



Εσπερίδα
**ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΩΝ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ
ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ**
Αθήνα 27 Σεπτεμβρίου 2012



ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΚΣΕ:
ΑΞΟΝΟΣΥΜΜΕΤΡΙΚΑ ΚΥΛΙΝΔΡΟΥΜΕΝΟΥ
ΣΚΛΗΡΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ

N. I. ΜΟΥΤΑΦΗΣ

Αρχαία φράγματα - Χωμάτινα



Sadd el-Kafara
Αίγυπτος
2950-2750 π.Χ.
ή
2700 – 2500π.Χ.

Γεώφραγμα με
λιθόθετες
εξωτερικές ζώνες

Από: Internet



Αρχαία φράγματα - Λιθόθετα



Nineveh
Ιράκ
703 π.Χ.

Από: N. Smith

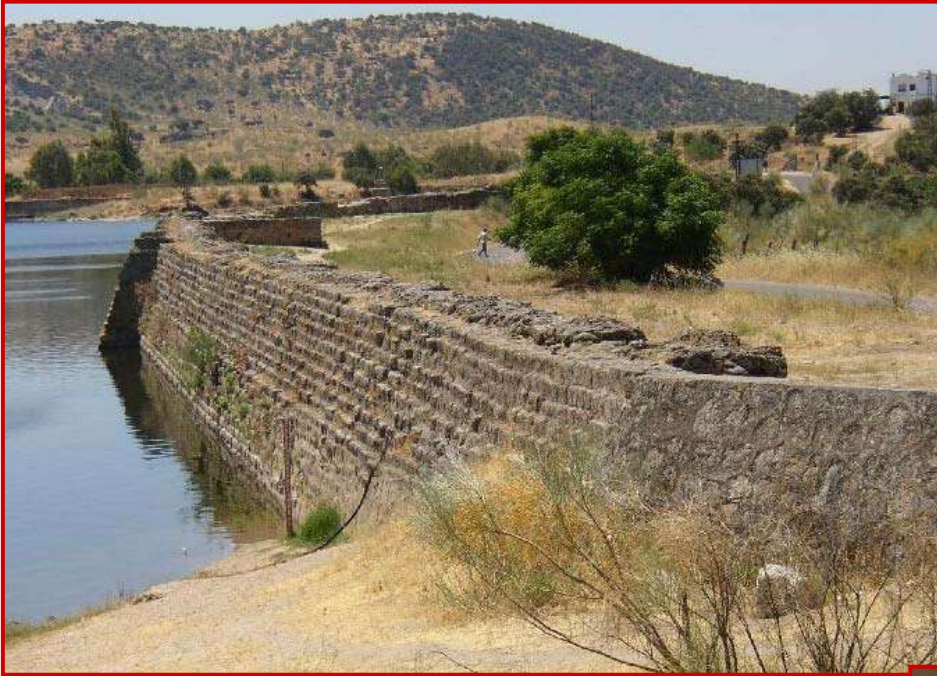
Sennacherib
Ιράκ
700 π.Χ.



Από: N. Καζίλη



Αρχαία φράγματα (Ρωμαϊκά) - Λιθόχτιστα



Φρ. Cornalvo
Ισπανία
1^{ος} ή 2^{ος} αιώνας μ.Χ.

Φράγμα Proserpina
Ισπανία
1^{ος} αιώνας μ.Χ.

Από: Internet





Φράγματα λιθόκτιστα (masonry)

~50% των φραγμάτων βαρύτητας πριν το
1930

Εφεύρεση τσιμέντου τύπου Portland

1892

άλλαξε τις πρακτικές κατασκευής φραγμάτων
και άρχισε η χρήση σκυροδέματος



1^ο ήμισυ 20^{ου} αιώνα
τα φράγματα από ‘συμβατικά
συμπυκνούμενο’ σκυρόδεμα
αντικατέστησαν τα λιθόκτιστα
στο δυτικό κόσμο.

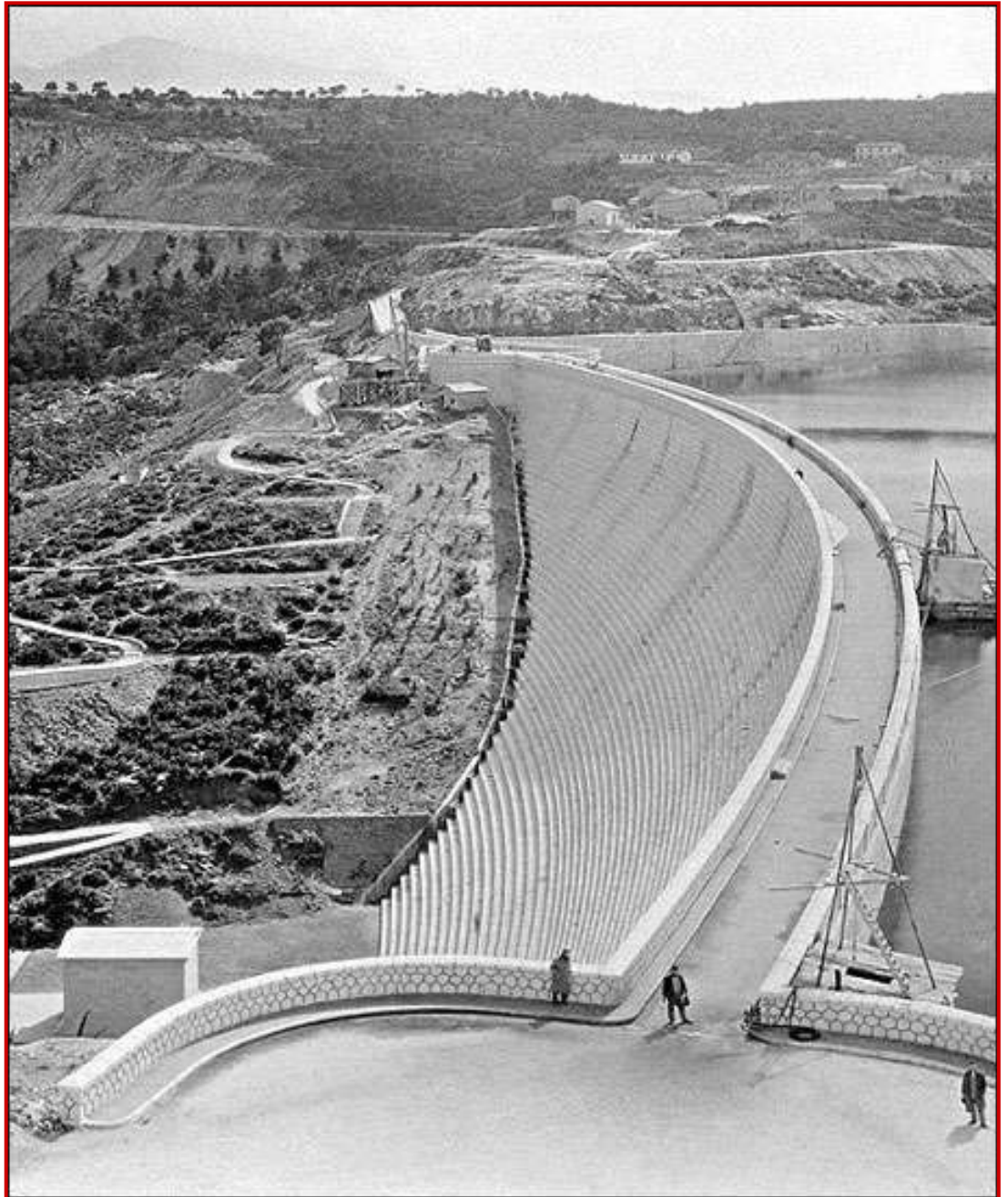
Συνεχίστηκε η κατασκευή κτιστών
φραγμάτων
στις χώρες με φτηνά εργατικά



Φράγμα Μαραθώνα

Κυκλώπειο
Σκυρόδεμα
&
επένδυση
μαρμάρου
1931

Από: ΕΥΔΑΠ





Αλματώδης ανάπτυξη
χωματουργικών μηχανημάτων μετά το 1940

Σταδιακή μείωση
νέων φραγμάτων βαρύτητας
μεταξύ 1960 και 1980 στο δυτικό κόσμο και
σταδιακά, κυριαρχία
των χωμάτινων και λιθόρριπτων φραγμάτων
‘Έκρηξη’ κατασκευής στην Ελλάδα



Χρήση χωματουργικών μηχανημάτων σε
φράγματα βαρύτητας

Έναρξη εφαρμογής του
κυλινδρούμενου σκυροδέματος (RCC)

και σταδιακή εκτόπιση του

συμβατικά συμπυκνούμενου σκυροδέματος
(CVC)

Σήμερα, πρακτικά όλα τα φράγματα
βαρύτητας κατασκευάζονται από RCC
(αναγέννηση των φραγμάτων βαρύτητας)



	Βιομηχανοποιημένες χώρες	Μη βιομηχανοποιημένες χώρες
Αριθμός μεγάλων φραγμάτων	15.000	30.000
Βαρύτητας	22%	4%
Τοξωτά	6%	4%
Αντηρριδωτά	3%	-
Σύνολον φραγμάτων		
Σκυροδέματος	31%	8%
Γεωφραγμάτων	69%	92%

Πηγή: ICOLD Bulletin 117 - 2000



Αρχές δεκαετίας του '90

Londe & Lino: A new concept for RCC (1992)

Έναρξη εφαρμογής φραγμάτων

Αξονοσυμμετρικών Κυλινδρούμενου

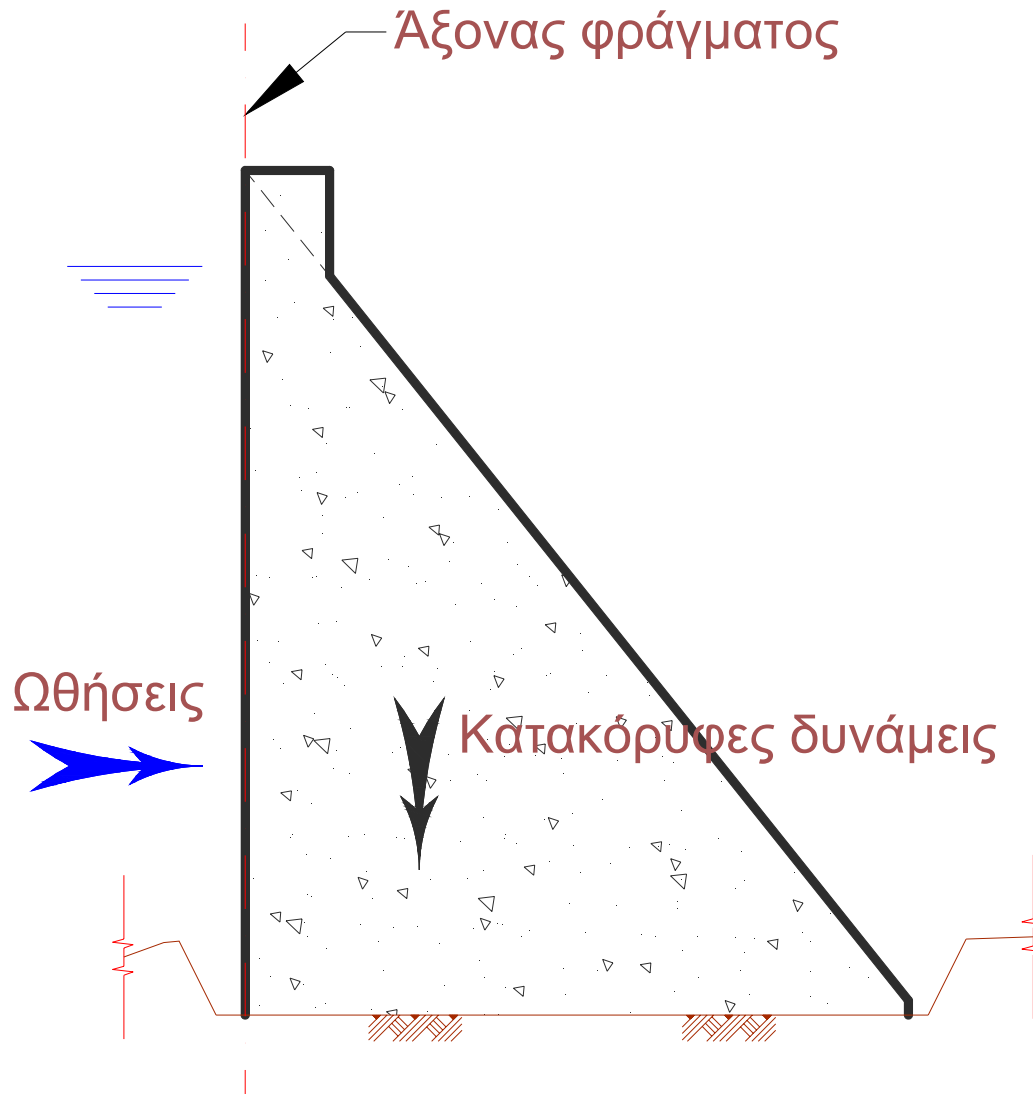
Σκληρού Επιχώματος (ΑΚΣΕ)

