



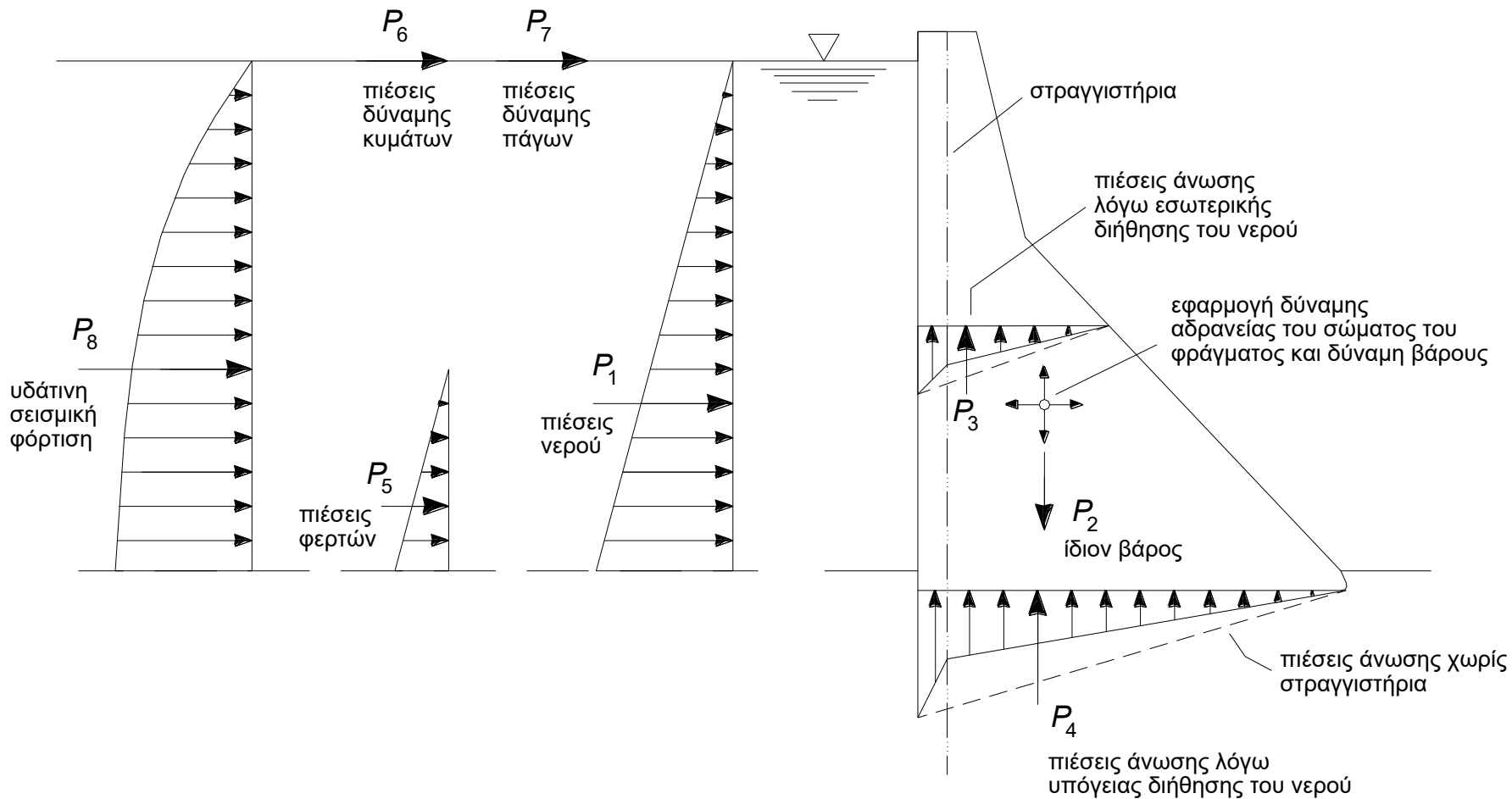
**ΔΗΜΟΚΡΙΤΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΡΑΚΗΣ**  
**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**  
**ΠΡΟΓΡ. ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ**  
**«ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»**

**ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ**  
**ΥΔΡΑΥΛΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

**Αγγελίδης Π., Καθηγητής**

**ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ**

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Φορτίο ιδίου βάρους φράγματος

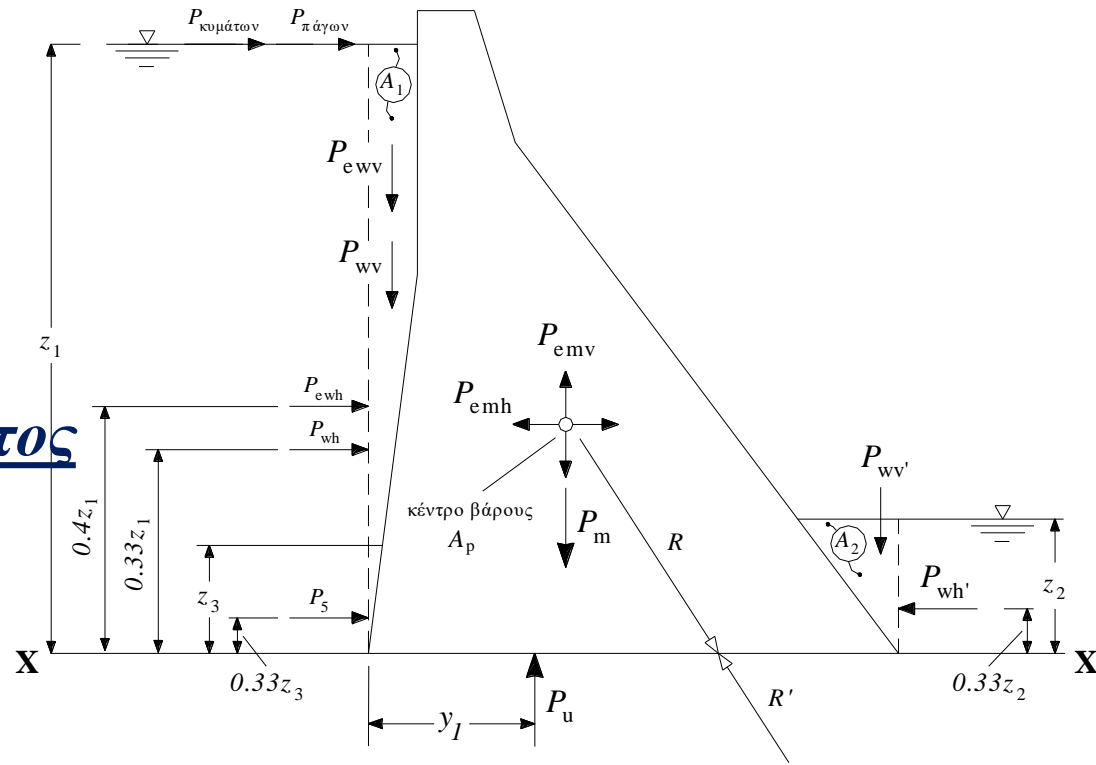
Το βάρος της κατασκευής,  $P_m$ , δρα μέσω του κέντρου μάζας του εμβαδού  $A_p$  της τομής του φράγματος:

