



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

Σχεδιασμός για  
Ανθεκτικότητα Κατασκευών  
Οπλισμένου Σκυροδέματος  
της Αραβικής Χερσονήσου

Σωτήρης Δέμης  
Δρ. Πανεπιστημίου Sheffield  
Ακαδημαϊκός Υπότροφος Πανεπιστημίου Πατρών

24<sup>ο</sup> Φοιτητικό Συνέδριο  
“Επισκευές και Ενισχύσεις Κατασκευών 2018”

## Ορισμός “Ανθεκτικότητας”

- **ACI 201.2R-01 - Guide to Durable Concrete**

Durability of hydraulic-cement concrete is defined as its ability to resist weathering action, chemical attack, abrasion, or any other process of deterioration.

- **BS 8110-1: 1997 - Structural use of concrete - Part 1: Code of practice for design and construction**

A durable concrete element is one that is designed and constructed to protect embedded metal from corrosion and to perform satisfactorily in the working environment for the life-time of the structure.

- **ACI 365.1R-00 - Service-Life Prediction—State-of-the-Art Report**

Durability is the capability of maintaining the serviceability of a product, component, assembly, or construction over a specified time.

- **Fib Model Code 2010**

Durability is the ability to maintain required technical performance throughout the service life subject to specified maintenance under the influence of the foreseeable actions

- **Ευρωκώδικας 2**

Μια κατασκευή ανθεκτική σε διάρκεια πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις λειτουργικότητας, αντοχής και ευστάθειας καθ' όλη τη διάρκεια του επιδιωκόμενου χρόνου ζωής σχεδιασμού, χωρίς σημαντικές απώλειες χρηστικότητας ούτε υπερβολική και απρόβλεπτη συντήρηση.

→ Ικανότητα Κατασκευής να αντιστέκεται σε περιβαλλοντικές δράσεις, χωρίς επιτελεστικότητα της να υποχωρεί κάτω από ελάχιστο αποδεκτό όριο.

