



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε το σύνδεσμο: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ Ι

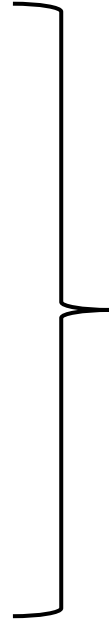
Περιβαλλοντικές ροές

Δρ. Βασίλης Μπέλλος

Εισαγωγή

Εμπόδια στη ροή

- Φράγματα
- Διευθετήσεις
- Υδραυλικές κατασκευές
- Τεχνικά έργα
- Υδροστρόβιλοι
- ...



εμπόδιση της
μετανάστευσης της
ιχθυοπανίδας



μείωση/εξάλειψη ειδών

Υδραυλικό άλμα



υδραυλικό
άλμα

Φράγματα

μεγάλα



υπερχειλιστής



μικρά



Διευθετήσεις



Υδραυλικές κατασκευές

καταστροφή ενέργειας



Τεχνικά έργα

σωληνωτός αγωγός



ιρλανδική διάβαση

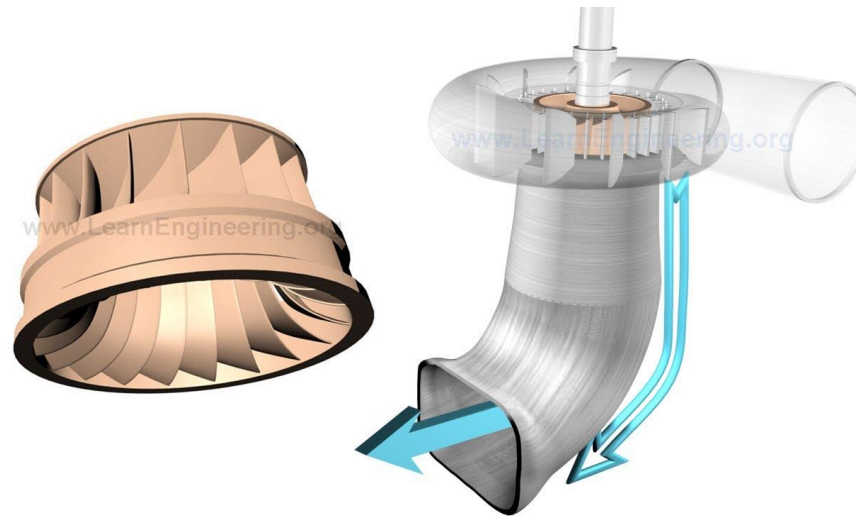


Υδροστρόβιλοι

Pelton



Francis



Kaplan



Έμμεσες επιπτώσεις

- **Αλλαγές στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της ροής**
 - Θερμοκρασία
 - Ποιότητα νερού
 - Χλωρίδα του ενδαιπήματος
- **Αυξανόμενη έκθεση στους θηρευτές**
 - Υπερσυσσώρευση ιχθυοπληθυσμών σε συγκεκριμένες περιοχές
 - Μεγαλύτερη τρωτότητα

ΣΥΝΟΛΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

- **Δυναμική ιχθυοπληθυσμού**

- Ποσοστό γέννησης ή εμπλουτισμού
- Ρυθμός ανάπτυξης
- Ποσοστό θνησιμότητας

- **Δυσμενής διέλευση**

- Παράσυρση λόγω υδροληψίας
- Έκθεση σε άλλους κινδύνους
- Άμεση θνησιμότητα (υδροστρόβιλοι)
- Θνησιμότητα από άλλους παράγοντες (στρες, θηρευτές, ασθένειες)

Ευρύτερες πιέσεις

- Διαθεσιμότητα ή έλλειψη ενδιαιτημάτων
- Εξωτερικές πιέσεις στο ποτάμιο σύστημα
 - Χρήσεις γης
 - Ποιότητα νερού
- Καιρικές συνθήκες
- Αλιευτική πίεση

Οικολογική μηχανική

- Οικολογική παροχή
- Διατάξεις διέλευσης ιχθυοπανίδας
- Απομάκρυνση εμποδίων
- ...

Οικολογική παροχή

Μέθοδοι υπολογισμού

- Υδρολογικοί δείκτες
- Υδραυλικοί δείκτες
- Προσομοίωση ενδιαιτημάτων
- Ολιστική προσέγγιση

Υδρολογικοί δείκτες

- Μέθοδος ελάχιστης μηνιαίας παροχής
- Μέθοδος Tenant
- Μέθοδος Texas
- Καμπύλη διάρκειας παροχής
- Βασική παροχή διατήρησης
- Μέθοδος RVA (Range of Variability Approach)