$$P_m = \gamma_c A_p \quad (\text{kNm}^{-1})$$

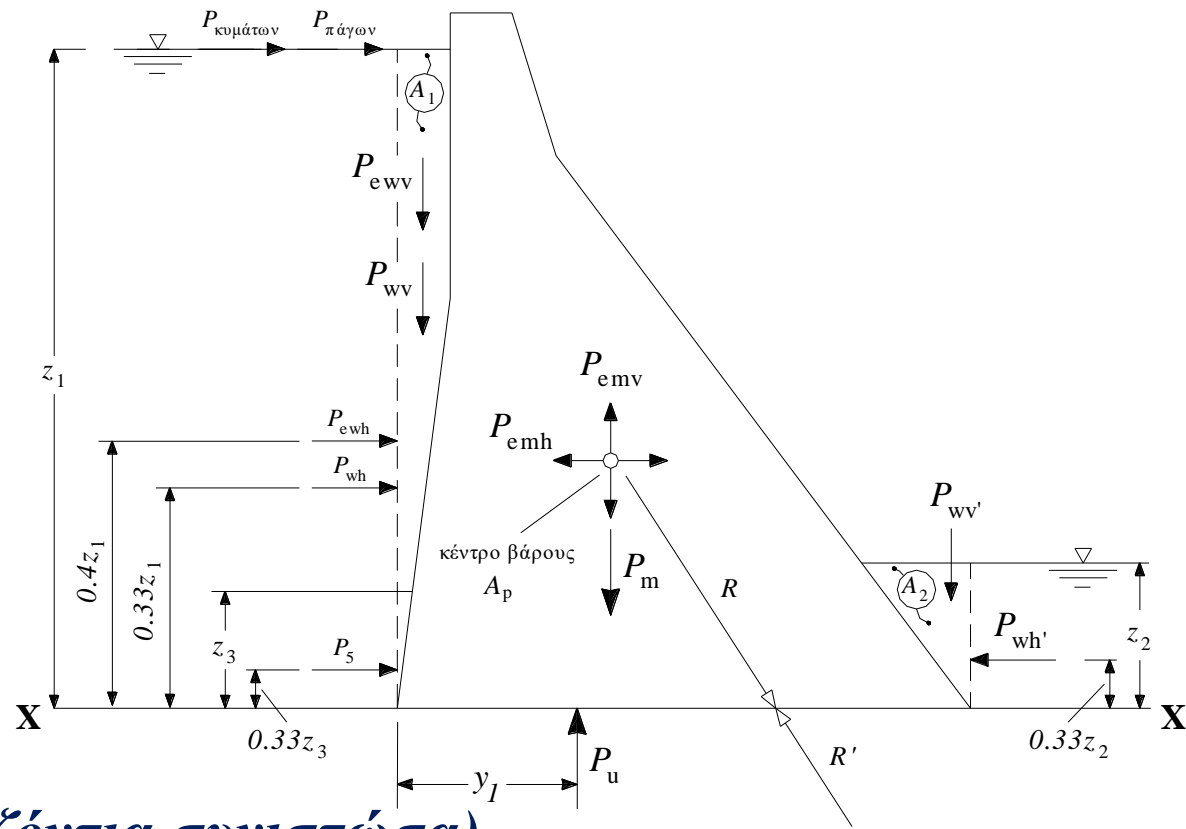
$\gamma_c$  είναι το βάρος του σκυροδέματος, θεωρούμενο ως  $23.5 \text{ kNm}^{-1}$ .

Όπου υπάρχουν θυροφράγματα και άλλες κατασκευές σημαντικού βάρους πρέπει να ληφθούν υπόψη στον καθορισμό του  $P_m$  και της θέσης του άξονα δράσης του.

Συνήθως, η διατομή του φράγματος χωρίζεται σε επιμέρους διατομές απλών γεωμετρικών σχημάτων.



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



## Υδροστατική δύναμη (οριζόντια συνιστώσα)

Οριζόντια δύναμη,  $P_{wh}$ , ανάντη:  $P_{wh} = \gamma_w z_1^2 / 2 \text{ kNm}^{-1}$   
που δρα σε ύψος  $z_1/3$  πάνω από το επίπεδο  $X - X$ .

Οριζόντια δύναμη,  $P_{wh}$ , κανάντη:  $P_{wh} = \gamma_w z_2^2 / 2 \text{ kNm}^{-1}$   
που δρα σε ύψος  $z_2/3$  πάνω από το επίπεδο  $X - X$ .

$\gamma_w$  είναι το ειδικό βάρος του νερού,  $9,81 \text{ kN/m}^3$  ( $\gamma = \rho g$ )

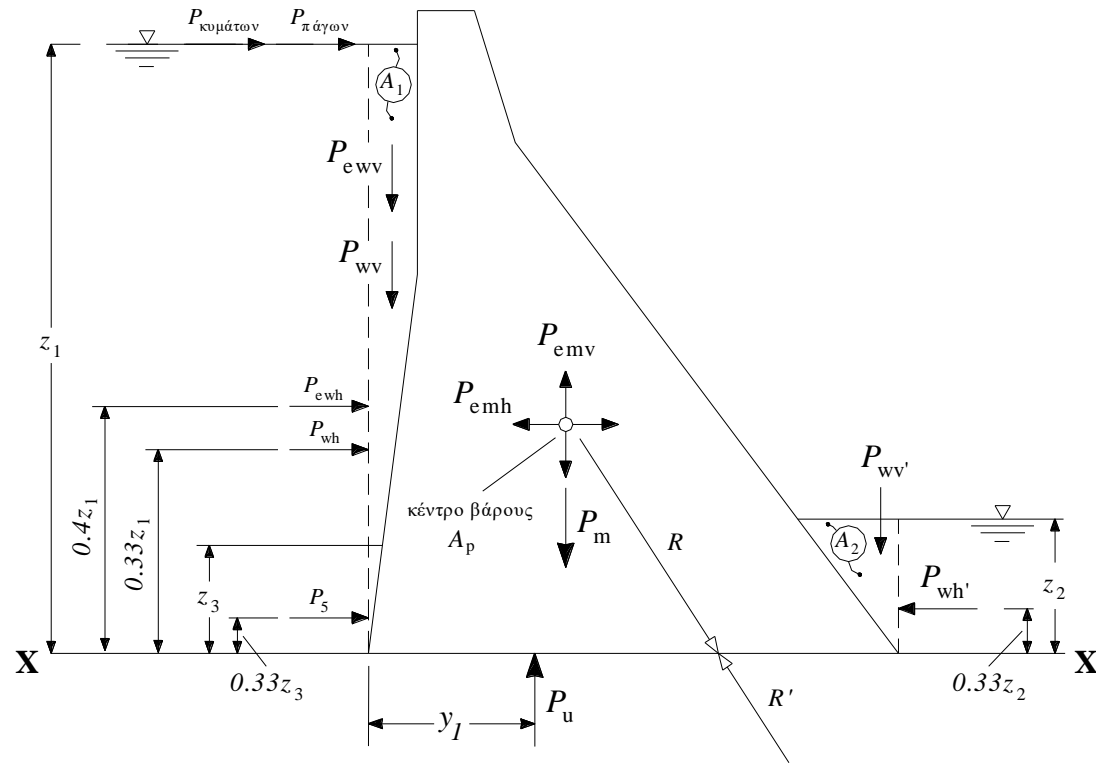
# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Υδροστατική δύναμη (κατακόρυφη συνιστώσα)

Αν η ανάντη πλευρά του φράγματος έχει κλίση, τότε εμφανίζεται και μια

κατακόρυφη δύναμη  $P_{wn}$ :  $P_{wn} = \gamma_w (\text{εμβαδόν } A_1) \text{ kNm}^{-1}$   
που δρα δια μέσου του κέντρου μάζας της επιφάνειας  $A_1$

στα κατόντη του φράγματος  $P_{wn}' = \gamma_w (\text{εμβαδόν } A_2) \text{ kNm}^{-1}$   
που δρα δια μέσου του κέντρου μάζας της επιφάνειας  $A_2$



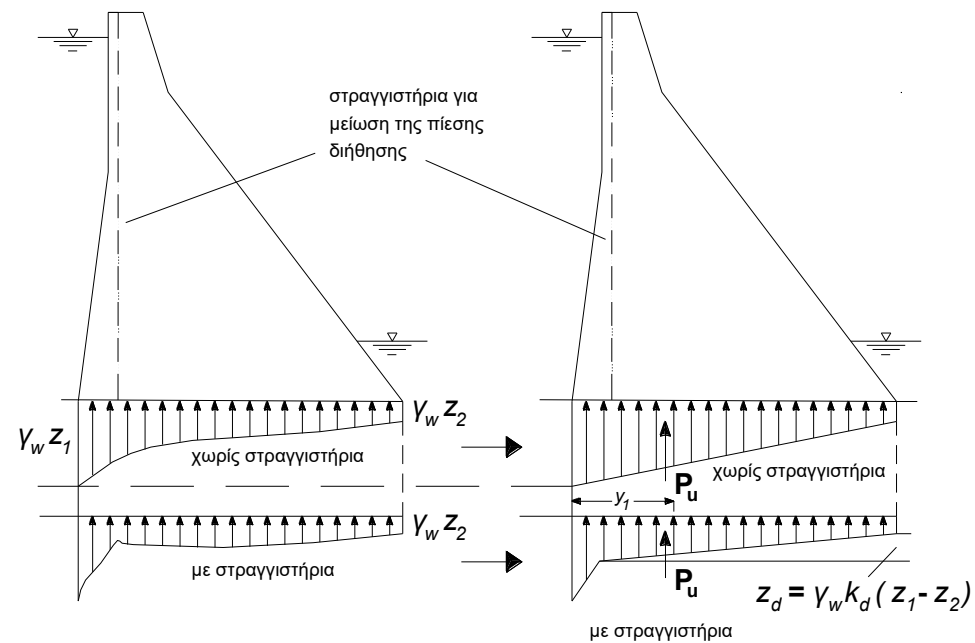
# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Δυνάμεις άνωσης στη βάση του φράγματος

Εσωτερικές πιέσεις ύδατος,  $u_w$ , αναπτύσσονται μέσα σε

τσιμεντένιο φράγμα ως αποτέλεσμα της διείσδυσης του νερού σε ασυνέχειες π.χ. αρμοί, ρωγμές και μικρές σχισμές, όπως επίσης και διήθησης μέσα στους πόρους του βράχου ή του σκυροδέματος.