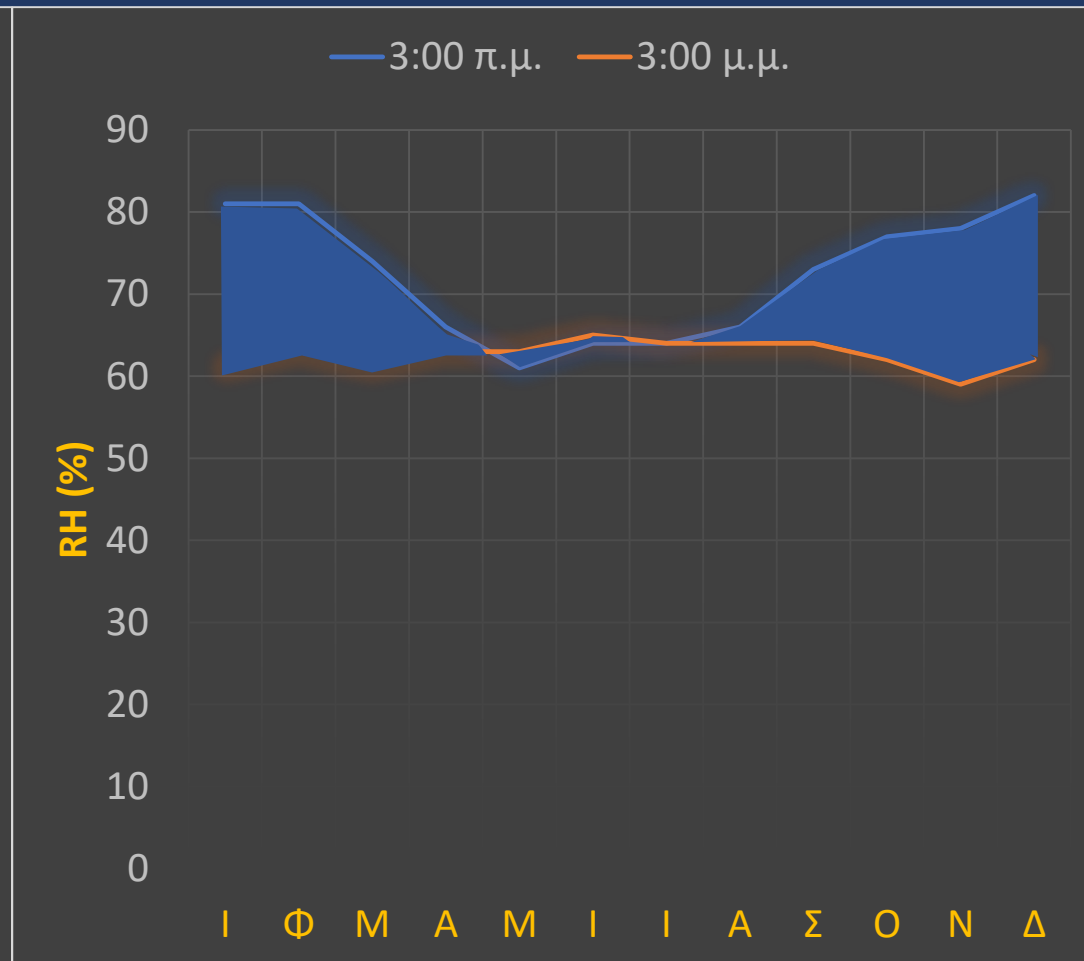
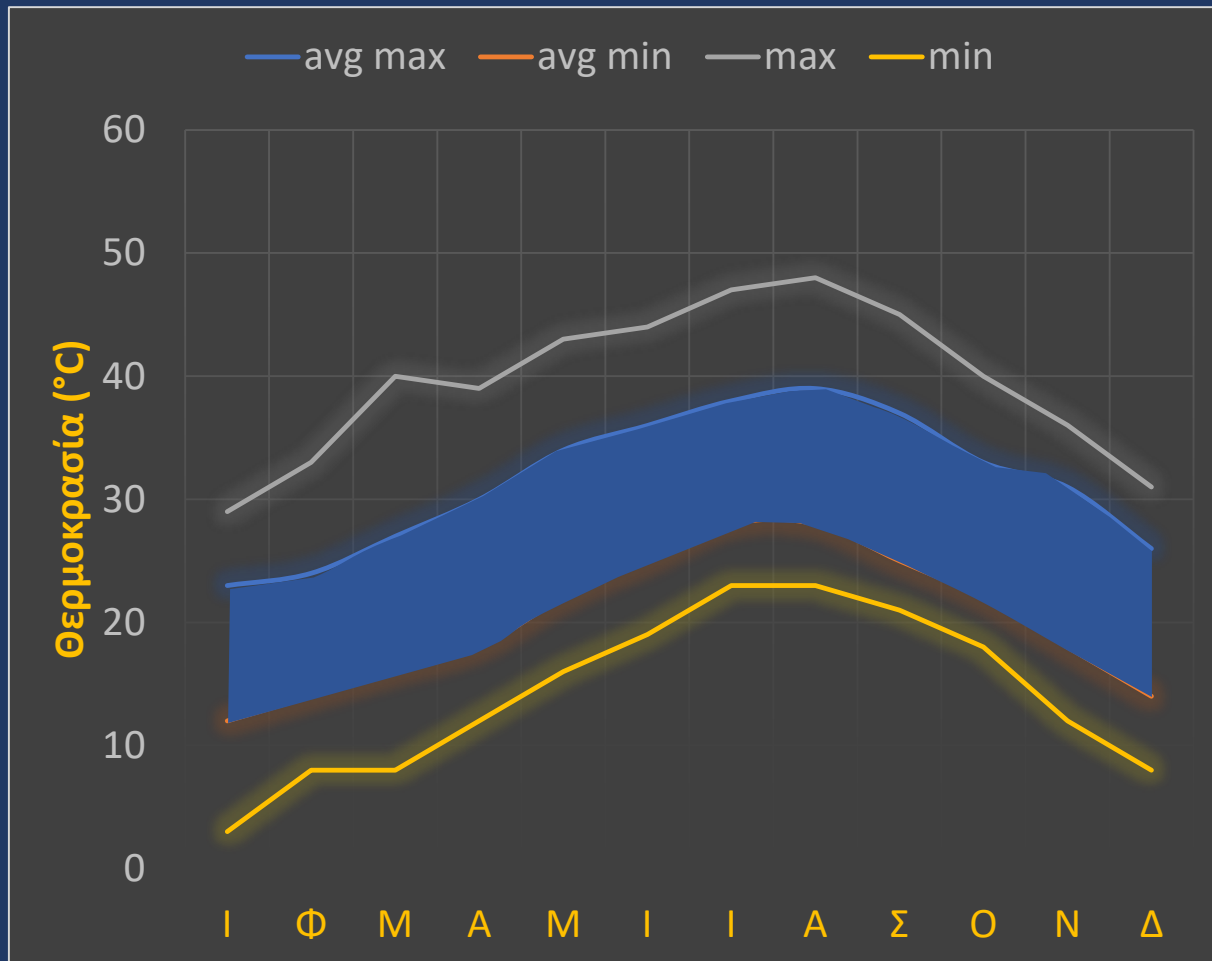
Η Ανθεκτικότητα δεν είναι απλά μία ιδιότητα αλλά ικανότητα η οποία προσδίδεται στη κατασκευή

