



Α. Επανάληψη και εμπλουτισμός
εννοιών

Β. Ζήτηση νερού

Γ. Επιφανειακό Εκμεταλλεύσιμο
Υδατικό Δυναμικό

Ταμειευτήρας, βασική εξίσωση

Βασική εξίσωση στον ταμιευτήρα χωρίς υπερχείλιση

- **Εξίσωση της μάζας**: (εισροές (I) μείον εκροές (Q) ίσον με μεταβολή στην αποθήκευση ($\Delta S/\Delta t$):

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = I - Q$$

- Για διακριτό σταθερό βήμα Δt (π.χ. μήνας)
$$S_{i+1} = S_i + (I_i - Q_i)$$
- Απλούστευση για βελτιστοποίηση και μία πρώτη εκτίμηση: έστω εκροή (ζήτηση) και εισροή νερού από ανάντη λεκάνη

$$S_{i+1} = S_i + (I_i - Q_i)$$

$$Q_i = \sum_m x_{i,m}$$

Υπερχείλιση

- Περιορισμός μέγιστης χωρητικότητας. Προφανώς:

$$S \leq S_{max}$$

- Αν $S < S_{MAX}$ τότε ο ταμιευτήρας δεν υπερχειλίζει
- Διαφορετικά, $S=S_{MAX}$ και η περίσσεια θα γίνει υπερχείλιση

$$R = S_i + I_i - Q_i - S_{MAX}$$

εξάτμιση

- Μεταβάλλεται ο όγκος άρα και η επιφάνεια
- Εξάτμιση: με βάση την ελεύθερη επιφάνεια
- Εξάτμιση μηνιαία: μ.ο. επιφάνειας επί εξάτμιση σημειακά (mm)
- Μηνιαία σημειακή εξάτμιση: εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία
- Δυσκολία σε συμβατική βελτιστοποίηση

Εκμεταλλεύσιμο

Επιφανειακό υδατικό

Δυναμικό

- Θεωρητικό Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό (ΘΕΥΔ):
Εκφράζεται από την απορροή του κύριου υδατορρεύματος της λεκάνης στο στόμιο εξόδου της.
- Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό (ΕΕΥΔ):
Τμήμα του ΘΕΥΔ που είναι απολήψιμο για χρήσεις νερού, όταν ληφθούν υπόψη όλα τα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων που υφίστανται ή έχουν μελετηθεί στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροή
- Μέση ετήσια απορροή (MAR: Mean Annual Runoff):
Μέσω αυτής εκφράζεται το ΘΕΥΔ.

Χρυσάνθου, 2013

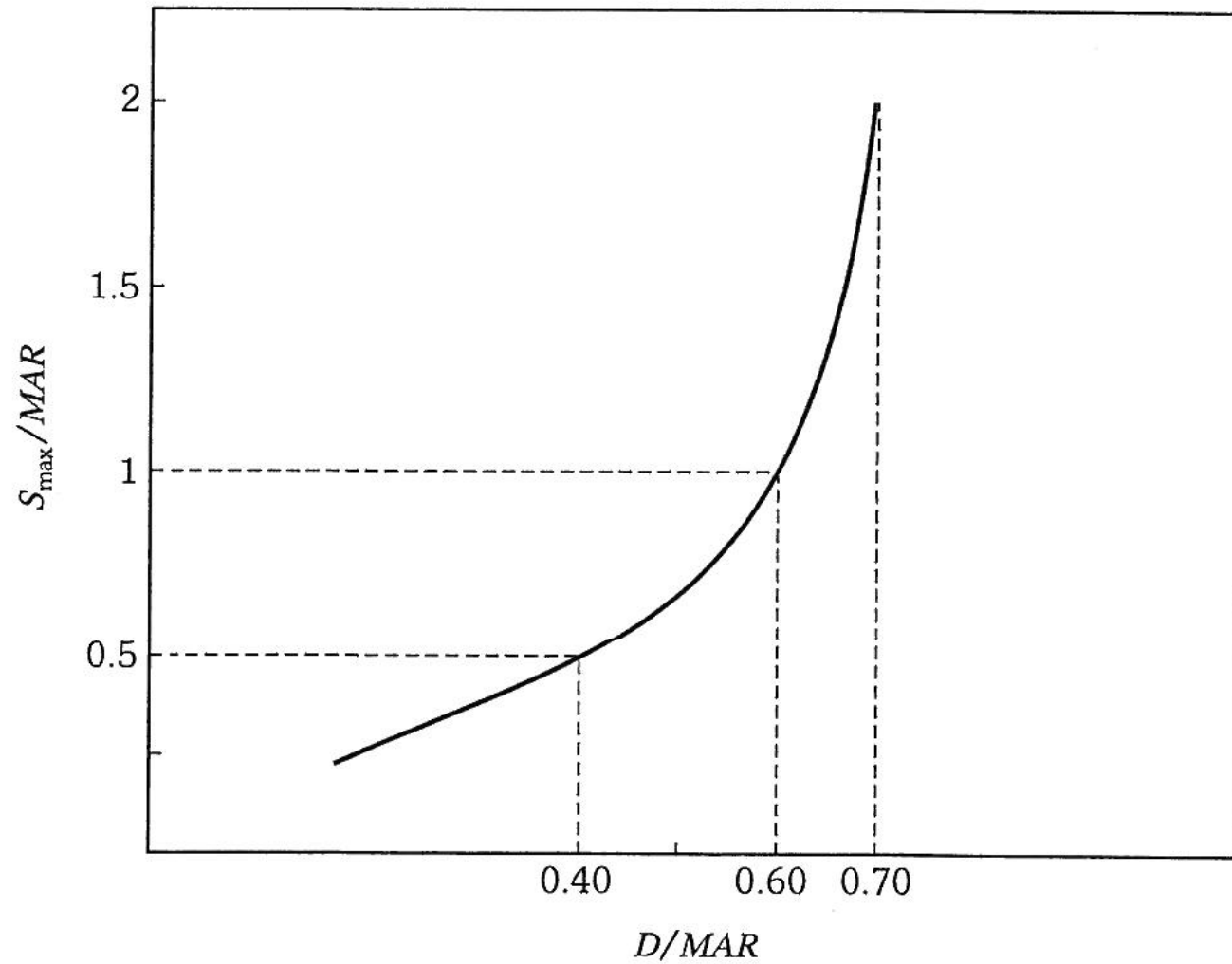
- Για την εκτίμηση του ΘΕΥΔ απαιτείται χρονοσειρά μετρημένης απορροής. Συνήθως αυτή είναι μικρής διάρκειας (κάτω από 15 έως 20 υδρολογικά έτη) ή υπάρχει παντελής έλλειψη μετρήσεων.

Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Δυναμικό, με ταμίευση

- Ανάγκη προσομοίωσης ταμιευτήρα
- Μετρημένες απορροές
- Πολλαπλού σκοπού ταμιευτήρας: Κανόνες λειτουργίας:
 - Πρώτα η ικανοποίηση της οικολογικής παροχής
 - Κατόπιν ικανοποίηση της ανάγκης σε ύδρευση
 - Κατόπιν οι απαιτήσεις της βιομηχανίας
 - Αρδευτικές ανάγκες

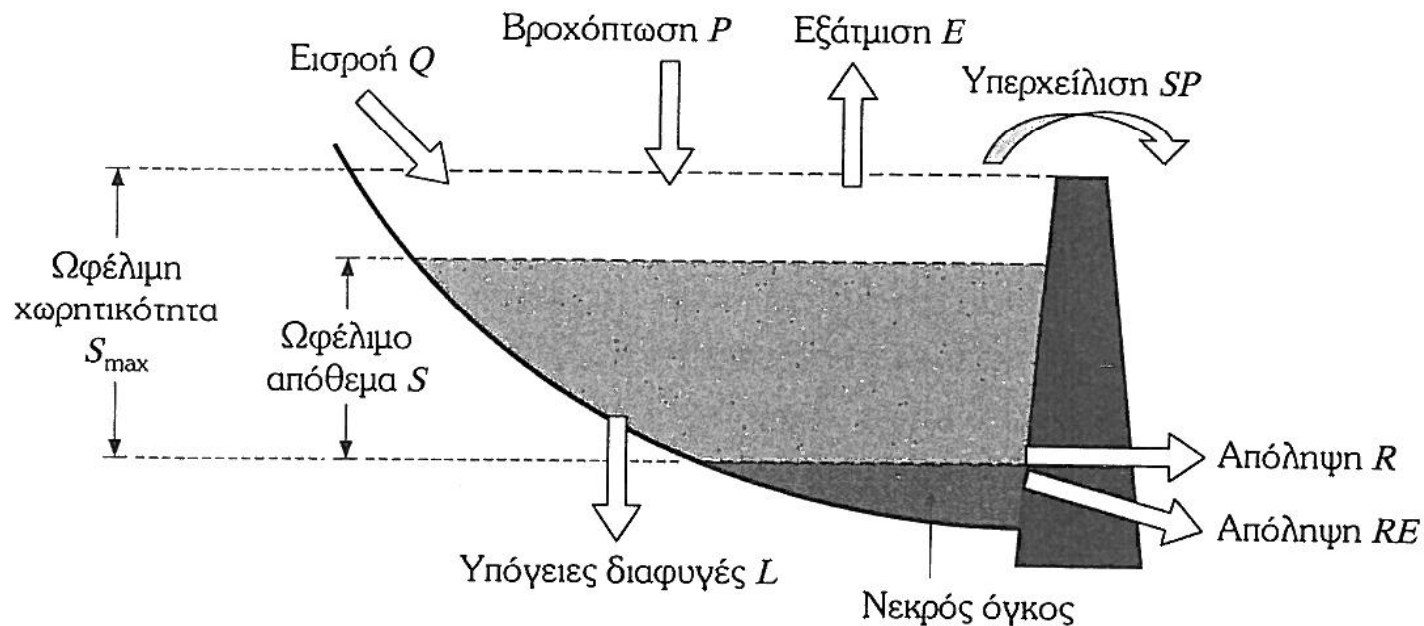
Αν κατασκευάσουμε ταμιευτήρα με χωρητικότητα ίση με τη μέση ετήσια απορροή μιας θέσης, θα έχουμε την ποσότητα αυτή ως μέση ετήσια απόληψη?