Η θεωρητική κατανομή πιέσεων σ' ένα 'ιδανικό', δηλ. ομοιογενές φράγμα και έδαφος θεμελίωσης μπορεί να εκτιμηθεί από τη χάραξη των γραμμών ροής. Η κατανομή της πίεσης στη βάση του φράγματος λόγω διήθησης του νερού από τα ανάντη είναι καμπυλόγραμμη.



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

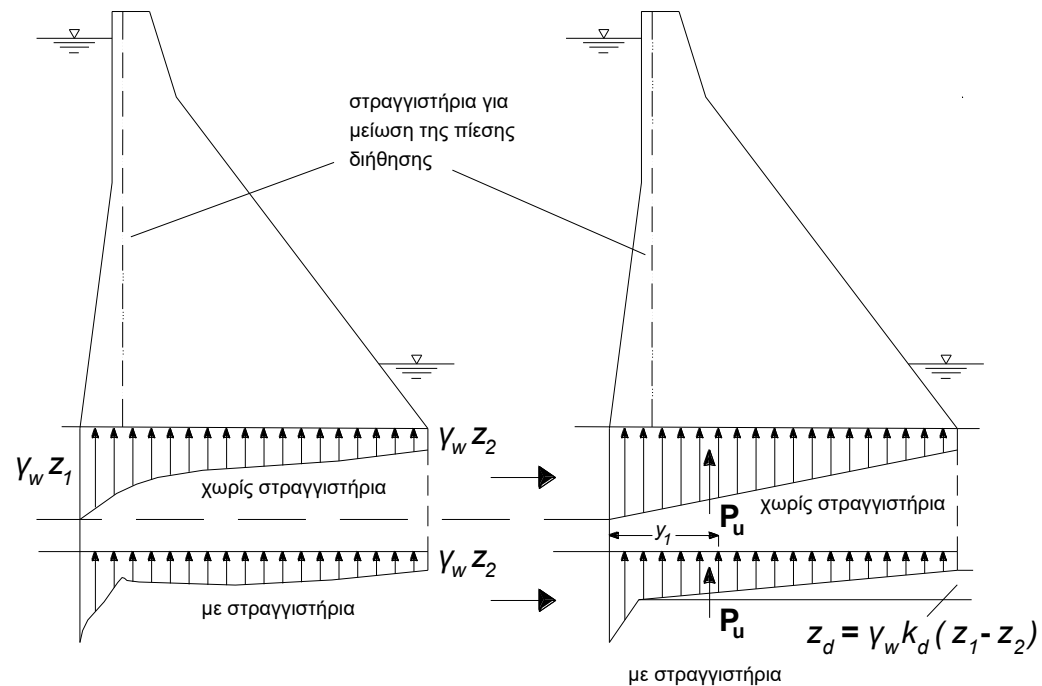
## Δυνάμεις άνωσης στη βάση του φράγματος

Στην πράξη οι διανομές  
πιέσεων στη βάση του

Φράγματος εξαρτώνται από τη φύση και συχνότητα των  
ασυνεχειών, και τοπικά είναι ακαθόριστες.

Γι αυτό συνήθως υποτίθεται γραμμική κατανομή ή, αν έχουν  
κατασκευασθεί σήραγγες (στραγγιστήρια) για την ανακούφιση των  
πιέσεων, μια διγραμμική κατανομή.

Θεωρούμε ότι οι πιέσεις στη βάση του φράγματος μειώνονται από  
την υδροστατική τιμή  $\gamma_w z_1$  στην ανάντη πλευρά, έως την  
υδροστατική τιμή  $\gamma_w z_2$  στη κατάντη πλευρά .



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Δυνάμεις άνωσης στη βάση του φράγματος

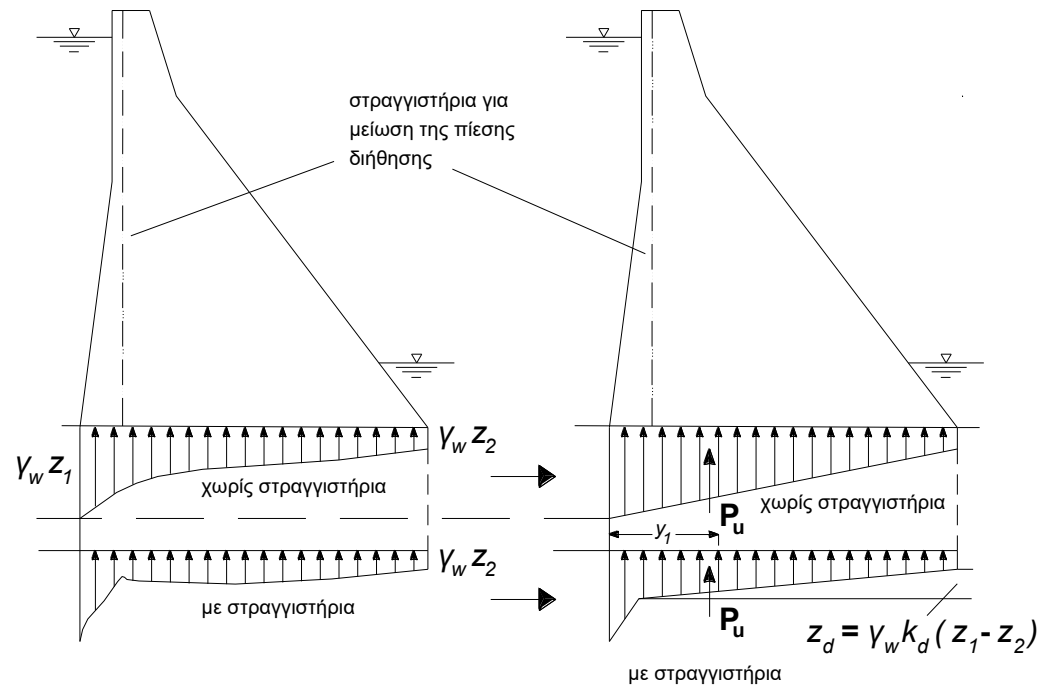
Η συνισταμένη δύναμη των πιέσεων νερού στη βάση

του φράγματος, (που έχει πλάτος  $T$ ) συμβολίζεται με  $P_u$ , ονομάζεται **άνωση βάσεως**.

**Αν δεν υπάρχουν στραγγιστήρια** (σήραγγες) ανακούφισης της πίεσεως ή αν πάψουν να λειτουργούν λόγω απόφραξης, τότε:

$$P_u = \gamma_w T \frac{(z_2 + z_1)}{2}$$

Η δύναμη άνωσης  $P_u$  περνά σε απόσταση  $y_1$  (σε μέτρα) από τον ανάντη πόδα της βάσης  $y_1 = (T/3) \frac{(2z_2 + z_1)}{(z_2 + z_1)}$





# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

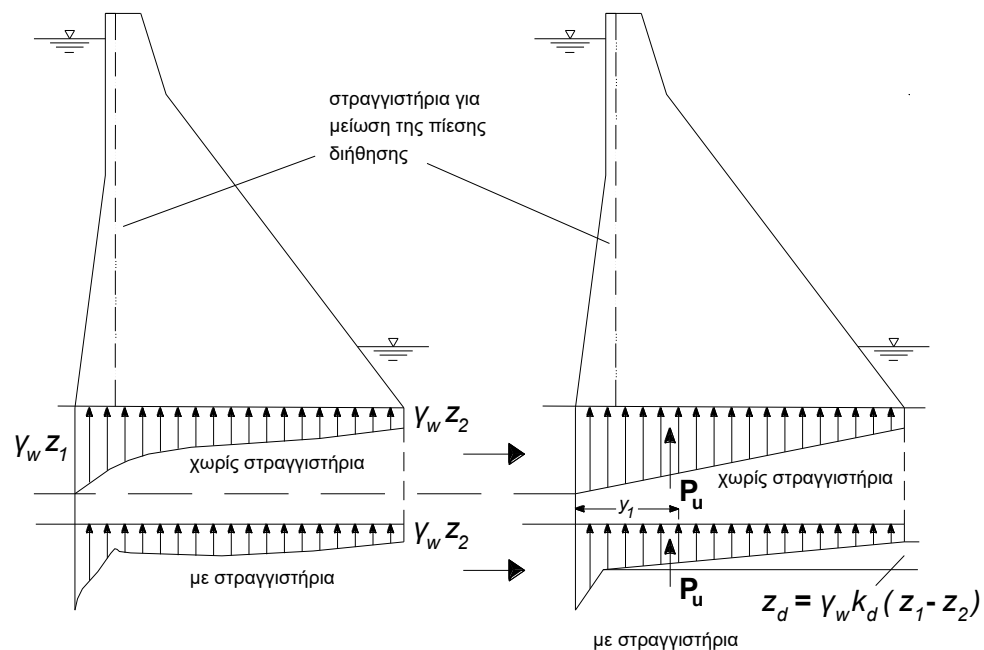
## Δυνάμεις άνωσης στη βάση του φράγματος

