



Σεισμική τρωτότητα μνημείων

Μια προσπάθεια βελτίωσης των
μεθόδων αποτίμησης της
σεισμικής διακινδύνευσης
μνημείων και μνημειακών
συνόλων

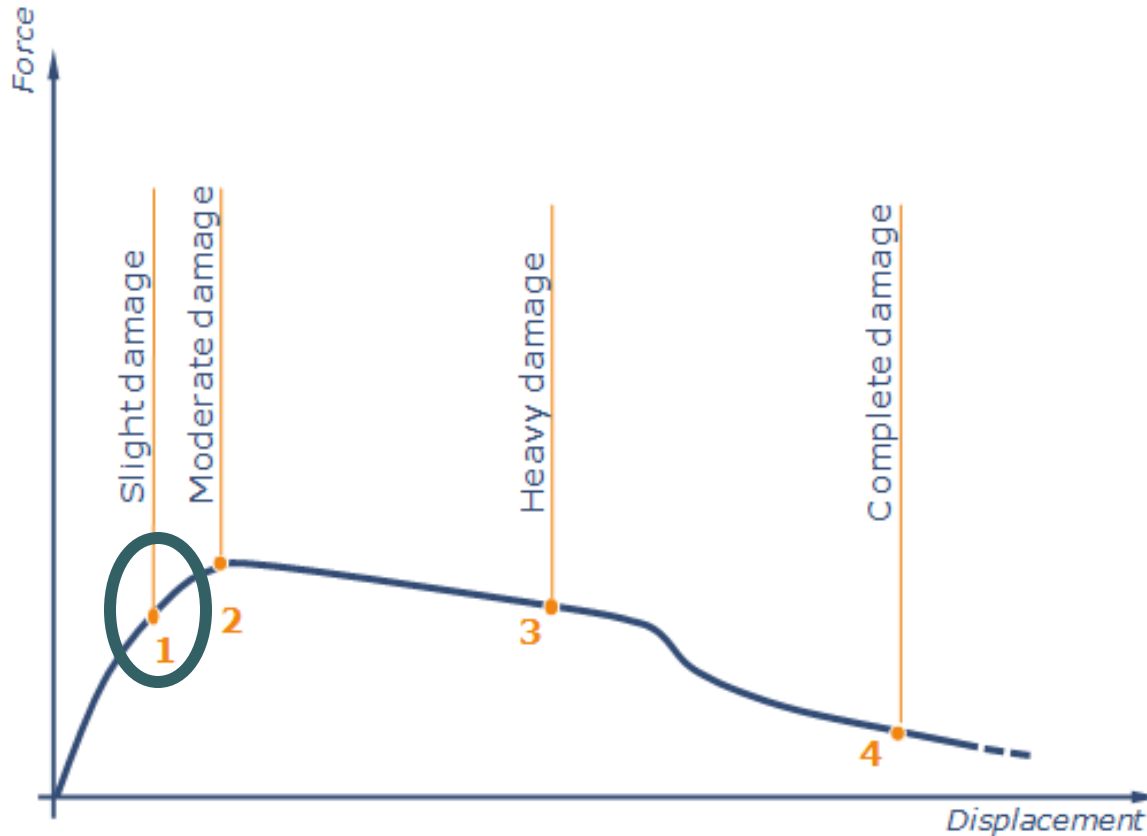
Δημήτρης Πιτιλάκης
Άννα Καρατζέτζου
Γρηγόριος Τσινίδης

- Τυπολογία μνημείων και μνημειακών συνόλων
- Σεισμικό φορτίο ανάλυσης και σχεδιασμού
- Εκτίμηση της τρωτότητας μνημειακών κατασκευών συνυπολογίζοντας και την Δ.Α.Ε.Θ.Α.
 - Καθορισμός του προβλήματος
 - Βιβλιογραφική επισκόπηση
 - Προτεινόμενη μεθοδολογία
 - Παραμετρικές αναλύσεις
 - Χαρακτηριστικά θεμελίωσης
 - Ιδιότητες εδάφους
 - Αποτελέσματα
 - Συμπεράσματα

Σεισμική τρωτότητα μνημείων

Τυπολογία μνημείων και
μνημειακών συνόλων

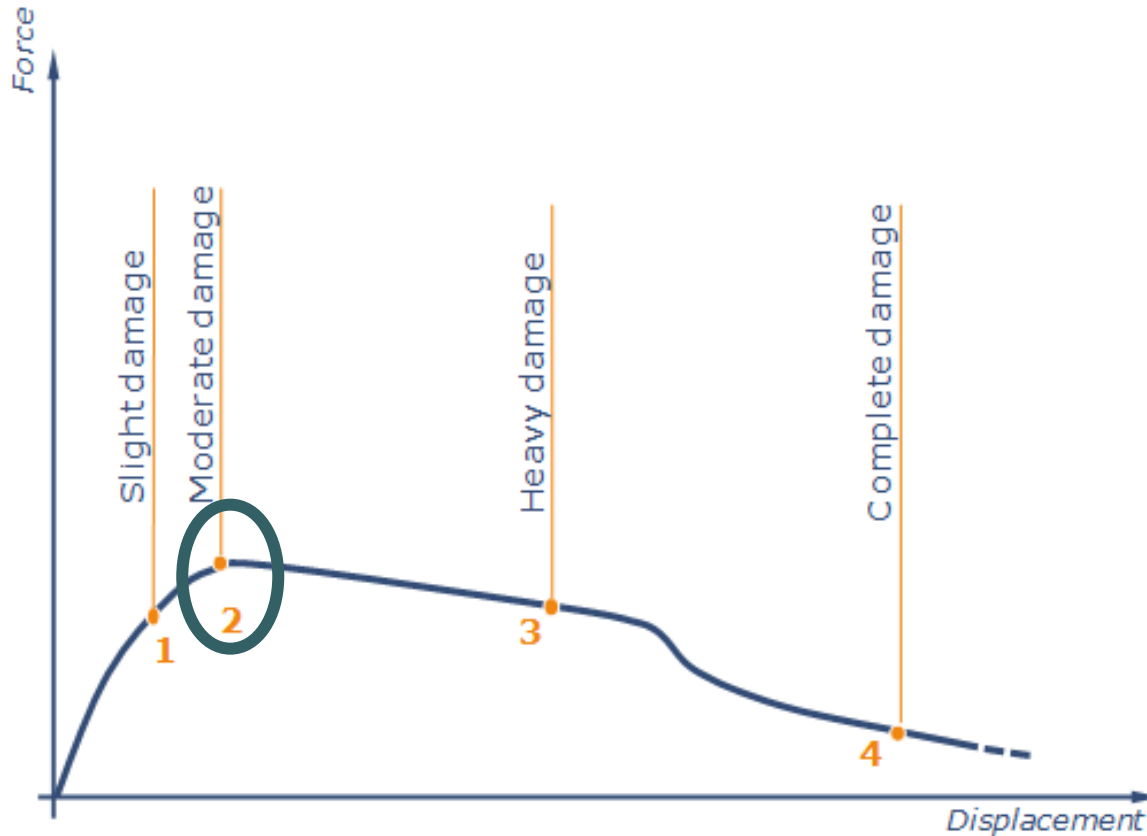
Δείκτες βλάβης βάσει της καμπύλης αντίστασης



1: ελαφριά βλάβη

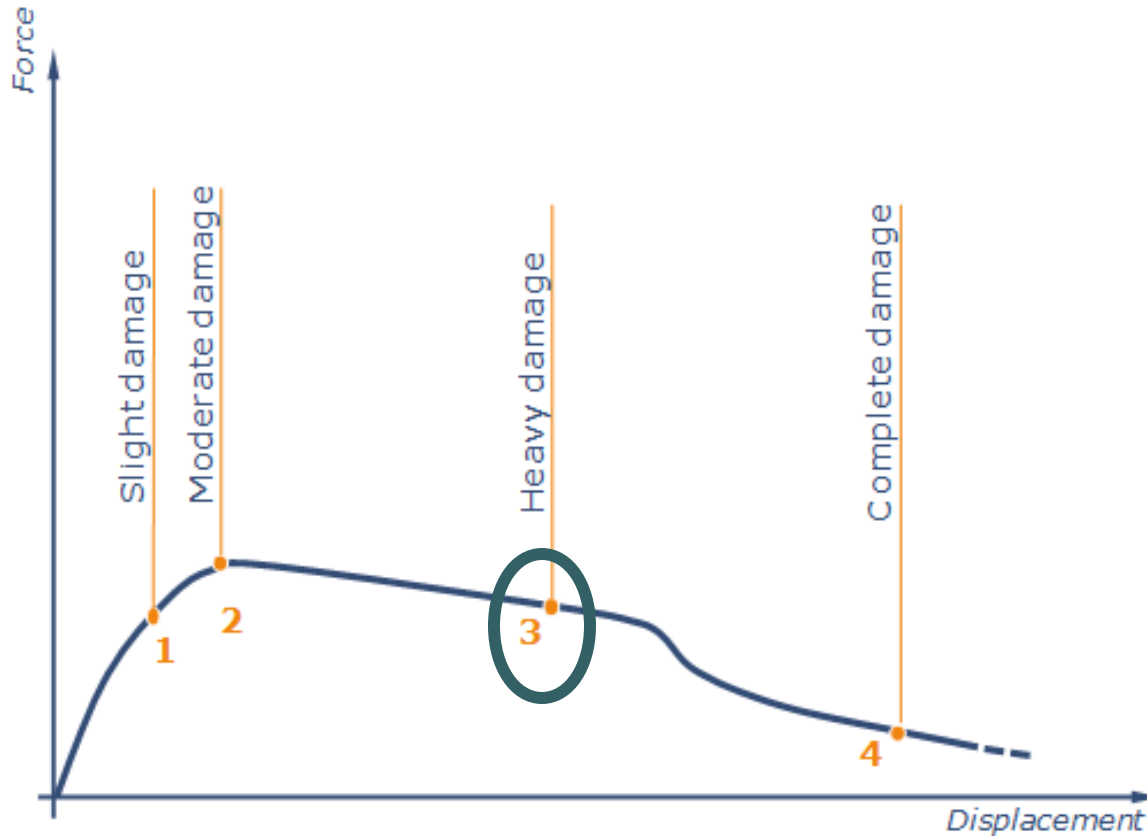
- Μικρή μείωση της δυσκαμψίας του συστήματος
- Ελαφριές βλάβες – παραμορφώσεις σε μεμονωμένα δομικά στοιχεία

Δείκτες βλάβης βάσει της καμπύλης αντίστασης



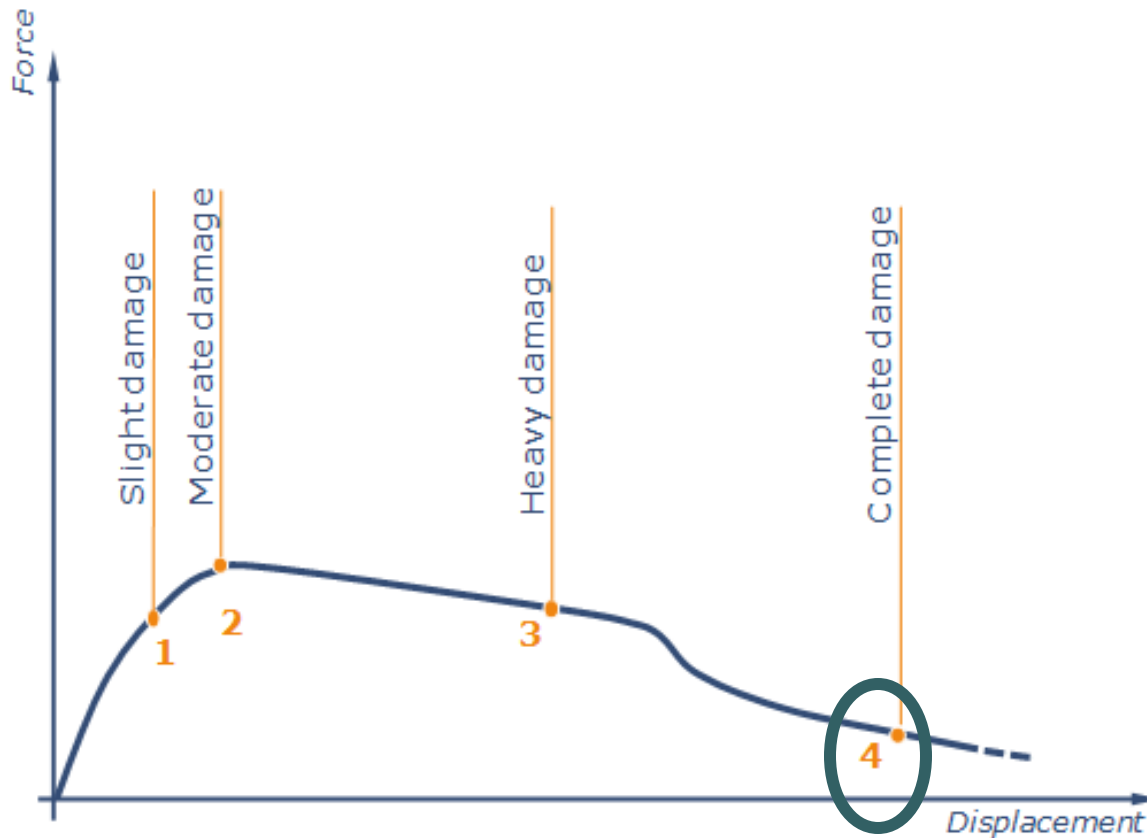
- 1: ελαφριά βλάβη
- 2: μέτρια βλάβη
 - Η κατασκευή στο σύνολό της φτάνει στη μέγιστη αντοχή της

Δείκτες βλάβης βάσει της καμπύλης αντίστασης



- 1: ελαφριά βλάβη
- 2: μέτρια βλάβη
- 3: βαριά βλάβη
 - Μείωση αντοχής
 - Σημαντική προσφορά της πλαστιμότητας

Δείκτες βλάβης βάσει της καμπύλης αντίστασης

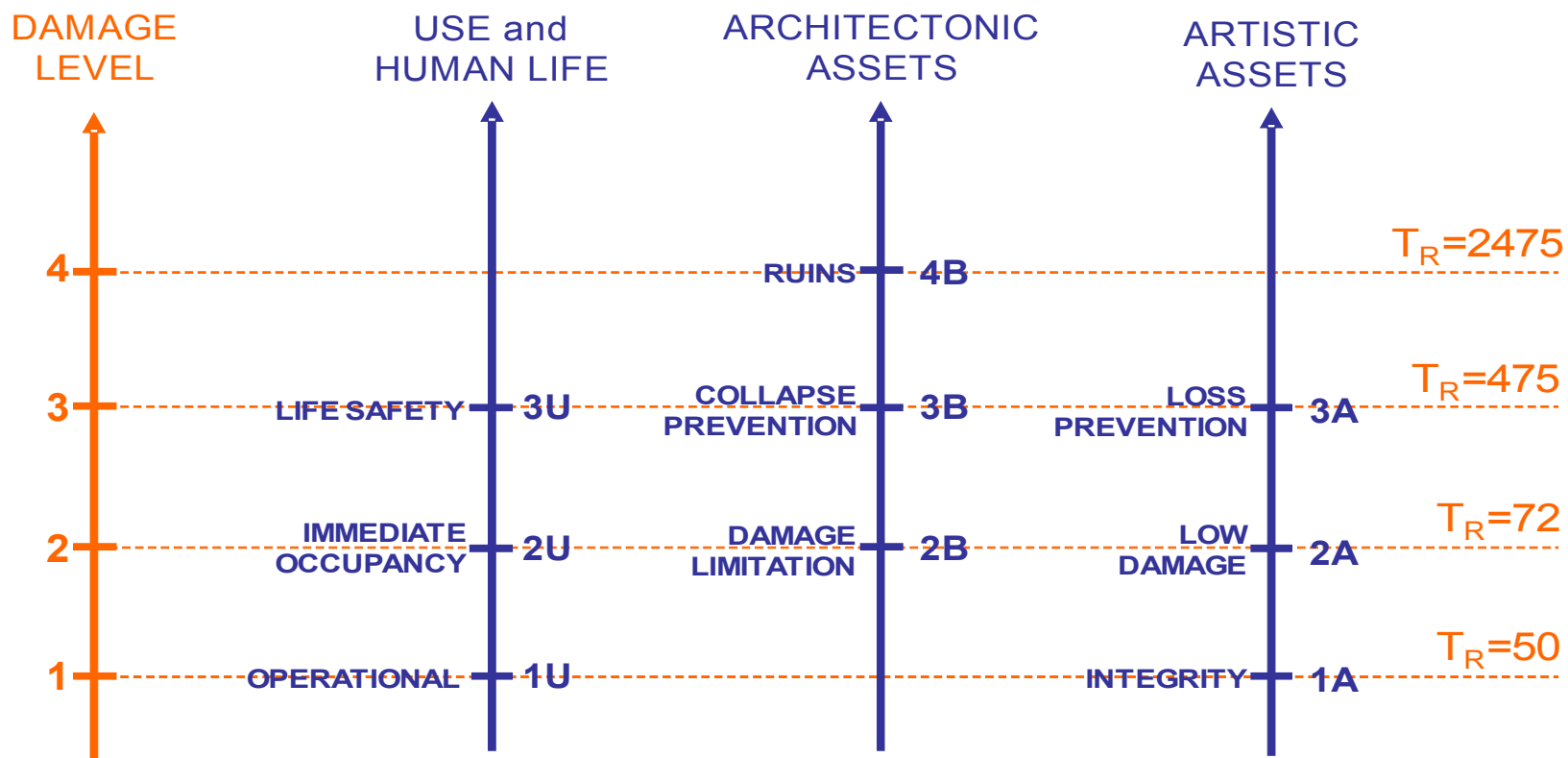


- 1: ελαφριά βλάβη
- 2: μέτρια βλάβη
- 3: βαριά βλάβη
- 4: κατάρρευση
 - Ψαθυρή αστοχία

Επίπεδα επιτελεστικότητας για μνημεία

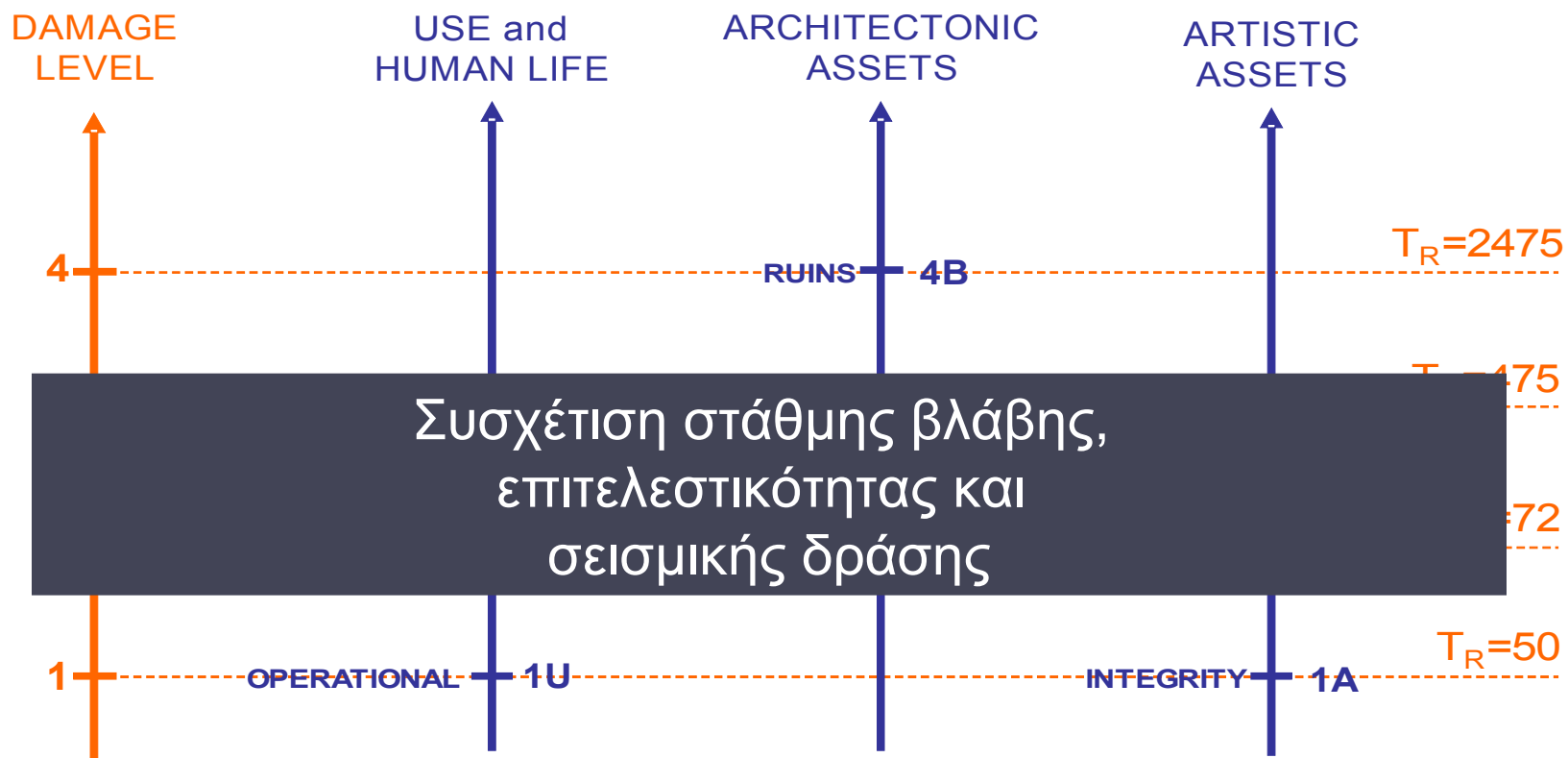
- Άμεση χρήση και προστασία ζωής (Use and human life)
- Προστασία του Φ.Ο. από βλάβες-αστοχίες (building conservation)
- Προστασία των λοιπών στοιχείων καλλιτεχνικής φύσης (artistic assets conservation)