- Όχι. Θα πρέπει να γίνει προσομοίωση και να θεωρηθεί η αξιοπιστία της εξεταζόμενης ζήτησης.
- Συνήθως, για τα Ελληνικά δεδομένα, η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα (D) είναι 50-70 % της μέσης ετήσιας απορροής (MAR)
- π.χ. για διπλάσιο όγκο ταμιευτήρα (S_{MAX}) από τη μέση απορροή (MAR) μπορεί να προκύψει (όχι πάντα, δασκαλίστικη σημείωση) 70% απόληψη (D) της μέσης απορροής (MAR) (Ναμπάντης και Τσακίρης, 2008)
- Η κατασκευή ενός ταμιευτήρα που δεν θα αφήνει σταγόνα να υπερχειλίσει είναι οικονομικά και τεχνικά άτοπη και περιβαλλοντικά μη αποδεκτή



Σχ. 2.6: Τυπική σχέση της «αδιάστατης» απόληψης D με την «αδιάστατη» χωρητικότητα S_{\max} του ταμιευτήρα.

Ιδιαίτερη σημασία απέκτησε κατά τα τελευταία χρόνια η απαίτηση για διατήρηση του υδάτινου περιβάλλοντος του θεωρούμενου υδατορεύματος. Η απαίτηση αυτή εκφράζεται συνήθως υπό τη μορφή της λεγόμενης «οικολογικής παροχής» που είναι η ελάχιστη απαιτούμενη ποσότητα νερού που εξασφαλίζει τη διατήρηση του οικοσυστήματος (αβιοτικού και βιοτικού) κατάντη του ταμιευτήρα σε καλή κατάσταση.* Στο ίδιο πλαίσιο εγγράφεται και η σύγχρονη τάση για όσο το δυνατό ηπιότερη εκμετάλλευση των υδατικών πόρων και όσο το δυνατό μικρότερη διαταραχή της φυσικής διαίτας του νερού (π.χ., κατασκευή φραγμάτων μικρής χωρητικότητας).



Σχ. 2.4: Ταμιευτήρας και μεγέθη που υπεισέρχονται στην εκτίμηση του ΕΕΥΔ.

γ_{ουπ}.

Εισροές

- Συνολική απορροή υδατορευμάτων που εισρέουν στον ταμιευτήρα Q_t σε όρους όγκου νερού στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$
- Βροχόπτωση πάνω στην επιφάνεια του νερού του ταμιευτήρα P_t , σε όρους ύψους νερού στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$.

Εκροές

- Εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα E_t , σε όρους ύψους νερού στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$
- Υπόγεια διαφυγή L_t , σε όρους όγκου νερού στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$
- Παροχή διέλευσης RE_t για διατήρηση του κατόντη οικοσυστήματος σε όρους όγκου νερού στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$
- Απόληψη R_t για καταναλωτική χρήση σε όρους όγκου νερού στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$
- Υπερχειλίση SP_t σε όρους όγκου στο διάστημα $[t, t + \Delta t]$.

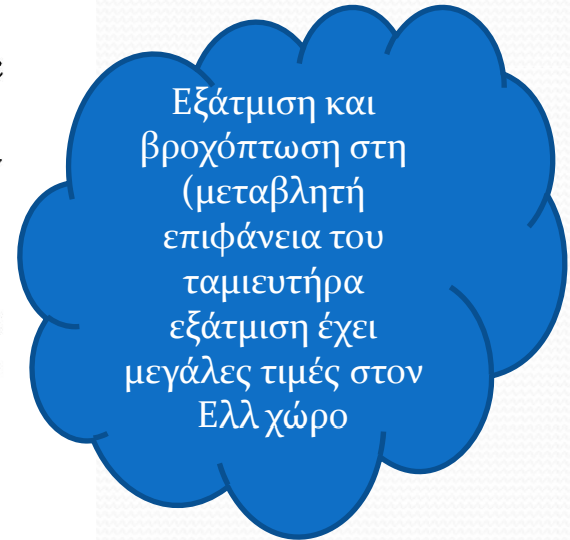
Ωφέλιμο απόθεμα νερού: 0.0 στην κατώτατη και S_{\max} στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας (Ανώτατη κανονική στάθμη = Στάθμη στέψης του υπερχειλιστή)