## Ιδιαιτερότητες Αραβικής Χερσονήσου

- Περιβαλλοντικές Συνθήκες (*hot desert environment*)
- Υπέδαφος (υδροφόρος ορίζοντας κοντά στην επιφάνεια)
- Τοποθεσία

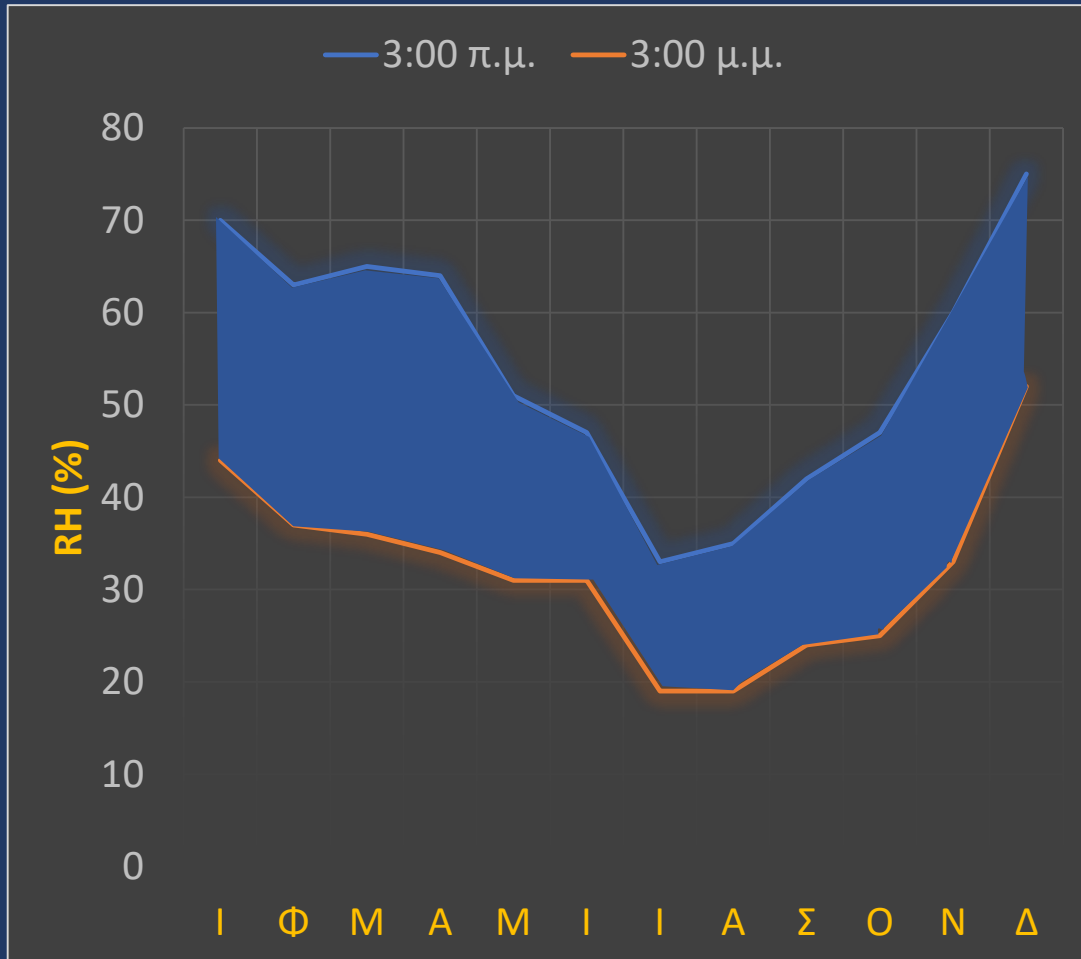


# Περιβαλλοντικές Συνθήκες Αραβικής Χερσονήσου

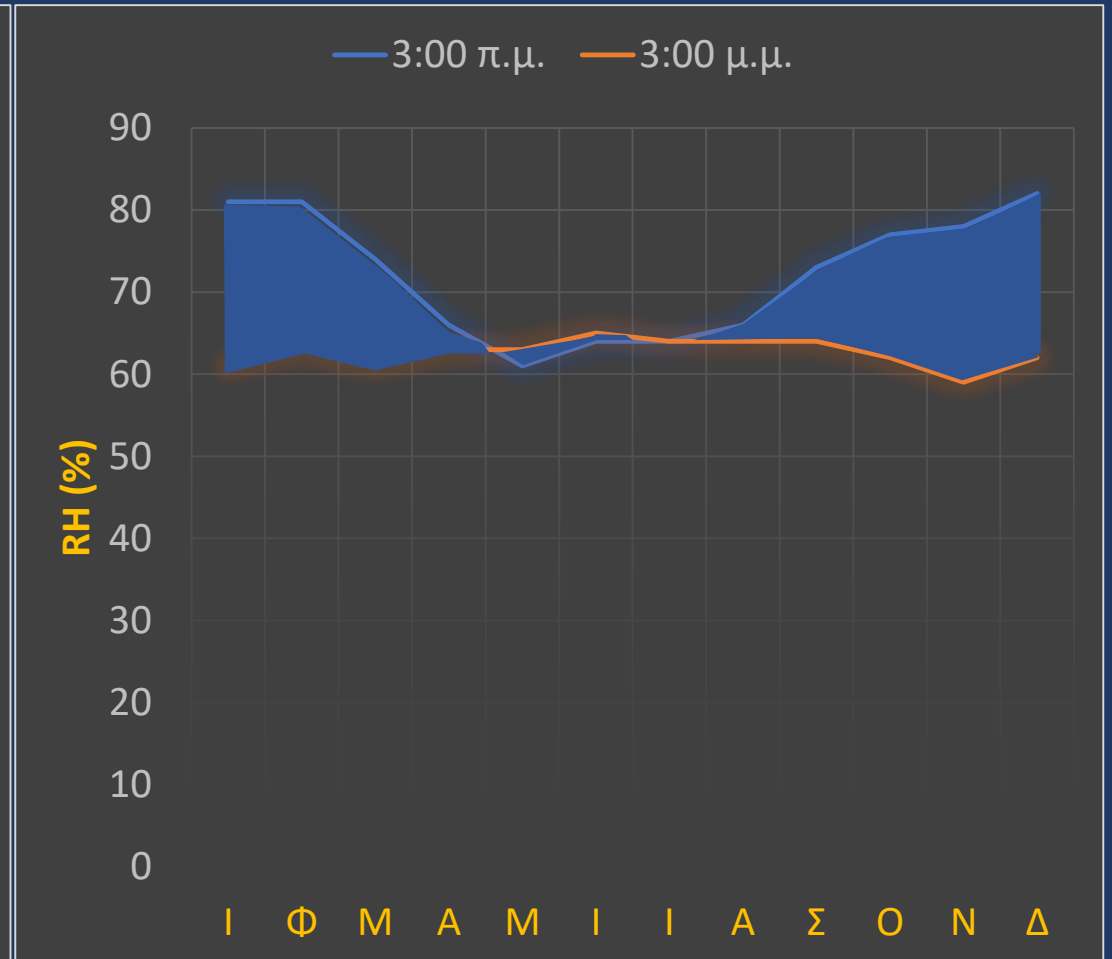




## Περιβαλλοντικές Συνθήκες Αραβικής Χερσονήσου