Επίπεδα επιτελεστικότητας για μνημεία



	Use and Human life		Architectonic assets		Artistic assets	
T_R / γ_k (k=U,B,A)	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Ruins	Low Damage	Loss Prevention
72	2U				2A	
475		3U	3B			3A
2475				4B		

Επίπεδα επιτελεστικότητας για μνημεία



	Use and Human life		Architectonic assets		Artistic assets	
T_R / γ_k (k=U,B,A)	Immediate Occupancy	Life Safety	Collapse Prevention	Ruins	Low Damage	Loss Prevention
72	2U				2A	
475		3U	3B			3A
2475				4B		

Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



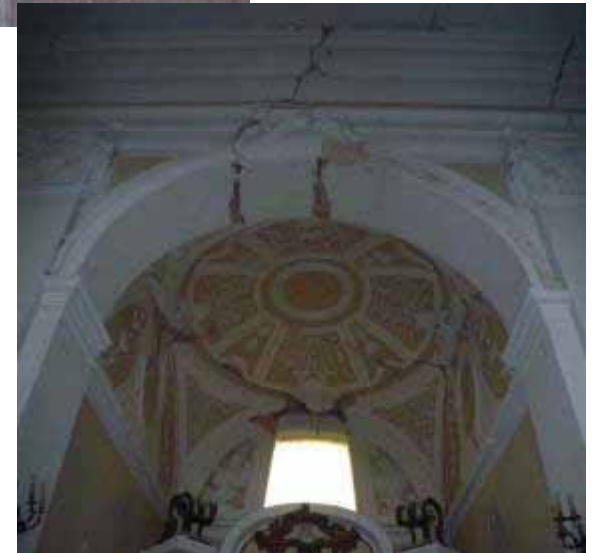
Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



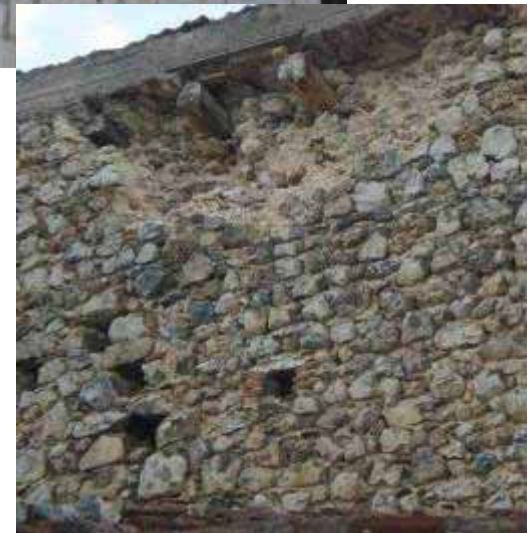
Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



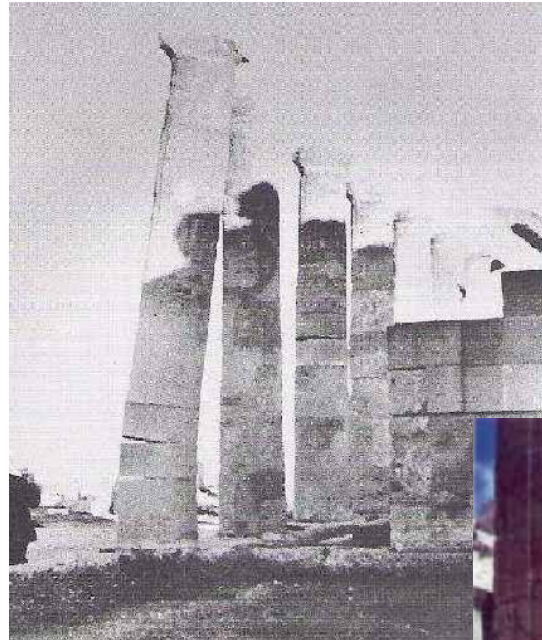
Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



Τύπος βλάβης σε επίπεδο μακροστοιχείου

Damage class	
A	Damage to in-plane loaded walls
B	Damage to out-of-plane loaded walls
C	Damage to monodimensional masonry elements
D	Damage to in-plane loaded arches (or vaults)
E	Local damage of masonry
F	Rocking of single or multiple blocks
G	Damage to roofs and floors
H	Drift of vaults in their horizontal plane
I	Damage to domes



Κατηγοριοποίηση μνημείων

- Με βάση τον κυρίαρχο μηχανισμό αστοχίας των μακροστοιχείων από τα οποία αποτελείται το εκάστοτε μνημείο

Παράδειγμα: Εκκλησίες



Μακροστοιχείο: πρόσοψη



➡ Damage class B

Κατηγοριοποίηση μνημείων

	Architectonic asset class	Sub-class
A	Assets subjected to prevailing in-plane damage	A1 - mansions
		A2 – castles
		A3 - religious houses
		A4 – caravansaries
		A5 - collective buildings
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane damage	B1 – churches
		B2 – mosques
		B3 – baptisteries
		B4 – mausoleums
		B5 – hammam
		B6 - modern theatres
		B7 - markets and bazaars
		B8 - industrial buildings
C	Assets characterized by monodimensional masonry elements	C1 – towers
		C2 - bell towers
		C3 – minarets
		C4 – lighthouses
		C5 – chimneys
D	Arched structures subject to in-plane damage	D1 - triumphal arches
		D2 – aqueducts
		D3 – bridges
		D4 – cloisters
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	E1 – fortresses
		E2 - defensive city walls
		E3 - Roman and Greek theatres
F	Blocky structures subjected to overturning	F1 - columns
		F2 – obelisks
		F3 – trilithes
		F4 - archaeological ruins
		F5 - Greek temples
G	Built systems subjected to complex damage	Historical centers

Κατηγοριοποίηση μνημείων

Architectonic asset class		Sub-class
A	Assets subjected to prevailing in-plane damage	A1 - mansions
		A2 – castles
		A3 - religious houses
		A4 – caravansaries
		A5 - collective buildings
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane damage	B1 – churches
		B2 – mosques
		B3 – baptisteries
		B4 – mausoleums
		B5 – hammam
		B6 - modern theatres
		B7 - markets and bazaars
		B8 - industrial buildings
C	Assets characterized by monodimensional masonry ele	C1 – towers
		C2 - bell towers
D	Arched structures subject to in-plane damage	
E	Massive structures in which local failure of masonry pr	
F	Blocky structures subjected to overturning	
G	Built systems subjected to complex damage	



Κατηγοριοποίηση μνημείων

Architectonic asset class		Sub-class
A	Assets subjected to prevailing in-plane damage	A1 - mansions
		A2 – castles
		A3 - religious houses
		A4 – caravansaries
		A5 – collective buildings
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane damage	B1 – churches
		B2 – mosques
		B3 – baptisteries
		B4 – mausoleums
		B5 – hammam
		B6 - modern theatres
		B7 - markets and bazaars
		B8 - industrial buildings
C	Assets characterized by monodimensional masonry	C1 – towers
		C2 - bell towers
D	Arched structures subject to in-plane damage	
E	Massive structures in which local failure of masonry	
F	Blocky structures subjected to overturning	
G	Built systems subjected to complex damage	

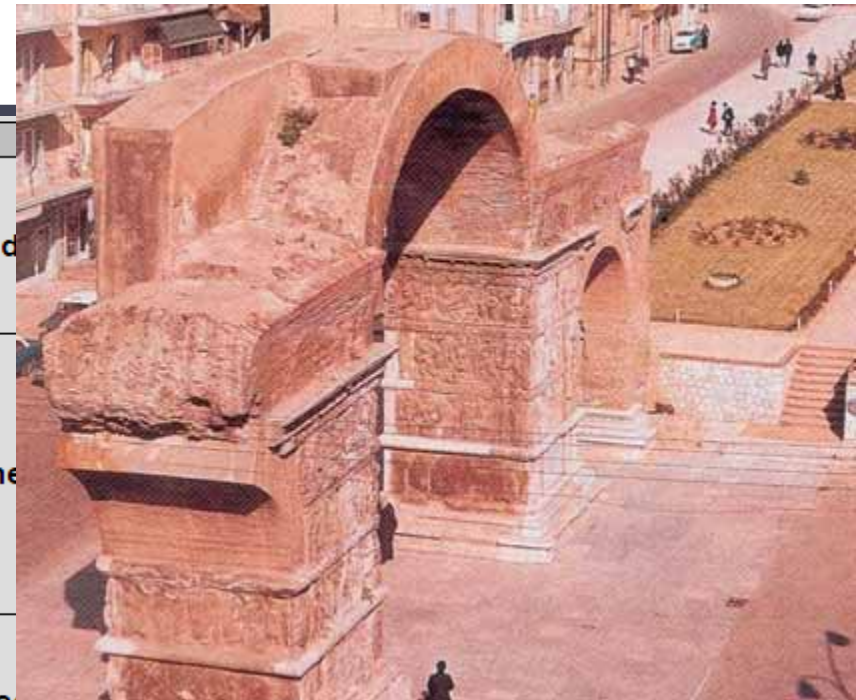


Κατηγοριοποίηση μνημείων

Architectonic asset class		Sub-class
A	Assets subjected to prevailing in-plane damage	A1 - mansions
		A2 – castles
		A3 - religious houses
		A4 – caravansaries
		A5 - collective buildings
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane damage	B1 – churches
		B2 – mosques
		B3 – baptisteries
		B4 – mausoleums
		B5 – hammam
		B6 - modern theatres
		B7 - markets and bazaars
		B8 - industrial buildings
C	Assets characterized by monodimensional masonry elements	C1 – towers
		C2 - bell towers
		C3 – minarets
		C4 – lighthouses
		C5 – chimneys
D	Arched structures subject to in-plane damage	D1 – triumphal arches
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	D2
		D3
		D4
F	Blocky structures subjected to overturning	E1
		E2
		E3
		F1
		F2
G	Built systems subjected to complex damage	F3
		F4
		F5
		Hi



Κατηγοριοποίηση μνημείων



Architectonic asset class		
A	Assets subjected to prevailing in-plane damage	
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane damage	
C	Assets characterized by monodimensional masonry elements	C0 – minarets C4 – lighthouses C5 – chimneys
D	Arched structures subject to in-plane damage	D1 – triumphal arches D2 – aqueducts D3 – bridges D4 – cloisters
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	E1 – fortresses E2 – defensive city walls E3 – Roman and Greek theatres
F	Blocky structures subjected to overturning	F1 – columns F2 – obelisks F3 – trilithes F4 – archaeological ruins F5 – Greek temples
G	Built systems subjected to complex damage	Historical centers

Κατηγοριοποίηση μνημείων

Architectonic asset class		
A	Assets subjected to prevailing in-plane	
B	Assets subjected to prevailing out-of-plane	
C	Assets characterized by monodimensional mass	
D	Arched structures subject to in-plane damage	D0 – chimneys D1 - triumphal arches D2 – aqueducts D3 – bridges D4 – colonnades
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	E1 – fortresses E2 - defensive city walls E3 - Roman and Greek theatres
F	Blocky structures subjected to overturning	F1 - columns F2 – obelisks F3 – trilithes F4 - archaeological ruins F5 - Greek temples
G	Built systems subjected to complex damage	Historical centers




Κατηγοριοποίηση μνημείων

Architectonic asset class		
A	Assets subjected to prevailing in-	
B	Assets subjected to prevailing out-c	
C	Assets characterized by monodimension	
D	Arched structures subject to in-p	
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	E2 - defensive city walls E3 - Roman and Greek theatres
F	Blocky structures subjected to overturning	F1 - columns F2 – obelisks F3 – trilithes F4 - archaeological ruins F5 - Greek temples
G	Built systems subjected to complex damage	Historical centers



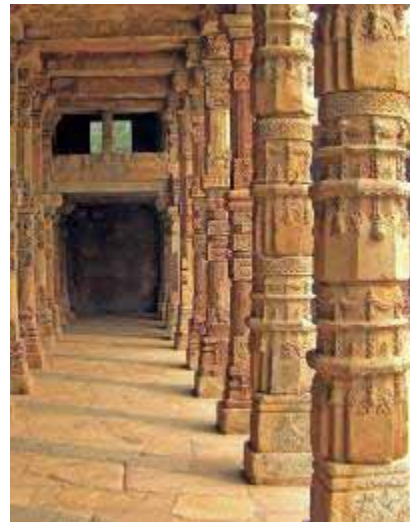
Κατηγοριοποίηση μνημείων

Architectonic asset class		
A	Assets subjected to prevailing	
B	Assets subjected to prevailing	
C	Assets characterized by monodimensi	
D	Arched structures subject to in-plane damage	D0 - chimneys D1 - triumphal arches D2 - aqueducts D3 - bridges D4 - cloisters
E	Massive structures in which local failure of masonry prevails	E1 - fortresses E2 - defensive city walls E3 - Roman and Greek theatres
F	Blocky structures subjected to overturning	F1 - columns F2 - obelisks F3 - trilithes F4 - archaeological ruins F5 - Greek temples
G	Built systems subjected to complex damage	Historical centers

Architectonic asset class		Damage class										
		A	B	C	D	E	F	G	H	I		
A	A1 - palaces										Occasional behaviour	
	A2 - castles											
	A3 - religious houses											
	A4 - caravansaries											
	A5 - collective buildings											
B	B1 - churches											
	B2 - mosques											
	B3 - baptisteries											
	B4 - mausoleums											
	B5 - hammam											
	B6 - modern theatres											
	B7 - markets and bazaars											
	B8 - industrial buildings											
C	C1 - towers										Possible behaviour	
	C2 - bell towers											
	C3 - minarets											
	C4 - lighthouses											
	C5 - chimneys											
D	D1 - triumphal arches											Prevailing behaviour
	D2 - aqueducts											
	D3 - bridges											
	D4 - cloisters											
E	E1 - fortresses											
	E2 - defensive city walls											
	E3 - Roman and Greek theatres											
F	F1 - columns											
	F2 - trilithes											
	F3 - obelisks											
	F4 - archaeological ruins											
	F5 - Greek temples											
G	Historical centers											

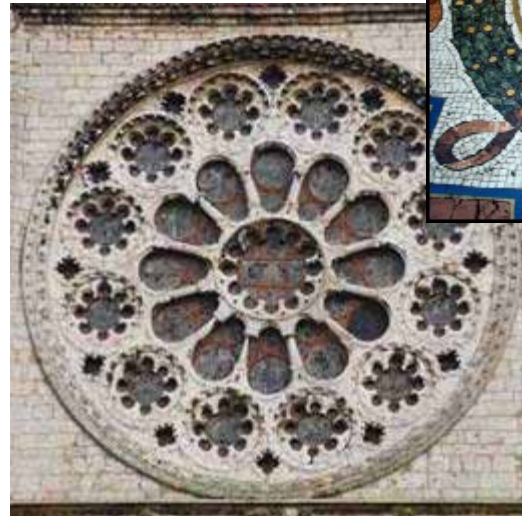
Κατηγοριοποίηση λοιπών στοιχείων καλλιτεχνικής φύσης

Class	
P	Artistic assets which are structural elements by themselves
Q	Artistic assets which are not structural elements (strictly connected to structural elements)
R	Artistic assets which are not structural elements (with own seismic response)



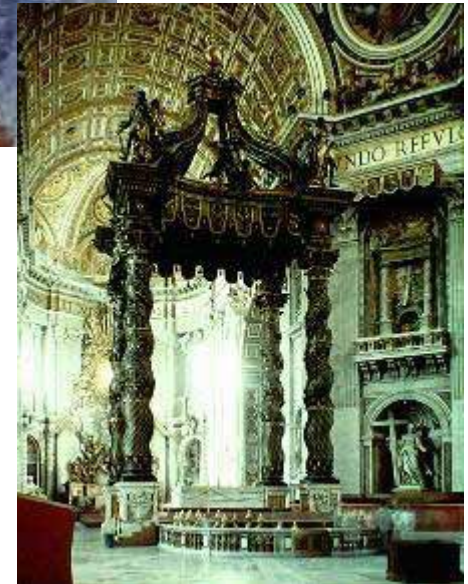
Κατηγοριοποίηση λοιπών στοιχείων καλλιτεχνικής φύσης

Class	
P	Artistic assets which are structural elements by themselves
Q	Artistic assets which are not structural elements (strictly connected to structural elements)
R	Artistic assets which are not structural elements (with own seismic response)



Κατηγοριοποίηση λοιπών στοιχείων καλλιτεχνικής φύσης

Class	
P	Artistic assets which are structural elements by themselves
Q	Artistic assets which are not structural elements (strictly connected to structural elements)
R	Artistic assets which are not structural elements (with own seismic response)



Σεισμική τρωτότητα μνημείων

Σεισμικό φορτίο ανάλυσης
και σχεδιασμού

- Καθορισμός του κατάλληλου σεναρίου σεισμικής επικινδυνότητας:
 - Πηγή, διαδρομή, τοπικές εδαφικές συνθήκες
 - Ανελαστική συμπεριφορά εδάφους,
 - Αλληλεπίδραση εδάφους – θεμελίωσης – ανωδομής
 - Κατακόρυφη συνιστώσα της εδαφικής κίνησης

Σεισμικό φορτίο ανάλυσης και σχεδιασμού

- Καθορισμός του κατάλληλου σεναρίου σεισμικής επικινδυνότητας
- Καθορισμός κατάλληλων δεικτών για την μέτρηση του σεισμικού φορτίου ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εκάστοτε μνημείου

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
 - Μνημεία κτισμένα σε κοιλάδες ή σε κορυφές λόφων - βουνών
 - Τοπογραφία
 - Εδαφικές συνθήκες

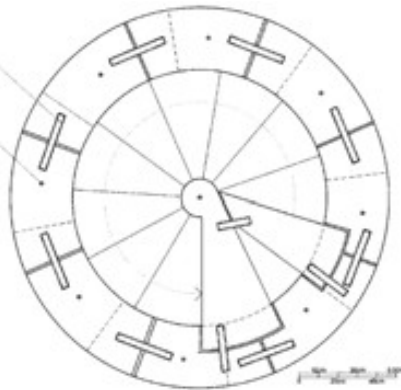


Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
 - Οι μνημειακές κατασκευές συνήθως αποτελούνται από υλικά με έντονα ψαθυρή συμπεριφορά (class A-G)

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
 - Class C (towers, bell towers, minarets etc)



Minaret of Suleiman Mosque,
Rhodes, Greece



Bell tower at Crna Vas, Slovenia

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
 - Class C (towers, bell towers, minarets etc)
 - Class B (churches, hammam, markets)



Rotonda, Thessaloniki,
Greece (306 A.D.)