Σε σύγχρονα φράγματα η εσωτερική άνωση ελέγχεται με την πρόβλεψη κάθετων

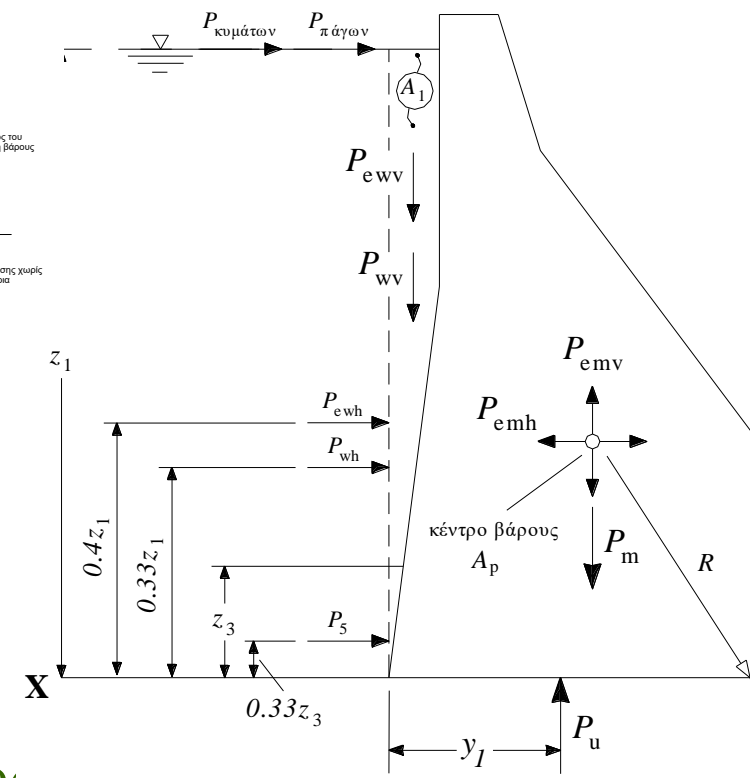
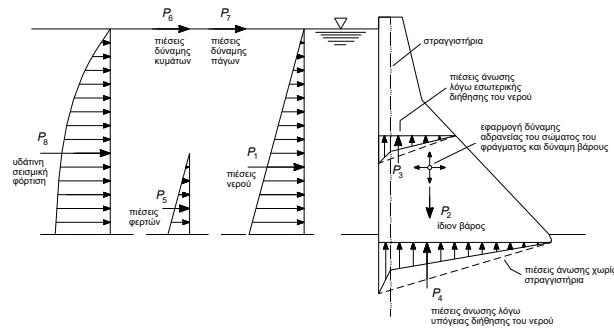
σηράγγων κοντά στην ανάντη πλευρά. Η μέση πίεση στη γραμμή των σηράγγων  $z_d$ , μπορεί να εκφραστεί ως:  $z_d = z_2 + k_d(z_1 - z_2)$  (m)

Ο εμπειρικός συντελεστής  $k_d$  είναι μια συνάρτηση της λειτουργίας, της γεωμετρίας των σηράγγων, της διαμέτρου, της διάταξης στο χώρο και της θέσης τους. Συνήθως υποτίθεται ότι  $k_d = 0.33$ .

Η άνωση των βάσεων και θεμελίων ελέγχεται από ένα παρόμοιο σύστημα οχετών - σηράγγων. Η κατασκευή ενός βαθιού διαπερατού διαφράγματος (κουρτίνα τσιμεντενέσεων) κάτω από την ανάντη παρειά του φράγματος χρησιμεύει επίσης στην μείωση δημιουργίας ανωστικών πιέσεων στη βάση του φράγματος.



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



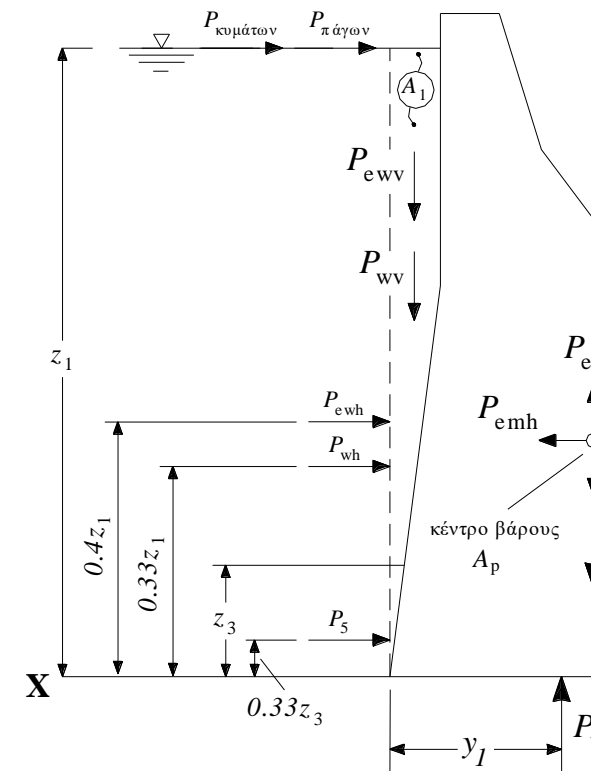
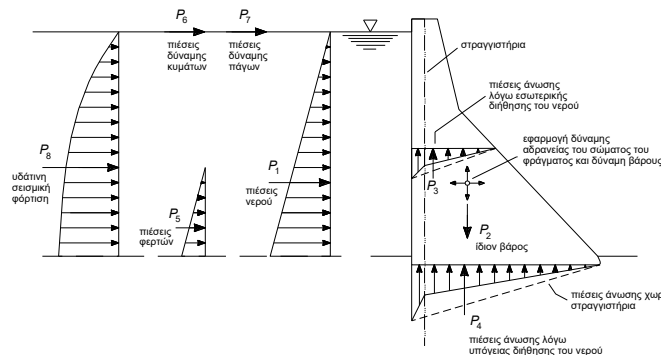
## Φόρτιση από φερτά

Από τη σταδιακή συσσώρευση μεγάλων αποθεμάτων λεπτού ιζήματος, κυρίως ιλύος ποταμού, ανάντη του φράγματος προκύπτει μια δύναμη  $P_5$ . Το μέγεθος της  $P_5$ , είναι συνάρτηση του βάθους του ιζήματος  $z_3$ , του βυθισμένου ειδικού βάρους  $\gamma_s'$  και του συντελεστή ενεργής πλευρικής πίεσεως,  $K_a$ :

$$P_s = K_a \gamma_s' z_3^2 / 2 \quad \text{kNm}^{-1}$$

εφαρμόζεται σε ύψος  $z_3/3$  από το X-X'.  $\gamma_s' = \gamma_s - \gamma_w$ , όπου το  $\gamma_s$  είναι το ειδικό βάρος του μίγματος νερού-φερτών, και  $K_a \cong \frac{1 - \sin\phi_s}{1 + \sin\phi_s}$  όπου το  $\phi_s$  είναι η γωνία τριβής του ιζήματος. Λαμβάνουμε τυπικές τιμές του  $\gamma_s = 18 - 20 \text{ kNm}^{-2}$  και  $\phi_s = 30^\circ$ , δίδοντας ένα ισοδύναμο ειδικό βάρος  $K_a \gamma_s'$  περίπου  $3.0 \text{ kNm}^{-2}$ .

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



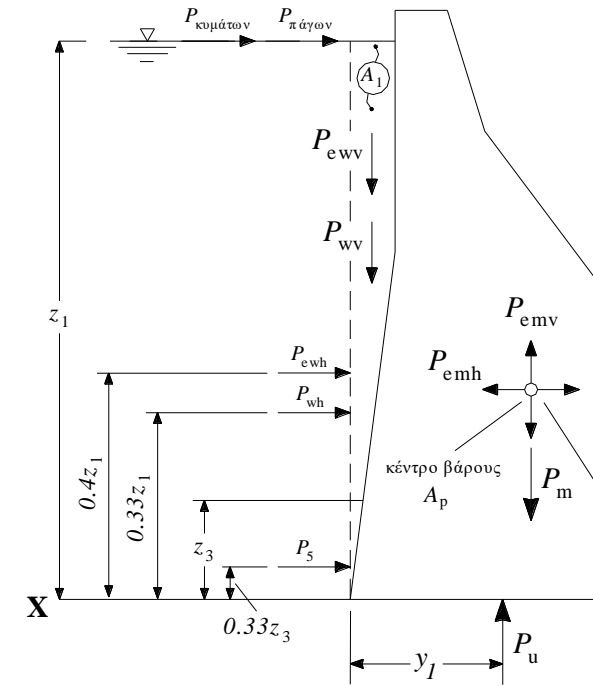
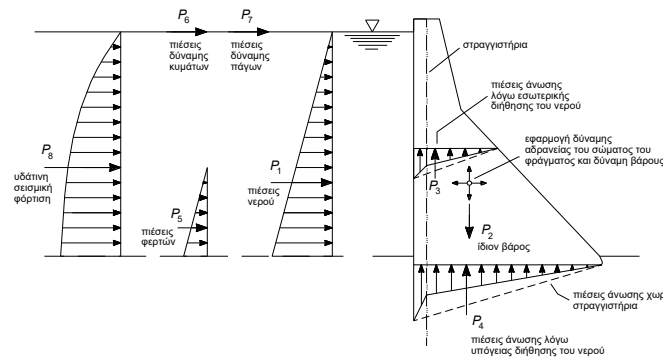
## Ωστική δύναμη του πάγου

Το φορτίο πάγου μπορεί να είναι σημαντικό σε περιπτώσεις όπου το πάχος του πάγου είναι πάνω από 60 cm. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι πιέσεις του πάγου παράγουν σημαντική ώθηση κοντά στη στέψη του φράγματος.

Μια αποδεκτή τιμή για το φορτίο πάγου,  $P_{ice}$ , δίνεται από το  $P_{ice} = 145 \text{ kNm}^{-2}$  για πάγο πάχους μεγαλύτερο από 0.6 m.

Όπου το πάχος του πάγου είναι απίθανο να υπερβεί τα 0.4 m ή υπόκειται σε μικρό πλευρικό περιορισμό, όπως όταν τα όρια είναι επικλινείς επιφάνειες, το φορτίο πάγου μπορεί να μη ληφθεί υπόψη.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ



## Υδροδυναμικό φορτίο κυμάτων

Η υδροδυναμική ώθηση που παράγεται από τη δράση κυμάτων πάνω στην όψη του φράγματος,  $P_{wave}$ , λαμβάνεται υπόψη μόνο σε εξαιρετικές περιπτώσεις. Είναι σχετικά μικρού μεγέθους και από τη φύση της ακανόνιστη και τοπική όσον αφορά την επίδρασή της. Μια συντηρητική εκτίμηση του επιπλέον υδροστατικού φορτίου  $P_{wave}$  στην επιφάνεια του ταμιευτήρα λόγω κύματος δίνεται από τη σχέση :

$$P_{wave} = 2\gamma_w H_s^2$$

όπου  $H_s$  είναι το ύψος κυμάτων.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Σεισμικό φορτίο

Δυναμικά φορτία που δημιουργούνται από σεισμικές διαταραχές πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό φραγμάτων.

Η σεισμική δραστηριότητα συνδέεται με εμφάνιση επιταχύνσεων και κινήσεων του εδάφους, οι οποίες παράγουν περιοδικά φορτία εξαιτίας της αδράνειας του φράγματος και της αποθηκευμένης μάζας του νερού.

Οι οριζόντιες και κάθετες επιταχύνσεις δεν είναι ίσες. Για λόγους σχεδιασμού και οι δυο πρέπει να θεωρηθούν ότι ενεργούν με τον πιο δυσμενή τρόπο για την σταθερότητα του φράγματος.

Οι οριζόντιες επιταχύνσεις θεωρούνται ότι δρουν κάθετα στον άξονα του φράγματος. Κάτω από συνθήκες γεμάτου ταμιευτήρα δεξαμενής το πιο ανεπιθύμητο σεισμικό φορτίο θα συμβεί όταν δόνηση του εδάφους σχετίζεται :

- (1) οριζόντια επιτάχυνση θεμελίων προς τα ανάντη
- (2) κάθετη επιτάχυνση θεμελίων ενεργώντας προς τα κάτω.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Σεισμικό φορτίο

Ως αποτέλεσμα της οριζόντιας επιτάχυνσης θεμελίων προς τα ανάντη, η αδράνεια θα δημιουργήσει ένα επιπλέον υδροδυναμικό φορτίο ύδατος που ενεργεί με την φορά προς τα κατάντη, συν ένα ακόμη φορτίο αδράνειας που σχετίζεται με τη μάζα του φράγματος και που επίσης έχει φορά προς τα κατάντη.

Η επιτάχυνση θεμελίων προς τα κάτω, θα μειώσει δραστικά στιγμιαία το βάρος του φράγματος και ως εκ τούτου τη σταθερότητα της κατασκευής. Τα επαναλαμβανόμενα σεισμικά κύματα έχουν μια συχνότητα της τάξεως 1 – 10 Hz. Συνεπώς τα σεισμικά φορτία ταλαντεύονται πολύ γρήγορα και είναι παροδικά σε ενέργεια.

Τα φράγματα από μπετό είναι ελαστικές κατασκευές και σχεδιάζονται να αντέχουν έναν μέγιστο σεισμό χωρίς δημιουργία ρήγματος.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Σεισμικό φορτίο

Η πιθανότητα δομικού συντονισμού πρέπει επίσης να εξεταστεί για ψηλότερα φράγματα. Οι σεισμικές κινήσεις του εδάφους είναι γενικά ακανόνιστες σε μέγεθος, περιοδικότητα και κατεύθυνση. Επομένως είναι απίθανο να διατηρήσουν συντονισμό για διαστήματα που ξεπερνούν κατά πολύ μερικά δευτερόλεπτα.

Τα σεισμικά φορτία μπορούν να προσεγγιστούν χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του σεισμικού συντελεστή.

Οι δυνάμεις αδράνειας υπολογίζονται σε σχέση με τη μέγιστη επιτάχυνση που έχει επιλεγεί για τη σχεδίαση και θεωρείται ως ισοδύναμη με πρόσθετα στατικά φορτία.

Αυτή η προσέγγιση σε γενικές γραμμές είναι συντηρητική. Επομένως εφαρμόζεται μόνο για μικρότερα και λιγότερο ευπαθή τιμεντένια φράγματα, ή για προκαταρκτική ανάλυση.

Για ψηλά φράγματα, ή φράγματα σε τοποθεσίες όπου η σεισμικότητα θεωρείται αποφασιστική, απαιτούνται πιο πολύπλοκες διαδικασίες.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Σεισμικοί συντελεστές

Η σφοδρότητα της σεισμικής δόνησης εκφράζεται με συντελεστές επιτάχυνσης που αντιπροσωπεύουν τον λόγο μεταξύ σεισμικής επιτάχυνσης εδάφους και της επιτάχυνσης της βαρύτητας  $g$ .

$\alpha_h$  για την οριζόντια επιτάχυνση

$\alpha_v$  για την κατακόρυφη επιτάχυνση

Πίνακας 10. 3.1 Συντελεστές οριζόντιας σεισμικής επιτάχυνσης, $\alpha_h$ .			
Συντελεστής $\alpha_h$ †	Τροποποιημένη κλίμακα Mercalli	Γενικό επίπεδο ζημιών	Σεισμική ζώνη Η.Π.Α.
0.0	–	μηδέν	0
0.05	VI	ελάσσων	1
0.10	VII	μέτριος	2
0.15	}c. VIII – IX	μείζων	3
0.20		τεράστιος	4

†  $\alpha_v$  Συνήθως λαμβάνεται ως  $0.5 \alpha_h$ .



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Σεισμικοί συντελεστές

Τιμές σεισμικού συντελεστή μεγαλύτερες από αυτές του πίνακα εφαρμόζονται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις σε ακραίες συνθήκες, π.χ.  $\alpha_h = 0.4$  έχει εφαρμοστεί σε φράγματα σε τοποθεσίες υψηλού κινδύνου στην Ιαπωνία.

Επιταχύνσεις εδάφους ισοδύναμες με  $\alpha_h=0.5$  προξένησαν σοβαρές ζημιές στο φράγμα βαρύτητας Koyna, στην Ινδία, το 1967. Σεισμική δραστηριότητα που παρομοίως προξένησε ζημιές στο τοξωτό φράγμα Pacoima, Η.Π.Α., το 1971 εκτιμήθηκε ως ισοδύναμη με οριζόντιο σεισμικό συντελεστή  $\alpha_h = 0.6 - 0.8$ .