- Στην αρχή του χρονικού διαστήματος $[t, t + \Delta t]$, S_t
- Στο τέλος του χρονικού διαστήματος $[t, t + \Delta t]$, $S_{t+\Delta t}$

Αγνοώντας τις υπόγειες διαφυγές η εξίσωση συνέχειας γράφεται

$$S_{t+\Delta t} = S_t + Q_t + \gamma P_t A_t - \gamma E_t A_t - R_t - RE_t - SP_t \quad (2.11)$$

όπου γ συντελεστής μετατροπής μονάδων και A_t είναι το εμβαδόν της επιφάνειας (καθρέφτη) του ταμιευτήρα στο χρόνο t . Στην εξίσωση αυτή υπάρχουν τέσσερα άγνωστα μεγέθη: $S_{t+\Delta t}$, R_t , RE_t και SP_t . Συνεπώς, απαιτούνται τρεις ακόμη εξισώσεις και, γι' αυτό, γίνονται παραδοχές. Πρώτα θεωρείται ότι εισέρχεται το νερό της απορροής και της βροχής



(Ναλμπάντη και Τσακίρη, 2008)

Προσωρινά διαθέσιμο νερό

- $SA_{i,j} = S_{i,j} + Q_{i,j} + \gamma_{i,j} A_{i,j} (P_{i,j} - E_{i,j})$

Κλιμακωτοί κανόνες:

- $QE_{i,j} = \min(SA_{i,j}, qe_j)$, κάλυψη οικολογικής παροχής
- $QU_{i,j} = \min(SA_{i,j} - QE_{i,j}, qu_j)$, κάλυψη ύδρευσης
- $QI_{i,j} = \min(SA_{i,j} - QE_{i,j} - QU_{i,j}, qi_j)$, κάλυψη άρδευσης

1) Οικολογική παροχή

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η απόληψη για τη διατήρηση του κατάντη οικοσυστήματος σύμφωνα με ορισμένο κανόνα που λέγεται «κανόνας λειτουργίας». Στη βιβλιογραφία έχει προταθεί ποικιλία τέτοιων κανόνων (π.χ., Nalbantis και Koutsoyiannis, 1997, ReVelle, 1999). Συνήθης είναι η χρήση του τυπικού κανόνα λειτουργίας που βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

- α) Εφόσον το νερό στον ταμιευτήρα επαρκεί, λαμβάνεται ποσότητα ακριβώς ίση με τη ζήτηση νερού για διατήρηση του κατάντη οικοσυστήματος q_t .
- β) Σε αντίθετη περίπτωση, λαμβάνεται όλο το διαθέσιμο νερό.

Ο κανόνας γράφεται ως εξής

$$RE_t = \min(SA_t, q_t) \quad (2.13)$$

2) Καταναλωτική χρήση

ο κανόνας αυτός θα μπορούσε να συνεχιστεί αναλόγως της «ιεραρχίας» των χρηστών

Στη συνέχεια γίνεται απόληψη για καταναλωτική χρήση σύμφωνα με τον ίδιο κανόνα:

- α) Εφόσον το νερό στον ταμιευτήρα επαρκεί, λαμβάνεται ποσότητα ακριβώς ίση με τη ζήτηση νερού D_t .
- β) Σε αντίθετη περίπτωση, λαμβάνεται όσο νερό είναι διαθέσιμο.

Ο κανόνας γράφεται ως εξής

$$R_t = \min(SA_t - RE_t, D_t) \quad (2.14)$$

3) Υπερχείλιση

Με βάση το νερό που απομένει, γίνεται ο έλεγχος της ενδεχόμενης υπερχειλίσης. Αν $SA_t - R_t - RE_t > S_{\max}$ ή αλλιώς $SA_t - R_t - RE_t - S_{\max} > 0$ η ποσότητα που υπερβαίνει τη χωρητικότητα υπερχειλίζει. Αλλιώς η υπερχειλίση είναι μηδενική.

