} = \left[\frac{4 \times (t) \times 1140 \text{ m}^2 / \text{ημ}}{0,25} \right]^{-1/2} = 0,0074(t)^{-1/2}$$

↓
ημέρες!!

$$f=0,25, \quad H=50 \text{ m}, \quad T=1140 \text{ m}^2/\text{ημέρα},$$

t^* έτη (ημέρες)	n ($\times 10^{-4}$)	$\alpha=\beta^{**}$		$F(\alpha,\beta)^{***}$	$h_{0,0,t}^{****}$ (m)
[1]	[2]	[3]		[4]	[5]
0,50 (182,5)	5,481	0,22	\Rightarrow χρήση Πίνακα (8.1)	0,1984	65,50
0,74 (270,1)	4,505	0,18		0,1490	67,22
1,23 (448,95)	3,495	0,14		0,1025	69,70
2,40 (876,0)	2,502	0,10		0,0608	72,80
3,75 (1368,75)	2,001	0,08		0,0425	74,90 \leftarrow
6,7 (2445,5)	1,497	0,06		0,0266	77,84
15,00 (5475,0)	1,001	0,04		0,0135	81,63

(*) : επιλέχθηκαν t (χρόνος από την έναρξη του εμπλουτισμού) από τον Πίνακα (8.1) έτσι ώστε να μην χρειάζεται παρεμβολή

ΠΡΟΣΟΧΗ: μετατροπή $t \Leftrightarrow$ ημέρες !!

$$(**): \alpha = \left(\frac{W}{2} + x \right) n \quad \text{ή} \quad \left(\frac{W}{2} - x \right) n$$

$$\beta = \left(\frac{L}{2} + y \right) n \quad \text{ή} \quad \left(\frac{L}{2} - y \right) n$$

$$(x \rightarrow 0, y \rightarrow 0)$$

$$(***) : F(\alpha, \beta) = \int_0^1 \operatorname{erf}(\alpha \tau^{-1/2}) \cdot \operatorname{erf}(\beta \tau^{-1/2}) d\tau$$

(****): $h_{0,0,t}$ από εξ. Hantush ($x \rightarrow 0, y \rightarrow 0$):