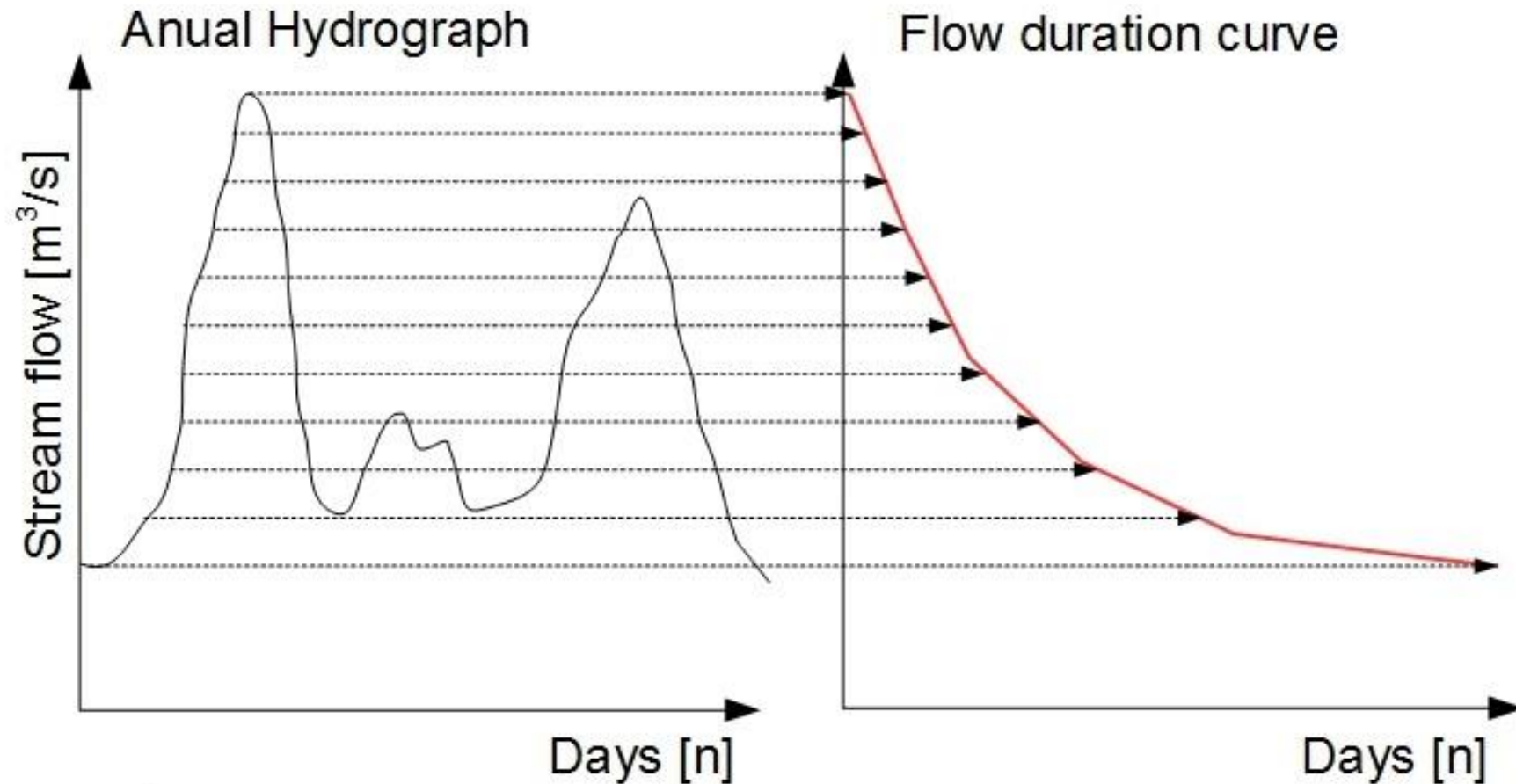
Μέθοδος ελάχιστης μηνιαίας παροχής

- Για όλο το έτος
- Μέση μηνιαία παροχή που εμφανίζεται τον ξηρότερο μήνα του έτους

Μέθοδος Tenant

- Διάκριση σε θερινή (ΑΠΡ-ΣΕΠ) και χειμερινή περίοδο (ΟΚΤ-ΜΑΡ)
- 10% της μέσης ετήσιας παροχής για την επιβίωση των ενδιαιτημάτων
- 30% της μέσης ετήσιας παροχής για ικανοποιητική υγεία των ενδιαιτημάτων
- 60%-100% της μέσης ετήσιας παροχής για τη διατήρηση παρθένων οικοσυστημάτων

Καμπύλη διάρκειας παροχής



Βασική παροχή διατήρησης

- Μέσες ημερήσιες παροχής (>10ετία)
- Κυλιόμενος μέσος όρος για 100 συνεχόμενες τιμές κάθε χρόνου
- Ελάχιστες τιμές κυλιόμενου μέσου όρου κάθε έτους
- Βασική παροχή: μέγιστο εύρος μεταξύ δύο συνεχόμενων τιμών
- Πολλαπλασιάζεται με συντελεστή εποχιακής διακύμανσης

RVA

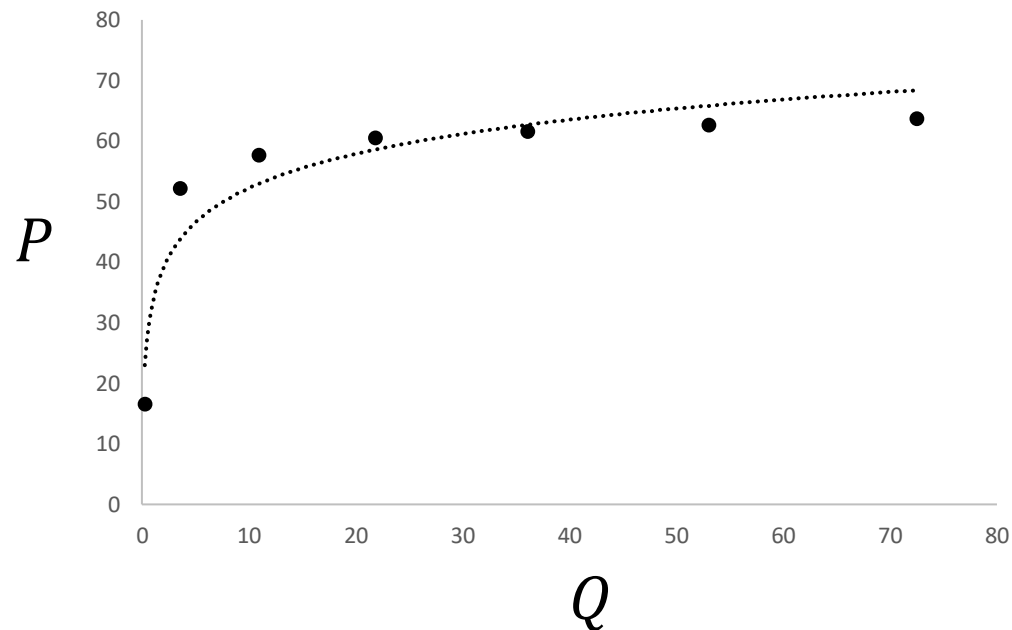
- Πολύπλοκη μέθοδος
- 32 οικολογικές-υδρολογικές παράμετροι
- Δεδομένα >20ετία (πριν και μετά την ανθρωπογενή παρέμβαση)
- Χρονικά μεταβαλλόμενους στόχους οικολογικής παροχής
- 4 κατηγορίες παραμέτρων
 - Δείκτης υδρολογικής μεταβολής
 - Υδρολογικές παράμετροι
 - Οικολογική σημασία

Υδραυλικοί δείκτες

- Τεχνική υγρής περιμέτρου
- Μέθοδος toe-width
- Προσαρμοσμένη προσέγγιση οικολογικής υδραυλικής ακτίνας
- Μέθοδος Flow Event