Aghia Sofia, Thessaloniki,
Greece



Panagia tou Kastrou,
Rhodes, Greece

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
 - Class C (towers, bell towers, minarets etc)
 - Class B (churches, hammam, markets)
 - Class F (Greek temples, columns, obelisks)



Laterenense Obelisk,
Rome, Italy



Greek Temple,
Agrigento, Italy

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
- Όταν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης δεν επαρκούν για την περιγραφή του σεισμικού φορτίου
 - Class F



Temple of Antas
(Roman ruins),
Sardinia, Italy



Archaeological site of
Monte-Smith,
Rhodes, Greece

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
- Όταν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης δεν επαρκούν για την περιγραφή του σεισμικού φορτίου
 - Class F
 - Class G



Boccadasse historic center, Genoa, Italy



Medieval City of Rhodes, Greece

Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
- Όταν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης δεν επαρκούν για την περιγραφή του σεισμικού φορτίου
- Σεισμική διέγερση σε παραπάνω από μια διεύθυνση
 - Class A
 - Class B
 - Class C



Τυπολογίες μνημείων που χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής

- Τοπικές εδαφικές συνθήκες
- Αποτίμηση για ελαστική ή ανελαστική απόκριση;
- Απόκριση σε μεγάλες περιόδους
- Όταν τα ελαστικά φάσματα απόκρισης περιγραφή του σεισμικού φορτίου
- Σεισμική διέγερση σε παραπάνω από μια
- Μόνιμες μετακινήσεις
 - Class E



Νέα κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών

- Συντελεστές ενίσχυσης για τις εδαφικές κατηγορίες του EC8

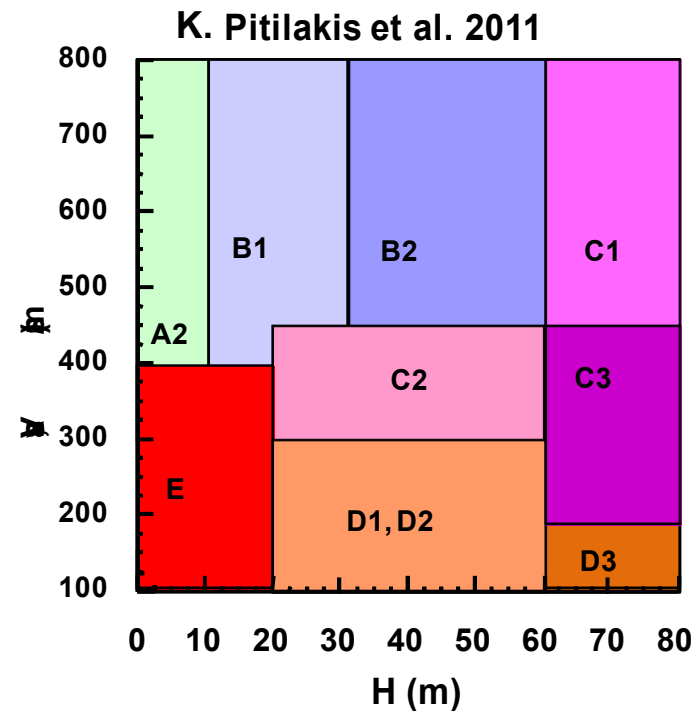
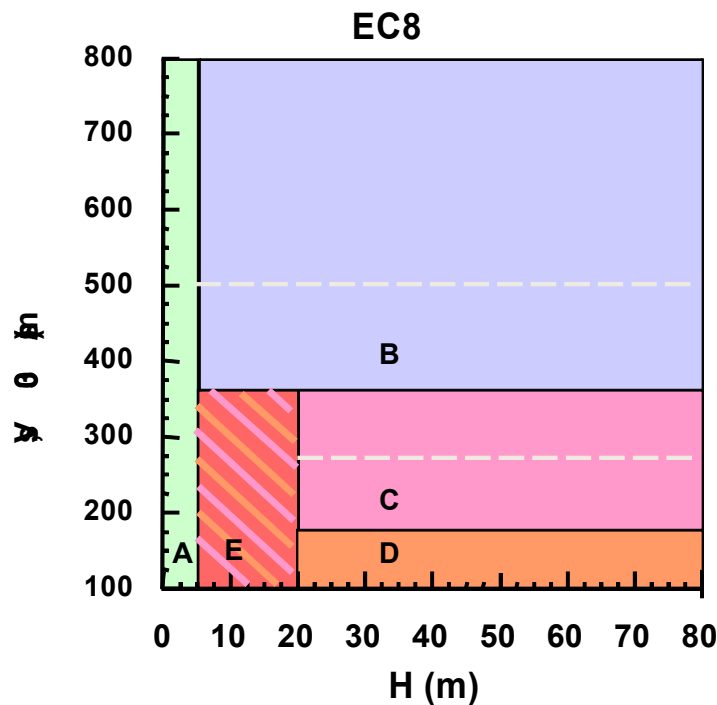
Soil Class	Type 2		Type 1	
	Proposed	EC8	Proposed	EC8
B	1.30	1.35	1.20	1.20
C	2.00	1.50	1.90	1.15
D	*	1.80	*	1.35
E	2.00^{**}	1.60	1.40^{**}	1.40

* need for more data

** estimated from Kik-Net surface and bedrock strong-motion records

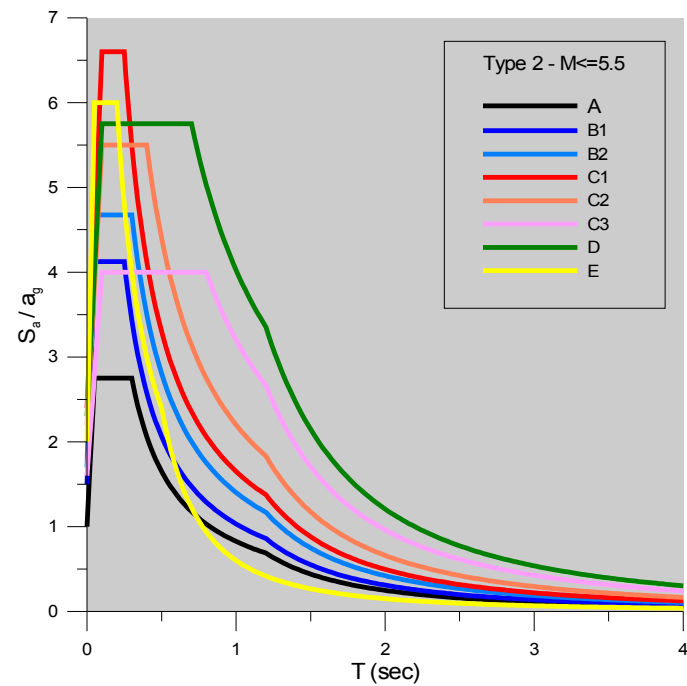
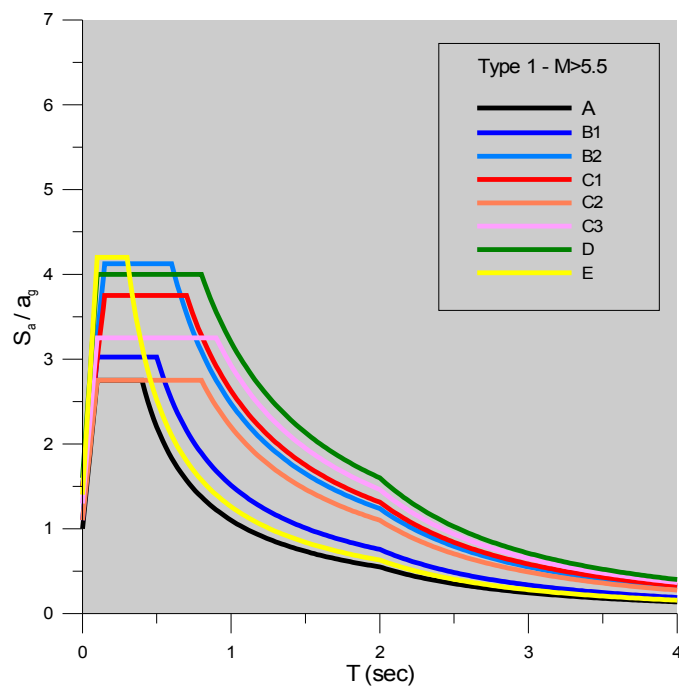
Νέα κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών

- Συντελεστές ενίσχυσης για τις εδαφικές κατηγορίες του EC8
- Κατηγοριοποίηση εδαφικών συνθηκών



Νέα κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών

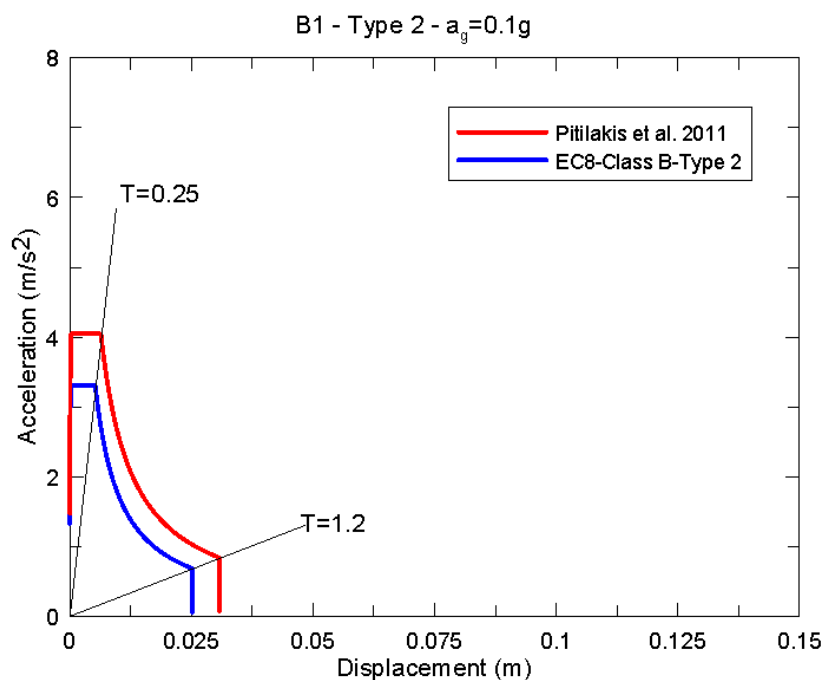
- Ελαστικά φάσματα απόκρισης επιταχύνσεων



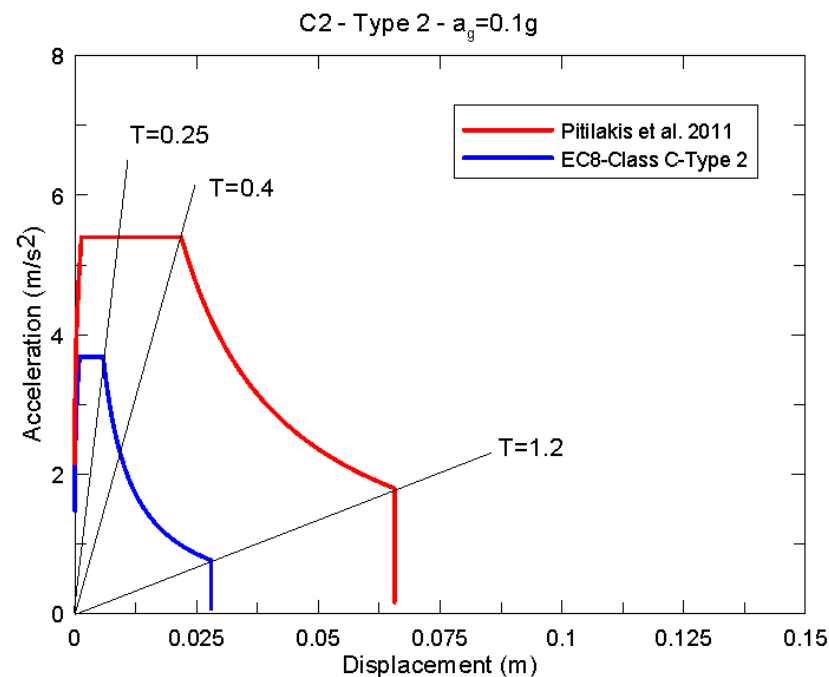
*Proposed Type 1 & Type 2 elastic acceleration response spectra
for Pitilakis et al. (2011) soil classes*

Νέα κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών

- Ελαστικά φάσματα απαίτησης



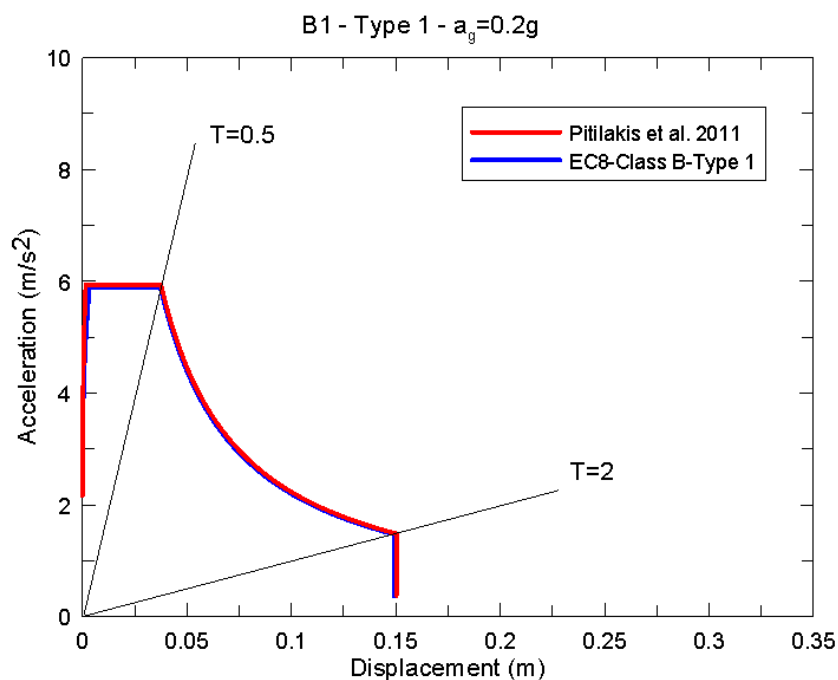
Προτεινόμενα φάσματα απαίτησης για κατηγορία εδάφους **B1** κατά Pitilakis et al. (2011), $a_{rock}=0.1g$, Type2



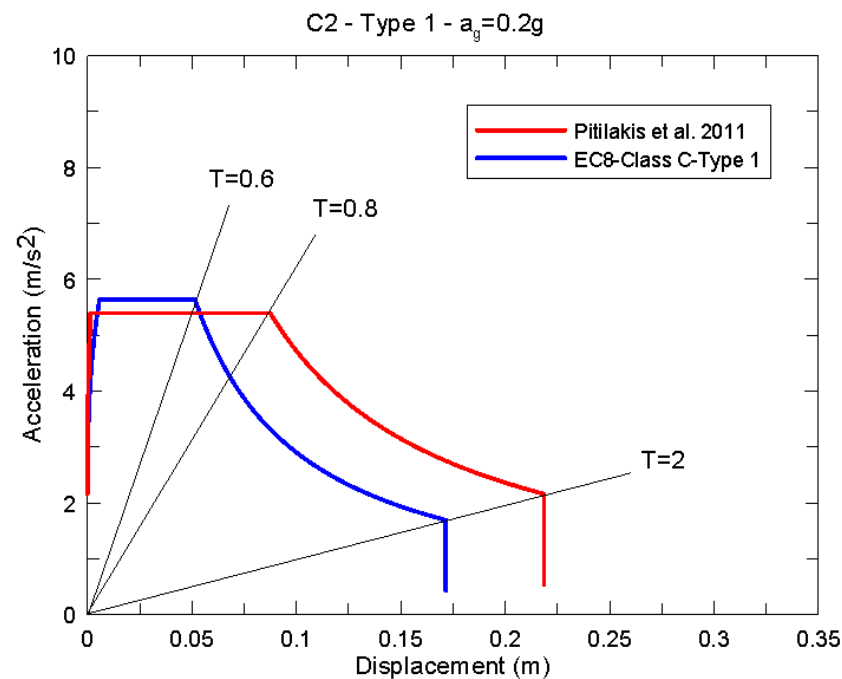
Προτεινόμενα φάσματα απαίτησης για κατηγορία εδάφους **C2** κατά Pitilakis et al. (2011), $a_{rock}=0.1g$, Type2

Νέα κατηγοριοποίηση των εδαφικών συνθηκών

- Ελαστικά φάσματα απαίτησης



Προτεινόμενα φάσματα απαίτησης για κατηγορία εδάφους **B1** κατά Pitilakis et al. (2011), $a_{rock}=0.2g$, **Type1**



Προτεινόμενα φάσματα απαίτησης για κατηγορία εδάφους **C2** κατά Pitilakis et al. (2011), $a_{rock}=0.2g$, **Type1**

Σεισμική τρωτότητα μνημείων

Εκτίμηση της τρωτότητας
μνημειακών κατασκευών
συνυπολογίζοντας και την
Δ.Α.Ε.Θ.Α.

Εκτίμηση της τρωτότητας μνημειακών κατασκευών συνυπολογίζοντας και την Δ.Α.Ε.Θ.Α.

Στόχος

- Προσδιορισμός δεικτών ερμείδησης για θεμελιώσεις από τοιχοποιία που υποβάλλονται σε σεισμική διέγερση
- Θεματικές ενότητες
 - Καθορισμός του προβλήματος
 - Βιβλιογραφική επισκόπηση
 - Προτεινόμενη μεθοδολογία
 - Παραμετρικές αναλύσεις
 - Χαρακτηριστικά θεμελίωσης
 - Ιδιότητες εδάφους
 - Αποτελέσματα
 - Συμπεράσματα

Καθορισμός του προβλήματος

Καθορισμός του προβλήματος

- Παραδοσιακά: πλήρως πακτωμένο σύστημα ακόμα και μνημειακές κατασκευές (όχι αλληλεπίδραση). Παρόλα αυτά, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από:

Καθορισμός του προβλήματος

- Παραδοσιακά: πλήρως πακτωμένο σύστημα ακόμα και μνημειακές κατασκευές (όχι αλληλεπίδραση). Παρόλα αυτά, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από:
 - Σημαντικές μάζες (παλάτια, κάστρα κτλ)



Piccolomini Palace, Pienza, Italy

Καθορισμός του προβλήματος

- Παραδοσιακά: πλήρως πακτωμένο σύστημα ακόμα και μνημειακές κατασκευές (όχι αλληλεπίδραση). Παρόλα αυτά, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από:
 - Σημαντικές μάζες (παλάτια, κάστρα κτλ)
 - Πολυπλοκότητα φέροντος οργανισμού (παλάτια, ναοί κτλ)



Piccolomini Palace, Pienza, Italy



Great Master's Palace, Rhodes, Greece

Καθορισμός του προβλήματος

- Παραδοσιακά: πλήρως πακτωμένο σύστημα ακόμα και μνημειακές κατασκευές (όχι αλληλεπίδραση). Παρόλα αυτά, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από:
 - Σημαντικές μάζες (παλάτια, κάστρα κτλ)
 - Πολυπλοκότητα φέροντος οργανισμού (παλάτια, ναοί κτλ)
 - Μεγάλη ευκαμψία (πύργοι, καμπαναριά κτλ)



Piccolomini Palace, Pienza, Italy



Great Master's Palace, Rhodes, Greece



Clocktower, Tripoli, Lebanon

Καθορισμός του προβλήματος

- Παραδοσιακά: πλήρως πακτωμένο σύστημα ακόμα και μνημειακές κατασκευές (όχι αλληλεπίδραση). Παρόλα αυτά, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από:
 - Σημαντικές μάζες (παλάτια, κάστρα κτλ)
 - Πολυπλοκότητα φέροντος οργανισμού (παλάτια, ναοί κτλ)
 - Μεγάλη ευκαμψία (πύργοι, καμπαναριά κτλ)