β α	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14	0.18	0.22	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.46	0.50	0.54	0.58	0.62
0.02	0.0041	0.0073	0.0101	0.0125	0.0146	0.0184	0.0216	0.0243	0.0267	0.0288	0.0306	0.0322	0.0337	0.0349	0.0361	0.0371	0.0380	0.0387
0.04	0.0073	0.0135	0.0188	0.0236	0.0278	0.0353	0.0416	0.0470	0.0518	0.0559	0.0596	0.0628	0.0657	0.0683	0.0705	0.0725	0.0743	0.0759
0.06	0.0101	0.0188	0.0266	0.0335	0.0398	0.0509	0.0602	0.0684	0.0754	0.0817	0.0871	0.0920	0.0963	0.1001	0.1035	0.1065	0.1091	0.1115
0.08	0.0125	0.0236	0.0335	0.0425	0.0508	0.0652	0.0776	0.0884	0.0978	0.1060	0.1133	0.1197	0.1254	0.1305	0.1350	0.1389	0.1425	0.1456
0.10	0.0146	0.0278	0.0398	0.0508	0.0608	0.0786	0.0939	0.1072	0.1188	0.1290	0.1381	0.1461	0.1532	0.1595	0.1650	0.1700	0.1744	0.1783
0.14	0.0184	0.0353	0.0509	0.0652	0.0786	0.1025	0.1232	0.1414	0.1573	0.1714	0.1839	0.1941	0.2048	0.2135	0.2212	0.2281	0.2343	0.2397
0.18	0.0216	0.0416	0.0602	0.0776	0.0939	0.1232	0.1490	0.1716	0.1916	0.2094	0.2251	0.2391	0.2515	0.2626	0.2724	0.2812	0.2890	0.2959
0.22	0.0243	0.0470	0.0684	0.0884	0.1072	0.1414	0.1716	0.1984	0.2222	0.2433	0.2621	0.2789	0.2938	0.3071	0.3189	0.3295	0.3389	0.3472
0.26	0.0267	0.0518	0.0754	0.0978	0.1188	0.1573	0.1916	0.2222	0.2494	0.2737	0.2954	0.3147	0.3320	0.3474	0.3612	0.3735	0.3844	0.3941
0.30	0.0288	0.0559	0.0817	0.1060	0.1290	0.1714	0.1994	0.2433	0.2737	0.3009	0.3252	0.3470	0.3665	0.3839	0.3995	0.4134	0.4257	0.4368
0.34	0.0306	0.0596	0.0871	0.1133	0.1391	0.1839	0.2251	0.2621	0.2954	0.3252	0.3520	0.3761	0.3976	0.4169	0.4341	0.4495	0.4633	0.4756
0.38	0.0322	0.0628	0.0920	0.1197	0.1461	0.1949	0.2391	0.2789	0.3147	0.3470	0.3761	0.4022	0.4256	0.4466	0.4654	0.4823	0.4973	0.5108
0.42	0.0337	0.0657	0.0963	0.1254	0.1532	0.2048	0.2515	0.2938	0.3320	0.3665	0.3976	0.4256	0.4508	0.4734	0.4937	0.5119	0.5281	0.5427
0.46	0.0349	0.0683	0.1001	0.1305	0.1595	0.2135	0.2626	0.3071	0.3474	0.3839	0.4169	0.4466	0.4734	0.4975	0.5161	0.5385	0.5559	0.5715
0.50	0.0361	0.0705	0.1035	0.1350	0.1650	0.2212	0.2724	0.3189	0.3612	0.3995	0.4341	0.4654	0.4937	0.5191	0.5420	0.5626	0.5810	0.5975
0.54	0.0371	0.0725	0.1065	0.1389	0.1700	0.2281	0.2812	0.3295	0.3735	0.4134	0.4495	0.4823	0.5119	0.5385	0.5626	0.5842	0.6036	0.6209
0.58	0.0380	0.0743	0.1091	0.1425	0.1744	0.2343	0.2890	0.3389	0.3844	0.4257	0.4633	0.4973	0.5281	0.5559	0.5810	0.6036	0.6238	0.6420
0.62	0.0387	0.0759	0.1115	0.1456	0.1783	0.2397	0.2959	0.3472	0.3941	0.4368	0.4756	0.5108	0.5427	0.5715	0.5975	0.6209	0.6420	0.6609
0.66	0.0394	0.0773	0.1136	0.1484	0.1718	0.2445	0.3020	0.3547	0.4027	0.4466	0.4865	0.5227	0.5556	0.5854	0.6122	0.6364	0.6582	0.6778
0.70	0.0401	0.0785	0.1154	0.1509	0.1849	0.2488	0.3075	0.3612	0.4104	0.4553	0.4962	0.5334	0.5672	0.5977	0.6254	0.6503	0.6728	0.6929
0.74	0.0406	0.0796	0.1117	0.1531	0.1876	0.2526	0.3123	0.3671	0.4172	0.4630	0.5048	0.5429	0.5774	0.6087	0.6371	0.6627	0.6857	0.7064
0.78	0.0411	0.0806	0.1185	0.1550	0.1900	0.2559	0.3166	0.3722	0.4232	0.4699	0.5125	0.5513	0.5865	0.6185	0.6475	0.6736	0.6972	0.7184
0.82	0.0415	0.0814	0.1198	0.1567	0.1921	0.2589	0.3203	0.3768	0.4286	0.4760	0.5192	0.5587	0.5946	0.6272	0.6567	0.6834	0.7074	0.7291
0.86	0.0419	0.0822	0.1209	0.1582	0.1940	0.2615	0.3237	0.3808	0.4333	0.4813	0.5252	0.5653	0.6017	0.6348	0.6648	0.6920	0.7165	0.7386
0.90	0.0422	0.0828	0.1219	0.1595	0.1957	0.2638	0.3266	0.3844	0.4374	0.4860	0.5305	0.5711	0.6080	0.6416	0.6721	0.6996	0.7245	0.7469
0.94	0.0425	0.0834	0.1228	0.1607	0.1971	0.2658	0.3292	0.3875	0.4411	0.4902	0.5351	0.5762	0.6136	0.6476	0.6784	0.7063	0.7316	0.7543
0.98	0.0428	0.0839	0.1236	0.1617	0.1984	0.2676	0.3314	0.3902	0.4442	0.4938	0.5392	0.5807	0.6184	0.6528	0.6840	0.7123	0.7378	0.7608
1.00	0.0429	0.0842	0.1239	0.1622	0.1990	0.2684	0.3324	0.3914	0.4457	0.4955	0.5410	0.5827	0.6206	0.6552	0.6865	0.7150	0.7406	0.7638
1.20	0.0437	0.0858	0.1263	0.1654	0.2030	0.2740	0.3396	0.4001	0.4558	0.5070	0.5540	0.5969	0.6362	0.6719	0.7044	0.7339	0.7605	0.7846
1.40	0.0441	0.0866	0.1275	0.1669	0.2049	0.2767	0.3431	0.4043	0.4608	0.5127	0.5603	0.6039	0.6438	0.6801	0.7132	0.7432	0.7704	0.7949
1.80	0.0444	0.0871	0.1283	0.1680	0.2062	0.2785	0.3454	0.4071	0.4641	0.5165	0.5645	0.6086	0.6489	0.6856	0.7190	0.7494	0.7769	0.8018
2.00	0.0444	0.0871	0.1284	0.1681	0.2064	0.2787	0.3457	0.4075	0.4645	0.5169	0.5651	0.6092	0.6495	0.6863	0.7198	0.7502	0.7778	0.8027
2.20	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2788	0.3458	0.4076	0.4646	0.5171	0.5653	0.6094	0.6497	0.6865	0.7200	0.7505	0.7781	0.8030
2.50	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2788	0.3458	0.4077	0.4647	0.5172	0.5653	0.6095	0.6498	0.6867	0.7202	0.7506	0.7782	0.8032
3.00	0.0444	0.0872	0.1284	0.1682	0.2065	0.2789	0.3458	0.4077	0.4647	0.5172	0.5654	0.6095	0.6499	0.6867	0.7202	0.7506	0.7782	0.8032