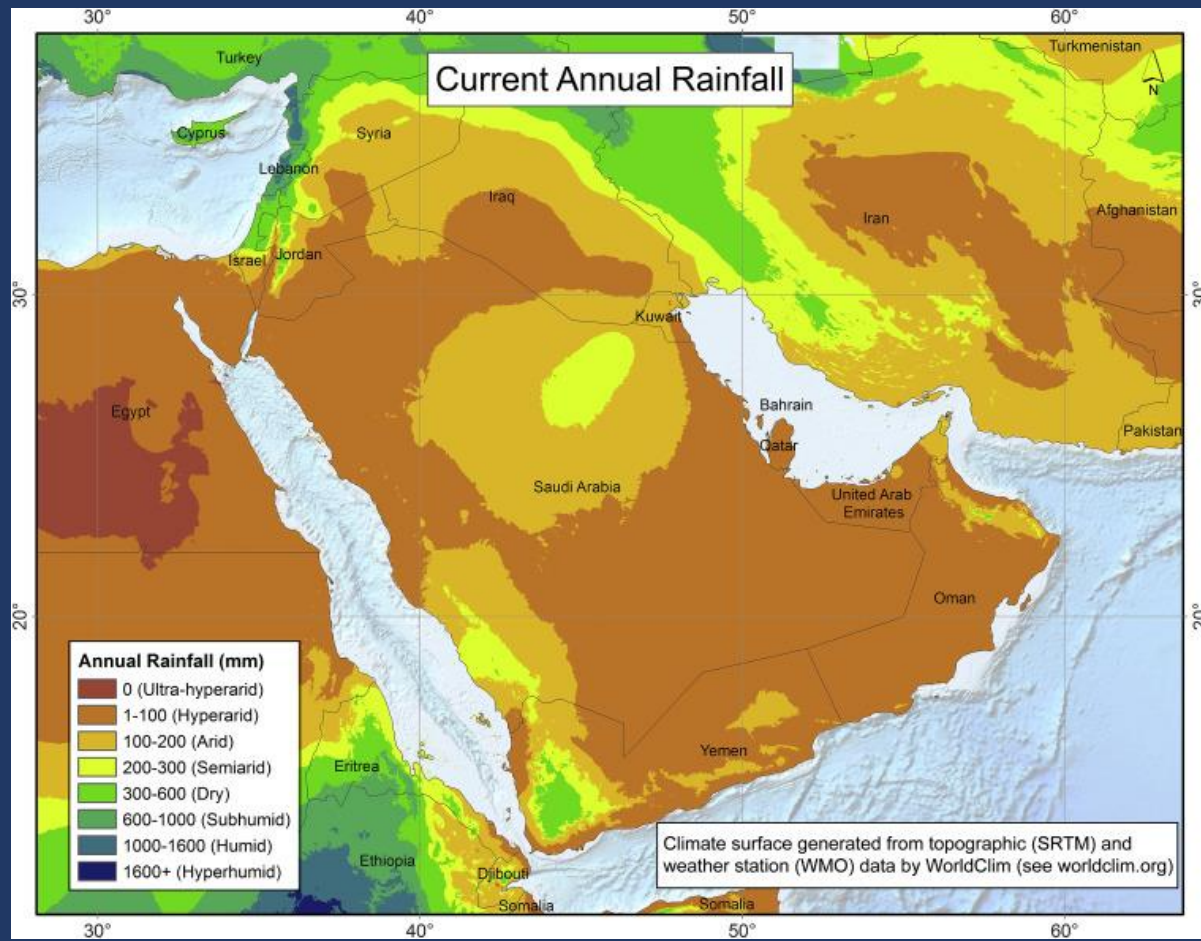


Σαουδική Αραβία, Ριάντ



Κατάρ, Ντόχα

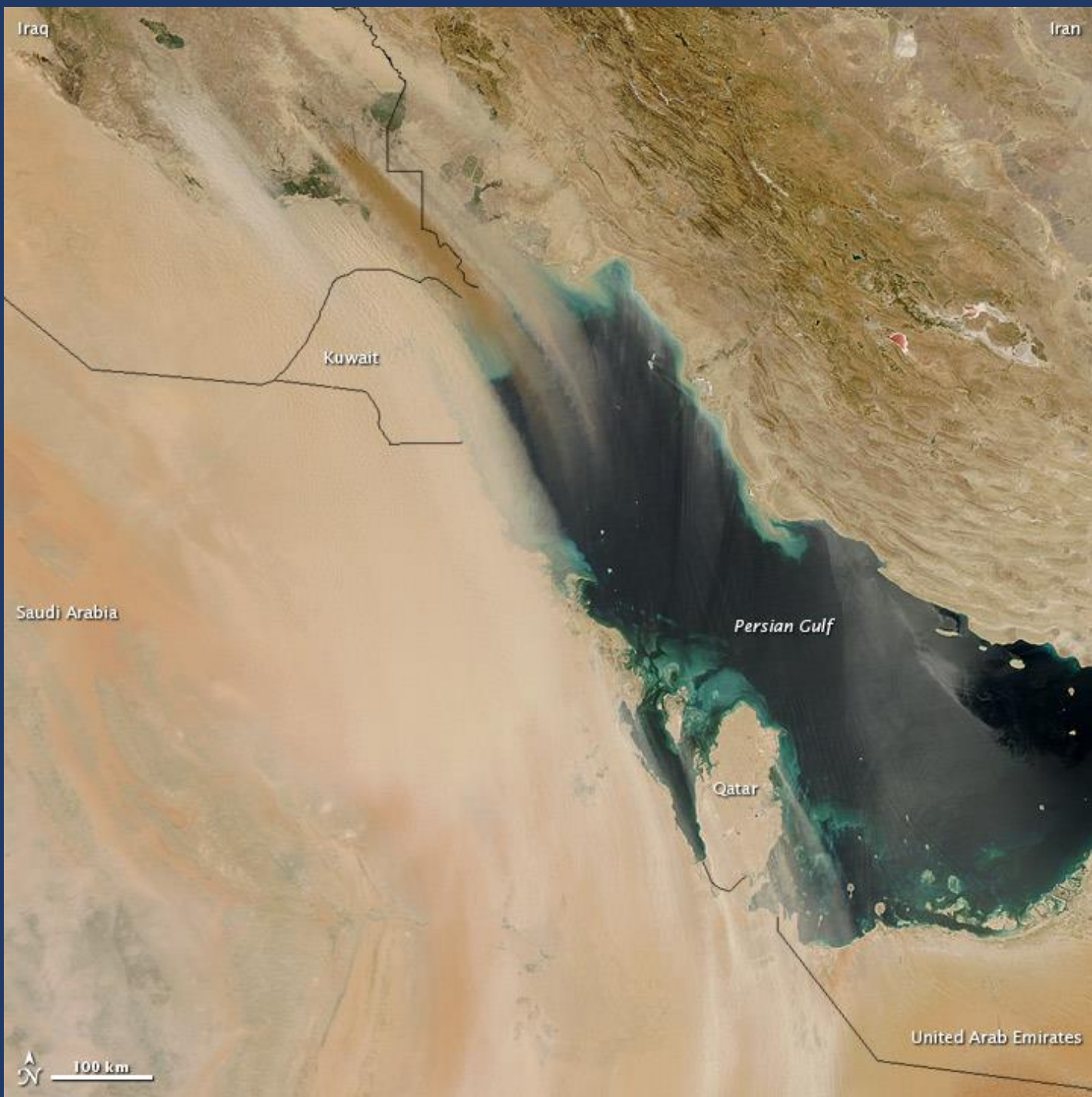
## Περιβαλλοντικές Συνθήκες Αραβικής Χερσονήσου