Stevens & Linard. The Safest Dam, (2002)

Περαιτέρω ώθηση στα φράγματα ΑΚΣΕ (3%)

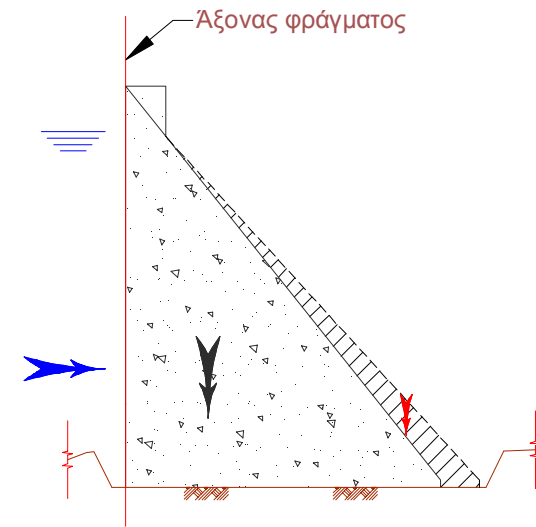
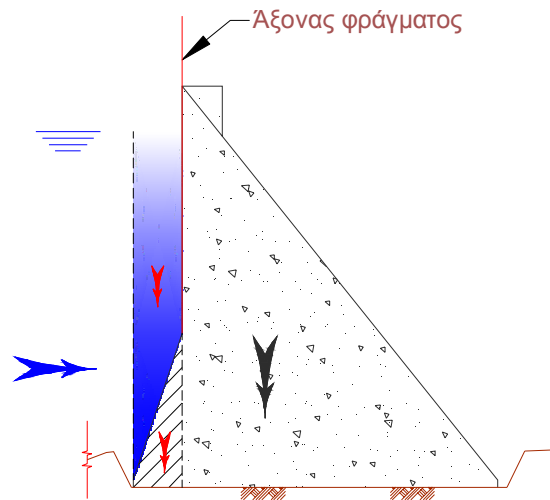
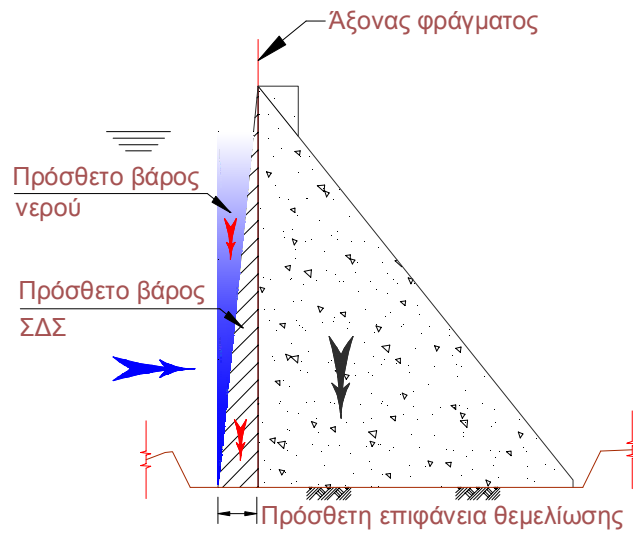


Τυπική διατομή φράγματος βαρύτητας από συμβατικά δονούμενου σκυροδέματος ή RCC



Αντίσταση σε
ολίσθηση και
ανατροπή λόγω
βάρους

Βελτίωση συνθηκών ευστάθειας φράγματος βαρύτητας





Βασικές απαιτήσεις φραγμάτων βαρύτητας

- Ελαχιστοποίηση όγκου (μείωση κόστους) :
απότομες παρειές φράγματος
- Αντοχή υλικού (σε θλίψη και εφελκυσμό)
υψηλότερη από τις αναπτυσσόμενες τάσεις
- Στεγανότητα
 - Υλικά χαμηλής διαπερατότητας
 - Απουσία ρωγμών

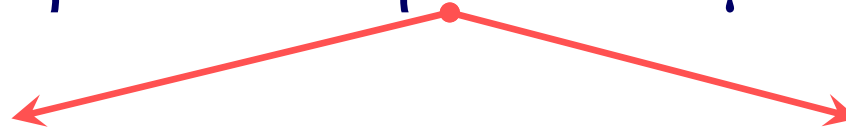


Επιπτώσεις βασικών απαιτήσεων

Αντοχή σε εφελκυσμό και
χαμηλή διαπερατότητα υλικού φράγματος



Υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο (κονίες)



Υψηλό κόστος ανά m^3 Έκλυση θερμότητας



Μονόλιθοι σε CVC

Αρμοί σε RCC



Κόστος & χρόνος

Έκλυση θερμότητας



Μονόλιθοι CVC

Από: Internet

Αρμοί Συστολο/διαστολής
Με μεταλλικές πλάκες
RCC



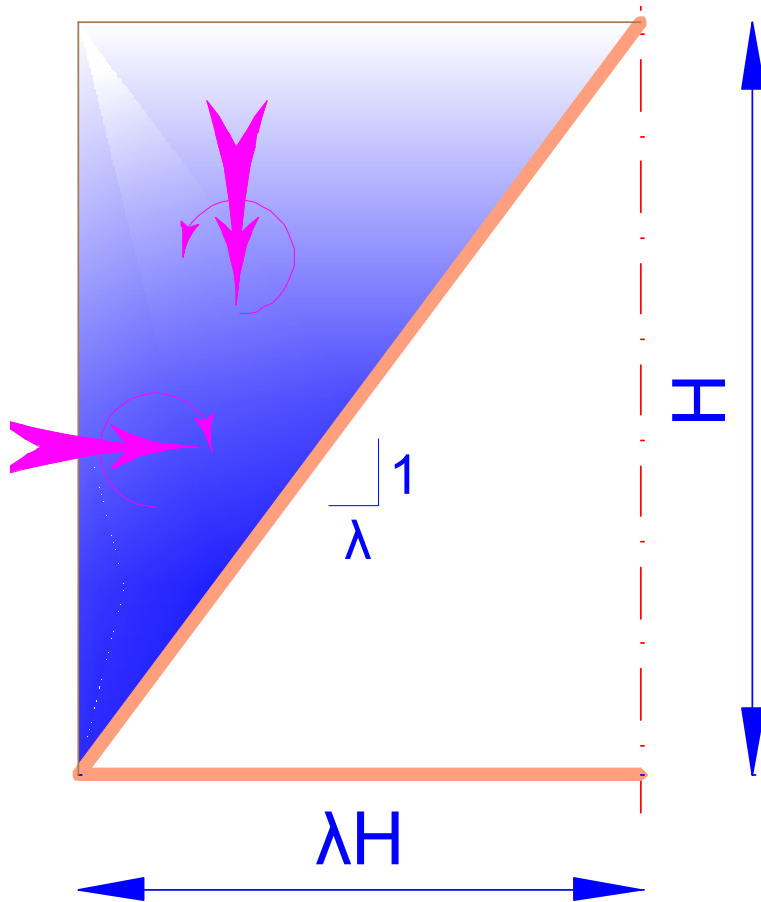
Από: ΔΥΗΠ/ΔΕΗ



Μία νέα ιδέα:
Κυλινδρούμενα αξονοσυμμετρικά
από σκληρό επίχωμα



Κλίση ανάντη παρειάς φράγματος



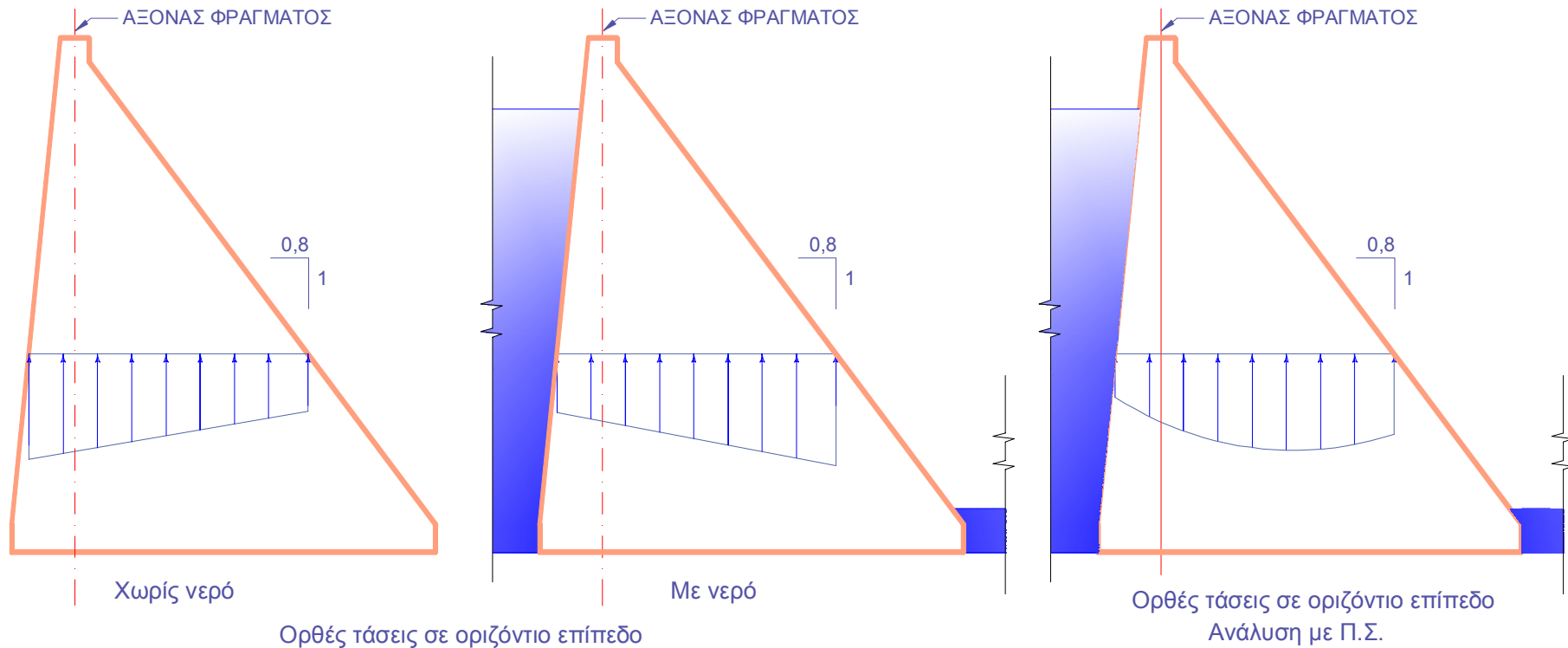
Ροπή από πλευρική ώθηση
=
Ροπή από το βάρος του νερού