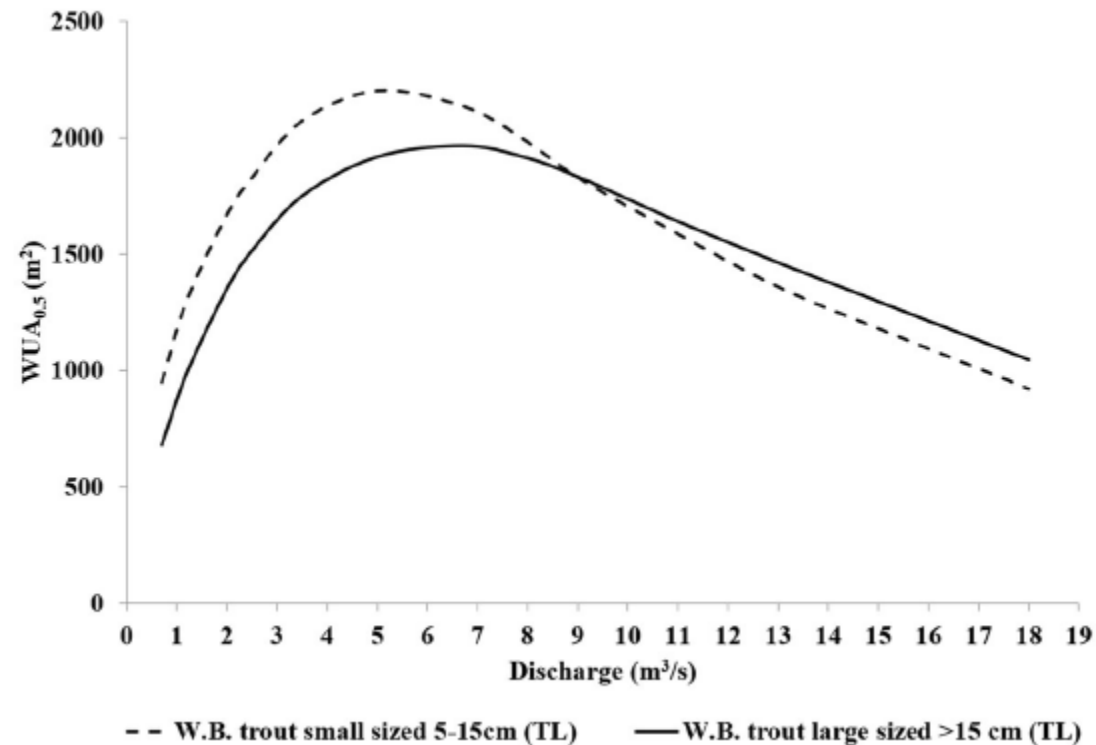
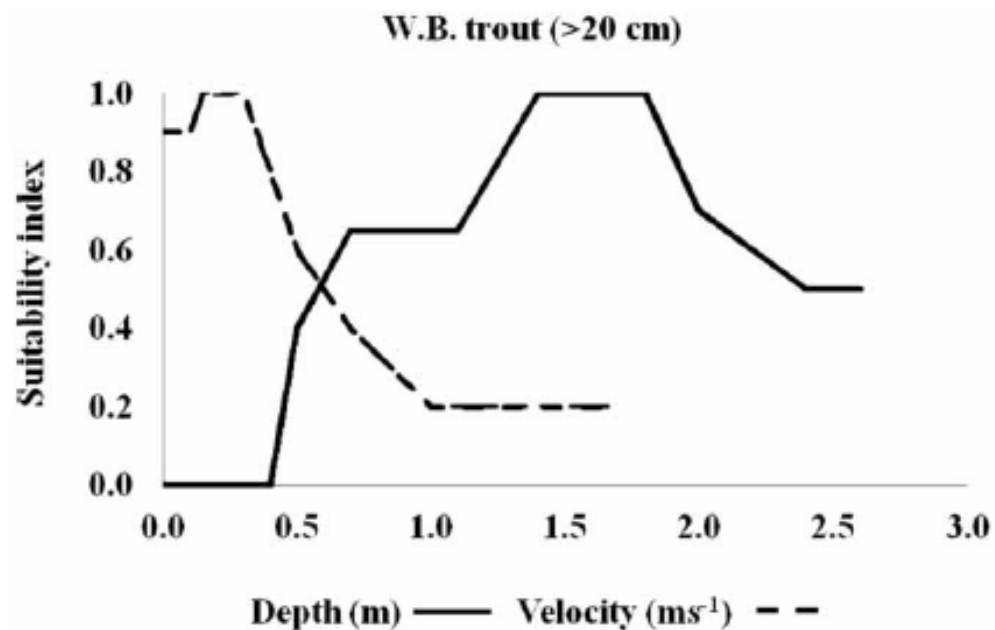
Τεχνική υγρής περιμέτρου

- Εξίσωση Manning
- Προσαρμογή ημιλογαριθμικής καμπύλης
- Μέγιστη καμπυλότητα καμπύλης k : συνάρτηση της κλίσης καμπύλης b



$$k = \frac{\left| \frac{b}{Q^2} \right|}{\left[1 + \left(\frac{b}{Q} \right)^2 \right]^{3/2}}$$

Προσομοίωση ενδιαιτημάτων



Ολιστική προσέγγιση

- Συνδυασμός όλων των παραπάνω
- Οι πιο πολύπλοκες αλλά και σύγχρονες μέθοδοι
- Building Block Methodology
- Downstream Response to Imposed Flow Transformations
- Desktop Reserve Model
- Ecological Limits of Hydrologic Alteration
- ...

Διατάξεις διέλευσης ιχθυοπανίδας

Βασικές αρχές σχεδιασμού

- **Διεπιστημονική προσέγγιση**
- **Καταγραφή υφιστάμενης κατάστασης**
 - Ανάγκες του οικοσυστήματος
 - Ποια είδη υπάρχουν
 - Υδρολογικά και υδραυλικά χαρακτηριστικά
- **Γενική αρχή διατάξεων:** προσέλκυση ιχθυοπληθυσμών σε ένα προκαθορισμένο σημείο για να προκληθεί ενεργά ή παθητικά η μετακίνηση προς τα ανάντη μέσω ενός περάσματος ή παγίδευσης σε δεξαμενή και μεταφορά μέσω κλίμακας ή συστήματος ανελκυστήρων

Πιθανά εμπόδια

- **Ταχύτητα, διεύθυνση και φορά ροής**
 - Σε συνάρτηση με την ικανότητα κολύμβησης κάθε είδους
- **Αερισμός, τύρβη και χαμηλές ταχύτητες ροής**
 - Δυνητικά εμπόδια
- **Ευαισθησία ειδών**
 - Διαλυμένο οξυγόνο
 - Θερμοκρασία
 - Θόρυβος
 - Φως
 - Οσμές
 - ...

Κατασκευάζονται;

- **ΗΠΑ και Καναδάς:** πρωτοπόροι
- **Γαλλία, Γερμανία, ΗΒ:** απομάκρυνση υφιστάμενων εμποδίων
- **Λατινική Αμερική και Ασία:** μικρά βήματα όπου και ακολουθείται η αμερικανική και ευρωπαϊκή εμπειρία
- **Ελλάδα:** τα τελευταία χρόνια
 - Ρουφράκτης Γυρτώνης
 - Κρασιά Γρεβενών