Piccolomini Palace, Pienza, Italy



Great Master's Palace, Rhodes, Greece



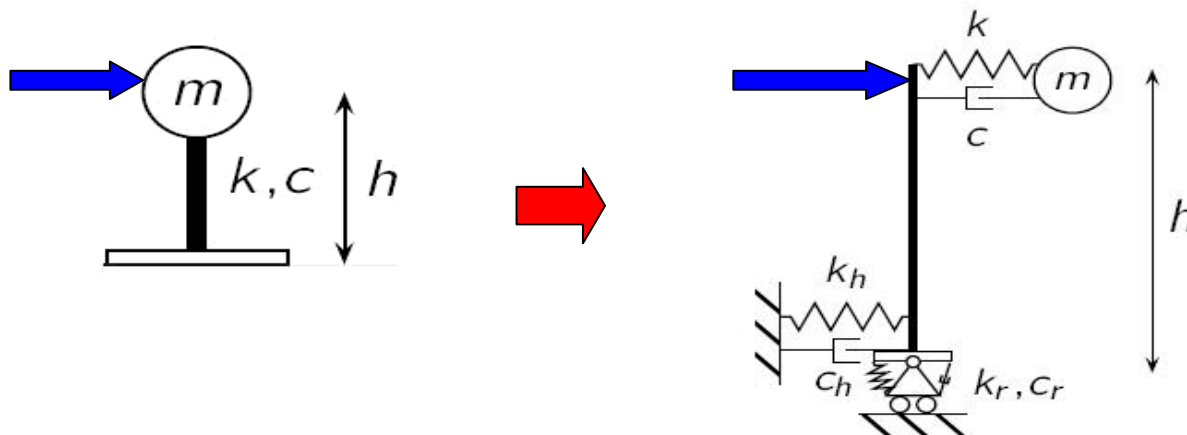
Clocktower, Tripoli, Lebanon

Έντονα φαινόμενα
αλληλεπίδρασης

Καθορισμός του προβλήματος

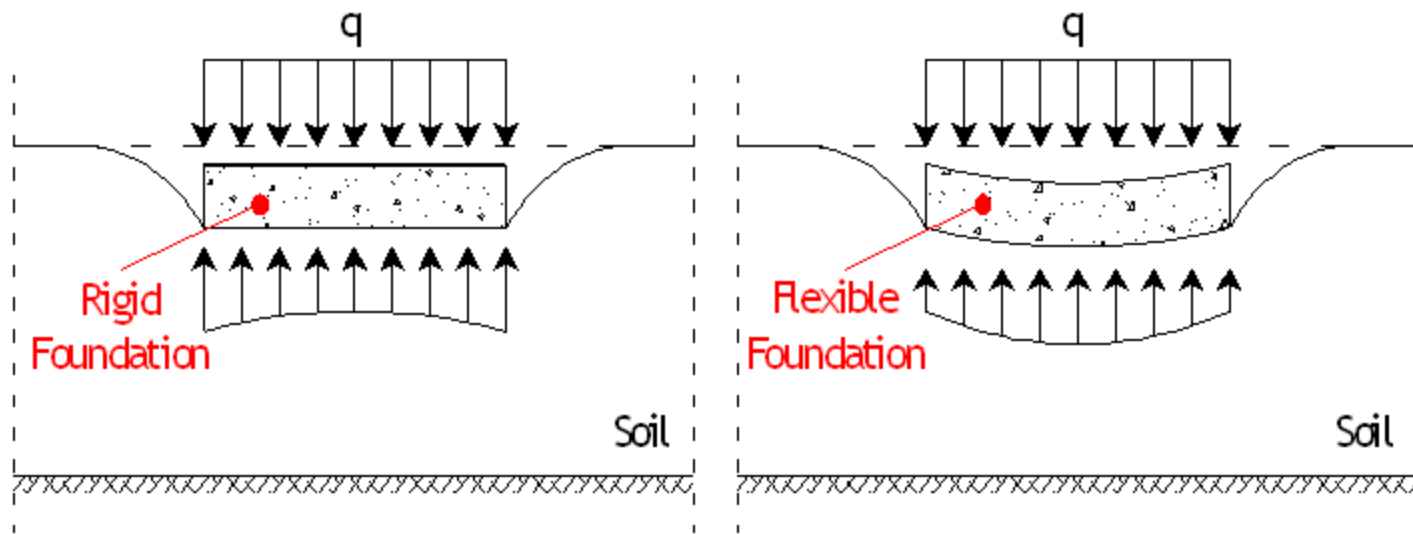
- Παραδοσιακά: πλήρως πακτωμένο σύστημα ακόμα και μνημειακές κατασκευές (όχι αλληλεπίδραση). Παρόλα αυτά, τα μνημεία χαρακτηρίζονται από:
 - Σημαντικές μάζες (παλάτια, κάστρα κτλ)
 - Πολυπλοκότητα φέροντος οργανισμού (παλάτια, ναοί κτλ)
 - Μεγάλη ευκαμψία (πύργοι, καμπαναριά κτλ)

Έντονα φαινόμενα αλληλεπίδρασης



Καθορισμός του προβλήματος

- Δείκτες εμπέδησης
 - Εκτίμηση δεικτών εμπέδησης ώστε να λαμβάνονται υπόψη:
 - Τα δυναμικά χαρακτηριστικά της θεμελίωσης
 - Η ενδοσιμότητα του υποκείμενου εδάφους
 - Η σχετική δυσκαμψία θεμελίωσης – εδάφους



Στερεό τάσεων στην περίπτωση άκαμπτης (αριστερά) και εύκαμπτης (δεξιά) θεμελίωσης

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Βιβλιογραφική Επισκόπηση

- Δυναμική απόκριση εύκαμπτων θεμελιώσεων
 - Παράμετροι που την επηρεάζουν
 - Σχετική δυσκαμψία εδάφους - θεμελίωσης
 - Στρωματογραφία υποκείμενου εδάφους
 - Κατανομή φορτίων
 - Δυσκαμψία και μάζα θεμελίωσης
 - Συχνотικό περιεχόμενο σεισμικής διέγερσης
 - Στατική απόκριση
 - Μεταβολή στατικής απόκρισης λόγω μεταβολής της σχετικής δυσκαμψίας εδάφους - θεμελίωσης
 - Δυναμική απόκριση
 - Η δυσκαμψία του εδάφους δεν επηρεάζεται σημαντικά για διεγέρσεις χαμηλού συχνотικού περιεχομένου

**Δεν υπάρχουν στην βιβλιογραφία σχέσεις υπολογισμού
δεικτών εμπέδησης για κατασκευές από τοιχοποιία !!**

Προτεινόμενη μεθοδολογία

Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

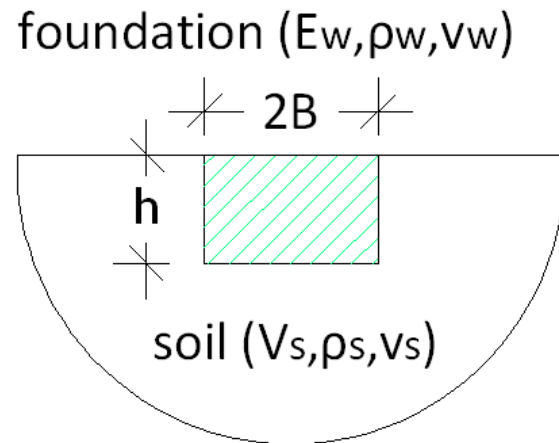


Τα τυπικά συστήματα εδάφους – θεμελίωσης μνημείων που χρησιμοποιήθηκαν αποκρίνονται σε χαμηλές συχνότητες

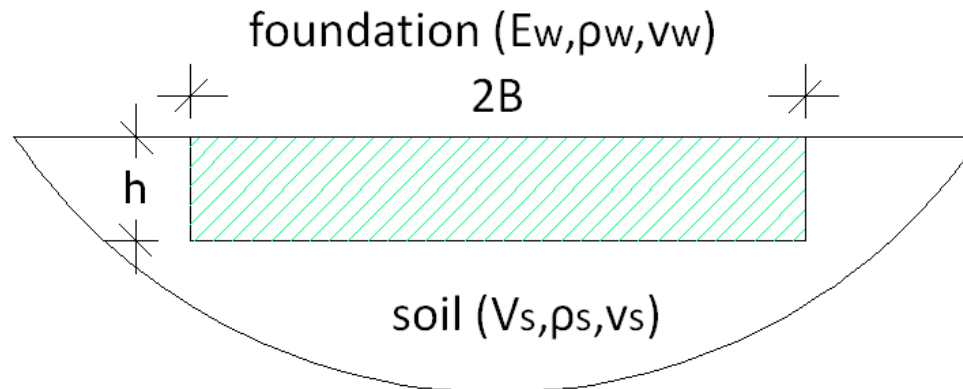


Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

- $h \times B = 1\text{m} \times 1\text{m}$



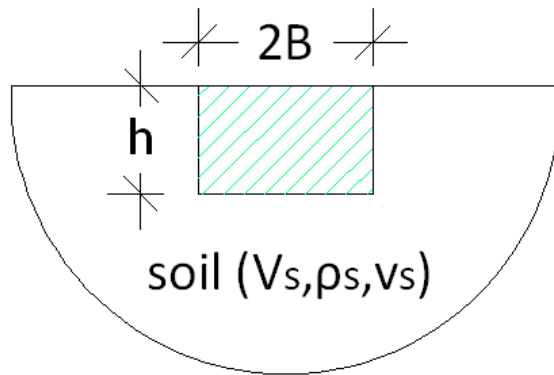
- $h \times B = 1\text{m} \times 5\text{m}$



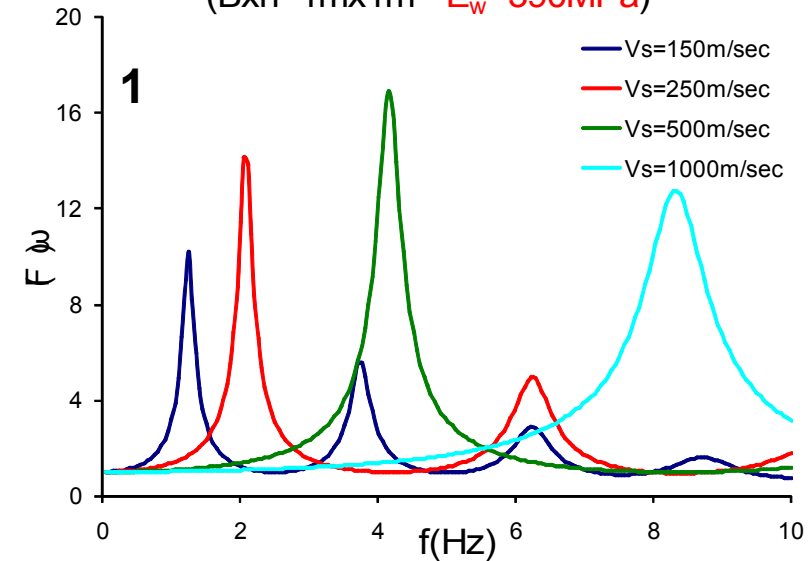
Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

- $h \times B = 1\text{m} \times 1\text{m}$

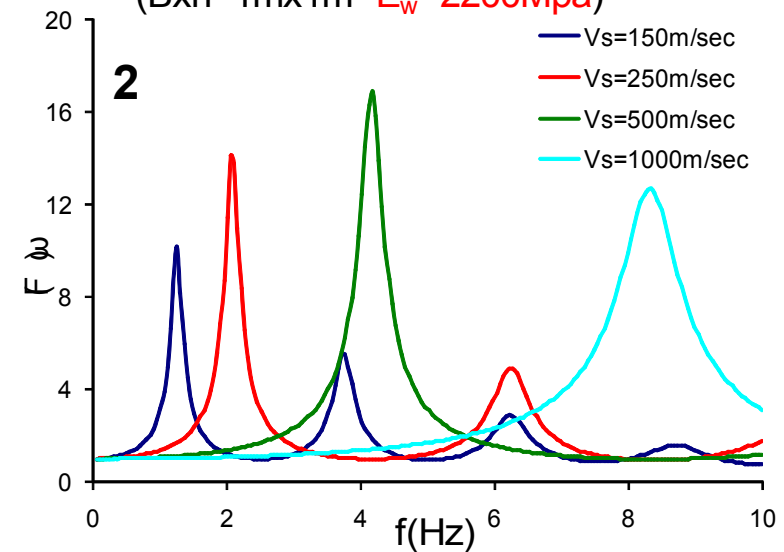
foundation (E_w, ρ_w, v_w)



Transfer Functions
($B \times h = 1\text{m} \times 1\text{m}$ - $E_w = 390\text{MPa}$)



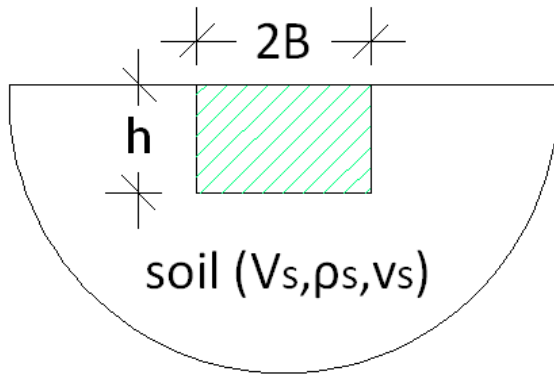
Transfer functions
($B \times h = 1\text{m} \times 1\text{m}$ - $E_w = 2200\text{Mpa}$)



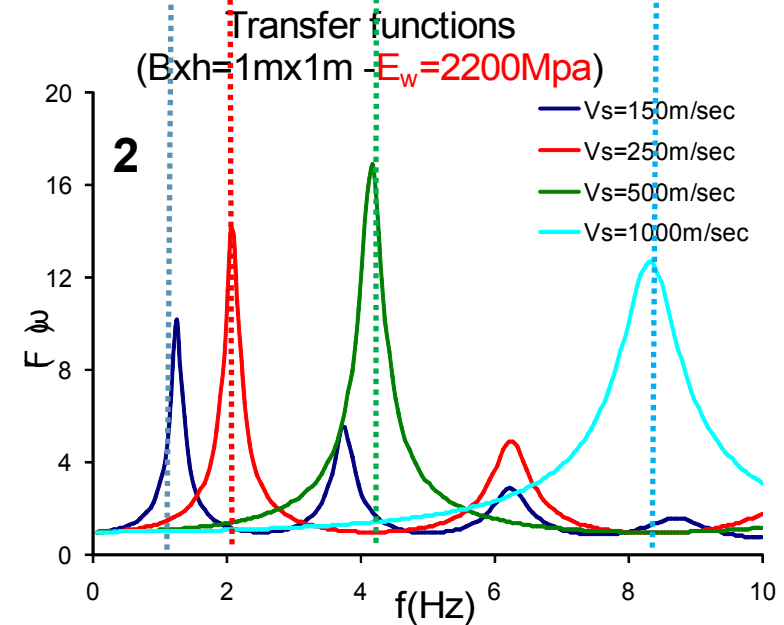
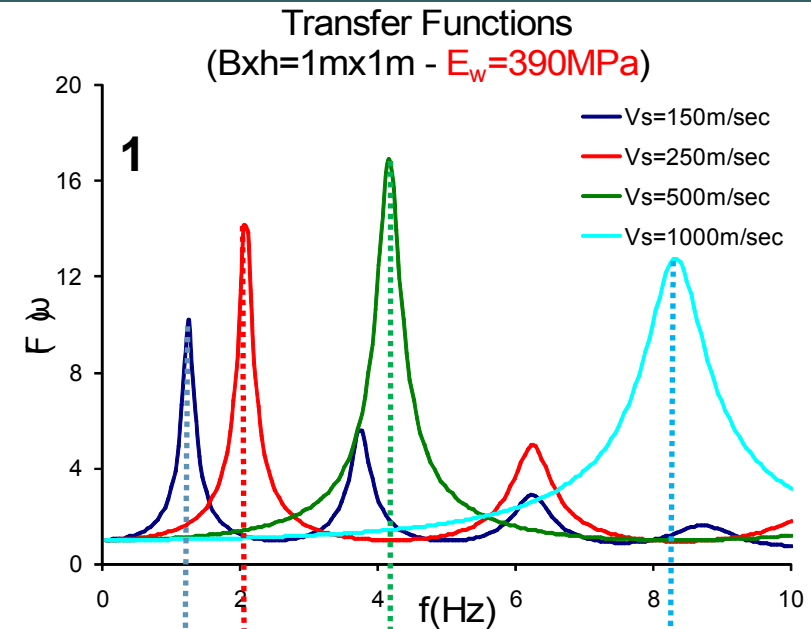
Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

- $h \times B = 1\text{m} \times 1\text{m}$

foundation (E_w, ρ_w, v_w)



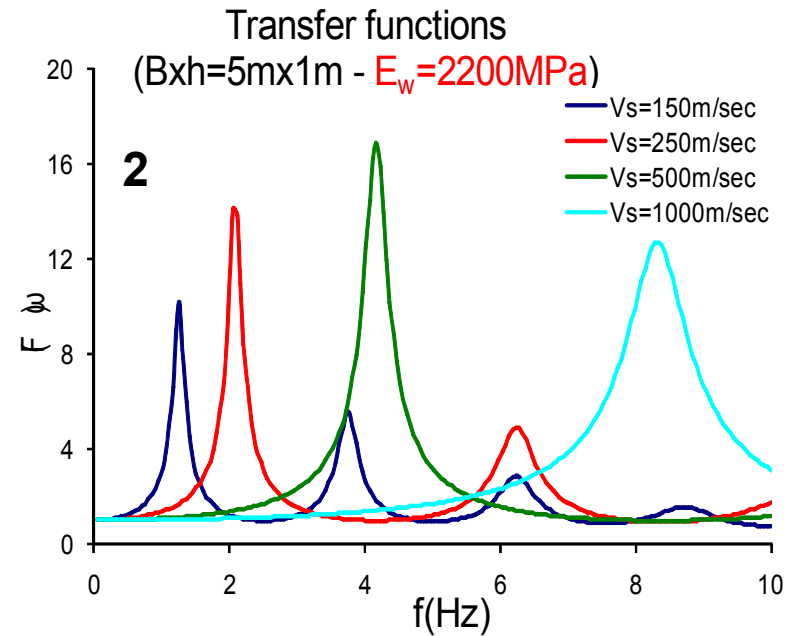
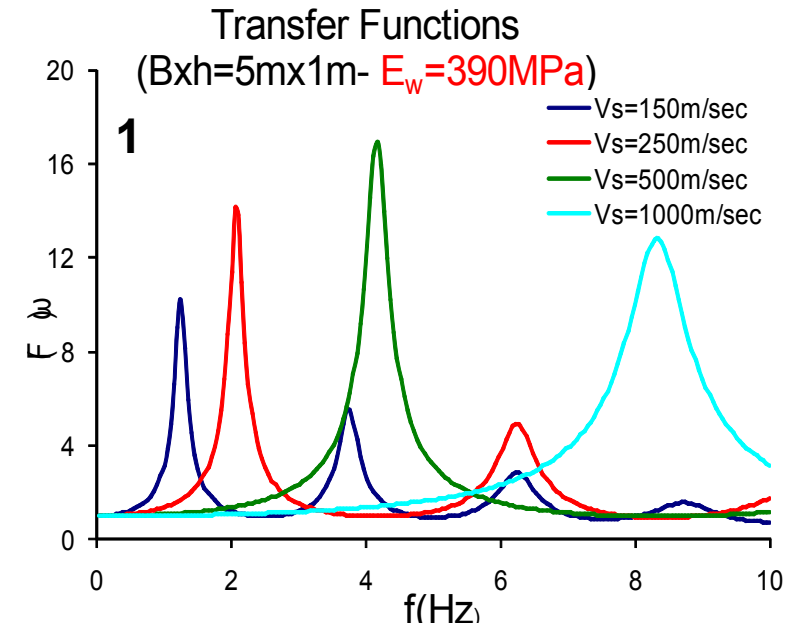
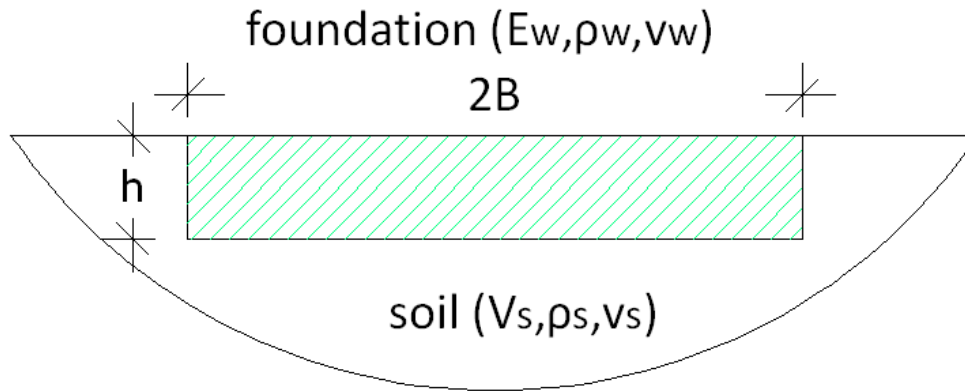
V_s (m/sec)	f (Hz)
1000	8.33
500	4.17
250	2.08
150	1.25