## Περιβαλλοντικές Συνθήκες Αραβικής Χερσονήσου



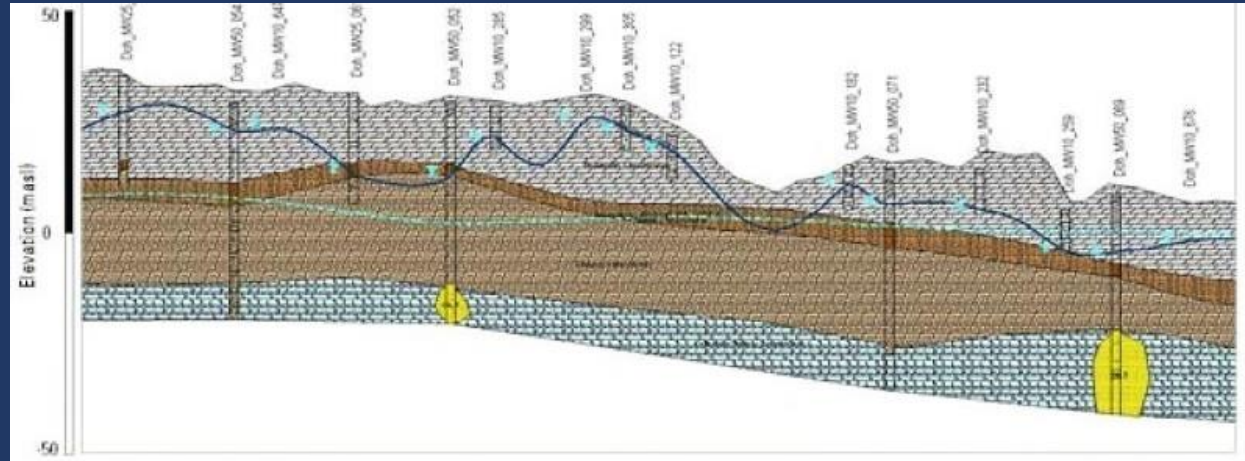






## Υπέδαφος

- Υδροφόρος ορίζοντας σε 5 – 15 m
- +
- Μεγάλη περιεκτικότητα θειικών (4000 mg/l) και χλωριόντων (έως 54000 mg/l)



Site	Chloride ion concentration in groundwater (mg/l)	Sulfate ion concentration in groundwater (SO <sub>4</sub> mg/l)
Emirates Towers, Dubai, UAE	66 000–81 000	1760–6330
Burj Dubai Tower, Dubai, UAE	17 000–90 000	2800–5900
Dubai Tower, Doha, Qatar	6400–30 000	1430–3600
Doha Convention Centre and Tower, Qatar	31 000 (max.)	4100 (max.)
Jumeirah, Dubai	3100	Not measured
Aweer, Dubai	9200	Not measured

Υπέδαφος ιδιαίτερα επιθετικό για κατασκευές ΟΣ (τούνελ, θεμέλια, περιμετρικά τοιχώματα)