όταν

$$\lambda = \sqrt{0,5} \sim 0.7$$

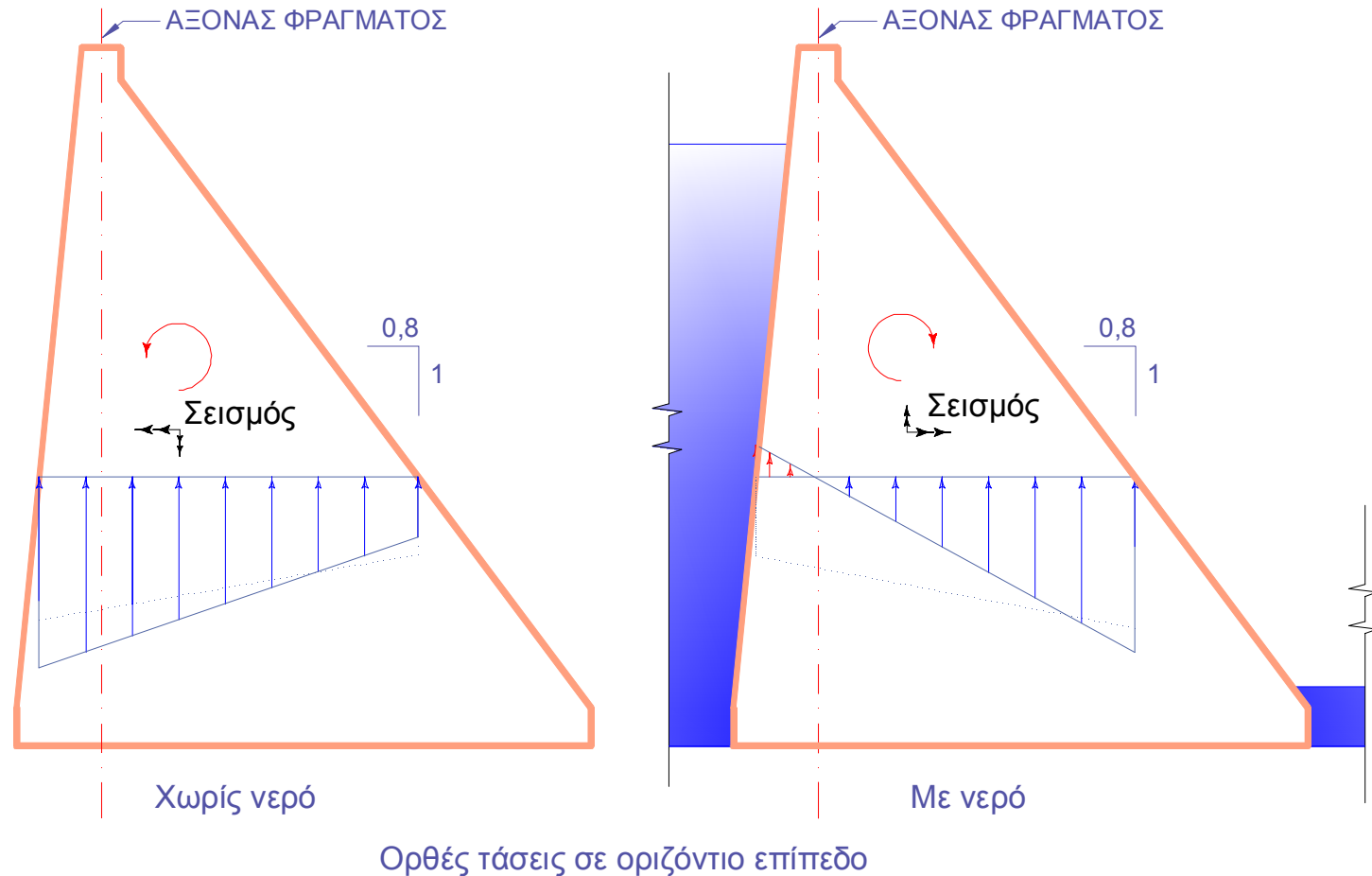


Κατανομή ορθών τάσεων σε οποιοδήποτε οριζόντιο επίπεδο φράγματος RCC (ή CVC), χωρίς σεισμό



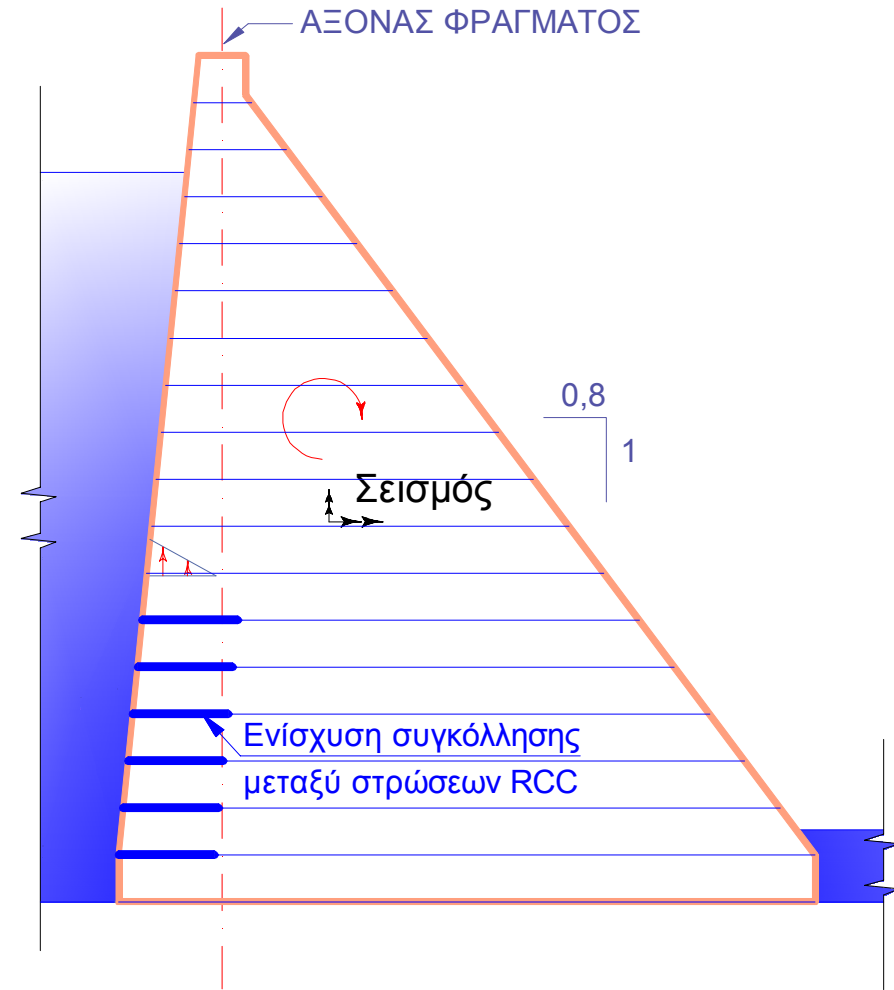
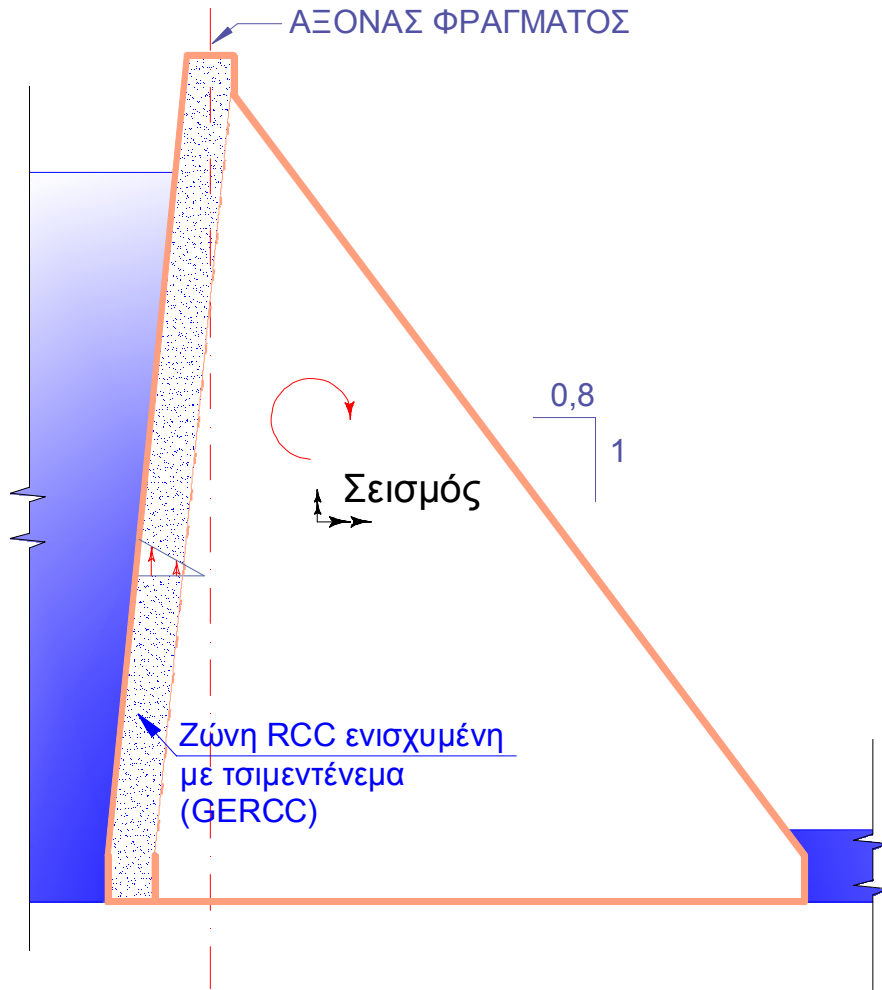
Εφελκυστικές τάσεις μη επιτρεπτές
Θλιπτικές τάσεις κατά πολύ μικρότερες από θλιπτική
αντοχή

Κατανομή ορθών τάσεων σε οποιοδήποτε οριζόντιο επίπεδο φράγματος RCC (ή CVC) με σεισμό



Εφελκυστικές τάσεις στα όρια της αντοχής σε εφελκυσμό
Θλιπτικές τάσεις μικρότερες από τη θλιπτική αντοχή

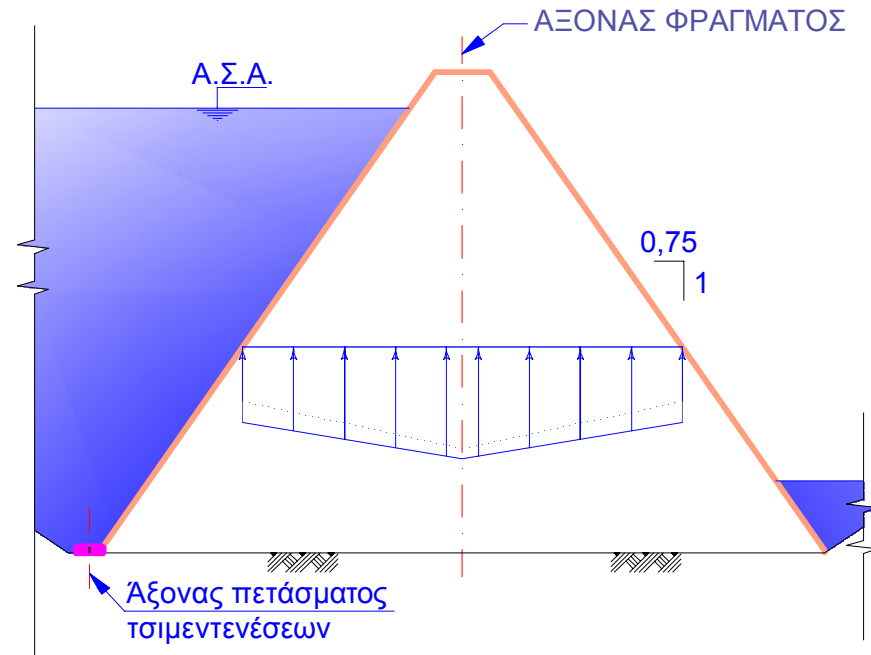
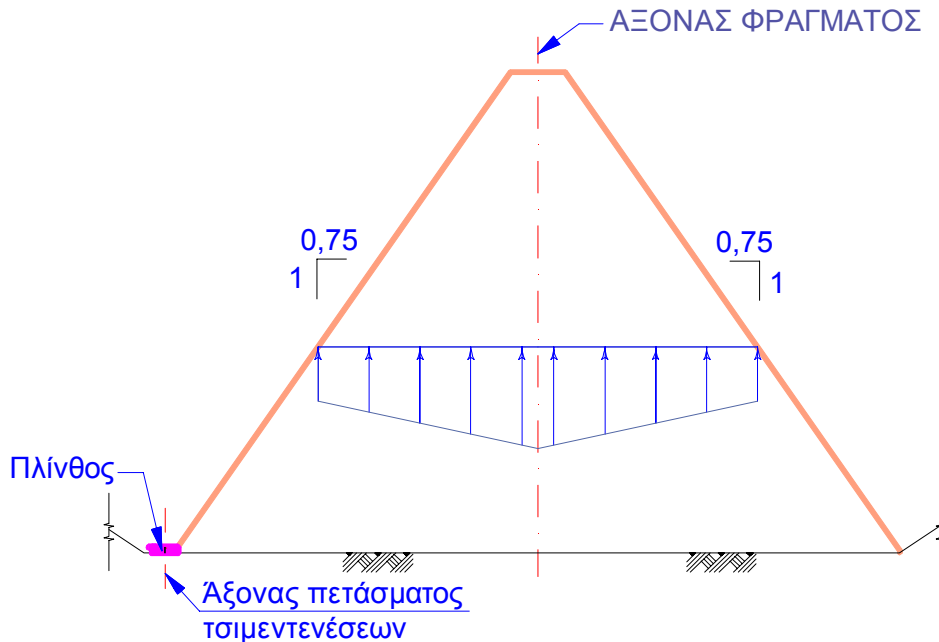
Αντιμετώπιση εφελκυστικών τάσεων σε φράγμα RCC