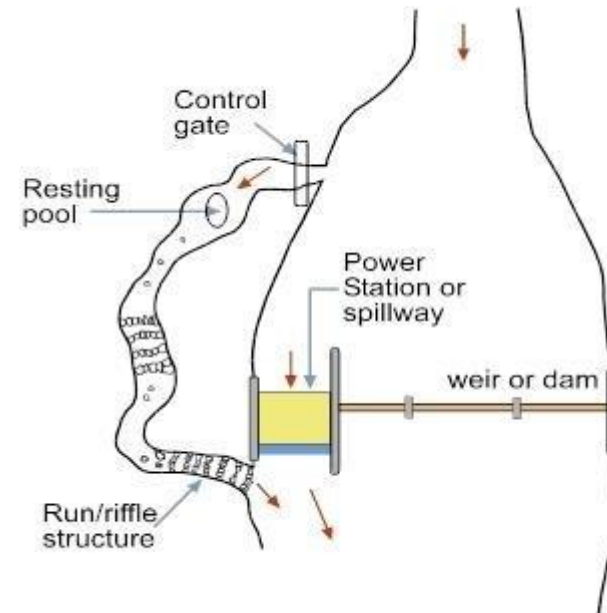
Τύποι

- Κλίμακες διέλευσης ιχθύων

- Pool Weir
- Denil
- Steep Pass
- Vertical Slot



- Κανάλια παράκαμψης
- Fish lock

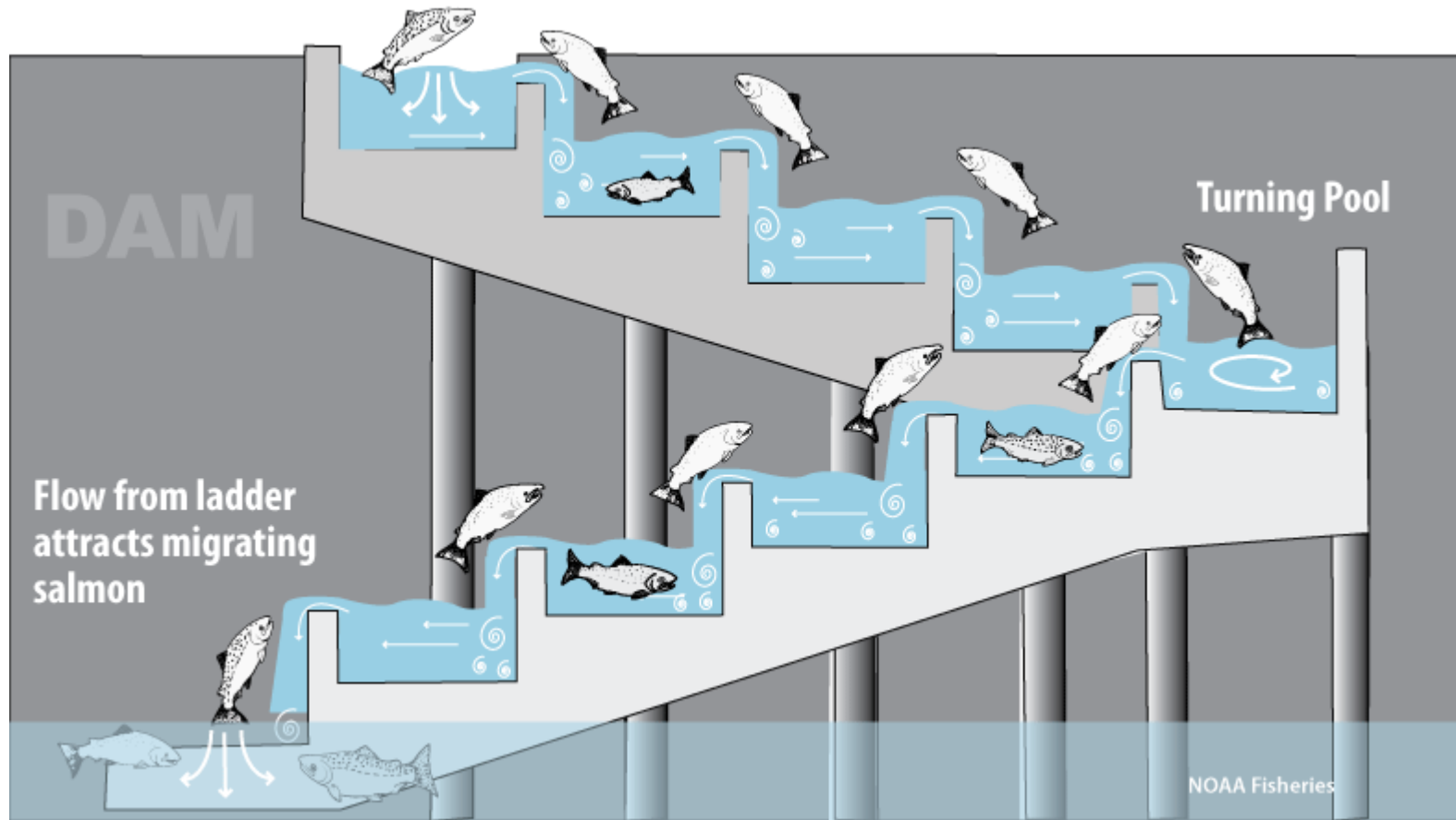


Κλίμακα διέλευσης ιχθύων

- Υδραυλική κατασκευή για την εξασφάλιση της κίνησης ιχθύων προς τα ανάντη
- Ενδείκνυται για εμπόδια στη ροή από 30-60 cm μέχρι μερικά μέτρα (μικρά φράγματα)



Κλίμακα διέλευσης ιχθύων



Κλίμακα διέλευσης ιχθύων



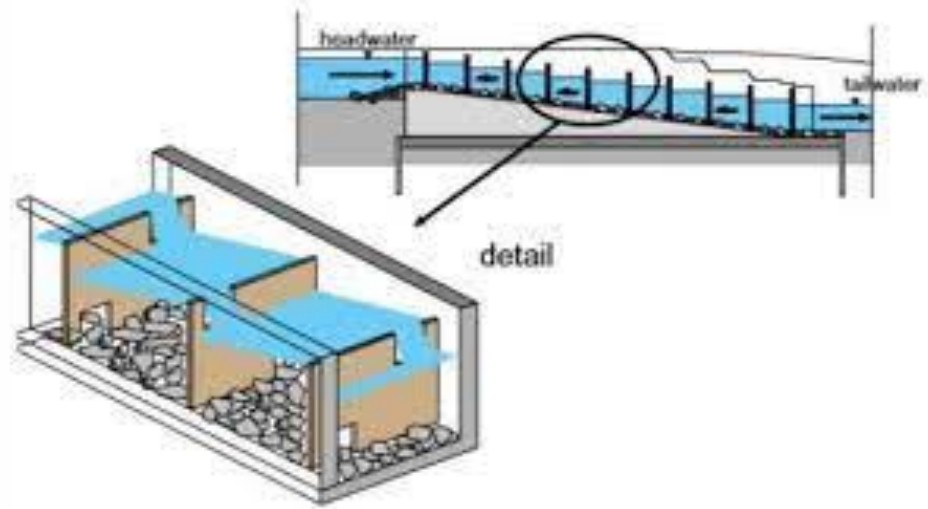
Εμπειρική μέθοδος

- **Εντοπισμός ειδών ιχθυοπανίδας: ιχθυολογική έρευνα**
 - Δειγματοληψία
 - Καταγραφή χαρακτηριστικών
- **Καθορισμός θέσης εσόδου και εξόδου διάταξης**
- **Καθορισμός υδραυλικών χαρακτηριστικών**
 - Παροχή
 - Ταχύτητα
 - Ταχύτητα έλξης
 - Βάθος
- **Επιλογή διαστάσεων κάθε δεξαμενής**