Σε αναλυτική μορφή:

$$SP_t = \max(SA_t - R_t - RE_t - S_{\max}, 0) \quad (2.15)$$

Η εξίσωση (2.11) γράφεται ως εξής

$$S_{t+\Delta t} = SA_t - R_t - RE_t - SP_t \quad (2.16)$$

Οι εξισώσεις (2.12), (2.13), (2.14), (2.15) και (2.16) έχουν πέντε άγνωστα μεγέθη (SA_t , RE_t , R_t , SP_t και $S_{t+\Delta t}$) και η διαδοχική εφαρμογή τους αρκεί για τον υπολογισμό των αγνώστων. Αυτή ακριβώς η διαδικασία

Υπερχείλιση και όγκος νερού στον ταμιευτήρα

- $R_{i,j} = \max(SA_{i,j} - QE_{i,j} - QU_{i,j} - QI_{i,j} - SA_{MAX}, 0)$,
ΥΠΕΡΧΕΙΛΙΣΗ, (ΚΑΙ ΑΥΤΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΠΑΡΟΧΗ Η ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΤΑΝΤΗ)

- $S_{i,j+1} = SA_{i,j} - QE_{i,j} - QU_{i,j} - QI_{i,j} - R_{i,j}$
όγκος νερού στον ταμιευτήρα

Αξιοπιστία έτους: όταν καλύπτεται η ζήτηση κάθε μήνα αλλιώς αστοχία

λυση της ζήτησης το συγκεκριμένο μήνα.

Πλήρης κάλυψη της ζήτησης σε ένα ολόκληρο υδρολογικό έτος i σημαίνει

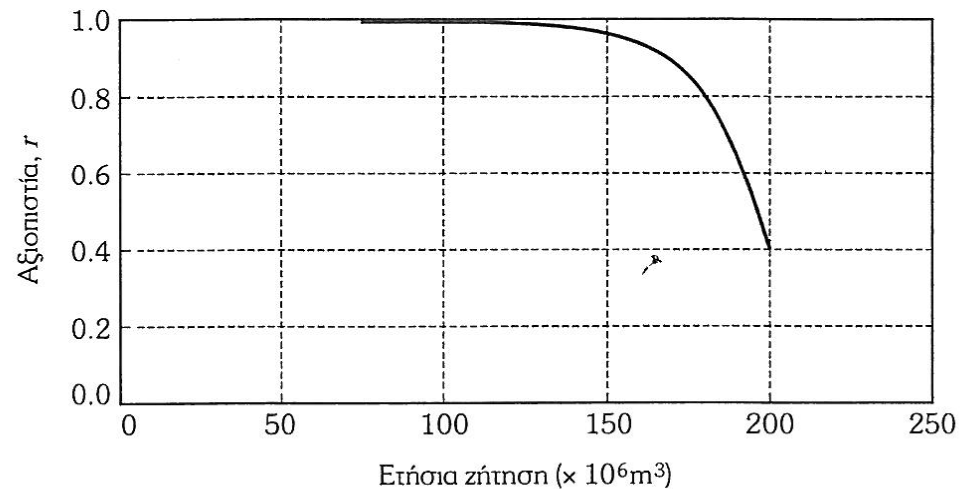
$$\sum_{j=1}^{12} R_{i,j} = D \quad (2.18)$$

Η τυχαιότητα των υδρολογικών μεγεθών που υπεισέρχονται στη λειτουργία του ταμιευτήρα δεν επιτρέπει την πλήρη κάλυψη της ζήτησης στο 100% του χρόνου.

Ποσοστό ετών που καλύπτει η ζήτηση

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, προσομοιώνεται η λειτουργία του ταμειυτήρα (με βάση τις εξισώσεις 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 και 2.16) για μια σειρά N υδρολογικών ετών και εντοπίζεται το πλήθος των ετών N' με πλήρη κάλυψη της ζήτησης. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας \hat{r} είναι:*

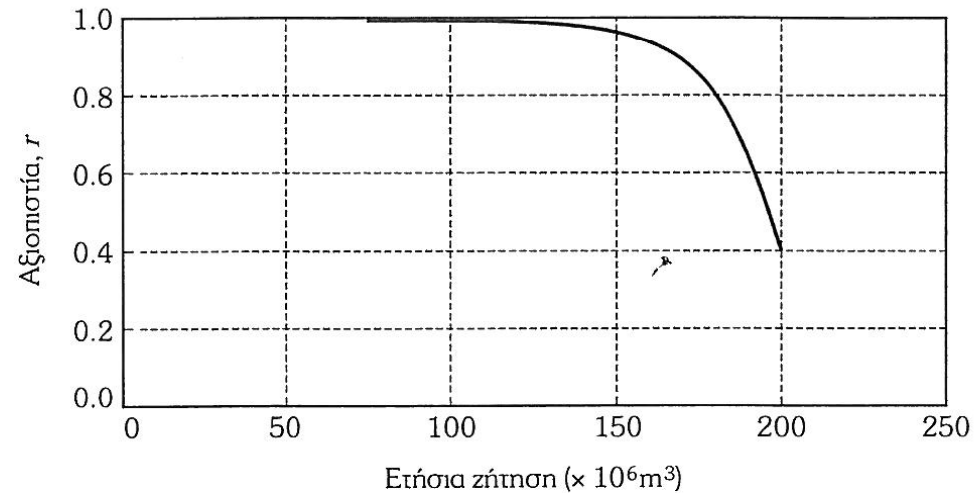
$$\hat{r} = \frac{N'}{N} \quad (2.20)$$



Σχ. 2.5: Παράδειγμα της σχέσης αξιοπιστίας - ζήτησης νερού σε μεμονωμένο ταμειυτήρα.