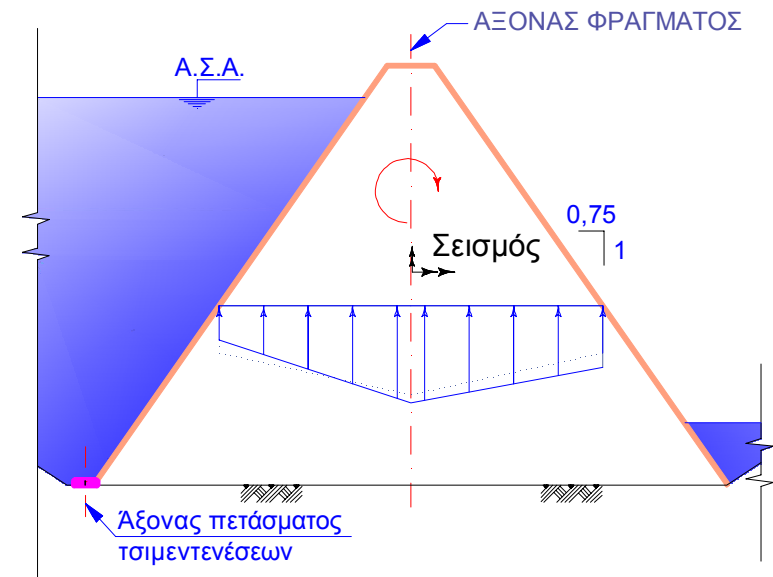
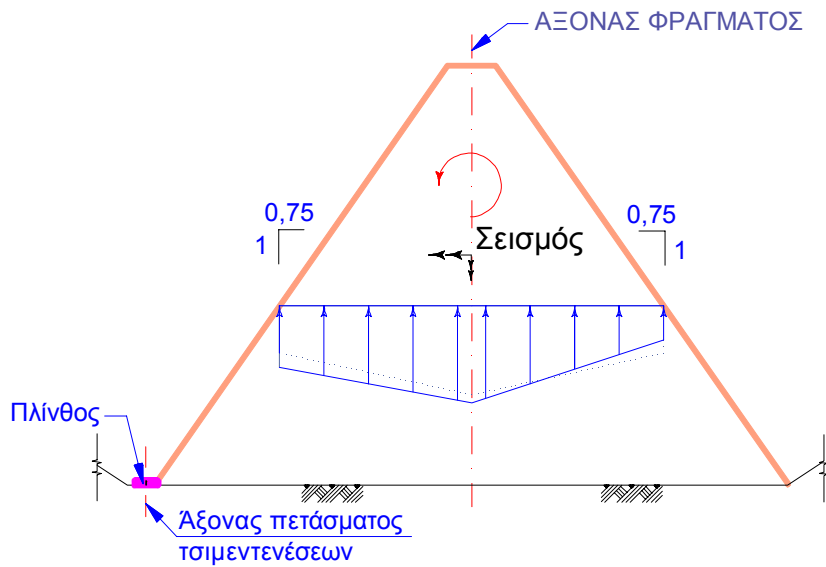
Φράγμα ΑΚΣΕ – Ορθές τάσεις χωρίς σεισμό

Ορθές τάσεις στην επιφάνεια θεμελίωσης $\sigma \sim \gamma \cdot h$



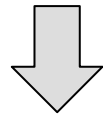
Θλιπτικές τάσεις μικρότερες από θλιπτική αντοχή
Εφελκυστικές τάσεις ΔΕΝ μπορεί να αναπτυχθούν

Φράγμα ΑΚΣΕ – Ορθές τάσεις με σεισμό



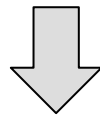
Θλιπτικές τάσεις μεγαλύτερες από θλιπτική αντοχή
Εφελκυστικές τάσεις ΔΕΝ μπορεί να αναπτυχθούν

Χαμηλό επίπεδο τάσεων στη θεμελίωση
($\gamma \cdot h$)



Δεν απαιτείται

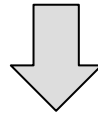
υψηλή αντοχή πετρώματος θεμελίωσης



Δυνατότητα κατασκευής φραγμάτων
ΑΚΣΕ

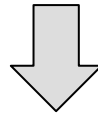
σε ευρύτερο φάσμα πετρωμάτων

Χαμηλό επίπεδο τάσεων στο σώμα ($\gamma \cdot h$)



Δεν απαιτείται

υψηλή αντοχή υλικού φράγματος



Χρήση αδρανών χαμηλής αντοχής

(ΟΧΙ αδρανή σκυροδέματος)

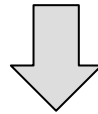
(μειωμένη αντοχή στη δοκιμή εκτριβής)

(Σκληρό επίχωμα και όχι ισχνό RCC)

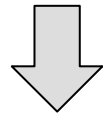


Φράγμα ύψους 100 m,
μέγιστες θλιπτικές τάσεις στη βάση ~2,3 Mpa

Με συντελεστή ασφάλειας 3



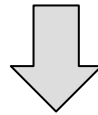
Απαίτηση θλιπτικής αντοχής: ~7 Mpa



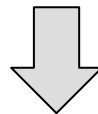
Περιεκτικότητα σκληρού επιχώματος σε
τσιμέντο 50 – 70 kg / m³

Δεν μπορεί να αναπτυχθούν
στο σώμα του φράγματος εφελκυστικές
τάσεις

(ακόμη και με σεισμό)



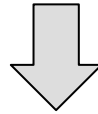
Πρακτικά μηδενική ευαισθησία σε
σεισμικές καταπονήσεις



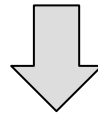
Δυνατότητα κατασκευής ΑΚΣΕ σε περιοχές
υψηλών σεισμικών καταπονήσεων



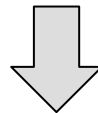
Χαμηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο



Πορώδες υλικού σκληρού επιχώματος: 15%



Υλικό σκληρού επιχώματος: διαπερατό



Θετικές και αρνητικές επιπτώσεις



Θετικές επιπτώσεις:

- ‘Φυσική’ αποστράγγιση σώματος φράγματος
- Αποφυγή ανάπτυξης πίεσης πόρων στο εσωτερικό του φράγματος

Αρνητικές επιπτώσεις:

- Ανάγκη κατασκευής στεγανού στοιχείου στην ανάντη παρειά του φράγματος, π.χ.
 - Πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος
 - Μεμβράνη
 - Εκτοξευόμενο σκυρόδεμα (σε φράγματα μικρού ύψους)
- Ανάγκη κατασκευής πλίνθου

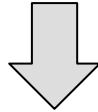


Επίπτωση στεγανοποίησης στην ανάντη παρειά του φράγματος

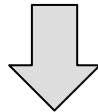
Ανάπτυξη ρωγμών αποδεκτή

Δεν επηρεάζεται η ευστάθεια του φράγματος

Δεν υπάρχει διήθηση νερού

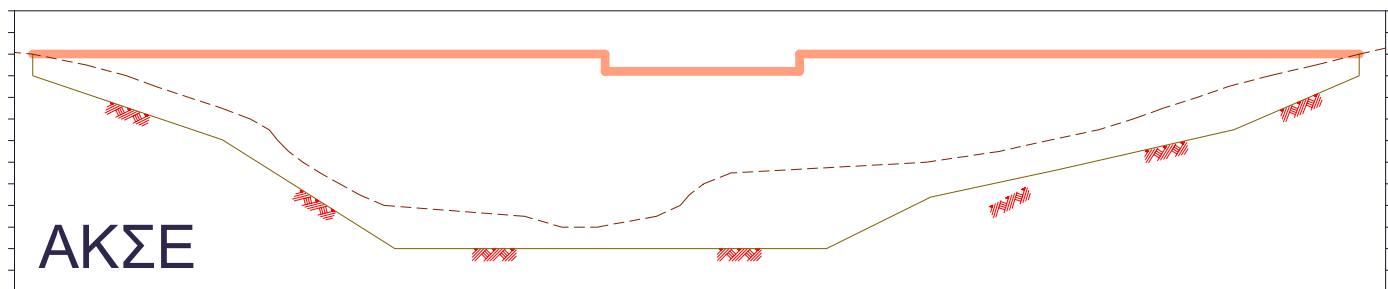
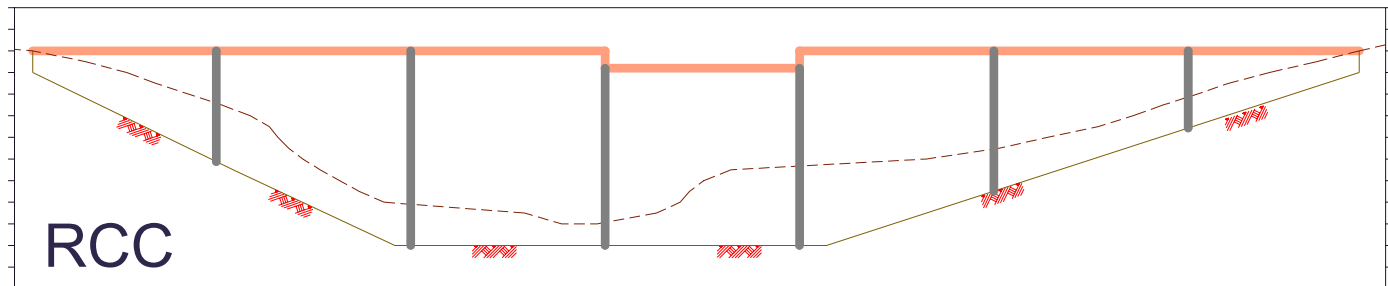
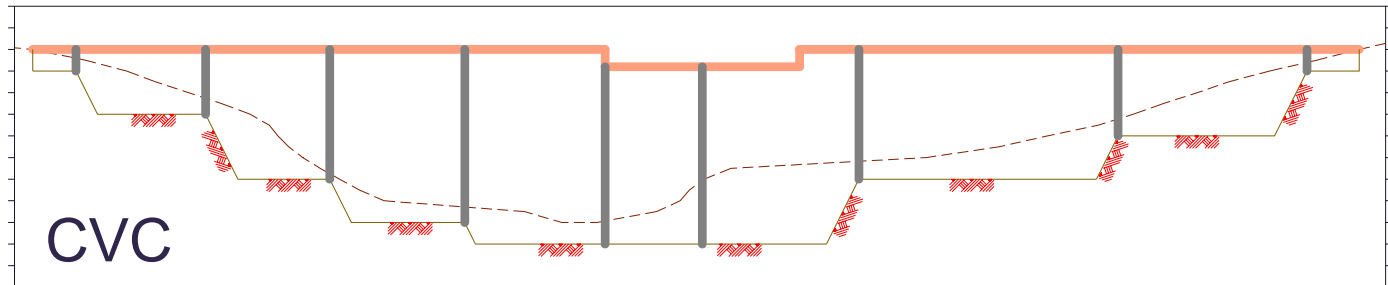