Η αδράνεια του φράγματος και τα υδροδυναμικά φορτία καθορίζονται από σεισμικούς συντελεστές:

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Δυνάμεις αδράνειας:  
μάζα του φράγματος

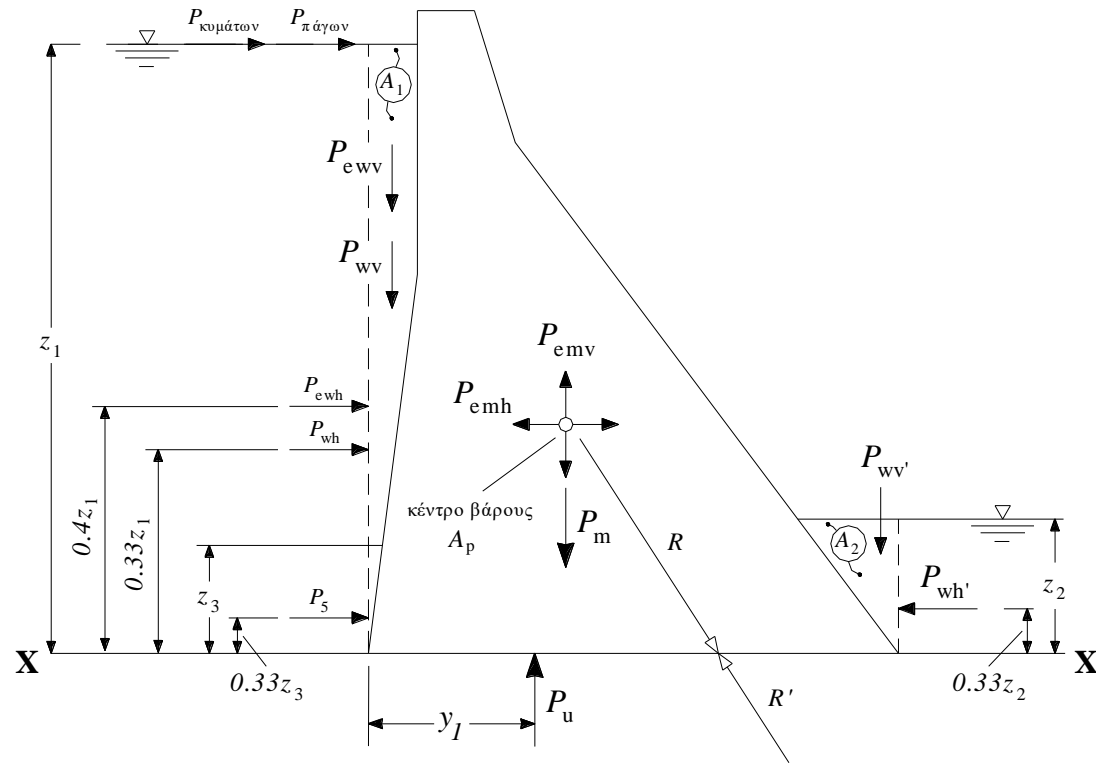
Οριζόντια δύναμη:

$P_{emh} = \pm \alpha_h P_m$  όπου  $P_m$ , το ίδιο βάρους του φράγματος

Κατακόρυφη δύναμη:

$P_{emv} = \pm \alpha_v P_m$

Όπως με τη δύναμη του ίδιου βάρους,  $P_m$ , οι δυνάμεις αδράνειας του φράγματος θεωρείται ότι ενεργούν στο κέντρο βάρους της διατομής του φράγματος.



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Υδροδυναμικές πιέσεις λόγω σεισμού

Η υδροδυναμική πίεση  $P_{ewh}$  σε οποιοδήποτε βάθος  $z_1$  κάτω από την επιφάνεια του

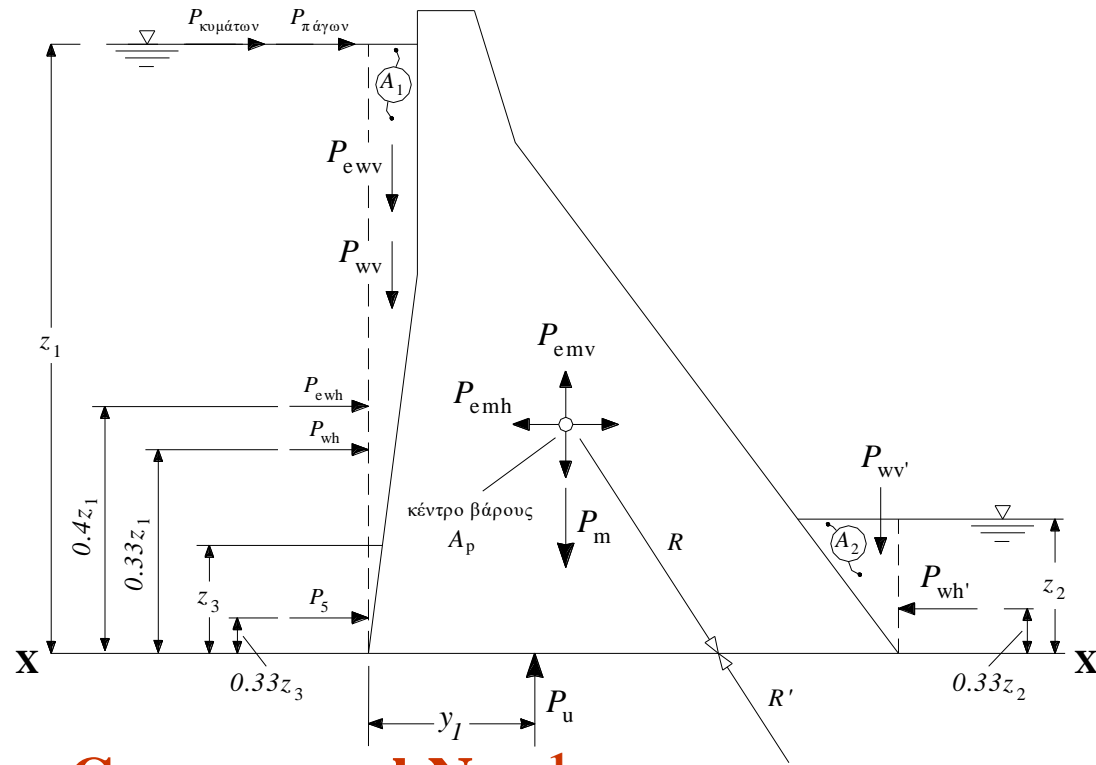
νερού, καθορίζεται από:  $P_{ewh} = C_e \alpha_h \gamma_w z_{\max} \text{ kNm}^{-1}$

όπου  $z_{\max}$  είναι το μέγιστο βάθος νερού στο φράγμα που μελετάται

Το συνολικό υδροδυναμικό φορτίο (οριζόντια δύναμη) δίνεται από:

$$P_{ewh} = 0.66 C_e \alpha_h z_1 \gamma_w \sqrt{z_1 z_{\max}}$$

και ενεργεί σε ύψος  $0.40z_1$  πάνω από το επίπεδο της βάσης  $X - X$ .

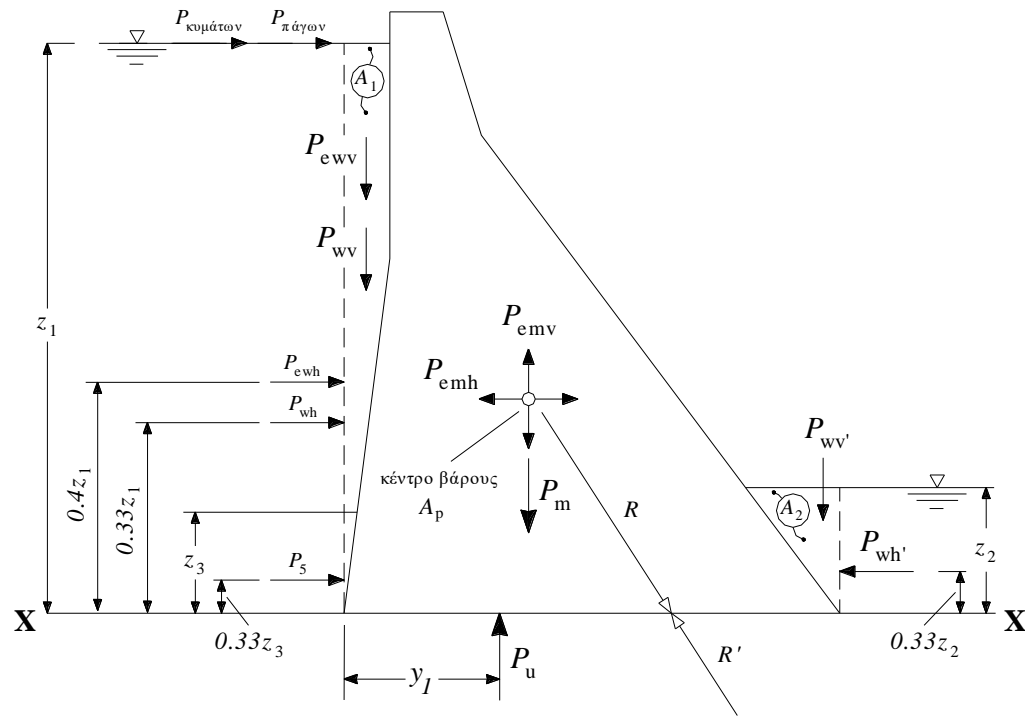


# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Υδροδυναμικές πιέσεις λόγω σεισμού