Εμπειρική μέθοδος

- **Επιλογή τιμών των εμπειρικών κριτηρίων: πίνακες**
 - Μέση ταχύτητα ροής στη δεξαμενή ιχθύων
 - Καταστροφή ενέργειας
- **Υπολογισμός αριθμού δεξαμενών**
- **Καθορισμός κατάντη οριακής συνθήκης και υψομέτρου πυθμένα της διάταξης**
- **Υδραυλικός υπολογισμός & Παροχή**
 - Μέγιστη πτώση στάθμης
 - Αναμενόμενους συνδυασμούς πτώσης στάθμης
- **Προσδιορισμός λοιπών χαρακτηριστικών και διαστάσεων**

Pool Weir



•Πηγή: <https://theconstructor.org>

Pool Weir

- Η παλαιότερη μέθοδος
- Περίπου το 1% των φραγμάτων στη Γαλλία
- **Κύριες παράμετροι**
 - Διαστάσεις δεξαμενών
 - Γεωμετρικά χαρακτηριστικά εγκοπών
 - Βάθη νερού σε κάθε δεξαμενή
- **Δεξαμενές**
 - Περιοχές ήρεμης ροής για τα ψάρια
 - Λεκάνες απόσβεσης ενέργειας → προστασία από τραυματισμούς λόγω τύρβης

Χαρακτηριστικά

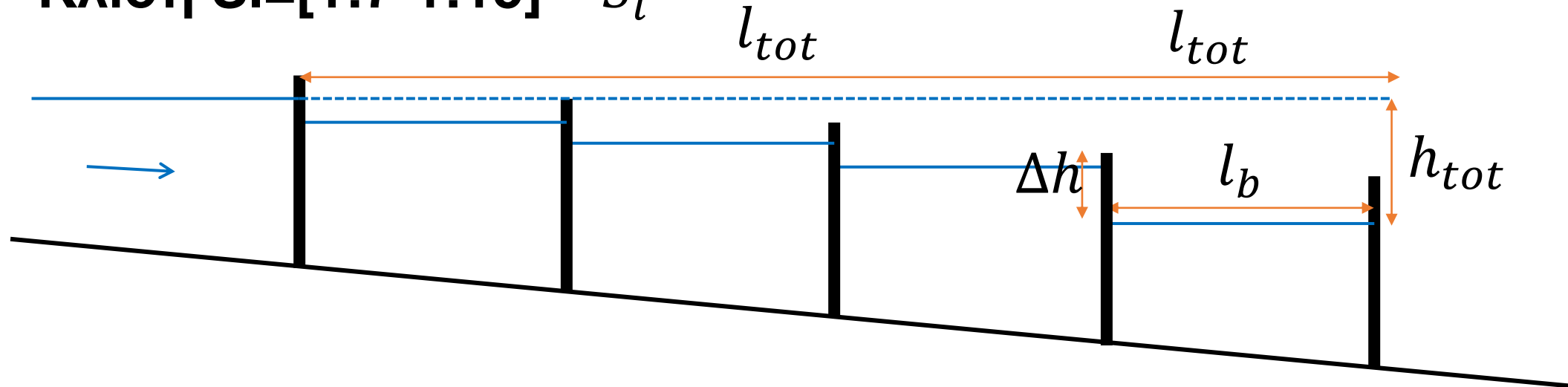
- **Κριτήρια σχεδιασμού**
 - Ικανότητες κολύμβησης ψαριών
 - Υδραυλικά μοντέλα
- **Μήκος $l_b=[0.50-10]$ m**
- **Βάθος νερού $h=[0.50-2]$ m**
- **Ύψος πτώσης από δεξαμενές $\Delta h \approx 0.20$ m**
 - Πέστροφες
 - Σολομοί
- **Απόσβεση ενέργειας: περιορίζει τύρβη και αναστέλλει αερισμό $E=[100-200]$ W/m³**

Χαρακτηριστικά

• Αριθμός δεξαμενών $n = \frac{h_{tot}}{\Delta h} + 1$

• Μήκος διάταξης $l_{tot} = nl_b$

• Κλίση SI=[1:7-1:15] $S_l = \frac{h_{tot}}{l_{tot}}$



Περιορισμοί

- Ταχύτητες νερού στις βυθισμένες οπές $< 2 \text{ m/s}$
- Παροχές σε υπερχείλιση και βυθισμένη οπή: αντίστοιχοι περιορισμοί
- Ανώτατη καταστροφή ενέργειας $[150-200] \text{ W/m}^3$: ανάλογα με το είδος

Υδραυλικές σχέσεις

- Ταχύτητα ροής σε βυθισμένη οπή

$$V = \sqrt{2g\Delta h}$$

- Παροχή σε βυθισμένη οπή ($\psi=[0.65-0.85]$)