Δεν απαιτείται η διαμόρφωση αρμών Σ/Δ

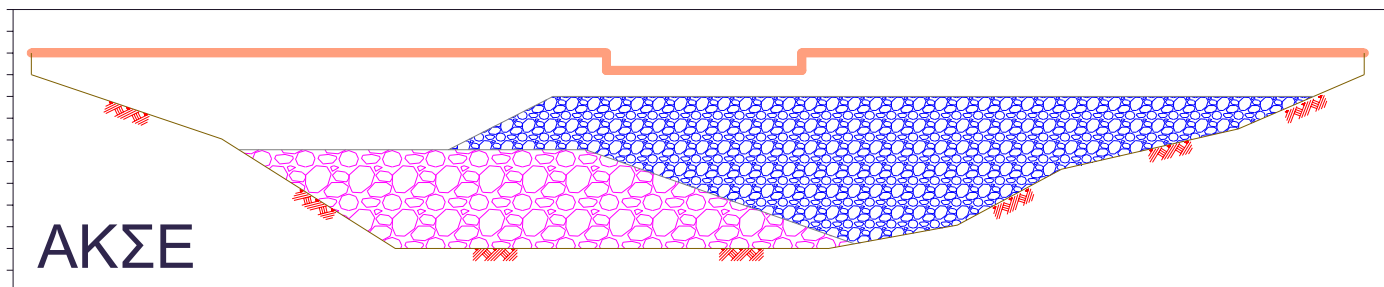
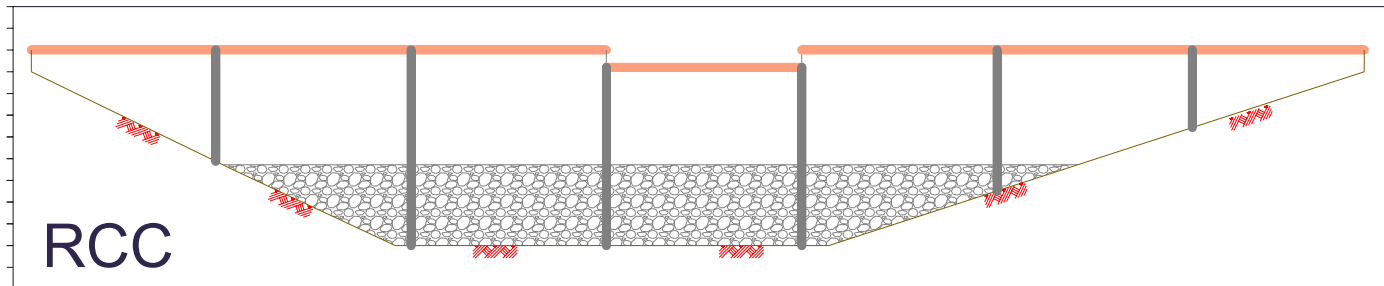
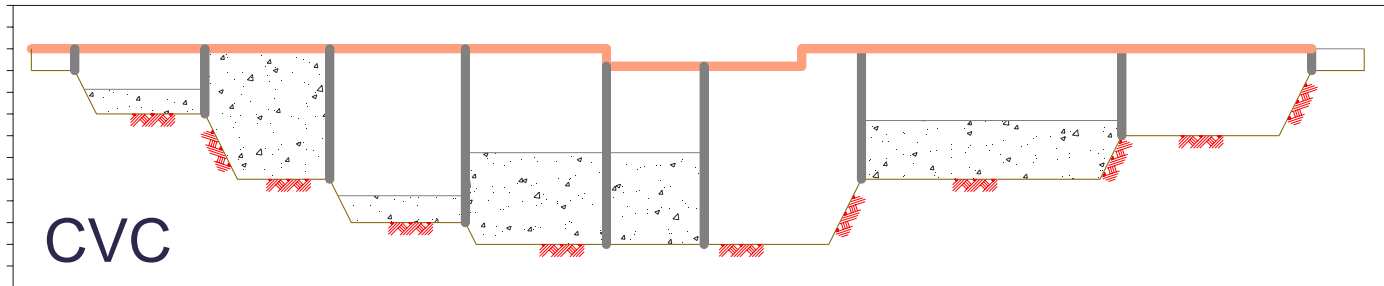


Δεν απαιτείται η εγκατάσταση στεγανωτικών
ταινιών σε αρμούς

Επίπτωση απουσίας αρμών στη διαμόρφωση γραμμών εκσκαφής θεμελίωσης φράγματος



Επίπτωση απουσίας αρμών στη μέθοδο κατασκευής του φράγματος





Διαβροχή, εκφόρτωση διάστρωση και συμπίκνωση υλικού Σ.Ε.



Δειγματοληψία υλικού ΚΣΕ



Σκληρότητα υλικού ΚΣΕ





Στρώσεις ΚΣΕ και ταχύτητα ανύψωσης φράγματος

Συνήθης πρακτική σε RCC
Πάχος στρώσης 30 cm μετά τη συμπίκνωση

Τάσεις για αύξηση του πάχους των στρώσεων
Για ΑΚΣΕ πάχος 40 ή 45 cm

Στόχος ‘εφικτός’ 2 στρώσεις / ημέρα

Φράγμα 50 m κατασκευάζεται σε 60 ημέρες

Η ταχεία ανύψωση φράγματος ΑΚΣΕ επιτρέπει τον περιορισμό των παραδοχών σχεδιασμού του συστήματος εκτροπής

Δυνατότητα κατάργησης του συστήματος εκτροπής

Τα φράγματα ΑΚΣΕ είναι υπερπηδητά
(μείωση των απαιτήσεων
σχεδιασμού
του συστήματος εκτροπής)





Διαμόρφωση ανάντη παρειάς φράγματος

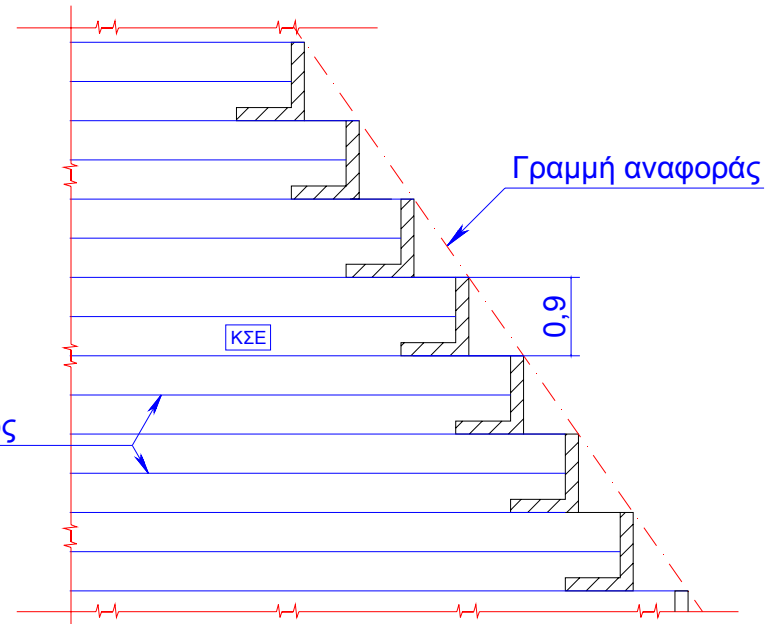
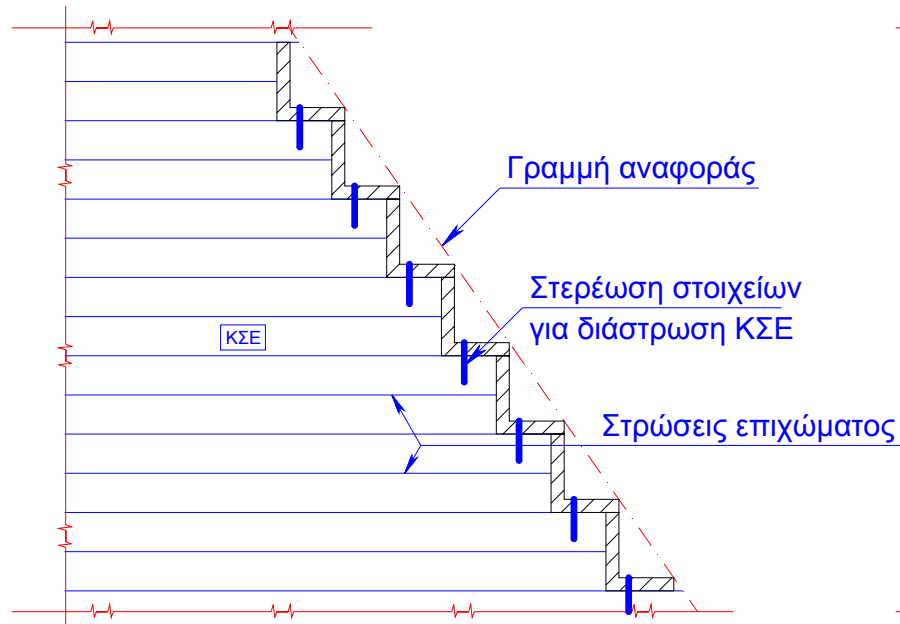
Από τα πλέον ενδιαφέροντα θέματα
κατασκευής φραγμάτων ΑΚΣΕ