Οι συχνότητες απόκρισης του συστήματος εδάφους –
θεμελίωσης, συμπίπτουν με αυτές του εδάφους
 $SFS_{fr} = Soil_{fr}$ (για **μικρού μήκους** θεμέλια)

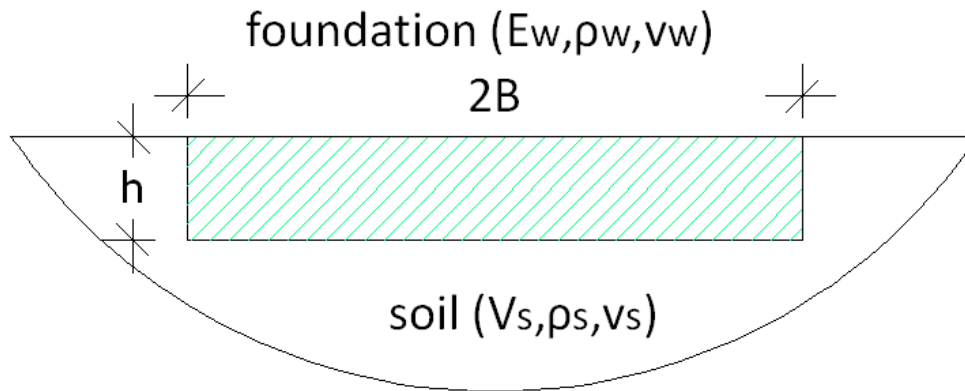
Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

- $h \times B = 1\text{m} \times 5\text{m}$

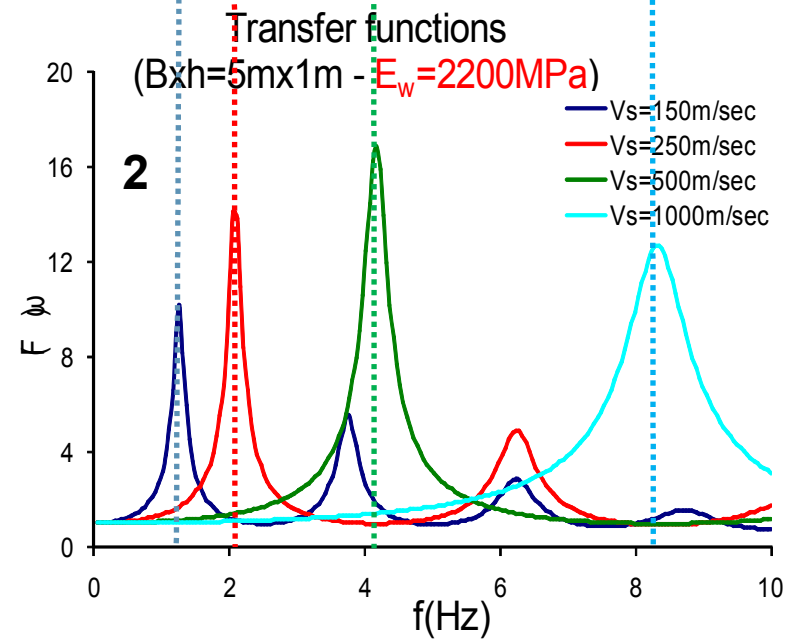
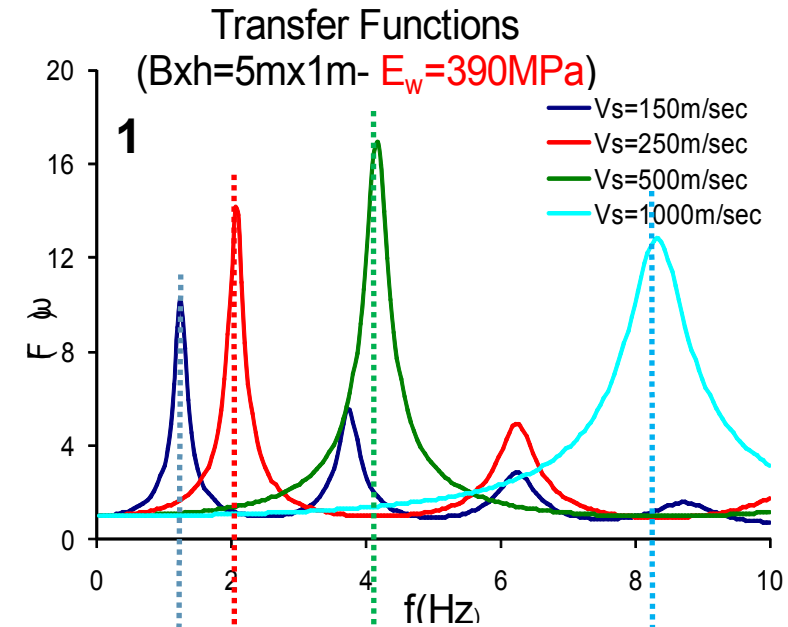


Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

- $h \times B = 1\text{m} \times 5\text{m}$



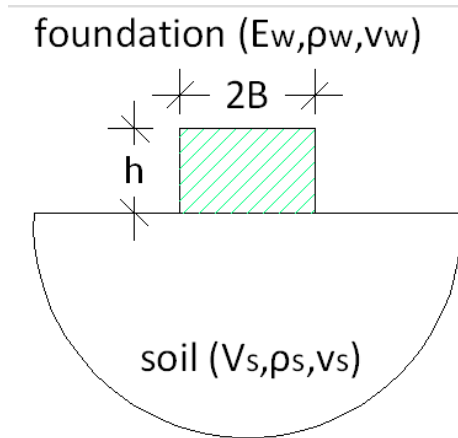
V_s (m/sec)	f (Hz)
1000	8.33
500	4.17
250	2.08
150	1.25



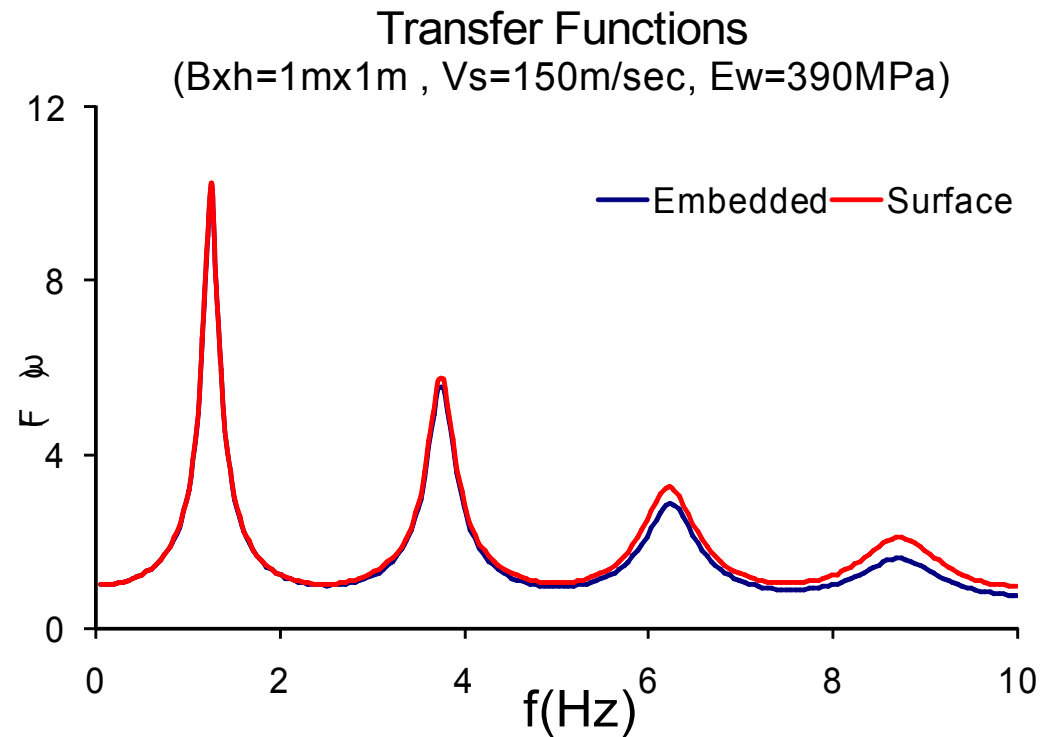
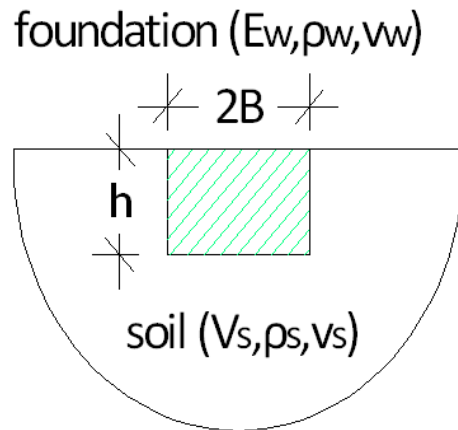
Οι συχνότητες απόκρισης του συστήματος εδάφους –
θεμελίωσης, συμπίπτουν με αυτές του εδάφους

$$\mathbf{SFS}_{fr} = \mathbf{Soil}_{fr} \text{ (για μεγάλου μήκους θεμέλια)}$$

- Surface foundations



- Embedded foundations



Οι συχνότητες απόκρισης του συστήματος εδάφους –
θεμελίωσης, συμπίπτουν με αυτές του εδάφους
 $SFS_{fr} = Soil_{fr}$ (για **επιφανειακές & εγκιβωτισμένες**
θεμελιώσεις)

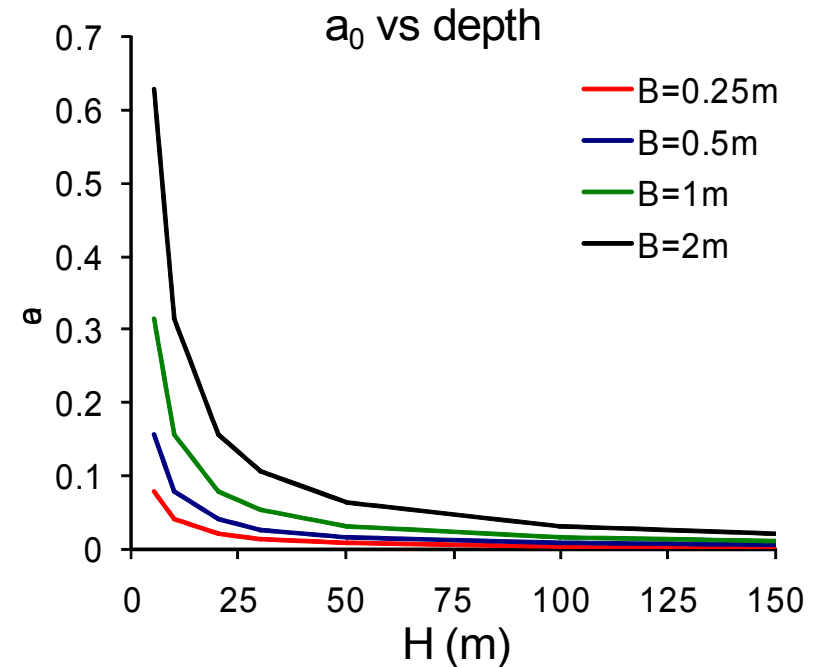
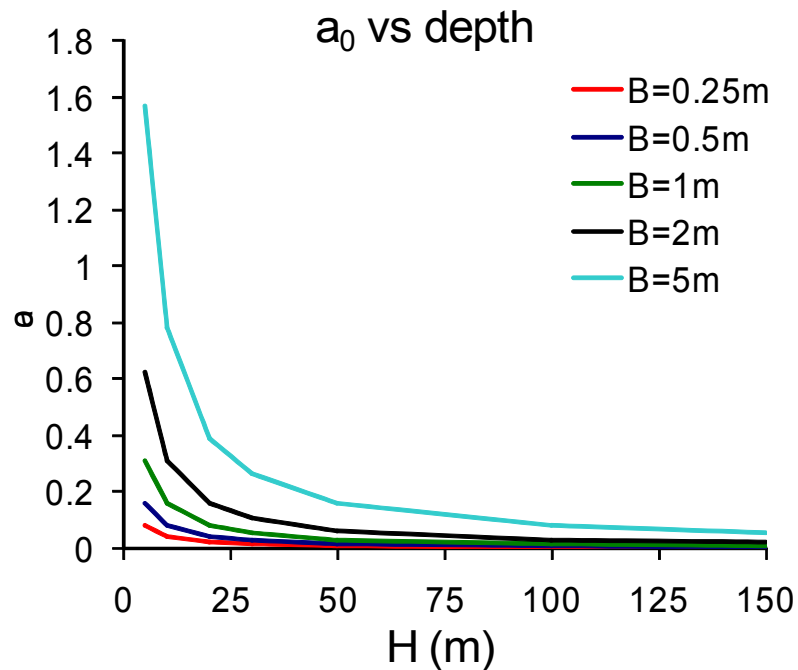
Επομένως, ο υπολογισμός του α_0 για

- τυπικές γεωμετρίες και
- τυπικά υλικά θεμελίωσης

για τις συχνότητες του εδάφους

Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

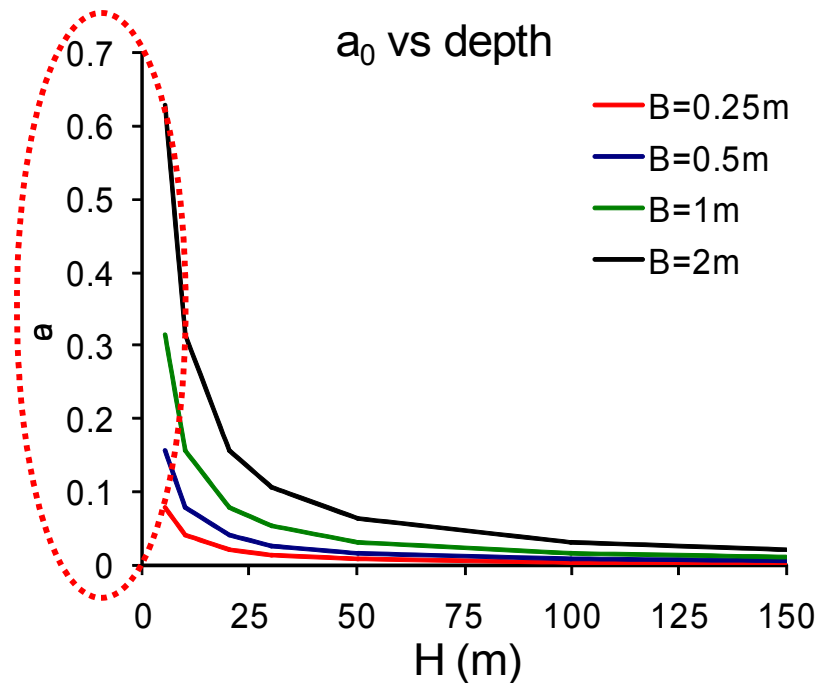
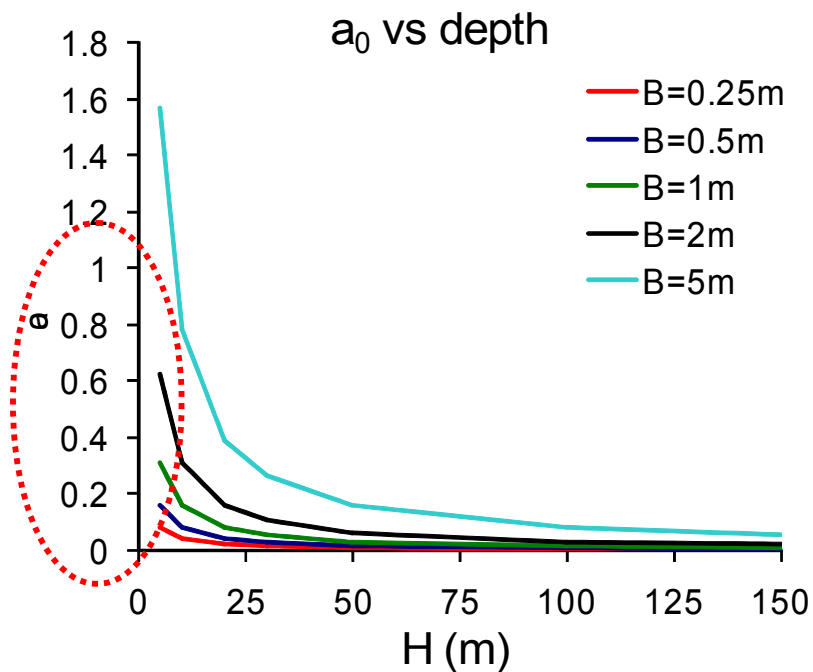
$$\bullet a_0 = \frac{\omega_0 B}{V_s} = \frac{(2\pi f_0) B}{V_s} = \frac{2\pi \frac{V_s \phi}{4H} B}{V_s} = \frac{\pi B}{2H}, \text{ (H: soil deposit depth)}$$



Dimensionless frequency vs. soil deposit depth for several foundations

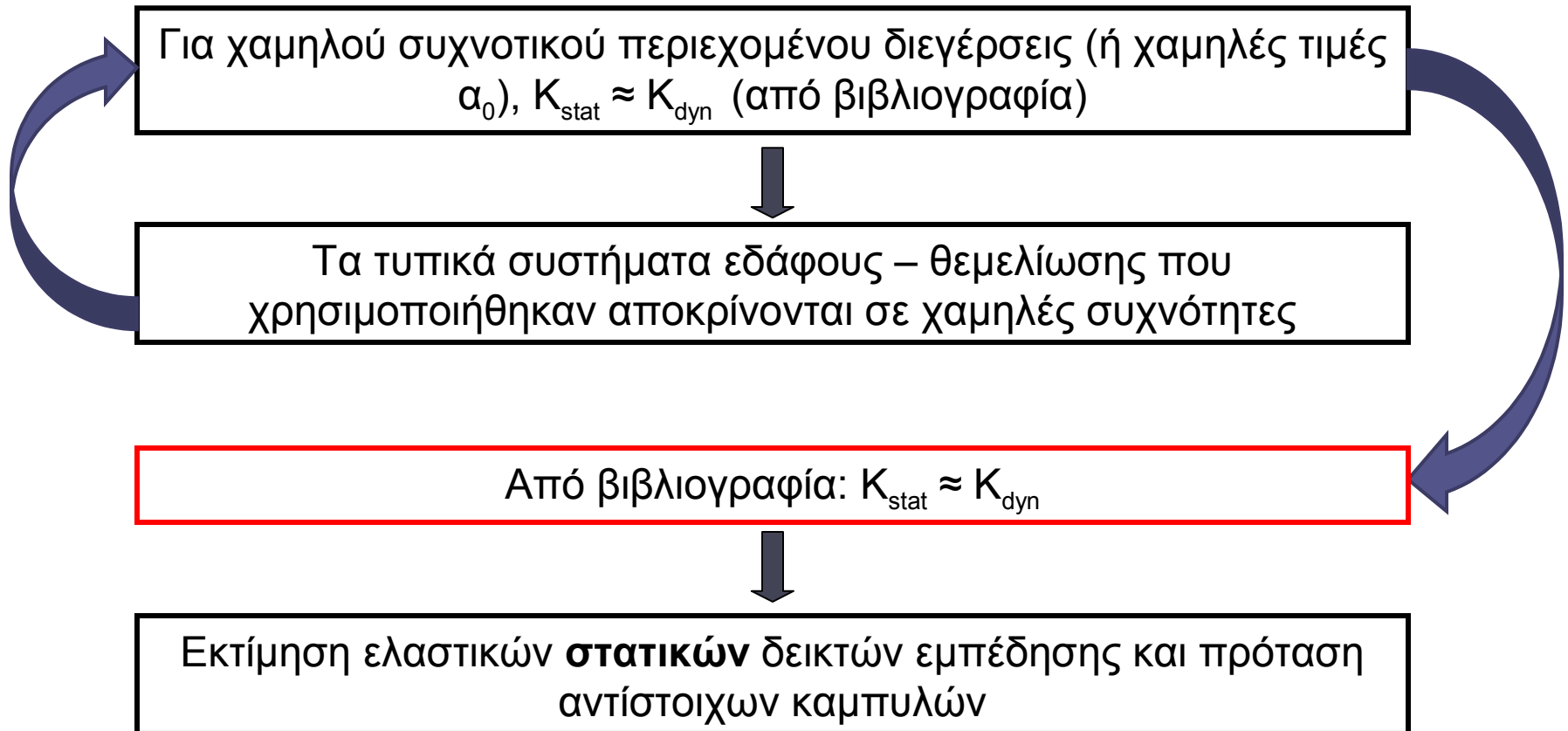
Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία

$$\bullet a_0 = \frac{\omega_0 B}{V_s} = \frac{(2\pi f_0) B}{V_s} = \frac{\zeta \eta \theta 2\pi \frac{V_s \phi}{4H} B}{V_s} = \frac{\pi B}{2H}, \text{ (H: soil deposit depth)}$$