Για την εκτίμηση της αξιοπιστίας, προσομοιώνεται η λειτουργία του ταμιευτήρα (με βάση τις εξισώσεις 2.12, 2.13, 2.14, 2.15 και 2.16) για μια σειρά N υδρολογικών ετών και εντοπίζεται το πλήθος των ετών N' με πλήρη κάλυψη της ζήτησης. Η εκτίμηση της αξιοπιστίας \hat{r} είναι:*

$$\hat{r} = \frac{N'}{N} \quad (2.20)$$



Σχ. 2.5: Παράδειγμα της σχέσης αξιοπιστίας - ζήτησης νερού σε μεμονωμένο ταμιευτήρα.

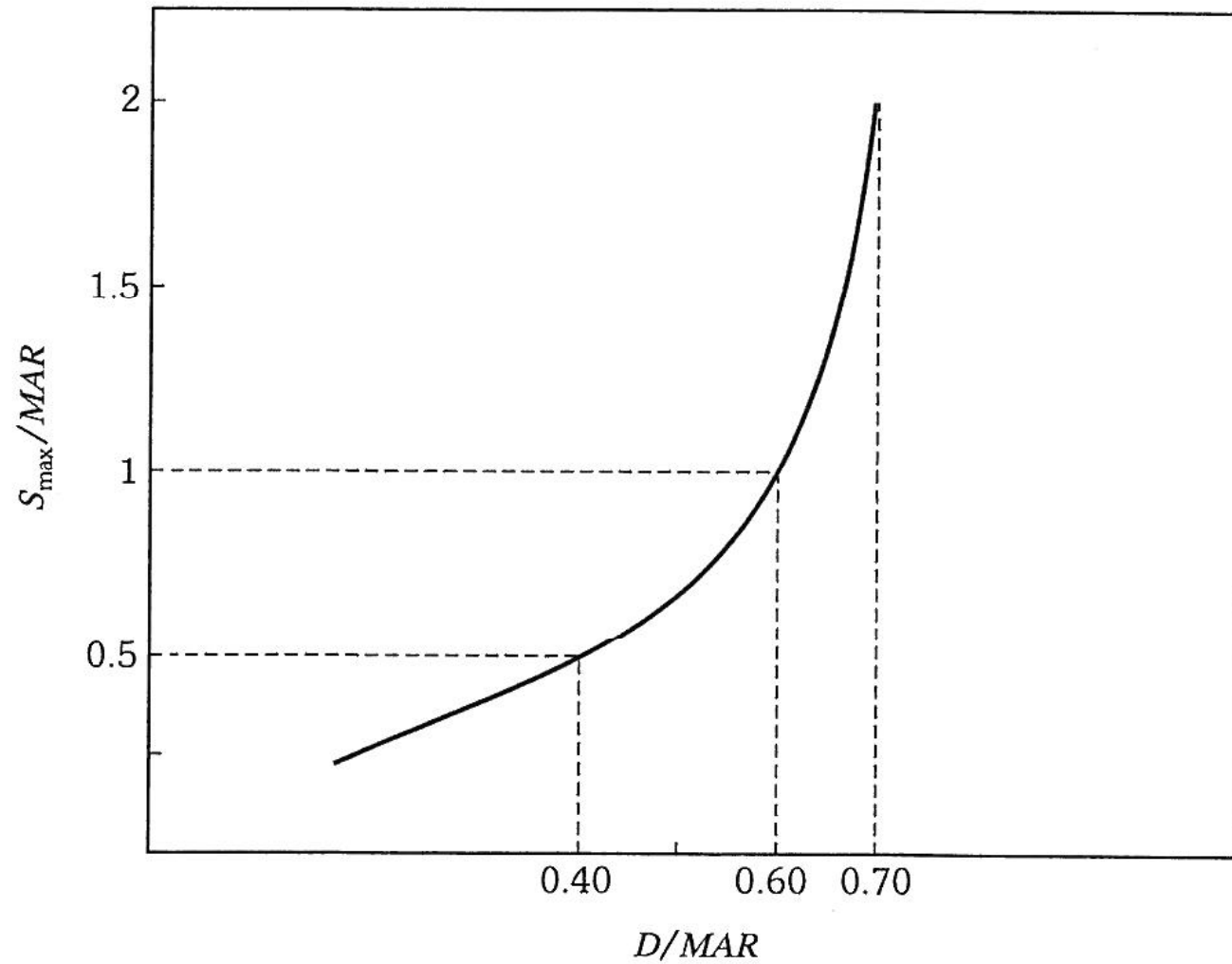
Σε κάθε τιμή ζήτησης νερού D , αντιστοιχεί μια τιμή της αξιοπιστίας r . Η σχέση $r = r(D)$ είναι φθίνουσα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.5. Η σχέση αυτή δίνει το εκμεταλλεύσιμο επιφανειακό υδατικό δυναμικό (ΕΕΥΔ) της λεκάνης. Συνήθως, όμως, το ΕΕΥΔ δεν δίνεται από την πλήρη σχέση $r = r(D)$ αλλά μόνο ως μια μεμονωμένη τιμή D^* για μια συγκεκριμένη τιμή της αξιοπιστίας r^* (π.χ., $r^* = 0.95$). Συνεπώς, για δεδομένη επιθυμητή αξιοπιστία r^* είναι απαραίτητο να επιλυθεί η εξίσωση