Συνήθως η μέθοδος διαμόρφωσης επαφίεται
στον
κατασκευαστή του έργου

Ιδιαιτερότητες λόγω κεκλιμένης επιφάνειας

Αναφορές από άλλους ομιλητές

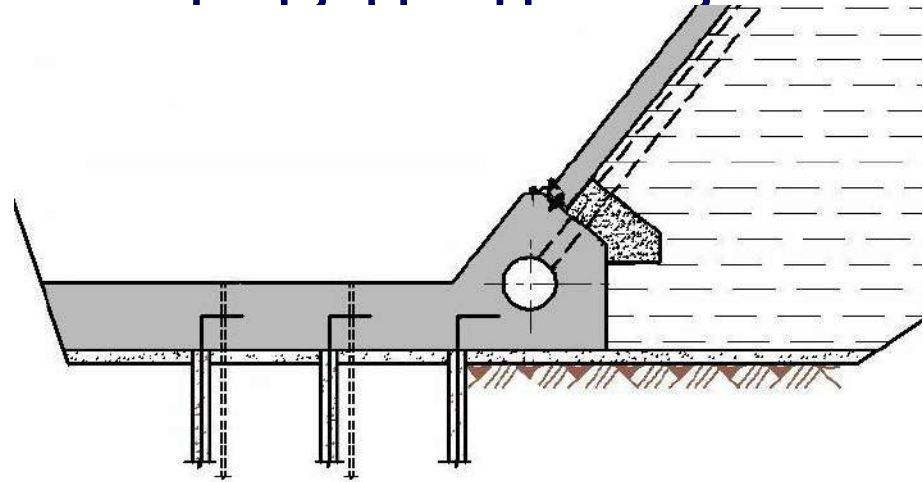
Διαμόρφωση κατάντη παρειάς φράγματος





Διαμόρφωση πλίνθου σύμφωνα με μέθοδο στεγανοποίησης φράγματος

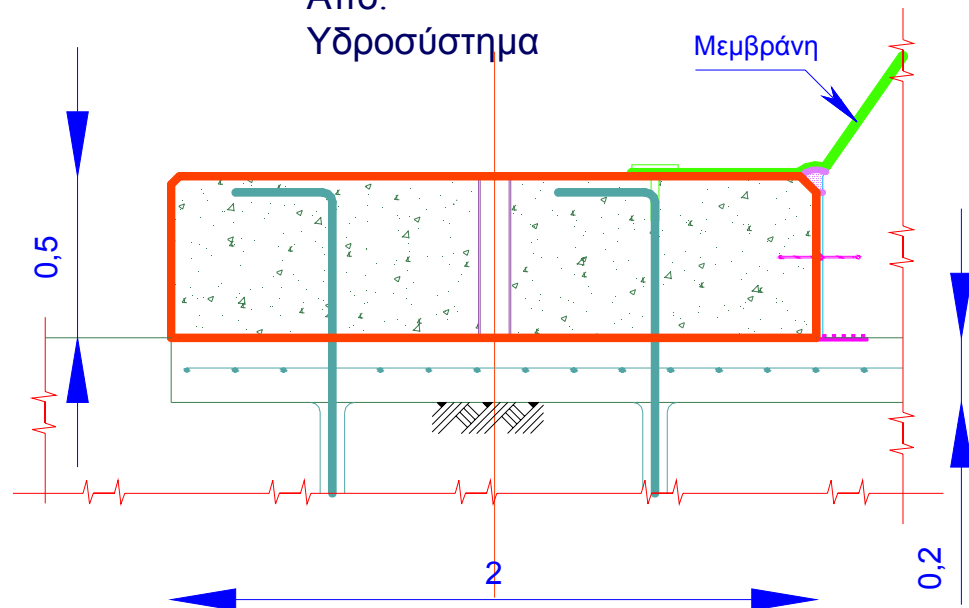
Με πλάκα σκυροδέματος



Από:
Υδροσύστημα

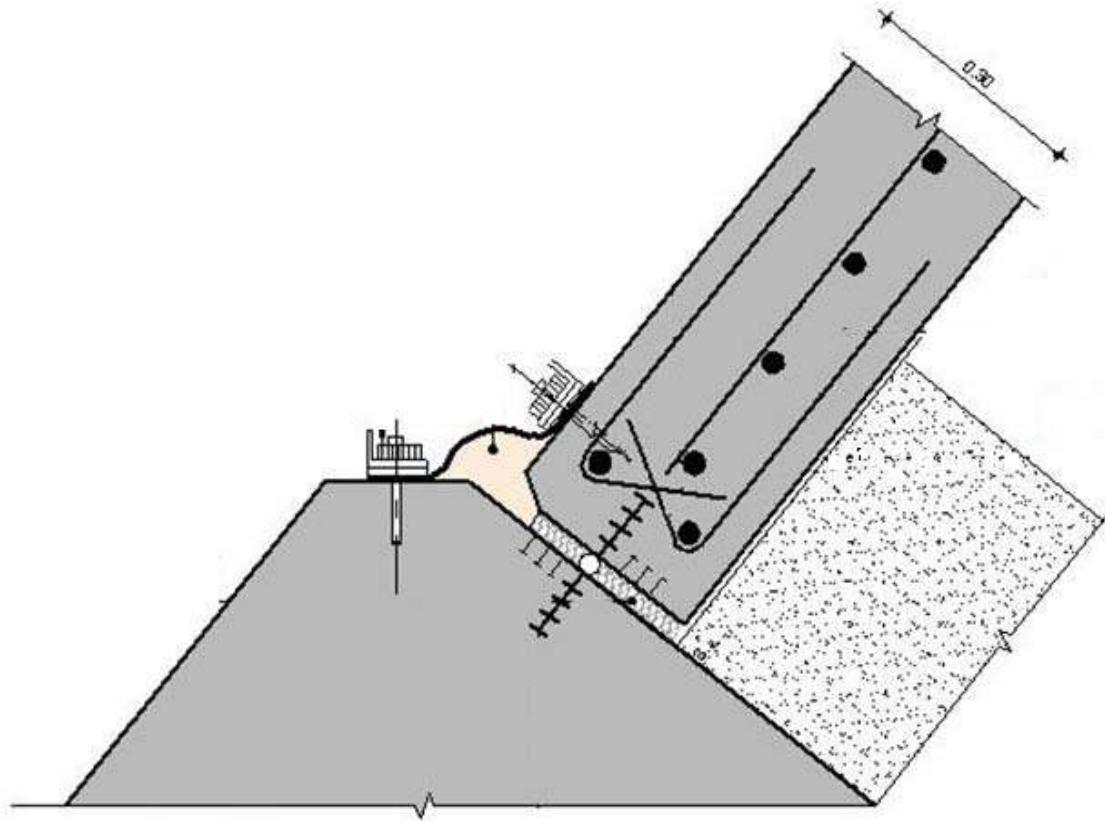
Μεμβράνη

Με μεμβράνη





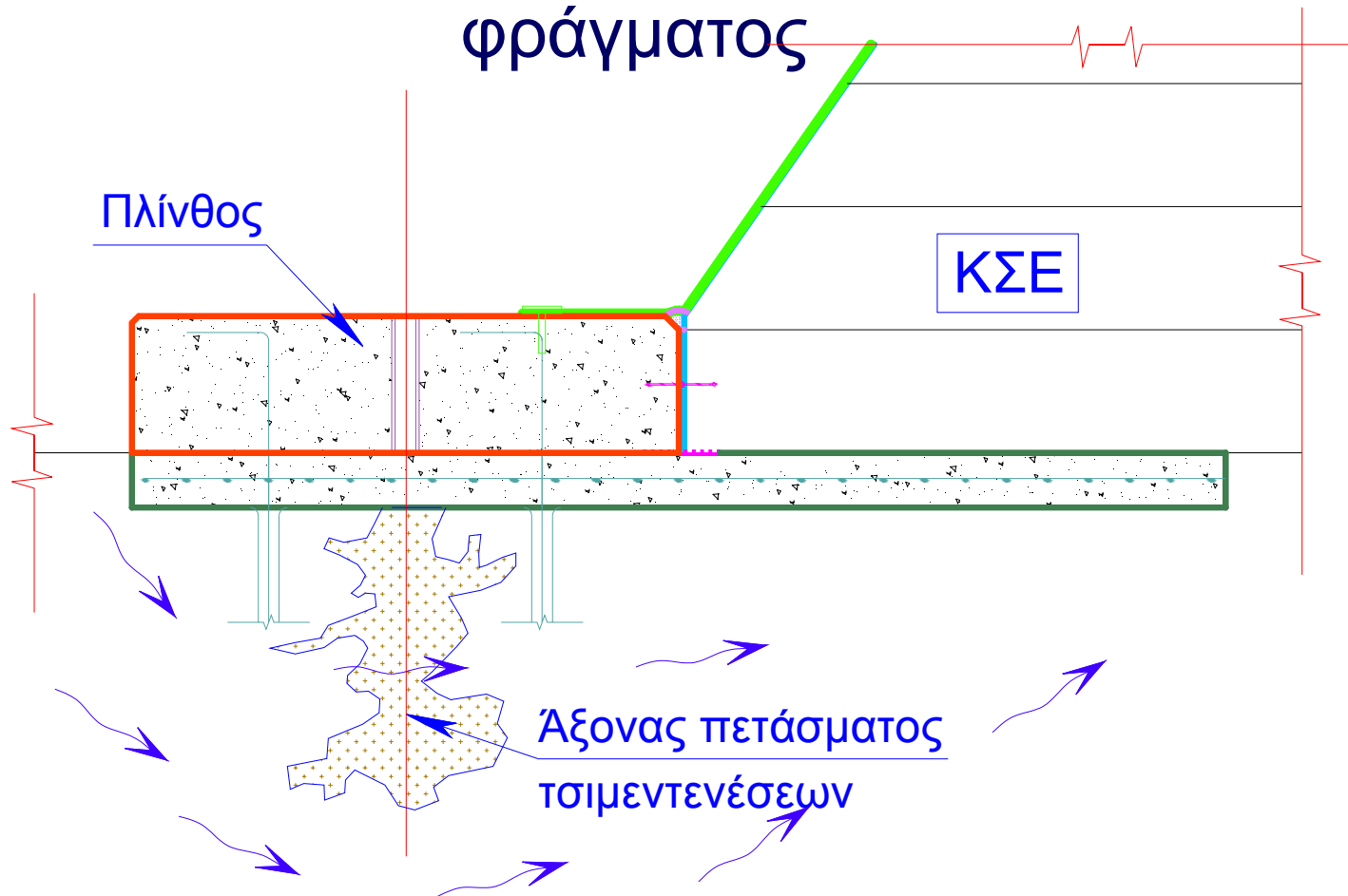
Λεπτομέρεια περιμετρικού αρμού με πλάκα σκυροδέματος Δεν απαιτείται ταινία χαλκού όπως στα ΛΑΠΣ



Από:
Υδροσύστημα

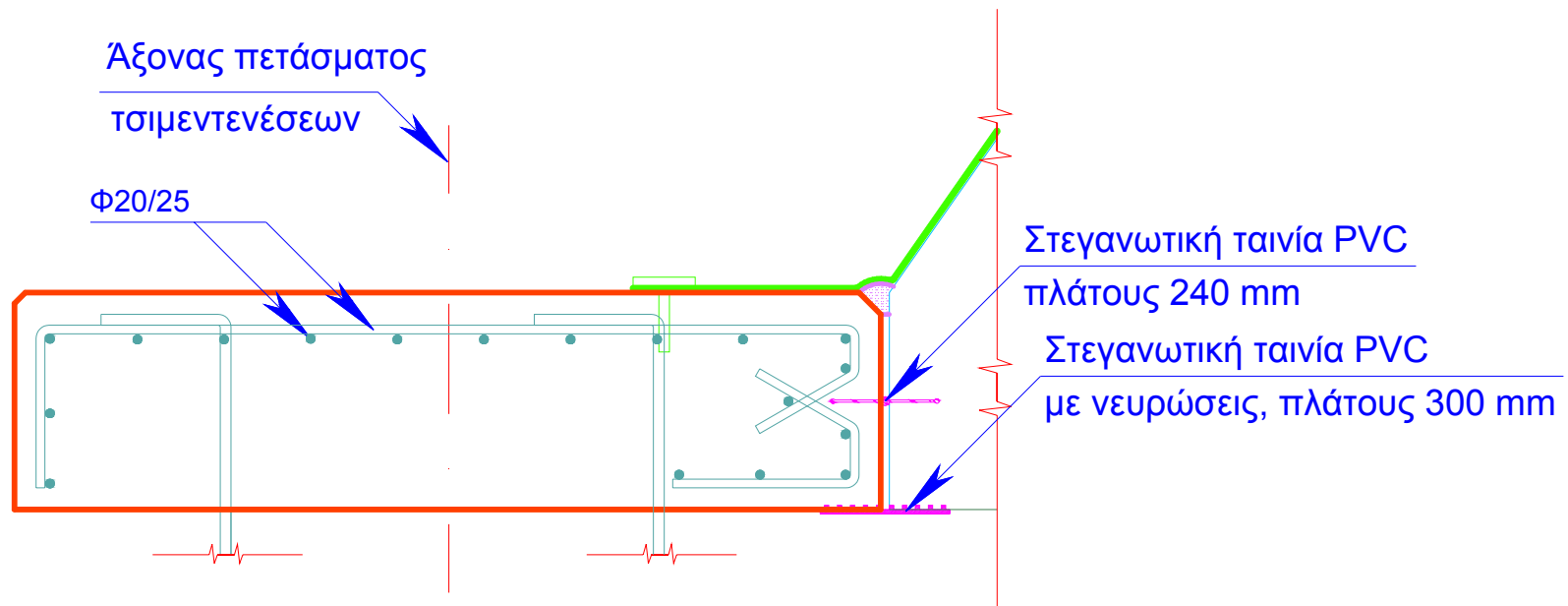
Πλίνθος

Πλάκα σκυροδέματος κάτω από πλίνθο
για περιορισμό της διήθησης προς το σώμα του
φράγματος