$$Q = \psi AV$$

Απώλεια ενέργειας

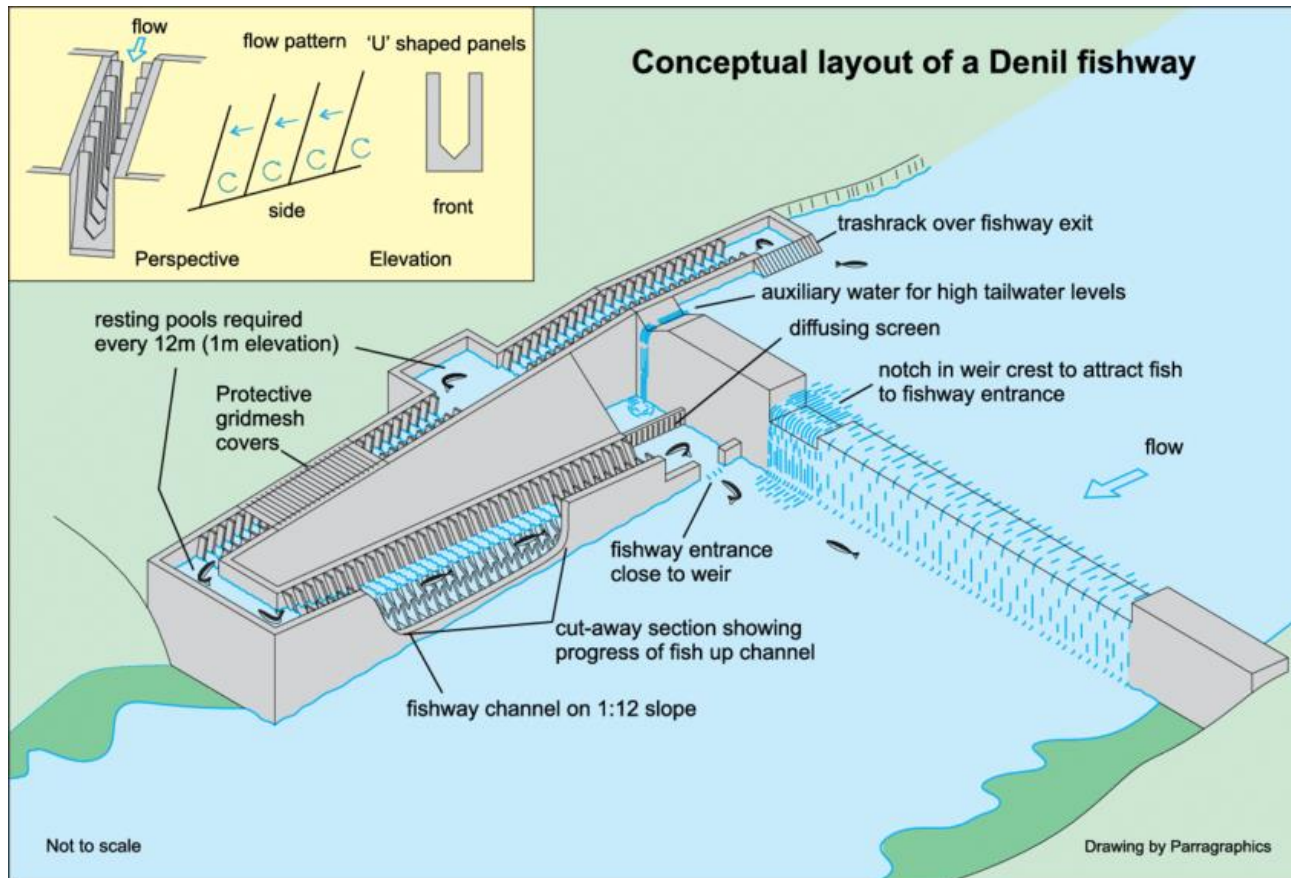
$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{b h_m (l_b - d)}$$

- Μέσο βάθος νερού (από τη στάθμη των ογκόλιθων) $h_m = h_{min} + \frac{\Delta h}{2}$
- Πάχος ενδιάμεσων φραγματίων $d \approx 0.1 \text{ m}$

ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

	Διάσταση δεξαμενών (m)			Διάσταση βυθισμένων οπών (m)		Διαστάσεις εγκοπών (m)		Παροχή Q (m ³ /s)	Μέγιστη διαφορά φορτίου Δh (m)
	Μήκος l _b	Πλάτος b	Βάθος νερού h	Πλάτος b _s	Μήκος h _a	Πλάτος b _s	Μήκος h _a		
Οξύρυγχος	5-6	2.5-3	1.5-2	1.5	1	-	-	2.5	0.2
Σολομός Πέστροφα	2.5-3	1.6-2	0.8-1	0.4-0.5	0.3-0.4	0.3	0.3	0.5-2.5	0.2
Τυλινάρι Μπριάνα	1.4-2	1-1.5	0.6-0.8	0.25-0.35	0.25-0.35	0.25	0.25	0.08-0.2	0.2
Άνω ζώνη Πέστροφας	>1	>0.8	>0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.05-0.1	0.2

Denil



•Πηγή: <https://theconstructor.org>

•Πηγή: Thorncraft, G., Harris, J.H. (2000). Fish Passage and Fishways in New South Wales: A Status Report. Report number: Technical Report 1/2000, Cooperative Research Centre for Freshwater

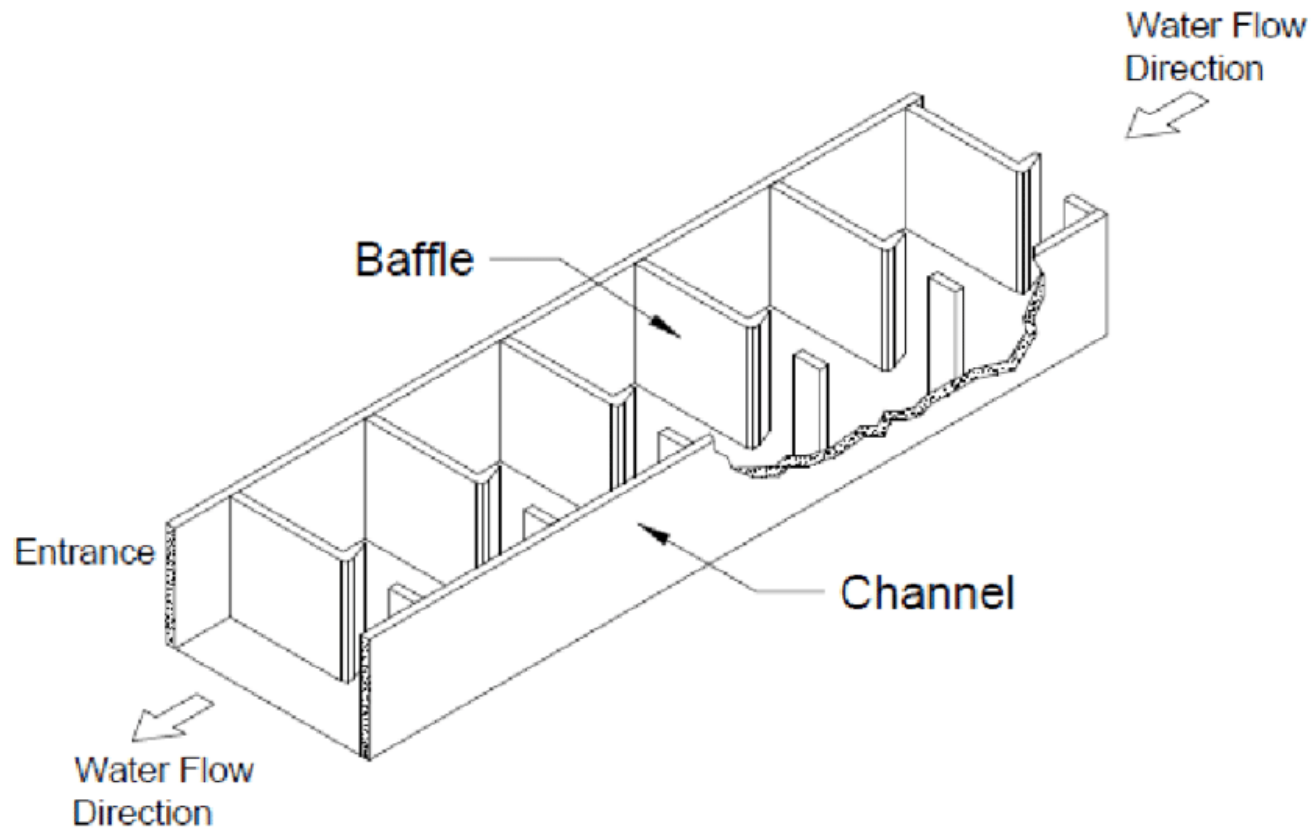
Denil

- **Βέλγιο 1909**
- **Στενές διατομές**
- **Μικρά βάθη ροής**
- **Συνήθως δεν υπάρχουν δεξαμενές**
- **Μέγεθος**
 - Μήκος: 10-12 m για ενήλικο σολομό (ψάρια > 30 cm)
 - Μήκος: 6-8 m για μικρότερα μεγέθη
 - Πλάτος: 0.6-1.2 m
 - Κλίση: 15-20 %