$$r(D) - r^* = 0 \quad (2.21)$$

Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Δυναμικό, με ταμίευση

- Προσομοίωση ταμιευτήρα
- Μετρημένες απορροές
- Για δεδομένη ζήτηση και χωρητικότητα ταμιευτήρα S_{max}
- Απλά: Τα έτη που καλύπτεται η ζήτηση προς τα συνολικά έτη προσομοίωσης αποτελούν προσομοίωση της αξιοπιστίας
- Τρέχω διάφορα σενάρια ζητήσεων. Η ζήτηση είναι αυτή που αντιστοιχεί σε αποδεκτή αξιοπιστία.
- Π.χ. Ενδεικτικά: ύδρευση 95-99% . Άρδευση: 80%

Αξίζει να σημειωθεί ότι για την όσο γίνεται μεγαλύτερη απόληψη (και επομένως το μέγιστο εκμεταλλεύσιμο υδατικό δυναμικό) απαιτείται όσο γίνεται μεγαλύτερη χωρητικότητα του ταμιευτήρα. Όμως από μια χωρητικότητα και πάνω η απόληψη με συγκεκριμένη πιθανότητα αστοχίας δεν αυξάνει παρά την αύξηση της χωρητικότητας. Η οριακή αυτή τιμή της απόληψης D αποτελεί το μέγιστο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό για συγκεκριμένη πιθανότητα αστοχίας που αναφέρθηκε γενικά πιο πάνω. Στο Σχήμα 2.6 παρουσιάζεται ένα παράδειγμα λεκάνης με ταμιευτήρα στην έξοδό της και η σχέση των αδιάστατων ποσοτήτων S_{\max}/MAR και D/MAR που αντιπροσωπεύουν τη χωρητικότητα του ταμιευτήρα / μέσου ετήσιου ύψους απορροής με την απόληψη από τον ταμιευτήρα / μέσου ετήσιου ύψους απορροής. Όπως φαίνεται από το παράδειγμα του σχήματος αλλά και πολλές εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα (δηλαδή το μέγιστο εκμεταλλεύσιμο δυναμικό) είναι τάξης μεγέθους 50-70% της



Σχ. 2.6: Τυπική σχέση της «αδιάστατης» απόληψης D με την «αδιάστατη» χωρητικότητα S_{\max} του ταμιευτήρα.

Αν κατασκευάσουμε ταμιευτήρα με χωρητικότητα ίση με τη μέση ετήσια απορροή μιας θέσης, θα έχουμε την ποσότητα αυτή ως μέση ετήσια απόληψη?

- Όχι. Θα πρέπει να γίνει προσομοίωση και να θεωρηθεί η αξιοπιστία της εξεταζόμενης ζήτησης.
- Συνήθως, για τα Ελληνικά δεδομένα, η μέγιστη απολήψιμη ποσότητα (D) είναι 50-70 % της μέσης ετήσιας απορροής (MAR)
- π.χ. για διπλάσιο όγκο ταμιευτήρα (KMAX) από τη μέση απορροή (MAR) μπορεί να προκύψει (όχι πάντα, δασκαλίστικη σημείωση) 70% απόληψη (D) της μέσης απορροής (MAR) (Ναμπάντης και Τσακίρης, 2008)
- Η κατασκευή ενός ταμιευτήρα που δεν θα αφήνει σταγόνα να υπερχειλίζει είναι οικονομικά και τεχνικά άτοπη και περιβαλλοντικά μη αποδεκτή

Αν κατασκευάσουμε ταμιευτήρα με χωρητικότητα ίση με τη μέση ετήσια απορροή μιας θέσης, θα έχουμε την ποσότητα αυτή ως μέση ετήσια απόληψη? (2)