Πλίνθος

Οπλισμός – Στεγανωτικές ταινίες

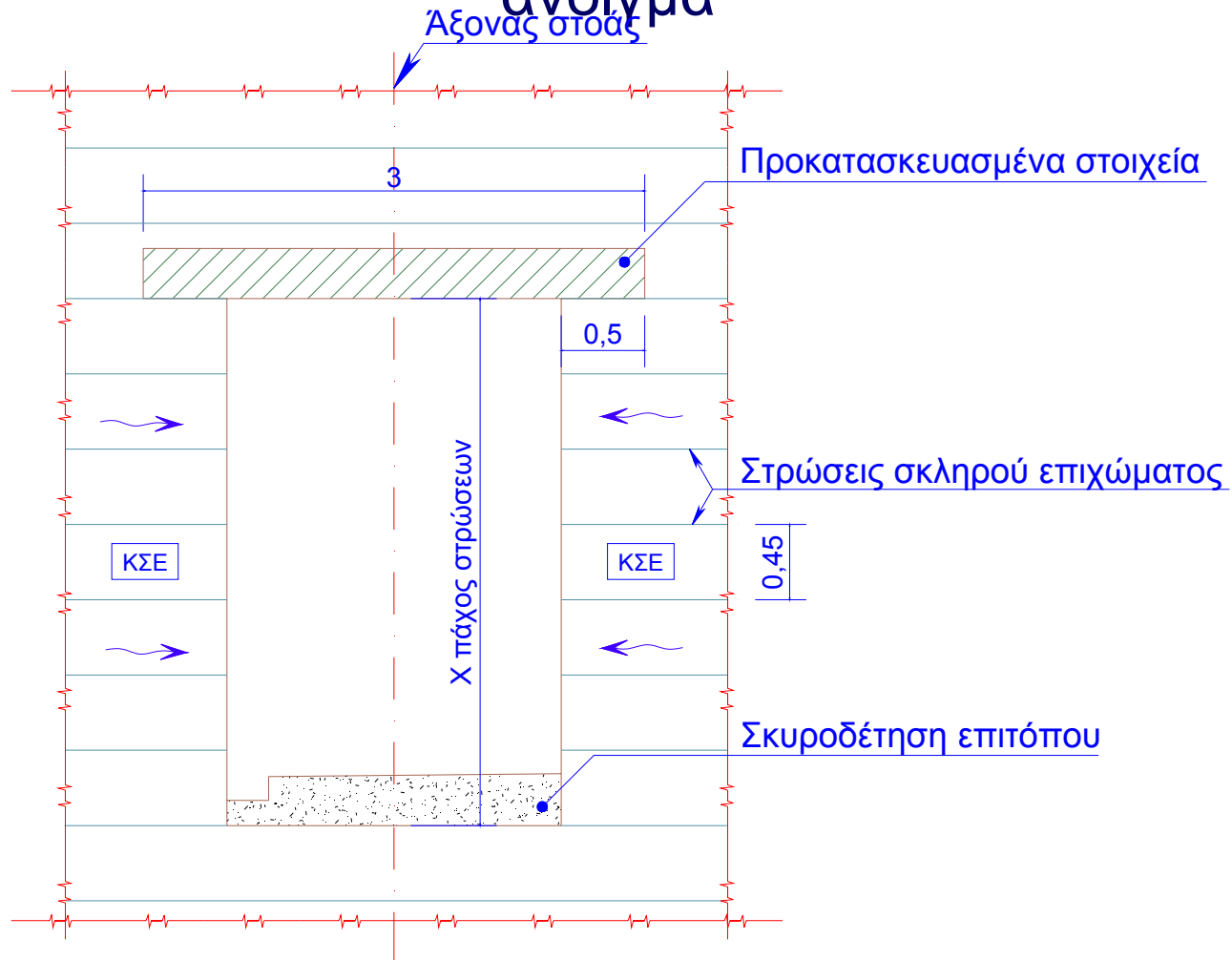




Αποστραγγιστική στοά

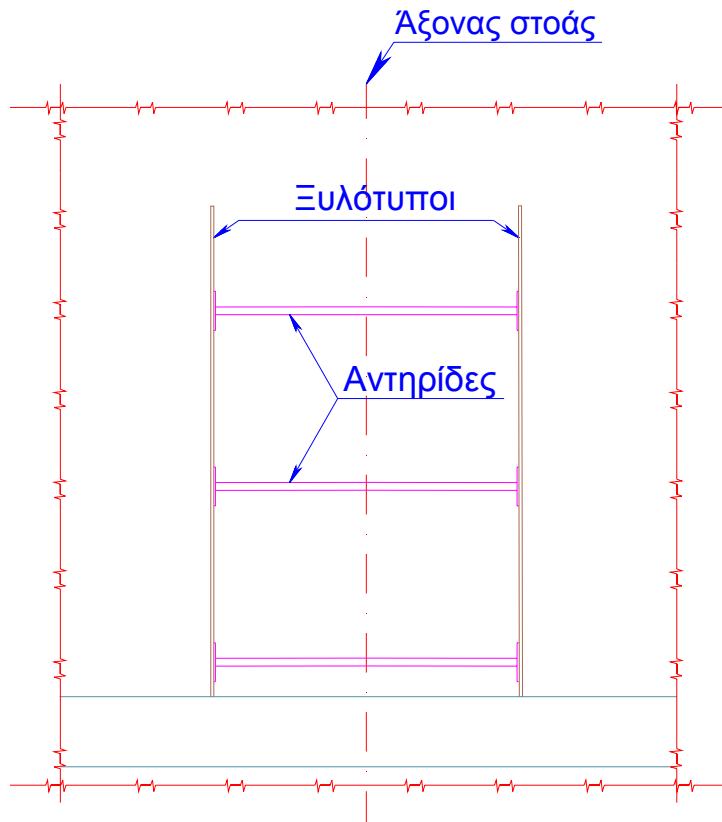
Τοιχώματα στοάς χωρίς επένδυση

Η στοά λειτουργεί ως μεγάλο αποστραγγιστικό
άνοιγμα

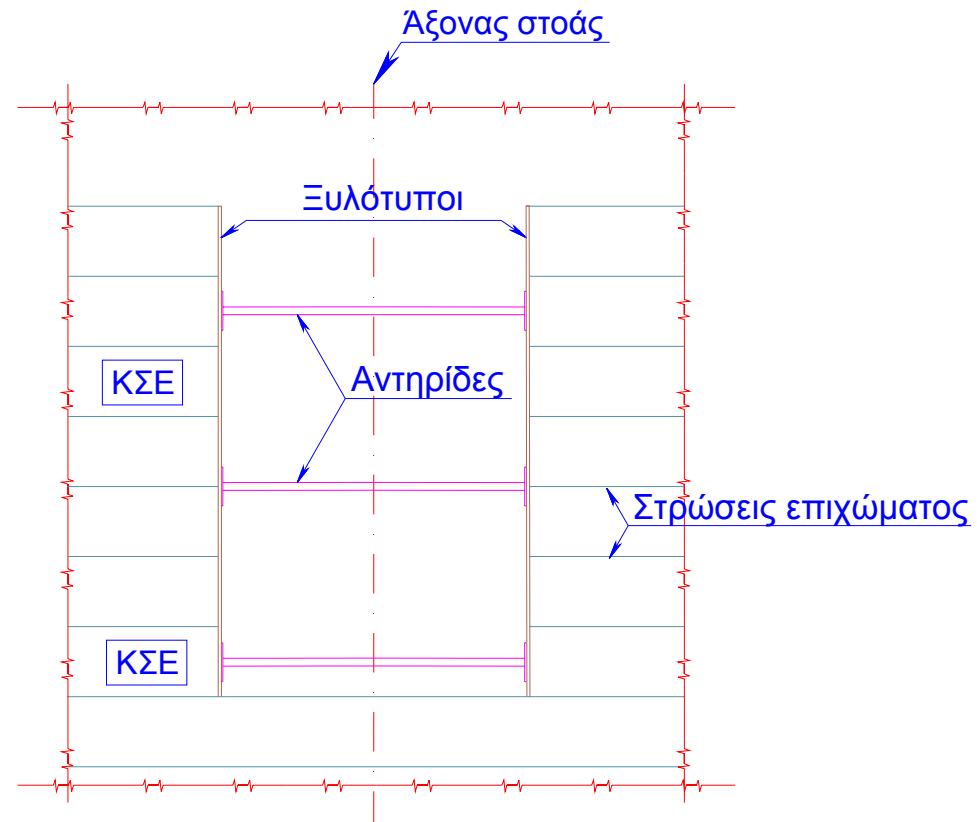


Αποστραγγιστική στοά

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες



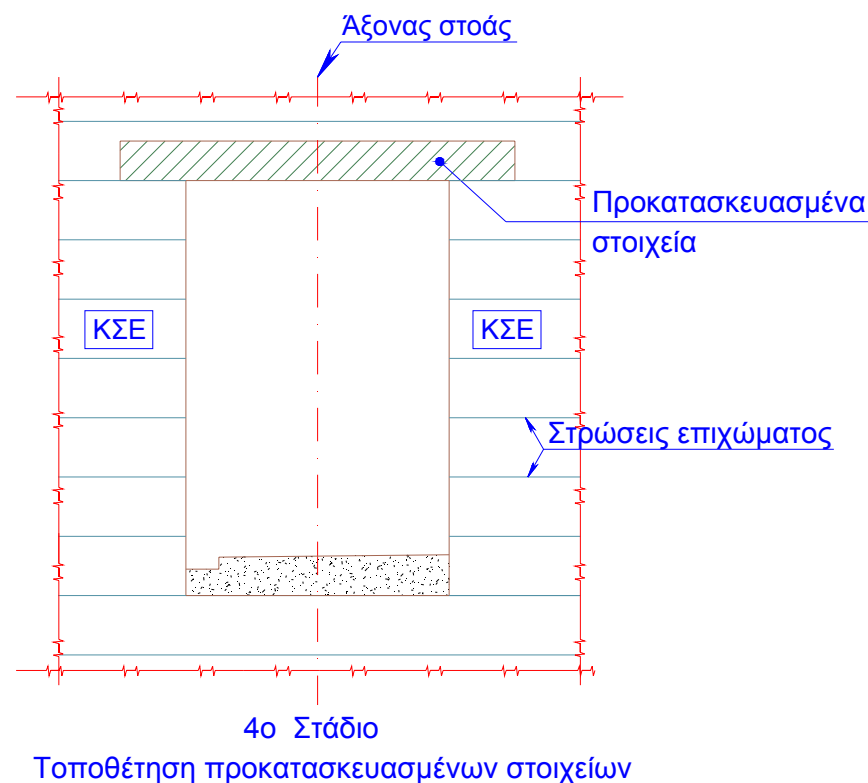
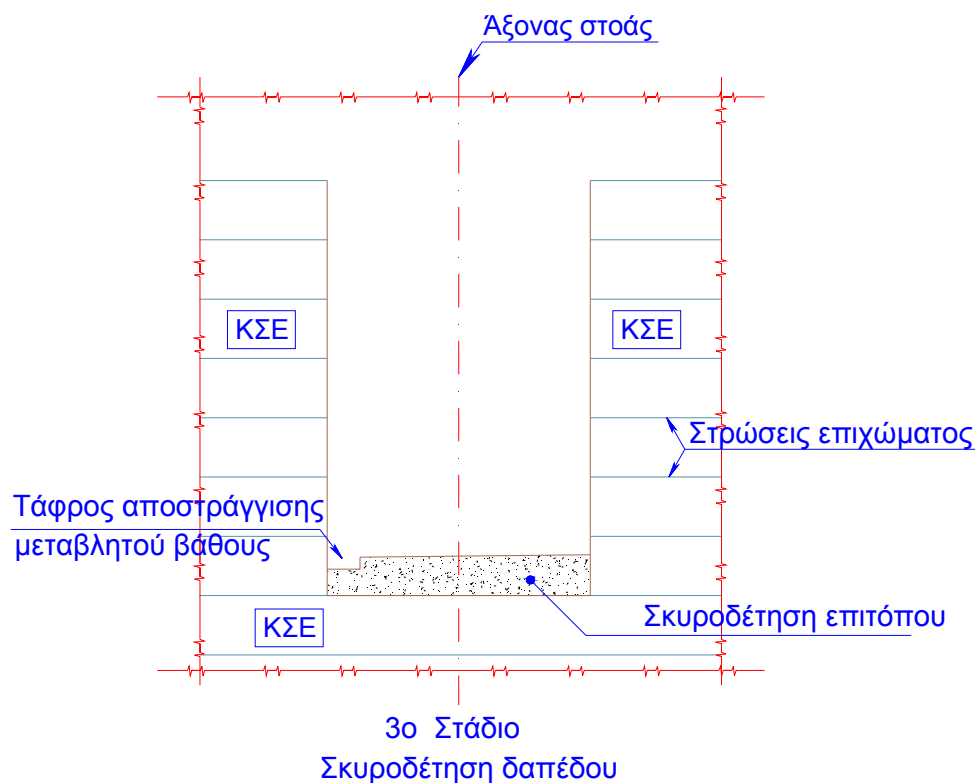
1ο Στάδιο
Τοποθέτηση ξυλοτύπων



2ο Στάδιο
Διάστρωση σκληρού επιχώματος

Αποστραγγιστική στοά

Κατασκευαστικές λεπτομέρειες





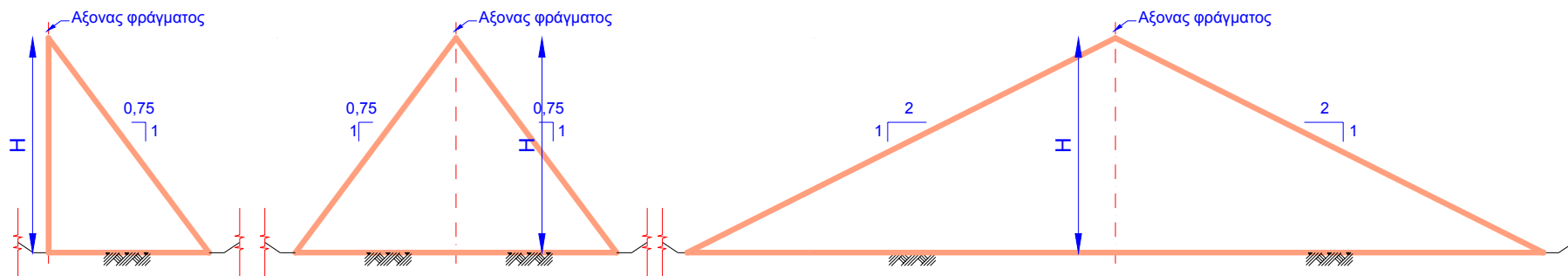
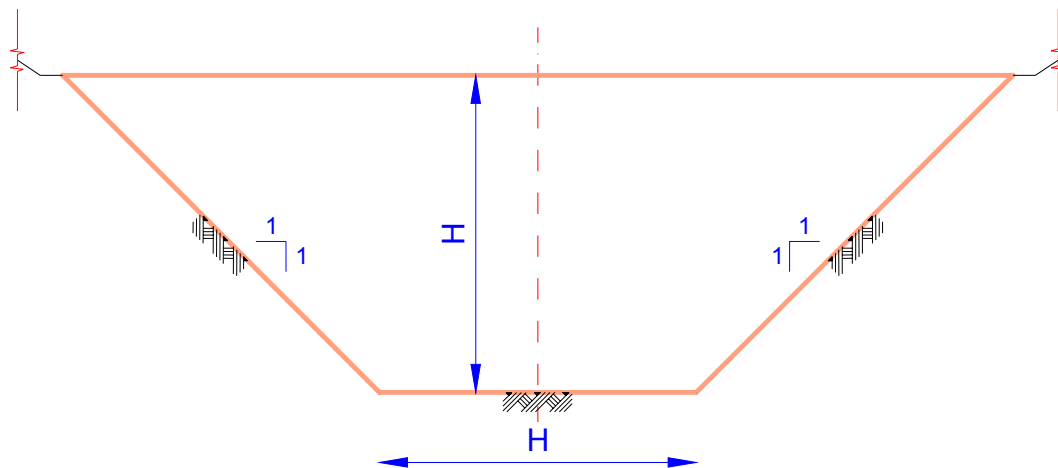
Διαπερατότητα υλικού Σ.Ε. σχετικά υψηλή