$$h_{0,0,t} - H = \frac{v_a t}{4f} \left\{ \begin{aligned} &F\left[\left(\frac{W}{2} + x\right)n, \left(\frac{L}{2} + y\right)n\right] + F\left[\left(\frac{W}{2} + x\right)n, \left(\frac{L}{2} - y\right)n\right] + \\ &+ F\left[\left(\frac{W}{2} - x\right)n, \left(\frac{L}{2} + y\right)n\right] + F\left[\left(\frac{W}{2} - x\right)n, \left(\frac{L}{2} - y\right)n\right] \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$h_{0,0,t} - 50 = \frac{0,107(t)}{4 \times 0,25} [4F(400n, 400n)] \Rightarrow h_{0,0,t} = 0,107(t) \times 4 \times F(400n, 400n) + 50 \Rightarrow$$

↑ ημέρες!!
↑ [4]

$$\Rightarrow h_{0,0,t} \Rightarrow [5]$$

1. Σε χρονικό διάστημα $\sim 3,75$ έτη (~ 1369 ημέρες) θα φθάσει τη μέγιστη επιτρεπόμενη ανύψωση των 75 m πάνω από το αδιαπέρατο υπόβαθρο (ή 25 m πάνω από την αρχική στάθμη του Υ.Ν.)
2. Ο όγκος νερού που μπορεί να αποθηκευθεί υπόγεια στα 3,75 έτη είναι:

$$V = 25 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{έτος} \times 3,75 \text{ έτη} = 93,75 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Asano, T. (ed), (1985). Artificial recharge of groundwater, section III, Groundwater recharge operations. Butterworth, London, pp. 357-576.
- ASCE, (1987). "Ground Water Management". Third Edition, ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No 40, New York.
- ASCE, (2001). "Standard Guidelines for Artificial Recharge of Ground Water". Environmental and Water Resources Institute, EWRI/ASCE 34-01, Virginia, USA.
- Bouwer, H., (1989). Estimating and enhancing groundwater re charge. In: Shanna ML (ed) Groundwater recharge. Balkema, Rotterdam, pp. 1-10.
- Bouwer,H., (1989). "Systems for artificial recharge of groundwater". Proceedings of the International Symposium on Artificial Recharge of Ground Water, 23-27/8/1988, California, Publ. by ASCE, New York, USA, pp.2-12.
- Bouwer, H. (1991). Role of Groundwater Recharge in Treatment and Storage of Wastewater for Reuse. Water Science & Technology, Volume 24, Number 9, Oxford, UK.]
- Bouwer, H., (1999). Artificial recharge of groundwater: systems, design, and management. In: Mays LW (ed) Hydraulic design handbook. McGraw-Hill, New York, pp. 24.1-24.44.
- Bouwer, H. (2002). Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering. Hydrogeology Journal, V. 10, No 1, pp. 121-142.
- British Geological Survey, (2002). "The Effectiveness of Artificial Recharge of groundwater: a review". Commercial Report CR/02/108N, Keyworth, Nottingham, UK.
- Buchan,S., (1958). "Replenishment of aquifers by artificial methods". In: Symposium on Ground Water, Calcutta, India, 1955. Pub. 4. Calcutta, India: Central board of Geophysics, pp.327-334.
- Maliva R., (2020). Anthropogenic Aquifer Recharge, WSP Methods in Water Resources Evaluation. Series No. 5 Springer Hydrogeology.

- Oaksford, E.T., (1985). "Artificial recharge: methods, hydraulics and monitoring". Artificial Recharge of Groundwater, Edited by Asano T., Butterworth Publishers, Chapter 4, pp. 69-127.
- Pettyjohn, W.A., (1981). "Introduction to artificial groundwater recharge". NWWA/EPA-600/2-81-236, Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, US Environmental Protection Agency, Ada, Oklahoma.
- Todd, D. K., and Mays L. W. (2005). Groundwater Hydrology (3rd edition). John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- Treidel H., Martin-Bordes J.L., Gurdok J.J. (eds), (2012). Climate change effects on groundwater resources. A global synthesis of findings and recommendations. IAH, International Contributions to Hydrogeology, no 27, 401p. CRC Press/Balkema, The Netherlands.
- Δαμιανίδης Π., (2011). Κλιματική αλλαγή και υπόγειοι υδατικοί πόροι. Η περίπτωση του πεδινού τμήματος του Ν. Ξάνθης. Μεταπτυχιακή Διατριβή, ΠΜΣ: Υδραυλική Μηχανική, Τομέας Υδραυλικών Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δ.Π.Θ., Ξάνθη, 111 σελ.
- Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής (ΕΜΕΚΑ), (2011). Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα., 546 σελ. Ιούνιος 2011, Έκδοση Τράπεζας της Ελλάδος, Αθήνα.
- Καλλέργης, Γ., (1986). "Εφαρμοσμένη Υδρογεωλογία". Τόμοι Α και Β. Έκδοση ΤΕΕ. Αθήνα.