$C_e$  είναι ο αδιάστατος συντελεστής πίεσεως, ο

οποίος εξαρτάται από τον λόγο  $z_1/z_{\max}$  και την γωνία  $\varphi_u$ , της ανάντη πλευράς του φράγματος και δίνεται από τον πίνακα:

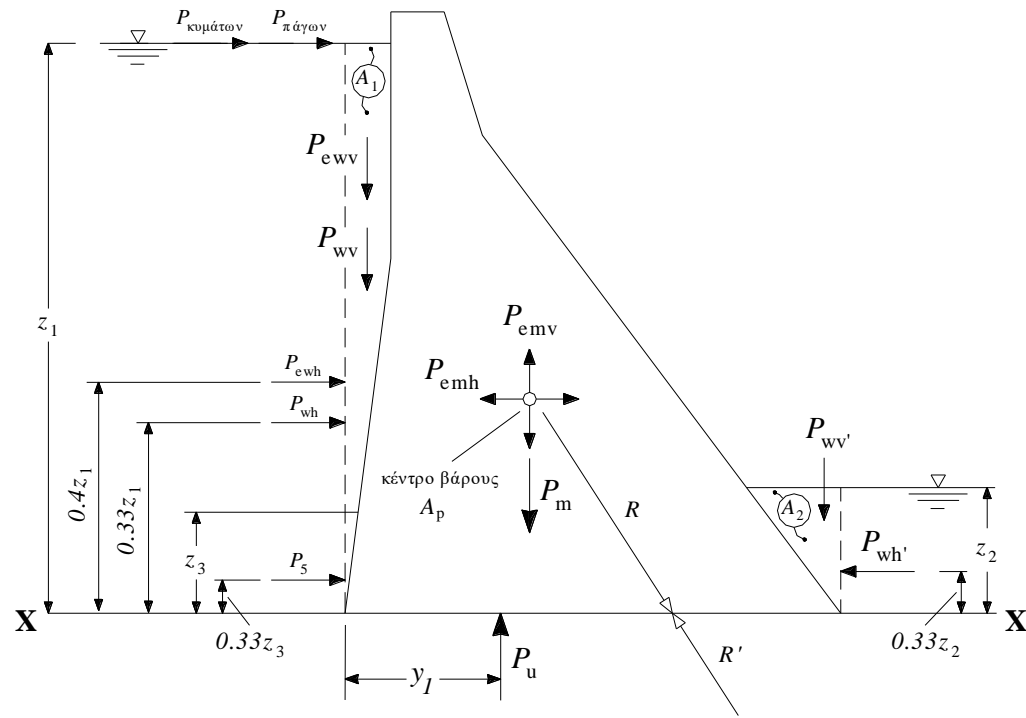


Πίνακας 10.3.2 Παράγοντες σεισμικής πίεσεως

Λόγος $z_1/z_{\max}$	Παράγοντας πίεσεως $C_e$	
	$\varphi_u = 0^\circ \dagger$	$\varphi_u = 15^\circ$
0.2	0.35	0.29
0.4	0.53	0.45
0.6	0.64	0.55
0.8	0.71	0.61
1.0	0.73	0.63

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Υδροδυναμικές πιέσεις λόγω σεισμού



Ένας άλλος προσεγγιστικός τρόπος υπολογισμού του συνολικού υδροδυναμικού φορτίου (οριζόντια δύναμη) δίνεται από:

$$P_{ewh} = 0.555 \alpha_h \gamma_w z_{\max}^2$$

και ενεργεί σε ύψος  $4z_{\max}/3\pi$  πάνω από το επίπεδο της βάσης  $X - X'$ .

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

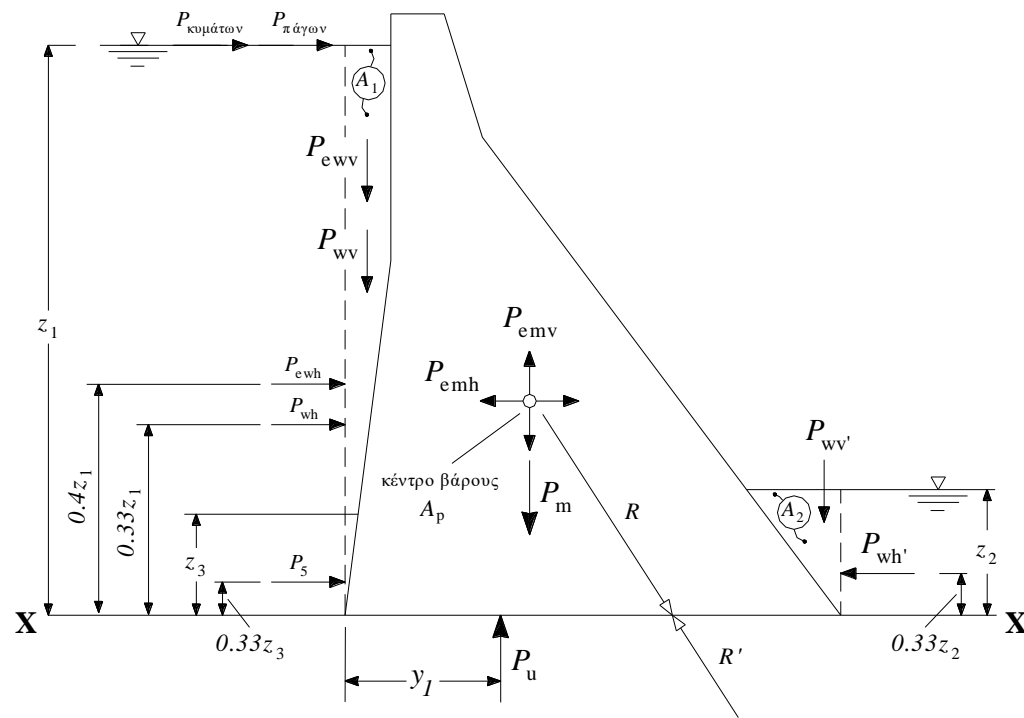
## κατακόρυφο υδροδυναμικό φορτίο $P_{ewv}$

Ενεργεί πάνω στη ανάντη  
πλευρά του φράγματος,

θεωρείται ότι ενεργεί στο κέντρο μάζας της περιοχής  $A_1$ , και  
ισούται με το γινόμενο του σεισμικού συντελεστή επί το βάρος του  
νερού  $P_{wv}$ .

$$P_{ewv} = \pm \alpha_v P_{wv}$$

Το φορτίο άνωσης στη βάση του φράγματος θεωρείται συνήθως  
ότι δεν επηρεάζεται από τη σεισμική δόνηση .



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Συνδυασμός δυσμενέστερων φορτίων

Ένα φράγμα θα πρέπει να σχεδιάζεται με τους δυσμενέστερους συνδυασμούς φορτίων, που έχουν λογική πιθανότητα ταυτόχρονης ύπαρξης.

Τρεις ονομαστικοί συνδυασμοί φορτίων επαρκούν για σχεδόν όλες τις περιπτώσεις. Σε αύξουσα σειρά σοβαρότητας μπορούν να ονομασθούν ως:

- κανονικοί (NLC, normal load combination)
- ασυνήθιστοι (ULC, unusual load combination)
- ακραίοι (ELC, extreme load combination)

Μια περίληψη υπό μορφή πίνακα ονομαστικών συνδυασμών φορτίων προερχόμενο από πρακτική εφαρμογή στις Η.Π.Α. απεικονίζεται στον ακόλουθο πίνακα.