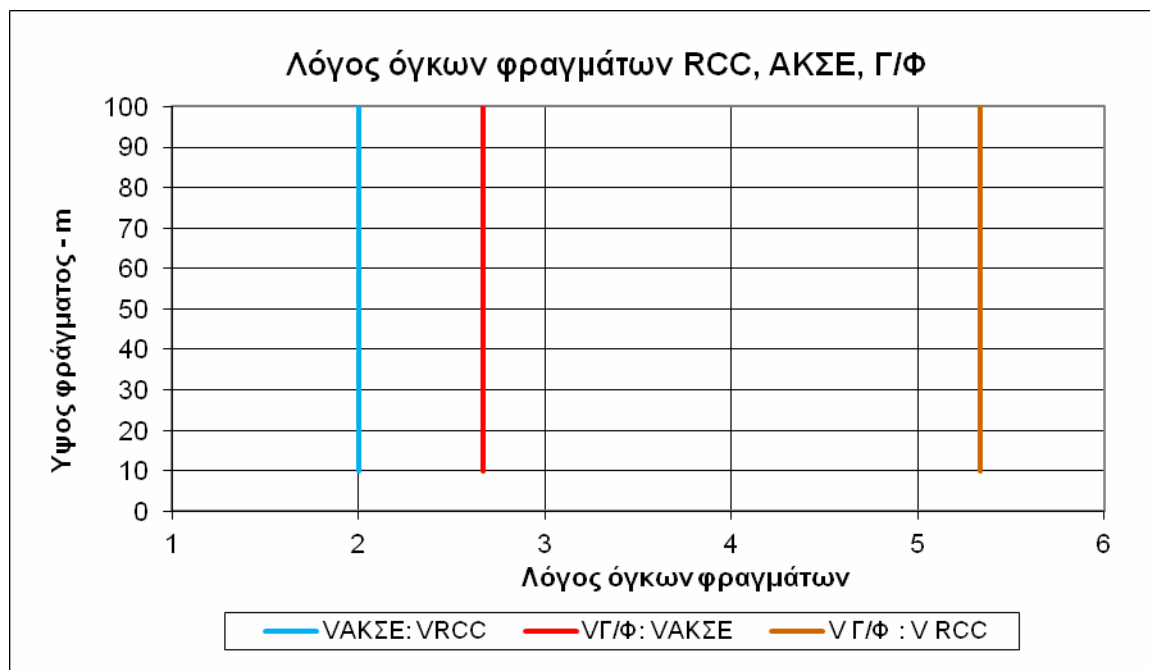
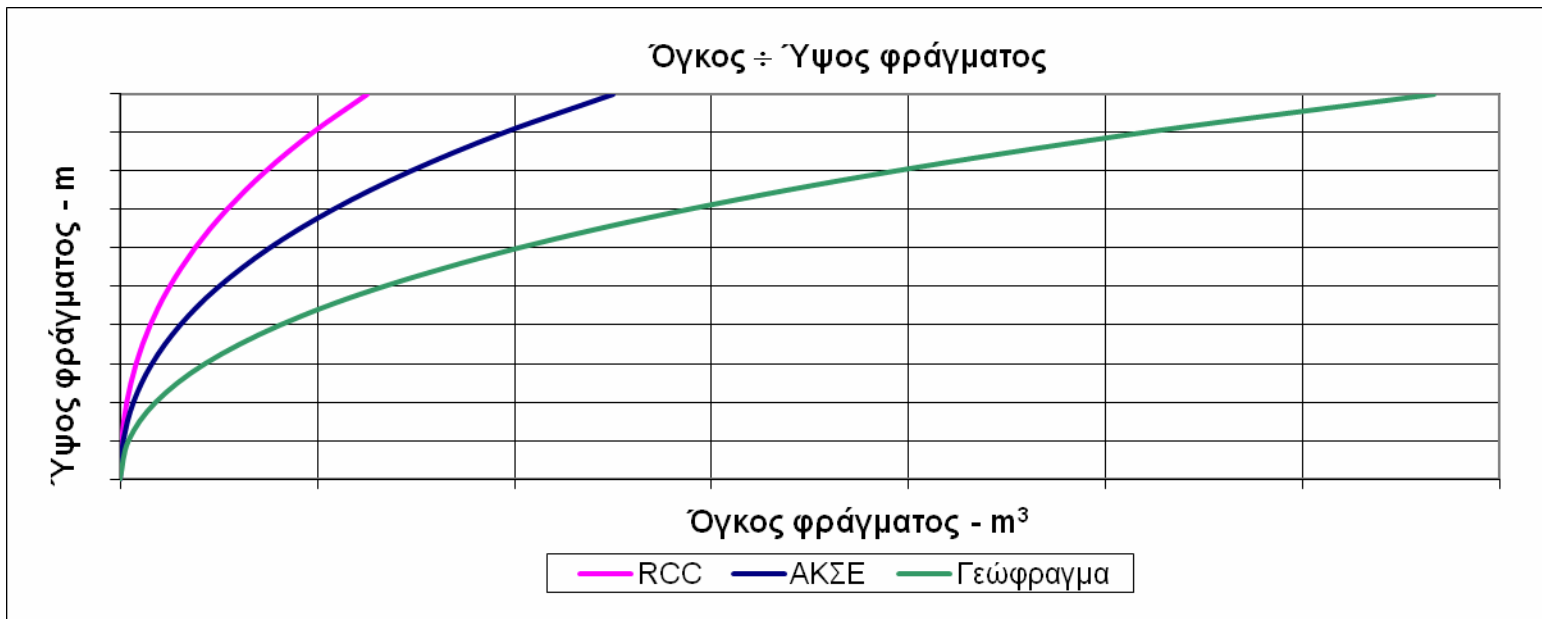


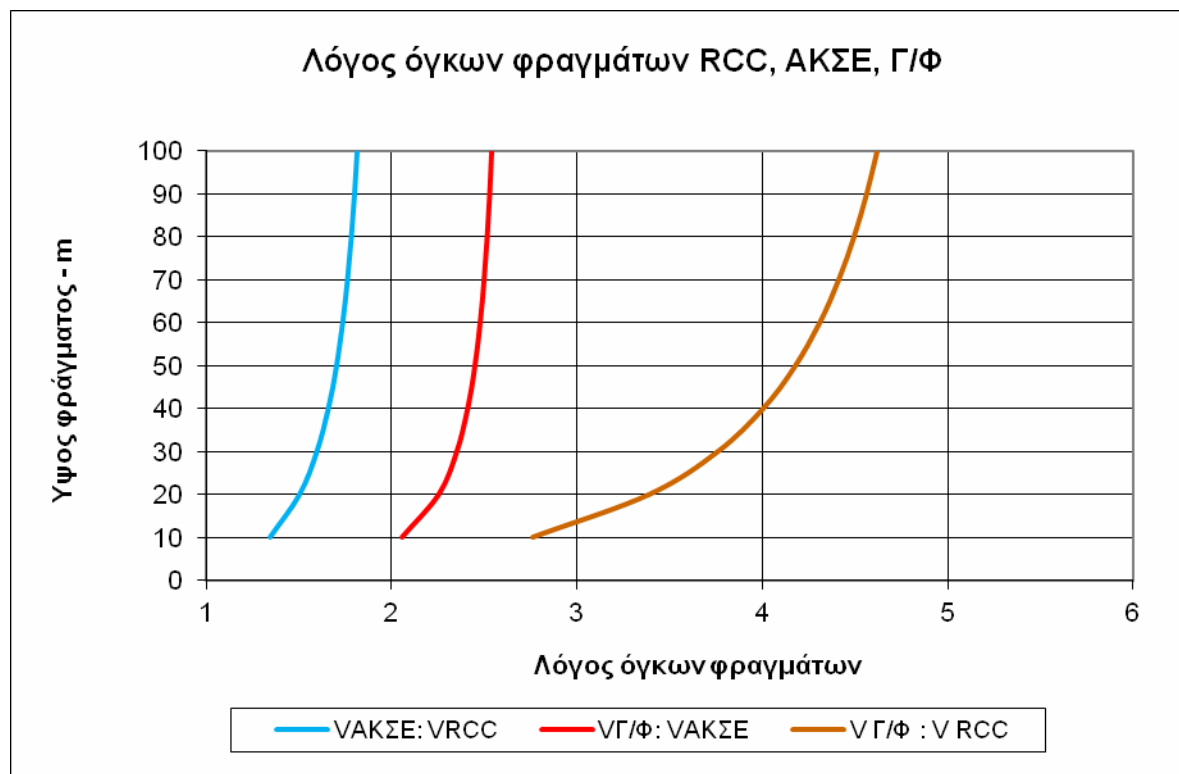
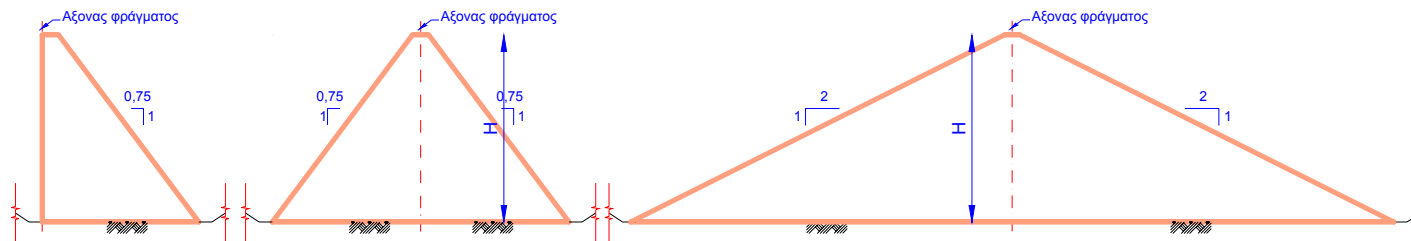
Εξασφάλιση υψηλής διαπερατότητα σώματος φράγματος

Εάν κατασκευάζεται ενισχυμένη ζώνη (GE) στην κατάντη παρειά του φράγματος απαιτείται πρόβλεψη αποστράγγισης (σωλήνες αποστράγγισης)





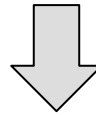






Ο όγκος γεωφράγματος είναι 2,5 φορές ο όγκος
φράγματος ΑΚΣΕ

Κόστος m^3 γεωφράγματος $\ll$ ΑΚΣΕ



Γεώφραγμα πάντα οικονομικότερο από ΑΚΣΕ

Τότε γιατί ΑΚΣΕ;

Σημαντική μείωση κόστους υπερχειλιστή

Μείωση κόστους συστήματος εκτροπής

Δραματική μείωση του χρόνου κατασκευής



Είμαι πολύ ευχαριστημένος
που τα τελευταία χρόνια ασχολούμαι και με
φράγματα ΑΚΣΕ
γιατί μετά από 34 χρόνια ενασχόλησης μου
με γεωφράγματα
είχα αρχίσει να βλέπω παντού
γεωφράγματα με πυρήνα και κελύφη

Σας ευχαριστώ