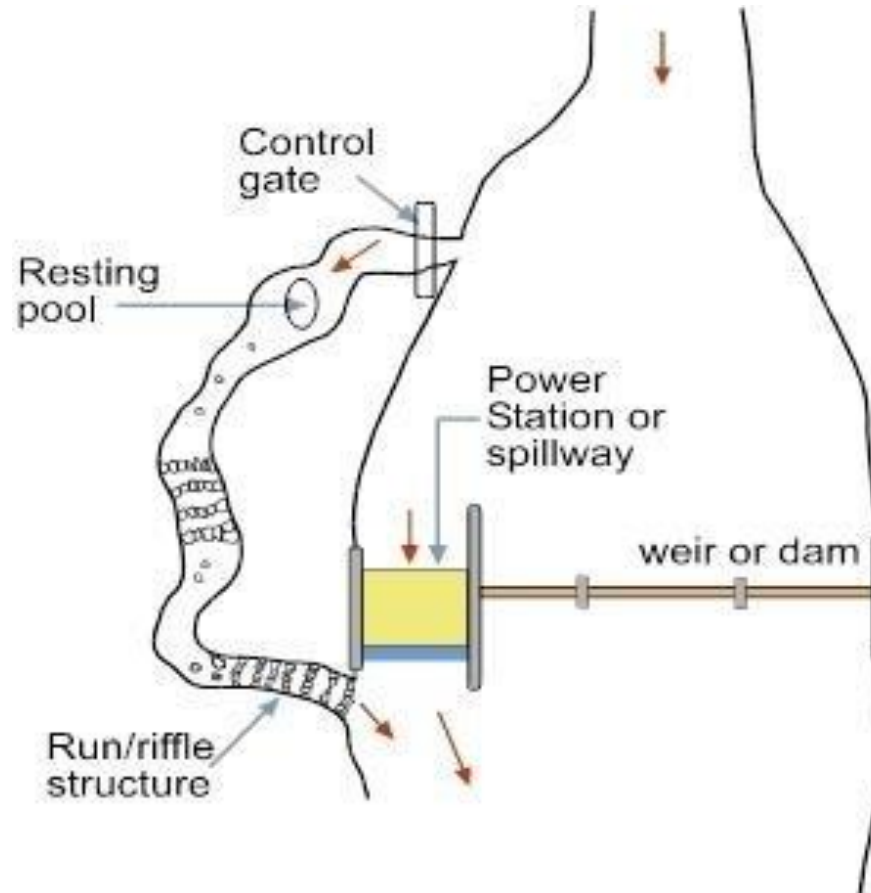
ΤΥΠΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ

Είδος	Πλάτος b (m)	Κλίση πυθμένα %	Κλίση διάταξης 1:n	Παροχή Q (m ³ /s)
Κοινή Πέστροφα, Κυπρινίδες	0.6	20	1:5	0.26
	0.7	17	1:5.88	0.35
	0.8	15	1:6.67	0.46
	0.9	13.5	1:7.4	0.58
Σολομός, Μαύρη Πέστροφα	0.8	20	1:5	0.53
	0.9	17.5	1:5.7	0.66
	1.0	16	1:6.25	0.82
	1.2	13	1:7.7	1.17

Vertical slot



Κανάλια παράκαμψης



Κανάλια παράκαμψης

- Φυσικό ρέμα για την παράκαμψη του εμποδίου στη ροή
- Μικρή κλίση (1-5 %)
- Μικρές εγκάρσιες κατασκευές κατά μήκος του καναλιού από ογκόλιθους → ράμπες διέλευσης
 - Διευκόλυνση μετακίνηση ψαριών
 - Μείωση ταχύτητας ροής
 - Αύξηση τραχύτητας
 - Δημιουργία νέων καταφυγίων

Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

- Οπτικά ελκυστικό περιβάλλον και ενταγμένο στο οικοσύστημα → διευκόλυνση των ψαριών
- Διευκόλυνση βενθικών ασπόνδυλων (εκτός από τα ψάρια)
- Μικρός βαθμός συντήρησης
- Προσφορά σε βιότοπους για ρεόφιλα είδη
- Δυσκολία στο σχεδιασμό
- Ευαισθησία στις απότομες μεταβολές στη ροή
- Μεγάλος χώρος

Εφαρμογές

Εφαρμογή I: Υδρολογικοί δείκτες

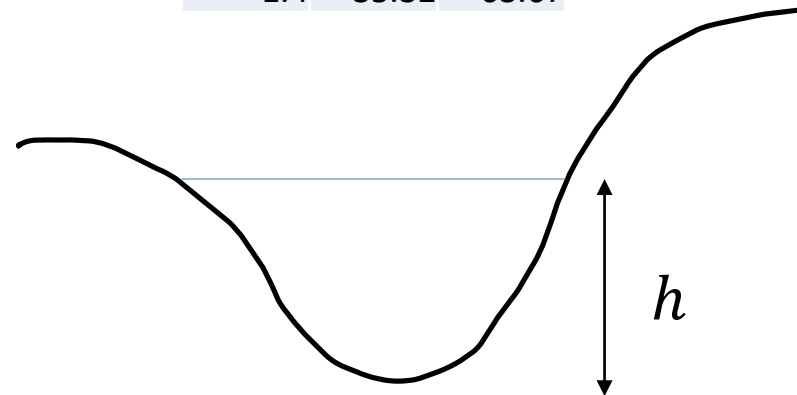
- Μέσες ετήσιες παροχές
- Να βρεθεί με τη μέθοδο Tenant η οικολογική παροχή
 - Για επιβίωση των ενδιαιτημάτων
 - Για ικανοποιητική υγεία των ενδιαιτημάτων
- Ποιος είναι ο ετήσιος όγκος νερού που χρησιμοποιείται για την οικολογική παροχή και στις δύο περιπτώσεις;