Dimensionless frequency vs. soil deposit depth for several foundations

Προτεινόμενη μεθοδολογία - Συλλογιστική πορεία



Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

Partner ID	Asset #	Architectonic Assets Name	Plan dimensions (m ²)	Stories	Total Height (m)	Class [1]	Foundation type	Foundation wall thickness (m)	Foundation's depth (m)	Wall properties- modulus of elasticity E _w (MPa)	Wall properties- density ρ (kg/m ³)	Soil type at the level of foundation - V _s (m/s)
AUTH	1	Knights' Hospice of St. Catherine Rhodes	25 x 24	2	-	A	Embedded wall - shallow	0.25 - 0.50	0.6	2000	2200	Rock – V _s =800
AUTH	2	Neoclassical School Rhodes XIX century	31.7 x 32.6 (16.40 x 18.45_internal atrium)	1	7.40	A	Embedded wall – deep	0.85 - 1.00	1.15 – 2.35	1450	2200	Silty sand – clayed to Silty marl – V _s =280
AUTH	3	Hasan Beys' Mansion 18th cent.	14.50 x 13.25	2	8.00	A	Embedded wall - shallow	0.55-0.70	-	4000	2000	-
AUTH	4	Santa Maria del Castello 14th cent.	26.50 x 20.50	1	15	B	Embedded wall - shallow	-	-	2500	-	-
AUTH	5	Suleiman Mosque 16th cent.	26.65 x 13.05	1	15.9	B	Embedded wall - shallow	1	1.5	2000	-	Silty sand – clayed to Silty marl – V _s =280
AUTH	6	Arsenal de Milly 15th	10.50 x 24.80	1	7.7	B	Embedded wall – deep	2	1.9	1800	2000	V _s =300
AUTH	7	Spanish Inn 15th cent.	35.80 x 17.10	2	9.95	A	Embedded wall – deep	0.40-1.30	2	3000	2200	-
AUTH	8	St. Dimitrius Chapel	6.15 x 13.65	1	3.50	B	Embedded wall - shallow	0.65	0.35	2600	2000	-

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

Partner ID	Asset #	Architectonic Assets Name	Plan dimensions (m ²)	Stories	Total Height (m)	Class [1]	Foundation type	Foundation wall thickness (m)	Foundation's depth (m)	Wall properties- modulus of elasticity E_w (MPa)	Wall properties- density ρ (kg/m ³)	Soil type at the level of foundation - Vs (m/s)
AUTH	9	House at Uziel neighborhood	9.70 x 11.10	1	4.5	A	Embedded wall - shallow	0.60 - 0.70	0.5	2540	1800	-
UNIGE	10	Colombo palace (Sanremo, Italy)	X=61.75 ; Y= 46.05 (total area = 2178.1) (U-Shape Structure)	4	26	A5	Continuous	1.1+(0.2) [2]	-	1500	2100	Type C
UNIGE	11	Castelnuovo Belbo Palace (Italy)	X=32.28 ; Y= 14.27	3	14.3	A	Continuous	0.5+(0.2) [2]	-	3000	1900	Type C
UNIGE	12	Geva School (Sanremo, Italy)	X=17.60 ; Y= 9.24	3	12.14	A5	Continuous	0.55+(0.2) [2]	-	1500	2100	Type A
UNIGE	13	Meglia Palace (Sanremo, Italy)	X=15.10 ; Y= 20.55	4	11.25	A5	Continuous	0.55+(0.2) [2]	at different levels	1950	2100	Type C
UNIGE	14	Castillo School (Sanremo, Italy)	X=35.61 ; Y= 18.10 (T-Shape Structure)	3	11.6	A5	Continuous	0.63+(0.2) [2]	at different levels	1500	2100	Type A
UNIGE	15	Vigo Palace (Sanremo, Italy)	X=15.95 ; Y= 32.51	3	11.55	A5	Continuous	0.6+(0.2) [2]	-	1500	2100	Type C

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

Partner ID	Asset #	Architectonic Assets Name	Plan dimensions (m ²)	Stories	Total Height (m)	Class [1]	Foundation type	Foundation wall thickness (m)	Foundation's depth (m)	Wall properties- modulus of elasticity E _w (MPa)	Wall properties- density ρ (kg/m ³)	Soil type at the level of foundation - Vs (m/s)
UNIGE	16	Ardinghelli Palace (L'Aquila, Italy)	X=28.08 ; Y= 39.40	3	13.05	A	Continuous	0.85+(0.2) [2]	-	1230 (Class 1- QB) 1230 (Class 2- QA)	2000 (Class 1- QB) 2000 (Class 2- QA)	Type A
UNIGE	17	Bell Tower of San Daniel Church (Capoluogo, Italy)	X=6.00 ; Y= 6.00	-	37.45	C2	Continuous	1.50+(0.4) [2]	-	1740	2100	Type A
UNIGE	18	Bell Tower of Ognissanti Church (Mels, Italy)	X=4.90 ; Y= 4.90	-	32.29	C2	Continuous	0.95+(0.4) [2]	-	2580	2200	Type A
UNIGE	19	Bell Tower of San Leonardo Abate Church (Capoluogo, Italy)	X=4.70 ; Y= 4.70	-	26.45	C2	Continuous	1.10+(0.4) [2]	-	1740	2100	Type A
UNIGE	20	Bell Tower of San Marco Church (Gaio, Italy)	X=3.25 ; Y= 3.25	-	16.35	C2	Continuous	0.75+(0.3) [2]	-	1230	2000	Type A
UNIGE	21	Bell Tower of San Pietro Apostolo Church (Capoluogo, Italy)	X=5.50 ; Y= 5.50	-	32.2	C2	Continuous	-	-	1230	2000	Type A
UNIGE	22	Church of San Giovanni a Mare (Napoli, Italy)	X=37.35 ; Y= 18.70	-	11.6	B1	Continuous below walls and isolated below pillars and columns	0.8+(0.2) [2]	-	1100	1700	Sand soil (close to the sea)

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

Partner ID	Asset #	Architectonic Assets Name	Plan dimensions (m ²)	Stories	Total Height (m)	Class [1]	Foundation type	Foundation wall thickness (m)	Foundation's depth (m)	Wall properties- modulus of elasticity E_w (MPa)	Wall properties- density ρ (kg/m ³)	Soil type at the level of foundation - V_s (m/s)
UNIGE	23	Church of Sant'Ippolisto Martire ad Atripalda (Napoli, Italy)	X=28 ; Y= 14.80	-	14.6	B1	Continuous below walls and isolated below pillars and columns	0.8+(0.2) [2]	-	1100	1700	Rigid soil
UNIGE	24	Cathedral of Vicoforte (Cuneo, Italy)	X=74.20 ; Y= 51.00	-	22	B1	Continuous below walls and isolated below pillars and columns	1.8+(0.4) [2]	-	1600	1800	Clay soil
UNIGE	25	Cathedral of Santa Maria Assunta (Reggio Emilia, Italy)	X=77.40 ; Y= 33.80	-	22.5	B1	Continuous below walls and isolated below pillars and columns	1.0+(0.4) [2]	-	2100	1800	Clay soil
ZRMK	26	Cathedral st.Nicolas Ljubljana	53 x 25	1	20	B1	Embedded wall - deep	N/A (guess: ~ 1.0)	~1.0	~1000	~1900	EC8 type C (deep deposits of dense sand, gravel or stiff clay); $V_s=300$

[1]: According to D4-Classification of cultural heritage assets

[2]: The given thickness is the value at the ground floor level plus an average of 0.2m (or 0.4m) (assumed to be the increase of the wall's thickness at the foundation level)

Για την επιλογή των παραμέτρων ανάλυσης σε ότι αφορά στην θεμελίωση (τύπος θεμελίωσης, γεωμετρία, υλικά) λήφθηκαν υπόψη στοιχεία από υφιστάμενες μνημειακές κατασκευές

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

Masonry Typology	f_m (N/cm ²)	t_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	ρ (kN/m ³)
	min-max	min-max	min-max	min-max	
Masonry in disorganized stones (pebbles, or erratic/irregular stones)	60 90	2 3.2	690 1050	115 175	19
Masonry in rough-hewn stone, with faces of limited thickness and internal nucleus	110 155	3.5 5.1	1020 1440	170 240	20
Masonry in split stones, well laid	150 200	5.6 7.4	1500 1980	250 330	21
Masonry in rough hewn soft stone (tuff, macco, etc.)	80 120	2.8 4.2	900 1260	150 210	16
Masonry in squared stony blocks	300 400	7.8 9.8	2340 2820	390 470	22
Masonry in bricks and lime mortar	180 280	6 9.2	1800 2400	300 400	18
Masonry in half-full bricks with cement mortar (e.g.: double UNI)	380 500	24 32	2800 3600	560 720	15
Masonry in perforated brick blocks (percentage perforation < 45%)	460 600	30 40	3400 4400	680 880	12
Masonry in perforated brick blocks, with dry vertical junctions (percentage perforation < 45%)	300 400	10 13	2580 3300	430 550	11
Masonry in cement blocks (percentage perforated between 45 - 65%)	150 200	9.5 12.5	2200 2800	440 560	12
Masonry in half-full cement blocks	300 440	18 24	2700 3500	540 700	14

f_m = average resistance to compression of the masonry
 t_0 = average resistance to shearing of the masonry
 E = average value of the normal bending module
 G = average value of the tangential bending module
 w = average specific weight of the masonry

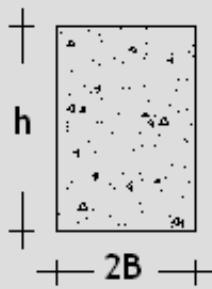
Masonry characteristics according to the Italian code (OPCM, **no 3274)**

Tipologia di muratura	f_m (N/cm ²)	t_0 (N/cm ²)	E (N/mm ²)	G (N/mm ²)	w (kN/m ³)
	Min-max	min-max	min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	100 180	2,0 3,2	690 1050	230 350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramento di limitato spessore e nucleo interno	200 300	3,5 5,1	1020 1440	340 480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	260 380	5,6 7,4	1500 1980	500 660	21
Muratura a conci di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	140 240	2,8 4,2	900 1260	300 420	16
Muratura a blocchi lapidei squadrati	600 800	9,0 12,0	2400 3200	780 940	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	240 400	6,0 9,2	1200 1800	400 600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤ 40%)	500 800	24 32	3500 5600	875 1400	15
Muratura in blocchi laterizi semipieni (perc. foratura < 45%)	400 600	30,0 40,0	3600 5400	1080 1620	12
Muratura in blocchi laterizi semipieni, con giunti verticali a secco (perc. foratura < 45%)	300 400	10,0 13,0	2700 3600	810 1080	11
Muratura in blocchi di calcestruzzo o argilla espansa (perc. foratura tra 45% e 65%)	150 200	9,5 12,5	1200 1600	300 400	12
Muratura in blocchi di calcestruzzo semipieni (foratura < 45%)	300 440	18,0 24,0	2400 3520	600 880	14

Masonry characteristics according to the Italian code (OPCM, **no 3431)**

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

- Γεωμετρία θεμελίωσης
- Ιδιότητες υλικών (τοιχοποιία)

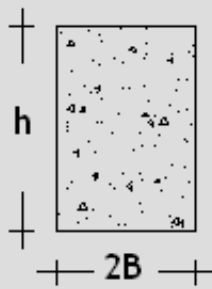


	2B (m)	h (m)
Case 1	0.50	0.5
Case 2		1
Case 3		2
Case 4	1	0.5
Case 5		1
Case 6		
Case 7	2	0.5
Case 8		1
Case 9		2
Case 10	10	0.5
Case 11		1
Case 12		2

Case	$E_{w,el.}$ (MPa)	E_w (MPa)
1	690	345
2	1800	900
3	1980	990
4	2800	1400
5	2820	1410
6	3400	1700
7	4400	2200

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες θεμελίωσης

- Γεωμετρία θεμελίωσης
- Ιδιότητες υλικών (τοιχοποιία)



	2B (m)	h (m)
Case 1	0.50	0.5
Case 2		1
Case 3		2
Case 4	1	0.5
Case 5		1
Case 6		
Case 7	2	0.5
Case 8		1
Case 9		2
Case 10	10	0.5
Case 11		1
Case 12		2

Case	$E_{w,el.}$ (MPa)	E_w (MPa)
1	690	345
2	1800	900
3	1980	990
4	2800	1400
5	2820	1410
6	3400	1700
7	4400	2200

$$E_w = 50\% E_{w,el.}$$

Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες εδάφους θεμελίωσης

• EC8- Part1

Ground type	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (blows/30cm)	c_u (kPa)
A	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface.	> 800	–	–
B	Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of metres in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth.	360 – 800	> 50	> 250
C	Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of metres.	180 – 360	15 - 50	70 - 250
D	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil.	< 180	< 15	< 70
E	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with v_s values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_s > 800$ m/s.			
S_1	Deposits consisting, or containing a layer at least 10 m thick, of soft clays/silts with a high plasticity index ($PI > 40$) and high water content	< 100 (indicative)	–	10 - 20
S_2	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A – E or S_1			

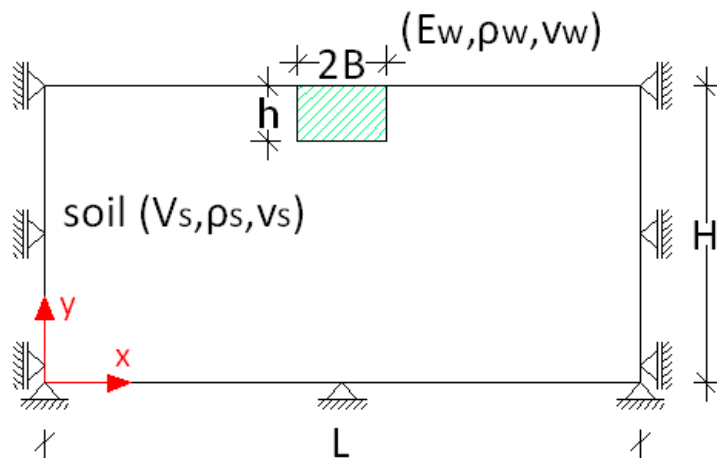
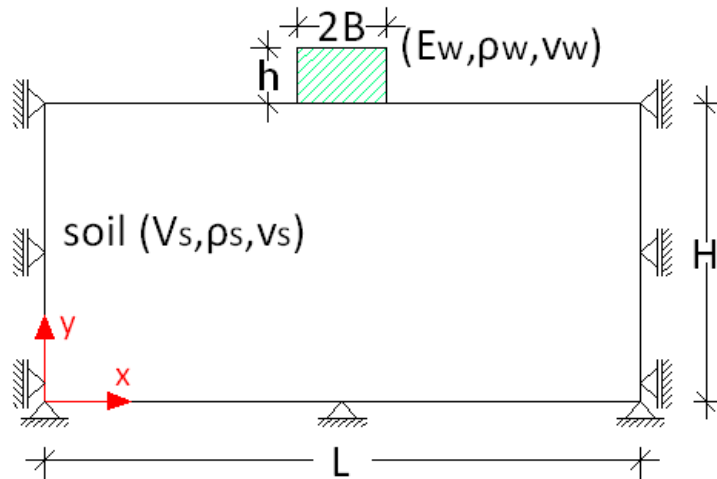
• Δυναμικά χαρακτηριστικά εδάφους

Soil type	V_s (m/sec)	E_{soil} (MPa)
A	1000	5332
B	500	1333
C	250	333.25
D	150	119.97

Κατηγοριοποίηση εδαφικών σχηματισμών,
σύμφωνα με EC8- Part1

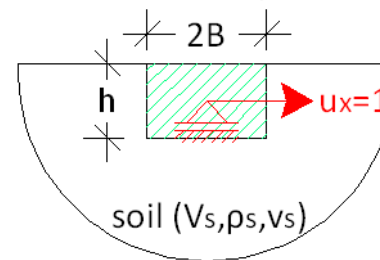
Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες εδάφους

- Εγκιβωτισμένες & επιφανειακές

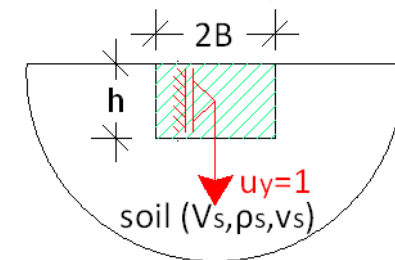


- 3 διευθύνσεις φόρτισης

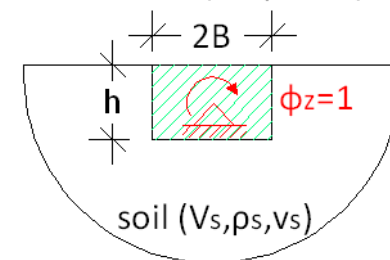
foundation (E_w, ρ_w, v_w)



foundation (E_w, ρ_w, v_w)

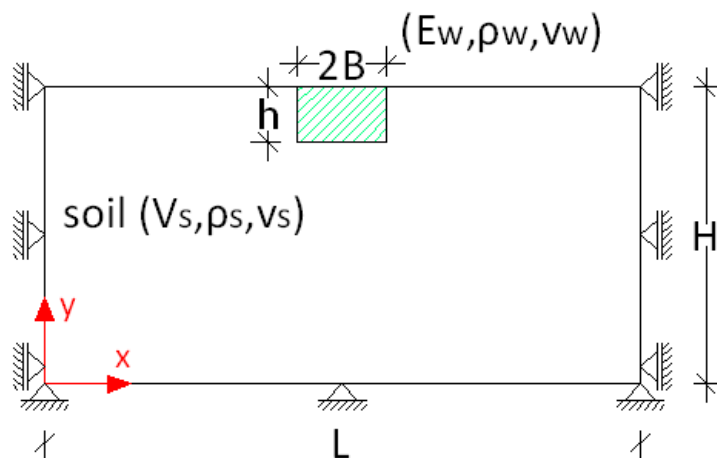
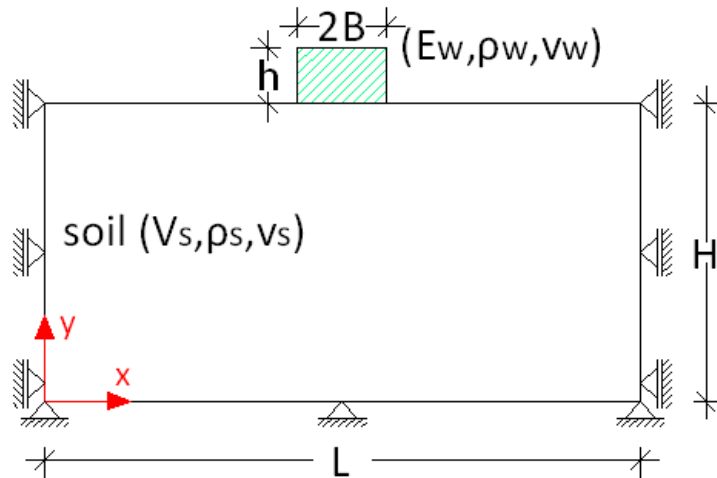


foundation (E_w, ρ_w, v_w)