# Συνδυασμός δυσμενέστερων φορτίων

Πηγή φορτίου	Παρατηρήσεις <sup>1</sup>	Συνδυασμός φορτίων		
		Κανονικός, (NLC)	Ασυνήθιστος (ULC)	Ακραίος (ELC)
<i>Φορτία</i>				
υδροστατική πίεση στην ανάντη παρειά	ελεύθερη στάθμη νερού στον ταμιευτήρα ίση με την στάθμη σχεδιασμού πλημμύρας (DFL)		NAI	
υδροστατική πίεση στην ανάντη παρειά	ελεύθερη στάθμη νερού στον ταμιευτήρα ίση με την στάθμη της στέψης του υπερχειλιστή (NML)	NAI		NAI
Μέγιστη υδροστατική πίεση στην κατόντη παρειά	Εκτιμάται από τον μελετητή .	NAI		NAI
Ελάχιστη υδροστατική πίεση στην κατόντη παρειά	Εκτιμάται από τον μελετητή .		NAI	
<i>ίδιο βάρος</i>	-	NAI	NAI	NAI
<i>άνωση</i>	στραγγιστήρια λειτουργούν	NAI	NAI	
<i>άνωση</i>	στραγγιστήρια δεν λειτουργούν			NAI
ιλύς-φερτά στο ταμιευτήρα	Εκτιμάται από τον μελετητή .	NAI	NAI	NAI
πάγος	Εκτιμάται από τον μελετητή .	NAI	NAI	NAI
<i>Σεισμός</i>	μέγιστος σεισμός (CME)			NAI



# ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝΤΑΙ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

## Συνδυασμός δυσμενέστερων φορτίων

Οι ονομαστικοί συνδυασμοί φορτίων όπως ορίζονται στον πίνακα δεν είναι καθολικής εφαρμογής.

Ο μελετητής μηχανικός έχει τη δυνατότητα να επιλέξει τον συνδυασμό φορτίων που θεωρεί καταλληλότερο και που αντικατοπτρίζει κατάλληλα την ειδική περίπτωση του υπό μελέτη φράγματος π.χ. αναμενόμενα φορτία στερεών, κανόνες λειτουργίας, θερμοκρασίες, κ.λπ.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ, ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΠΕΤΟΝ

Οι δυνάμεις αντίδρασης που δημιουργούνται στα θεμέλια ή στις βάσεις στήριξης του φράγματος πρέπει υπολογιστούν για να ικανοποιηθούν οι προϋποθέσεις για στατική ισορροπία.

Ο συνδυασμός των εφαρμοζόμενων κατακόρυφων και οριζοντίων στατικών φορτίων δίνει μια κεκλιμένη συνισταμένη δύναμη  $R$ .

Η δύναμη αυτή ισορροπείται από μια ίση δύναμη αντίδρασης  $R'$ , που προέρχεται από τις κατακόρυφες αντιδράσεις και την οριζόντια αντίσταση των θεμελίων. Οι συνθήκες που είναι απαραίτητες για την στατική ισορροπία μπορούν να αναφερθούν συνοπτικά ως:

$$\Sigma H = \Sigma V = 0 \quad \Sigma M = 0$$

Η κατάσταση που αντιπροσωπεύεται από το  $\Sigma H = \Sigma V = 0$  καθορίζει ότι καμία κίνηση μετατόπισης δεν είναι δυνατή.

Ο επιπλέον όρος ότι  $\Sigma M = 0$  αποκλείει οποιαδήποτε περιστροφική κίνηση, π.χ. ανατροπή.

# ΔΥΝΑΜΕΙΣ, ΡΟΠΕΣ ΚΑΙ ΔΟΜΙΚΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑ ΣΕ ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΠΕΤΟΝ

Για όλες τις πιθανές καταστάσεις φόρτισης, συμπεριλαμβανομένης της κατάστασης άδειου ταμιευτήρα, ο σχεδιασμός του φράγματος πρέπει να επιδεικνύει ένα αποδεκτό περιθώριο ασφαλείας για:

(α) περιστροφή και ανατροπή

(β) μετατόπιση και ολίσθηση

(γ) υπέρβαση των επιτρεπομένων τάσεων και αστοχία του υλικού.

Τα κριτήρια (α) και (β) ελέγχουν τη γενική δομική σταθερότητα. Και τα δυο πρέπει να ικανοποιούνται σε όλα τα οριζόντια επίπεδα μέσα στο φράγμα και στα θεμέλια. Το κριτήριο (γ) πρέπει να ικανοποιείται μέσα στο φράγμα και στα θεμέλια.

Το κριτήριο της σταθερότητας έναντι ολίσθησης, (β), είναι γενικά το πιο κρίσιμο από τα τρία κριτήρια. Οι λόγοι για αυτό σχετίζονται με τη δυσκολία και την επιρροή γεωλογικών παραγόντων.

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΑΝΑΤΡΟΠΗ

Ένας απλουστευτικός κανόνας ασφαλείας όσον αφορά την ευστάθεια έναντι ανατροπής μπορεί να εκφραστεί σαν συνάρτηση των ροπών που ενεργούν γύρω από τον κατάντη πόδα οποιουδήποτε οριζόντιου επιπέδου.

Ορίζουμε το  $F_0$  ως τον λόγο του αθροίσματος όλων των ροπών αποκατάστασης της ευστάθειας (δηλ. θετικών),  $\Sigma M_{+ve}$ , με το άθροισμα όλων των ροπών ανατροπής,  $\Sigma M_{-ve}$ , έτσι:

$$F_0 = \Sigma M_{+ve} / \Sigma M_{-ve}$$

Τιμές του  $F_0$  που είναι μεγαλύτερες του 1.25 γενικά θεωρούνται αποδεκτές, αλλά  $F_0 > 1.5$  είναι επιθυμητό.

Η ανατροπή ενός πλήρους φράγματος βαρύτητας μεγάλου μεγέθους, είναι κάτι το απίθανο να συμβεί. Πιθανότερο είναι οι ροπές ανατροπής που καθορίζουν την εσωτερική εντατική κατάσταση να οδηγήσουν σε πιθανό ξεπέραςμα των επιτρεπομένων τάσεων, δηλαδή αστοχία στο κριτήριο ( $\gamma$ ).

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ

Για την ευστάθεια έναντι ολίσθησης υπολογίζεται η αντίσταση στην μετατόπιση που μπορεί να προκληθεί σε κάποιο επίπεδο. Συμβατικά εκφράζεται από έναν παράγοντα ασφάλειας έναντι της ολίσθησης  $F_s$ , που υπολογίζεται συνεκτιμώντας τις παρακάτω συνιστώσες του:

- παράγοντας ολίσθησης,  $F_{s_s}$ , sliding factor
- παράγοντας διατμητικής τριβής,  $F_{s_F}$  shear friction factor
- παράγοντας οριακής ισορροπίας,  $F_{LE}$  limit equilibrium factor

Ο  $F_{s_s}$  εκφράζει την λειτουργία της αντίστασης στην **απλή ολίσθηση** πάνω στο υπό μελέτη επίπεδο. Υποτίθεται ότι η αντίσταση είναι απλά της τριβής, και καμιά δύναμη διάτμησης ή συνοχής δε συμμετέχει. Το  $F_{s_s}$  ορίζεται σαν ο λόγος του αθροίσματος όλων των οριζόντιων φορτίων  $\Sigma H$ , προς το άθροισμα όλων των κάθετων φορτίων  $\Sigma V$ , δηλαδή για οριζόντιο επίπεδο αναφοράς:

$$F_{s_s} = \Sigma H / \Sigma V$$

και δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0.75

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΟΛΙΣΘΗΣΗ

Το  $F_{SF}$  ορίζει ολόκληρη την αντίσταση στη διάτμηση και την ολίσθηση για την κίνηση ενός επιπέδου (τμήματος) που μπορεί να κινηθεί με εφαρμογή οριζόντιας φόρτισης. Με αυτή τη προσέγγιση, η συνοχή και τα συστατικά τριβής δύναμης διάτμησης υπολογίζονται (για οριζόντιο επίπεδο) ως εξής:

$$F_{SF} = \frac{\Sigma V \square f_r + \tau_\delta \square L}{\Sigma H}$$

όπου

- $f_r$  : συντελεστής εσωτερικής τριβής
- $\tau_\delta$  : αντοχή σε διάτμηση του σκυροδέματος
- $L$  : πλάτος της βάσης του φράγματος

Θα πρέπει για συνήθη συνδυασμό φορτίσεων  $F_{SF} > 3.0$

## ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Θα πρέπει  $\tau < \tau_\delta$

όπου

$\tau_\delta$  : αντοχή σε διάτμηση του σκυροδέματος (40 έως 70 kP/cm<sup>2</sup>)

$\tau$  : μέση διατμητική τάση,  $\tau = \Sigma H / L$

**Έλεγχος σε εφελκυσμό και θλίψη**

Για την αποφυγή εφελκυστικών τάσεων θα πρέπει:  $\varepsilon < \frac{L}{6}$

$\varepsilon$  : εκκεντρότητα της ορθής δύναμης στη διατομή βάσης του φράγματος

$$\sigma_{1,2} = \frac{\Sigma V}{L} \left( 1 \pm \frac{6\varepsilon}{L} \right)$$

$\sigma_{1,2}$  : ακραίες τιμές των ορθών τάσεων στη θεωρούμενη διατομή