Έτος	Q (m ³ /s)
1964	5.83
1965	11.68
1966	15.78
1967	7.38
1968	10.65
1969	10.56
1970	9.63
1971	9.17
1972	8.21
1973	9.24
1974	10.31
1975	6.23
1976	8.23
1977	5.8
1978	8.3
1979	12.16
1980	9.09

Εφαρμογή II: Υδραυλικοί δείκτες

- Γεωμετρικά στοιχεία διατομής
- $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$, $S=1\%$
- Να βρεθεί με την τεχνική της υγρής περιμέτρου οικολογική παροχή
- Ποιος είναι ο ετήσιος όγκος νερού που χρησιμοποιείται για την οικολογική παροχή και στις δύο περιπτώσεις;

h (m)	A (m ²)	P (m)
0	0	0
0.2	0.73	16.63
0.4	5.31	52.23
0.6	10.87	57.73
0.8	16.81	60.59
1	22.89	61.62
1.2	29.06	62.64
1.4	35.32	63.67



Εφαρμογή III: *Pool Weir*

- Διαφορές στάθμης νερού μεταξύ κορυφής και βάσης $h_{\text{tot}}=[1.2-1.6]$ m
- Πλάτος δεξαμενής $b=1.4$ m και ελάχιστο βάθος νερού $h_{\text{min}}=0.6$ m
- Τραχύτητα πυθμένα \rightarrow αυξάνεται τεχνητά με τη χρήση ογκόλιθων
- Ενδιάμεσα φραγμάτια δεν έχουν υπερχειλιστές αλλά μόνο βυθισμένες οπές στον πυθμένα με ωφέλιμο άνοιγμα $b_s=h_s=0.3$ m
- Η μέγιστη διαφορά από δεξαμενή σε δεξαμενή δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα $\Delta h_{\text{acc}}=0.2$ m
- Απόσβεση ενέργειας $E=150$ W/m³

Βήμα 1

- Αριθμός δεξαμενών

$$n = \frac{h_{tot,max}}{\Delta h_{acc}} - 1 = \frac{1.6}{0.2} - 1 = 7$$

Βήμα 2

- Ελάχιστη και μέγιστη διαφορά Δh

$$\Delta h_{min} = \frac{h_{tot,min}}{n + 1} = \frac{1.2}{8} = 0.15 \text{ m}$$

$$\Delta h_{max} = \frac{h_{tot,max}}{n + 1} = \frac{1.6}{8} = 0.20 \text{ m}$$

Βήμα 3

- Ελάχιστη και μέγιστη ροή για Δh

$$V_s = \sqrt{2g\Delta h}$$

$$V_{s,min} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.15} = 1.716 \text{ m/s}$$

$$V_{s,max} = \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot 0.20} = 1.981 \text{ m/s}$$

< 2 m/s

Βήμα 4

- Παροχές στη βυθισμένη οπή ($Q_s=f(\Delta h)$) όταν $\psi=0.75$

$$Q_s = \psi A_s V_s$$

$$A_s = h_s b_s$$

$$Q_{s,min} = \psi h_s b_s V_s = 0.75 \cdot 0.3^2 \cdot 1.716 = 0.116 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{s,max} = \psi h_s b_s V_s = 0.75 \cdot 0.3^2 \cdot 1.981 = 0.134 \text{ m}^3/\text{s}$$

Βήμα 5

- Ποσό ενέργειας που θα πρέπει να αποσβεστεί → χαμηλό τυρβώδες, ανεκτό από οργανισμούς ($\leq 150 \text{ W/m}^3$)

βάθος πάνω από τη στάθμη των ογκόλιθων

$$h_m = h_{min} + \frac{\Delta h_{max}}{2} = 0.6 + \frac{0.2}{2} = 0.7 \text{ m}$$

πάχος ενδιάμεσων φραγματίων

$$d = 0.1 \text{ m}$$

μέγιστη παροχή

$$Q_{s,max} = 0.134 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Βήμα 5

- Ποσό ενέργειας που θα πρέπει να αποσβεστεί → χαμηλό τυρβώδες, ανεκτό από οργανισμούς ($\leq 150 \text{ W/m}^3$)

$$(l_b - d) = \frac{\rho g \Delta h_{max} Q}{E b h_m} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.2 \cdot 0.134}{150 \cdot 1.4 \cdot 0.7} = 1.78 \text{ m}$$

$$l_b = 1.78 + d \approx 1.90 \text{ m}$$

$$l_{tot} = n l_b = 7 \cdot 1.9 = 13.3 \text{ m}$$

Βήμα 6

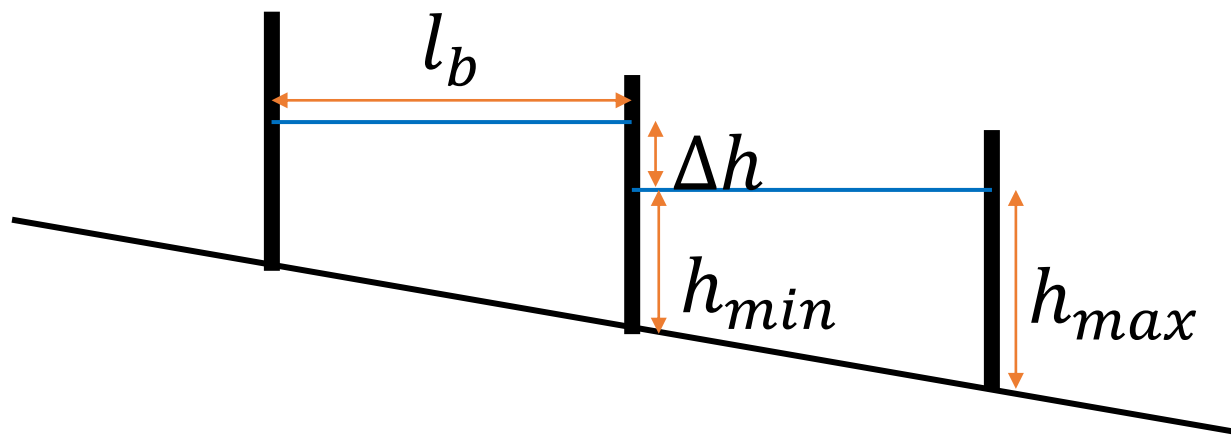
- Εύρεση κλίσης S_l

$$S_l = \frac{h_{tot,max}}{l_{tot}} = \frac{1.6}{13.3} = 0.12$$

Βήμα 7

- Βάθος νερού πριν τον κατάντη τοίχο του φραγματίου

$$h_{max} = h_{min} + S_l l_b = 0.6 + 0.12 \cdot 1.9 = 0.83 \text{ m}$$



Βήμα 8

- Ύψος τοιχίου δεξαμενής h_{wall}

$$h_{wall} = h_{ογκ} + h_{max} + \Delta h + h_{free} = 0.2 + 0.83 + 0.2 + 0.17 = 1.4 \text{ m}$$