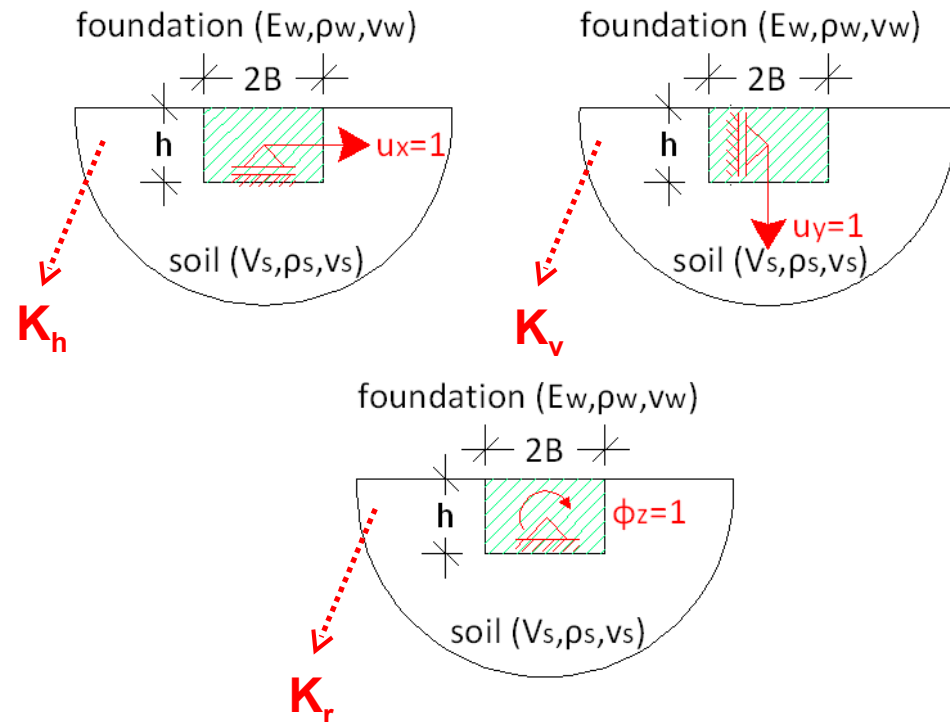


Παραμετρικές αναλύσεις: Ιδιότητες εδάφους

- Εγκιβωτισμένες & επιφανειακές



- 3 διευθύνσεις φόρτισης



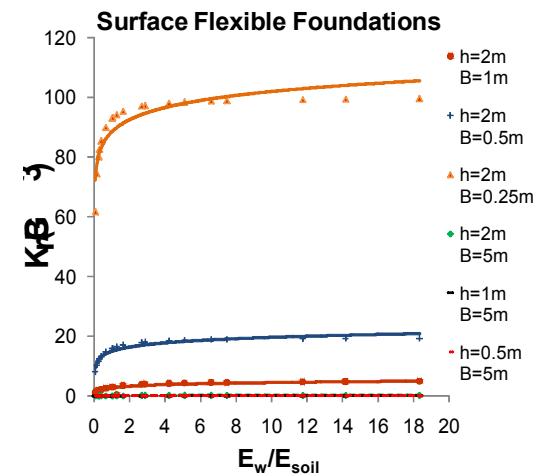
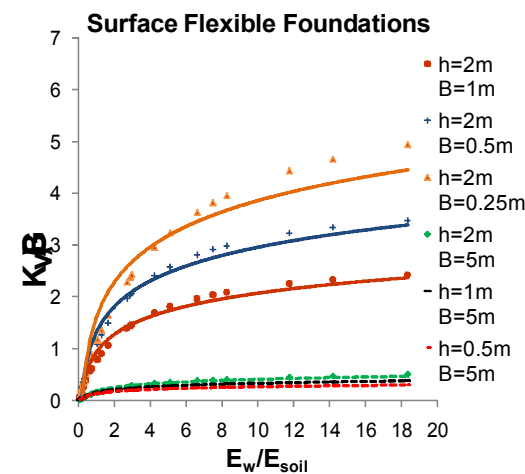
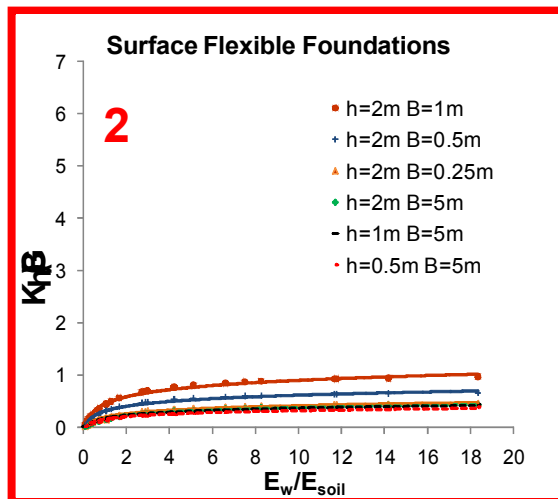
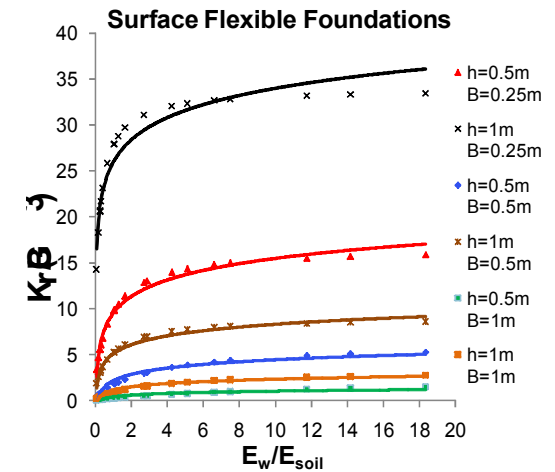
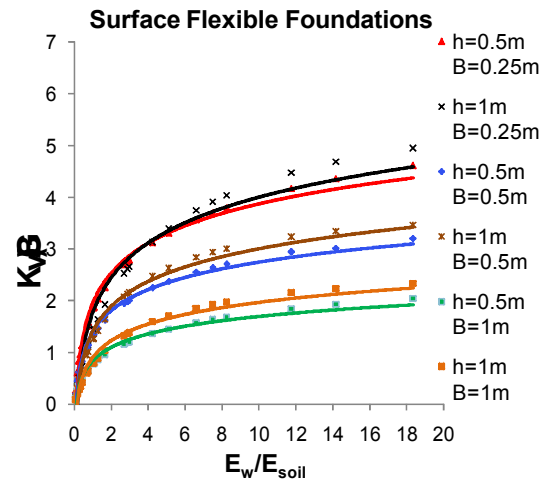
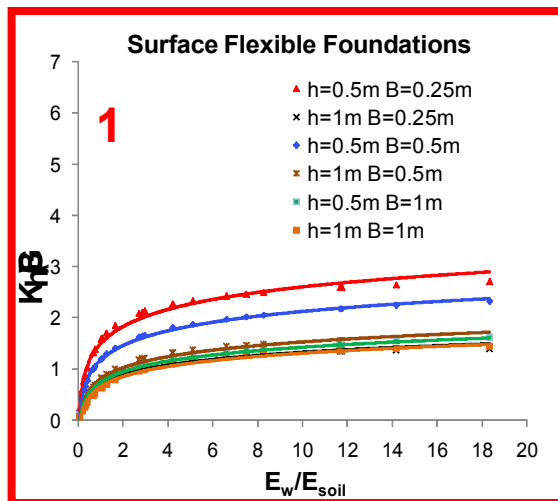
Παραμετρικές αναλύσεις: Αποτελέσματα

- Parameters used in the analyses
 - $h = 0.5\text{m} - 1\text{m} - 2\text{m}$
 - $B = 0.25\text{m} - 0.5\text{m} - 1\text{m} - 5\text{m}$
 - Οριζόντια & κατακόρυφη & στροφική συνιστώσα
 - Εγκιβωτισμένες & επιφανειακές θεμελιώσεις
 - 4 εδαφικά προφίλ (EC8)
 - 7 ιδιότητες υλικών (E_w)



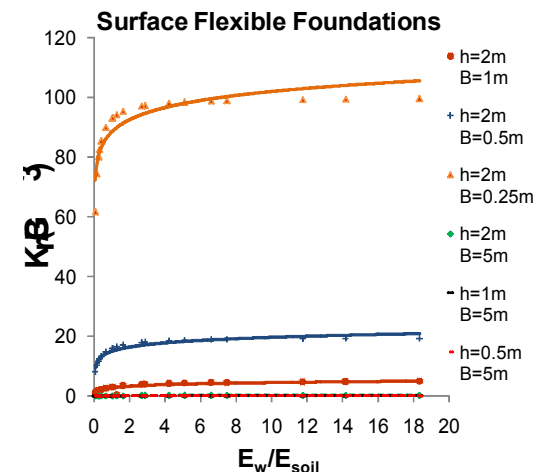
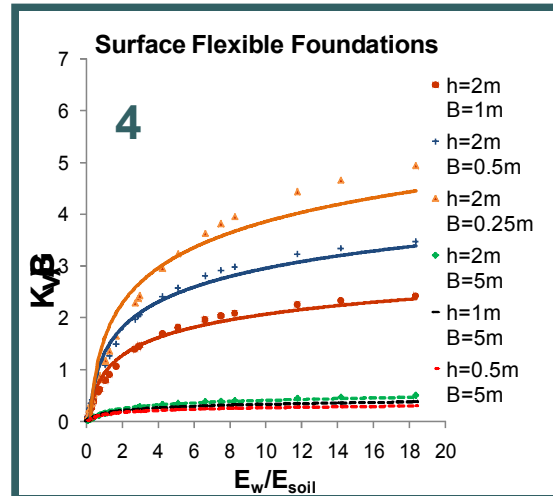
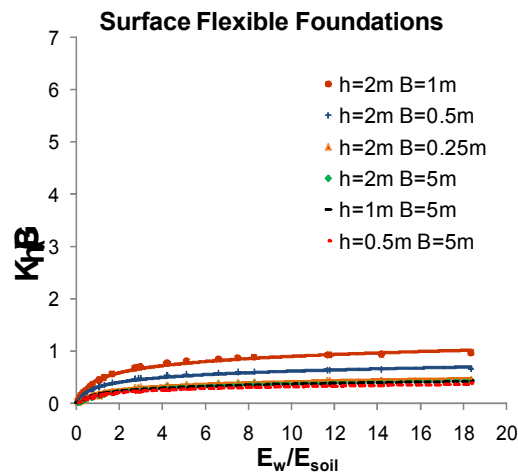
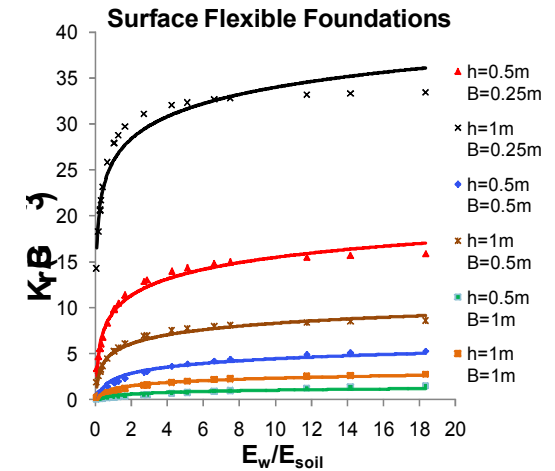
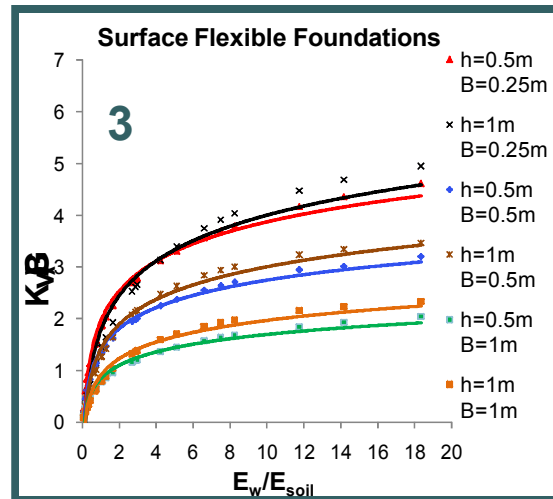
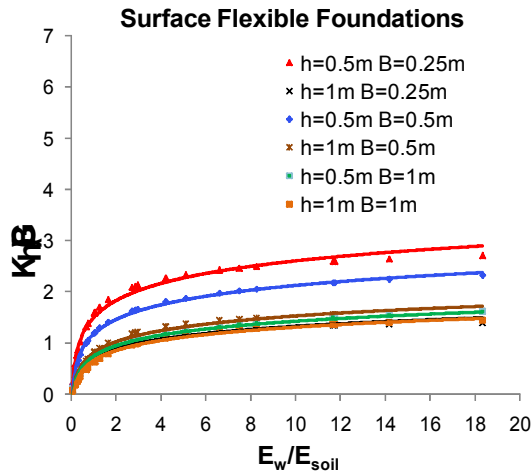
πάνω 2000 αριθμητικές αναλύσεις

Αποτελέσματα



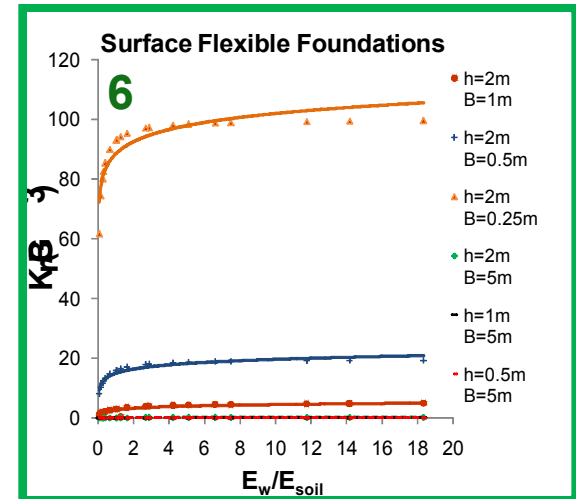
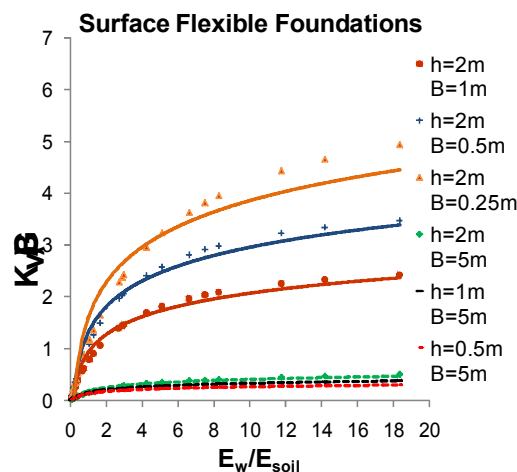
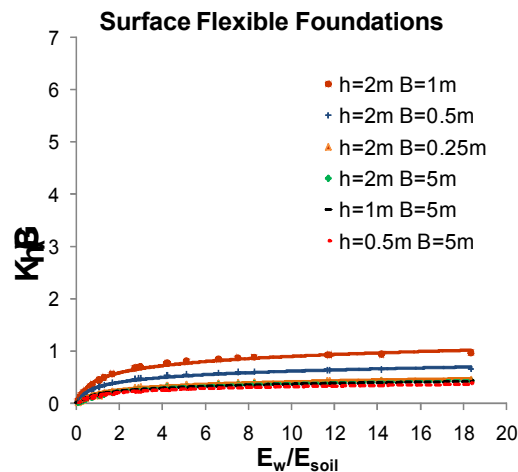
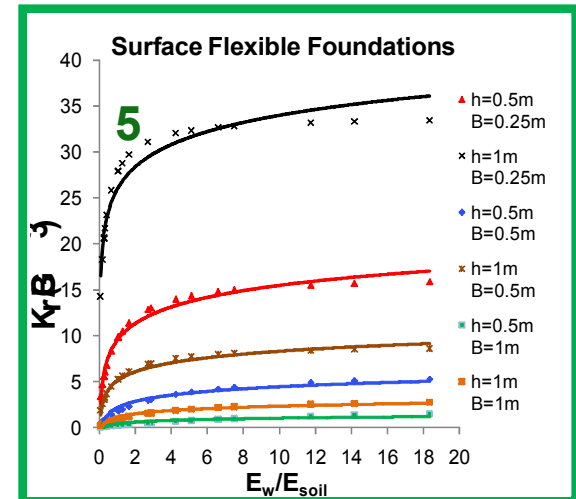
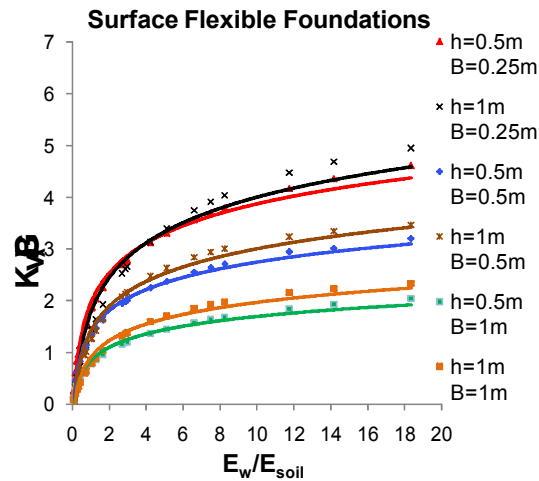
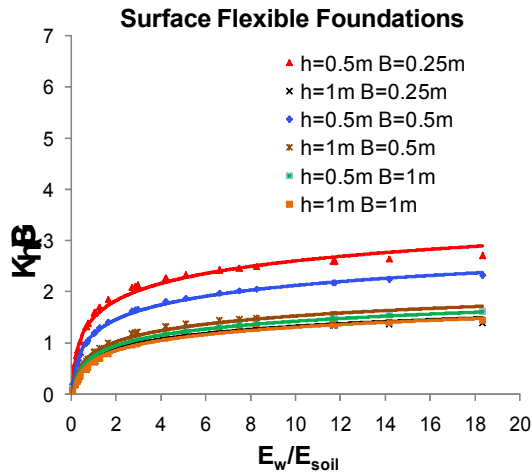
Normalized stiffness values for **horizontal translational mode** of vibration of **surface foundations** varying in geometry ($h=0.5\text{m}-2\text{m}$, $B=0.25\text{m}-5\text{m}$) resting on a homogeneous soil for different values relative stiffness between the foundation and the soil medium (E_w/E_{soil})