- Χρειάζεται να προβλεφτεί μια ελάχιστη παροχή κατάντη.
- Ο μέσος όρος έχει προέλθει από το συνυπολογισμό των υγρών ετών για τις δεκαετίες που έχουμε δεδομένα. Συνήθως, τα υγρά χρόνια πάνε μαζί (εμμονή, όπως και τα ξηρά χρόνια)
- Για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε την αξιοποίηση του μέσου όρου της παροχής, τότε θα πρέπει να αξιοποιήσουμε χωρίς υπερχείλιση, όλη τη θεωρητικά διαθέσιμη ποσότητα νερού και των υγρών χρόνων γεγονός που θα προϋπόθετε ένα ταμιευτήρα γιγαντιαίας χωρητικότητας που θα πληρούταν μία φορά στα περίπου σαράντα χρόνια (τη πλέον υγρή 11-ετία και τη πλέον υγρή χρονιά της 11ετίας για ένα ελάχιστο δείγμα 40 χρόνων) γεγονός προφανώς, ασύμφορο

«λεπτομέρεια»

- Αρχικός όγκος ταμειυτήρα?
- Γεμάτος κατά το ήμισυ ή άδειος αλλά εξαιρούνται από τον προσδιορισμό της αξιοπιστίας τα πρώτα δύο χρόνια

Απολήψιμη ποσότητα

- Κατά το σχεδιασμό θεωρείται όχι η μέση απόληψη, αλλά η εγγυημένη απόληψη με ποσοστό 99% αξιοπιστία για την ύδρευση
- 90%- για την άρδευση

representative values are extracted:

- D : total demand in the system, in Mm^3/yr .
- S : total amount of water supplied to demands in the system, regardless of reliability, in Mm^3/yr .
- S_r : total amount of water supplied to demands in the system with acceptable reliability (for instance, 85% or more), in Mm^3/yr .
- $S_{r-\Delta r}$: total amount of water supplied to demands in the system with reliability close to the acceptability level (for instance, 80% or more), in Mm^3/yr .

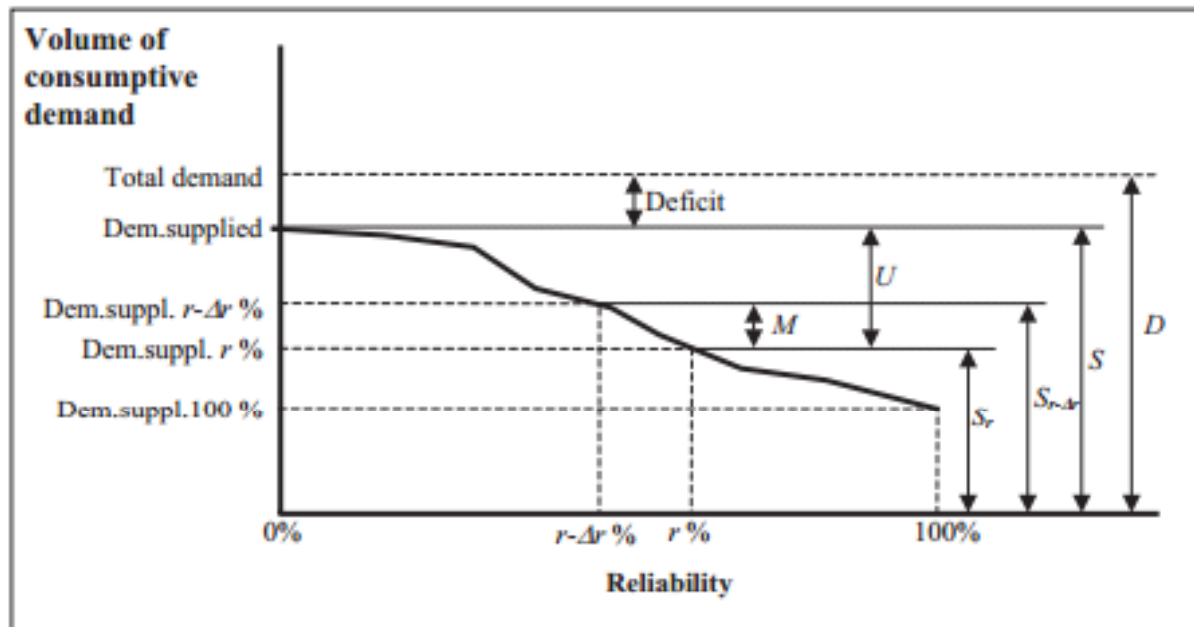


Figure 1. Distribution of consumptive demands according to their reliability

Θα εξηγηθεί σε
μελλοντικό μάθημα

Διαχ. ταμειευτήρα σε ξηρασία

Definition of reservoir release rules for drought management

- We also need to define supply restrictions in each level