Αποτελέσματα



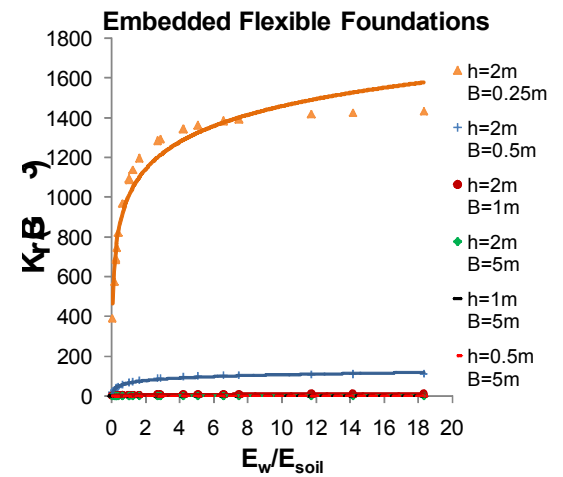
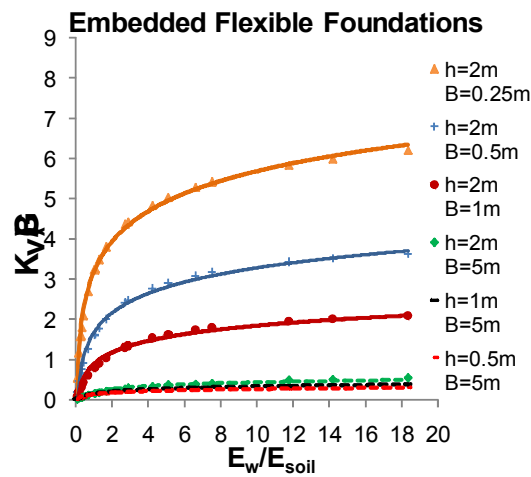
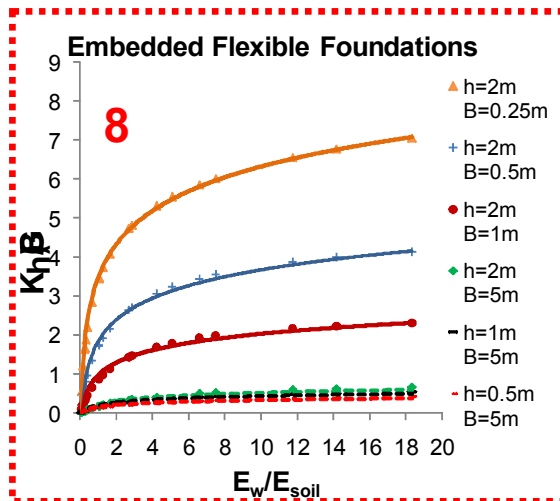
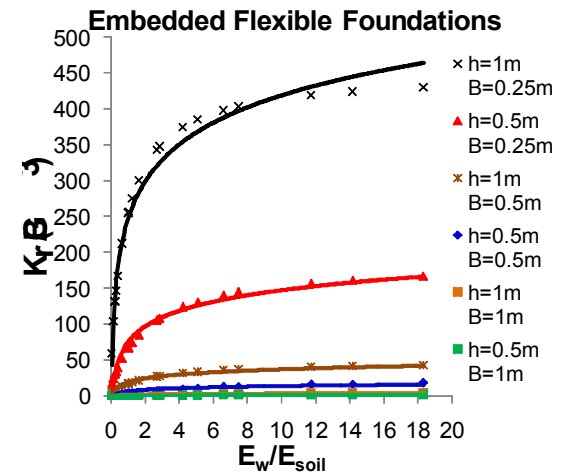
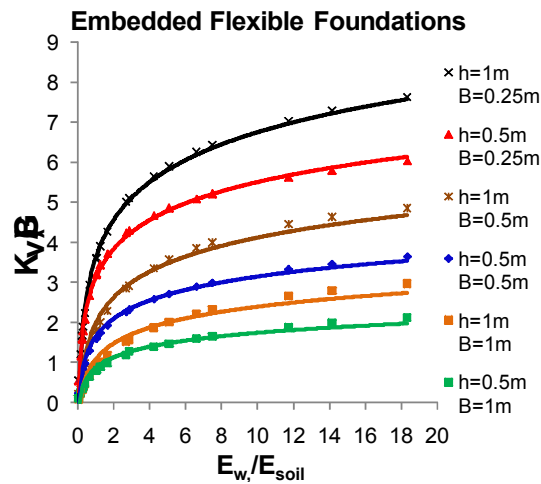
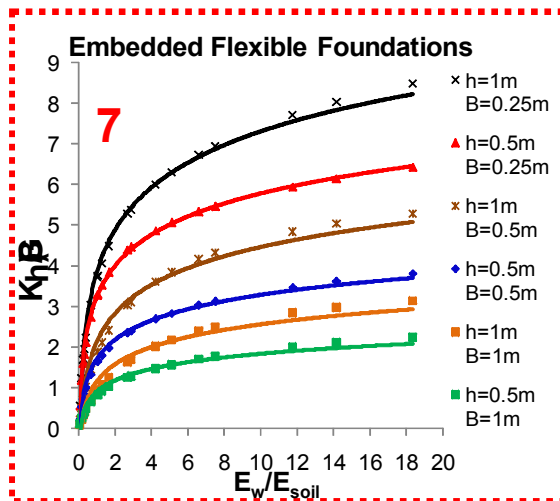
Normalized stiffness values for **vertical translational mode** of vibration of **surface foundations** varying in geometry ($h=0.5m-2m$, $B=0.25m-5m$) resting on a homogeneous soil for different values relative stiffness between the foundation and the soil medium (E_w/E_{soil})

Αποτελέσματα



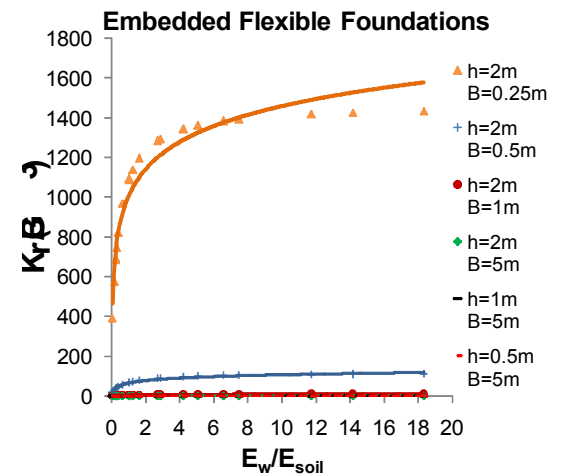
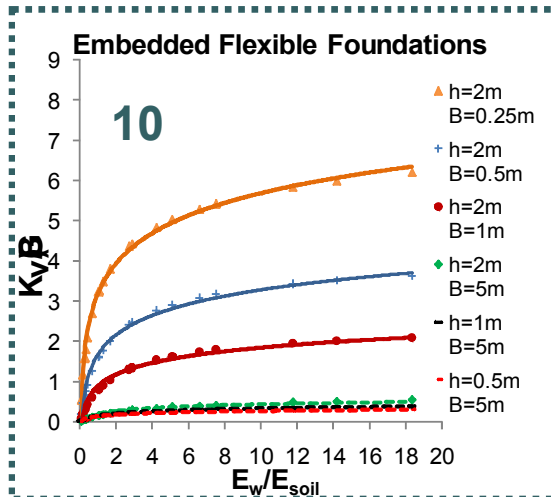
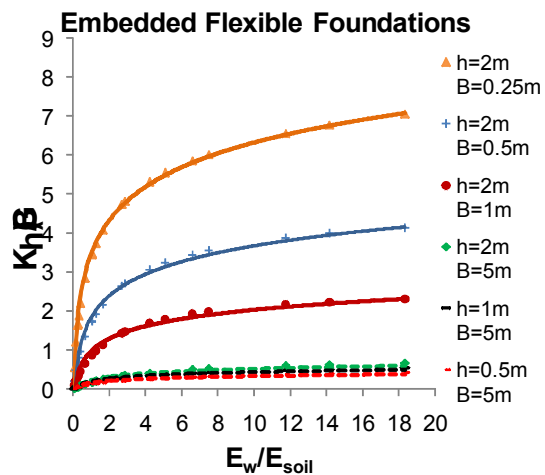
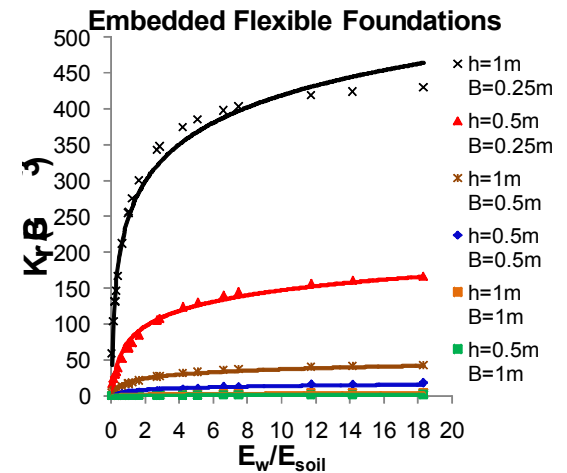
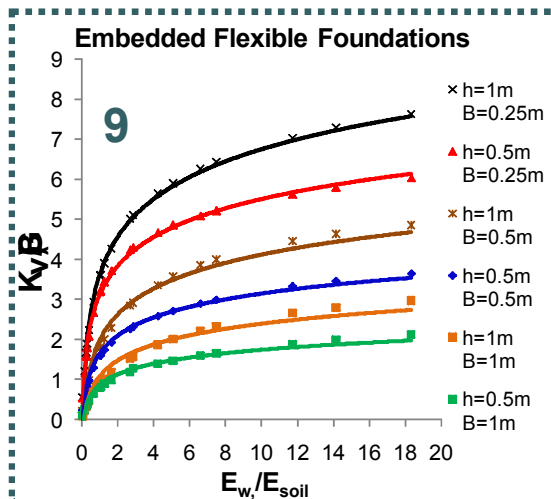
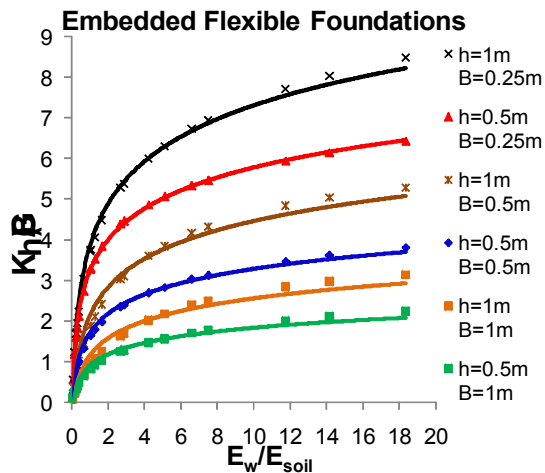
Normalized stiffness values for **rotational mode** of vibration of **surface foundations** varying in geometry ($h=0.5\text{m}-2\text{m}$, $B=0.25\text{m}-5\text{m}$) resting on a homogeneous soil for different values relative stiffness between the foundation and the soil medium (E_w/E_{soil})

Αποτελέσματα



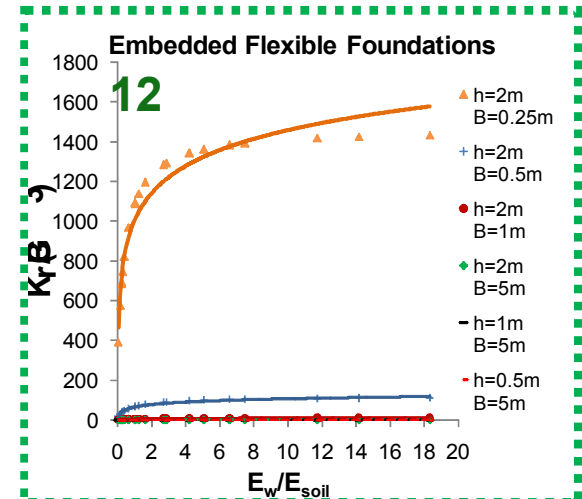
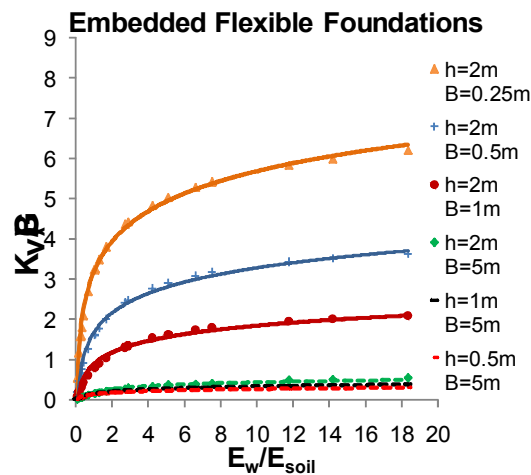
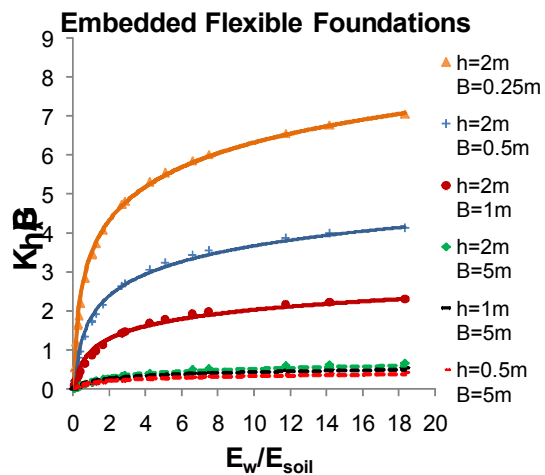
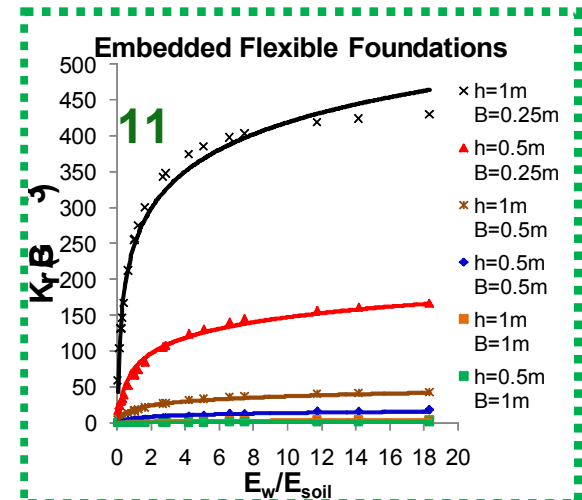
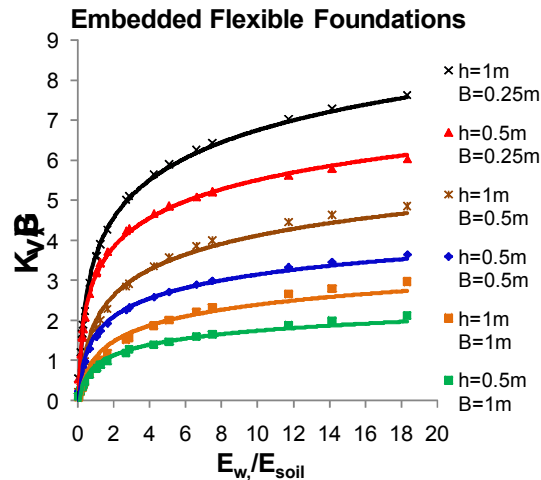
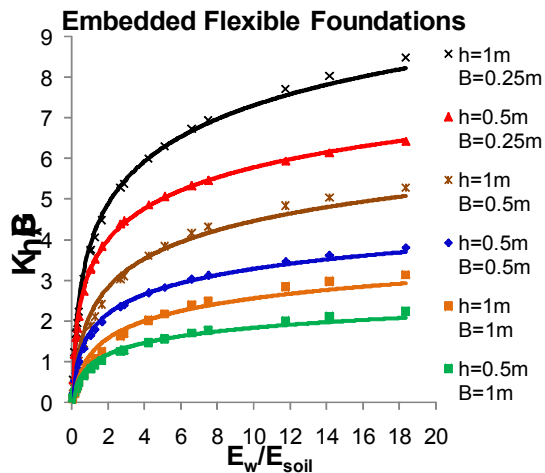
Normalized stiffness values for **horizontal translational mode** of vibration of **embedded foundations** varying in geometry ($h=0.5m-2m$, $B=0.25m-5m$) resting on a homogeneous soil for different values relative stiffness between the foundation and the soil medium (E_w/E_{soil})

Αποτελέσματα



Normalized stiffness values for **vertical translational mode** of vibration of **embedded foundations** varying in geometry ($h=0.5m-2m$, $B=0.25m-5m$) resting on a homogeneous soil for different values relative stiffness between the foundation and the soil medium (E_w/E_{soil})

Αποτελέσματα



Normalized stiffness values for **rotational mode** of vibration of **embedded foundations** varying in geometry ($h=0.5m-2m$, $B=0.25m-5m$) resting on a homogeneous soil for different values relative stiffness between the foundation and the soil medium (E_w/E_{soil})

Αποτελέσματα

Surface Foundations									
h/2B	Horizontal stiffness (kN/m/m)		Vertical stiffness (kN/m/m)		Rocking stiffness (kNm/m/m)				
	$K_h = \left\{ a \times \ln\left(\frac{E_w}{E_s}\right) + b \right\} GB$		$K_v = \left\{ a \times \ln\left(\frac{E_w}{E_s}\right) + b \right\} GB$		$K_r = \left\{ a \times \ln\left(\frac{E_w}{E_s}\right) + b \right\} GB^3$		$K_r = \left\{ a \times \left(\frac{E_w}{E_s}\right)^2 + b \times \left(\frac{E_w}{E_s}\right) + c \right\} GB^3$		
	a	b	a	b	a	b	a	b	c
0.05	0.0716	0.1565	0.0546	0.1416	-	-	-2e-05	0.001	0.000
0.1	0.0848	0.1711	0.0734	0.1604	-	-	-9e-05	0.004	0.002
0.2	0.088	0.175	0.096	0.187	-	-	0.00	0.019	0.011
0.25	0.295	0.743	0.37	0.843	-	-	-0.003	0.146	0.092
0.5	0.347	0.917	0.517	1.165	0.749	1.643	-	-	-
1	0.329	0.921	0.668	1.446	1.563	5.931	-	-	-
2	0.202	0.506	0.834	1.556	2.717	20.31	-	-	-
4	0.095	0.197	0.975	1.614	5.898	88.34	-	-	-

Embedded Foundations									
h/2B	Horizontal stiffness (kN/m/m)		Vertical stiffness (kN/m/m)		Rocking stiffness (kNm/m/m)				
	$K_h = \left\{ a \times \ln\left(\frac{E_w}{E_s}\right) + b \right\} GB$		$K_v = \left\{ a \times \ln\left(\frac{E_w}{E_s}\right) + b \right\} GB$		$K_r = \left\{ a \times \ln\left(\frac{E_w}{E_s}\right) + b \right\} GB^3$		$K_r = \left\{ a \times \left(\frac{E_w}{E_s}\right)^2 + b \times \left(\frac{E_w}{E_s}\right) + c \right\} GB^3$		
	a	b	a	b	a	b	a	b	c
0.05	0.074	0.16	0.054	0.14	-	-	-2e-05	0.001	0.000
0.1	0.104	0.195	0.074	0.163	-	-	-9e-05	0.004	0.002
0.2	0.129	0.227	0.102	0.195	-	-	0.00	0.019	0.011
0.25	0.407	0.906	0.379	0.87	-	-	-0.003	0.153	0.089
0.5	0.644	1.442	0.608	1.367	-	-	-0.025	0.788	0.655
1	0.824	2.175	0.791	1.999	4.575	11.04	-	-	-
2	1.150	2.838	1.025	2.651	14.00	47.14	-	-	-
4	1.224	3.455	1.086	3.181	49.26	251.1	-	-	-

Συμπεράσματα

- **ΔΕΝ** υπάρχουν σχέσεις υπολογισμού δεικτών εμπέδησης στην βιβλιογραφία για **κατασκευές από τοιχοποιία**
- Εκτιμήσαμε ελατηριακές σταθερές για 3 διευθύνσεις κίνησης (horizontal – vertical – rotational) στο κέντρο βάρους της θεωρούμενης θεμελίωσης, λαμβάνοντας υπόψη:
 - Τη δυσκαμψία του εδάφους
 - Τα χαρακτηριστικά της θεμελίωσης (τύπος, γεωμετρία, υλικά)
- Οι τιμές των δεικτών εμπέδησης για εύκαμπτες θεμελιώσεις είναι **μικρότερες** από αυτές που προκύπτουν με την θεώρηση **άκαμπτης θεμελίωσης**, κάτι που επηρεάζει σημαντικά την απόκριση των κατασκευών
- Η **μεταβολή** του δείκτη εμπέδησης συγκριτικά με την περίπτωση της άκαμπτης θεμελίωσης εξαρτάται από τον λόγο E_w/E_{soil}
- Έγινε κατηγοριοποίηση των αποτελεσμάτων ως προς $h/(2B)$
- Προτείνουμε σχέσεις εκτίμησης των δεικτών εμπέδησης για 8 διαφορετικές τιμές του λόγου $h/(2B)$

Συμπεράσματα

- Έως και 80% μειωμένη η δυσκαμψία για εύκαμπτες
- Ο ρυθμός μεταβολής της δυσκαμψίας για εύκαμπτες αυξάνεται με την μείωση του λόγου E_w/E_{soil}
- Για $E_w/E_{soil} > 18$, προσεγγίζεται η θεώρηση άκαμπτης θεμελίωσης
- Η οριζόντια δυσκαμψία αυξάνεται με το πλάτος του θεμελίου
- Η κατακόρυφη δυσκαμψία αυξάνεται με το ύψος του θεμελίου
- Η στροφική δυσκαμψία αυξάνεται για μεγάλες διαστάσεις
- Για επιφανειακές θεμελιώσεις
 - οριζόντια δυσκαμψία μικρότερη από την κατακόρυφη.
- Για εγκιβωτισμένες θεμελιώσεις
 - οριζόντια δυσκαμψία περίπου ίση με την κατακόρυφη.

ευχαριστούμε