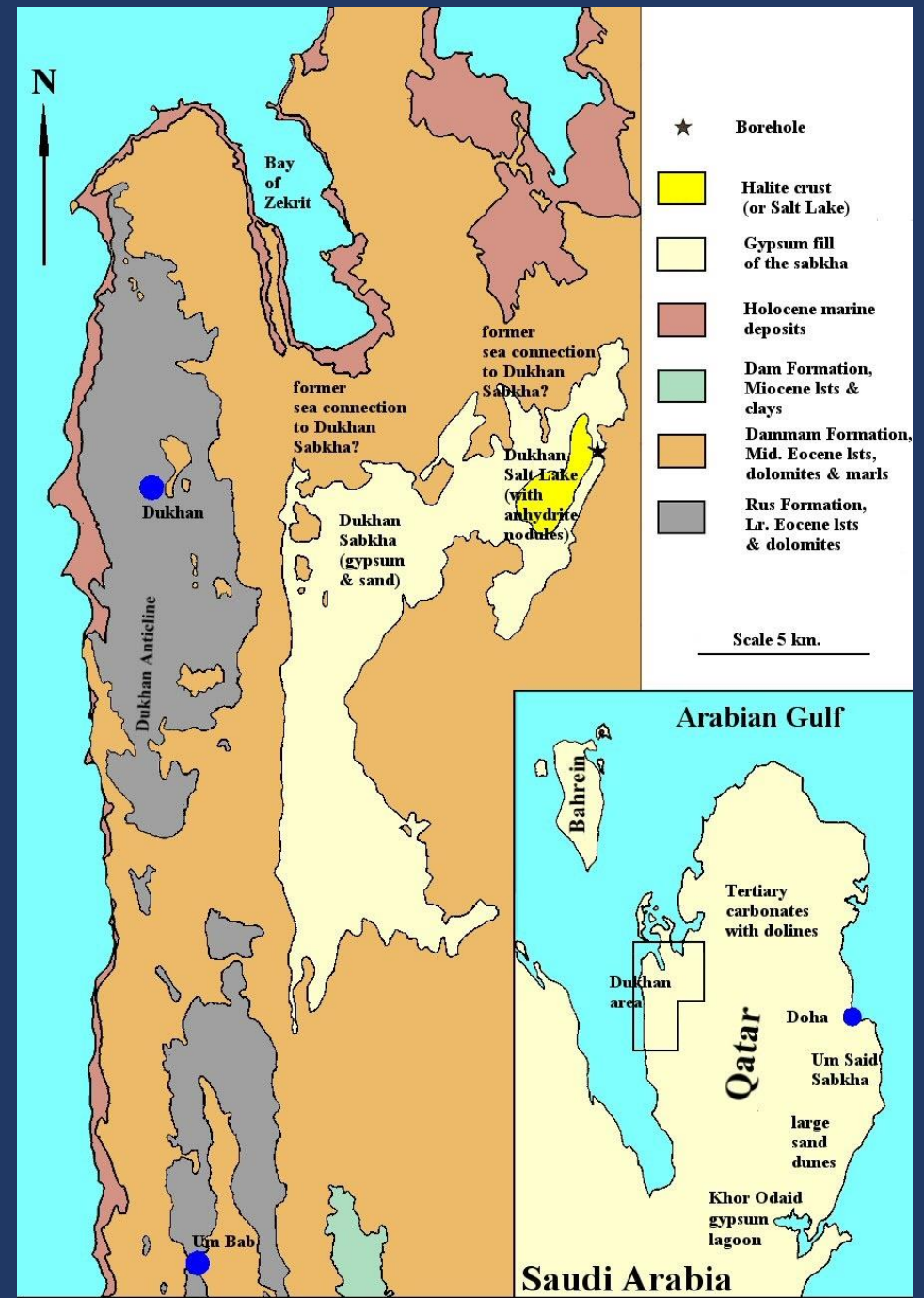
# Τοποθεσία





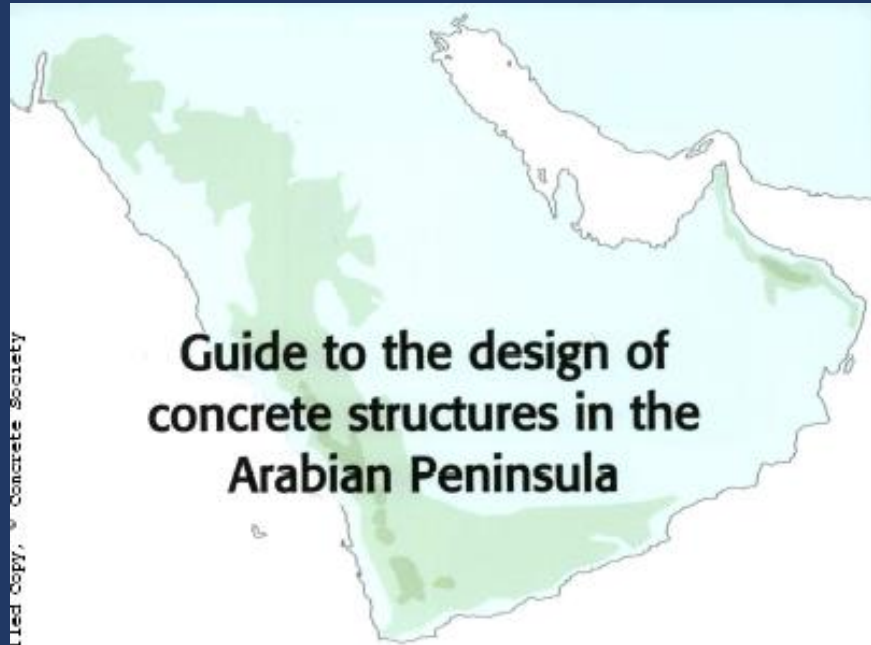
## Τοποθεσία

- Ηπειρωτικές περιοχές κοντά σε sabkhas
  - Παραθαλάσσιες περιοχές
- ↓
- Υψηλή συγκέντρωση χλωριόντων
  - Παράκτιες κατασκευές εκτίθενται σε αερομεταφερόμενα χλωριόντα, ενώ τμήματα τους κάτω από επιφάνεια εδάφους σε άλατα, θειικά και υγρασία.





Licensed copy: Atkins, Atkins Plc, 15/07/2013, Uncontrolled copy, © Concrete Society

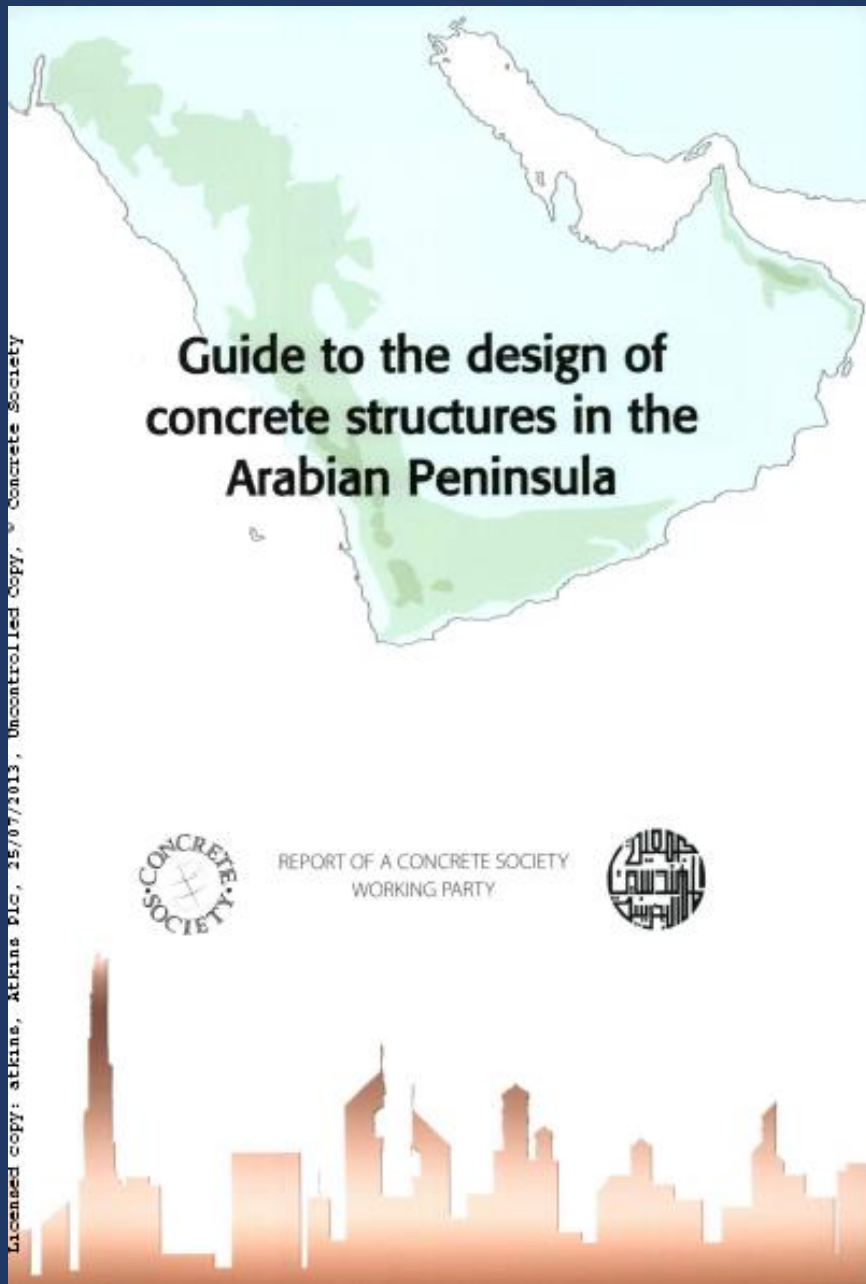


# Guide to the design of concrete structures in the Arabian Peninsula

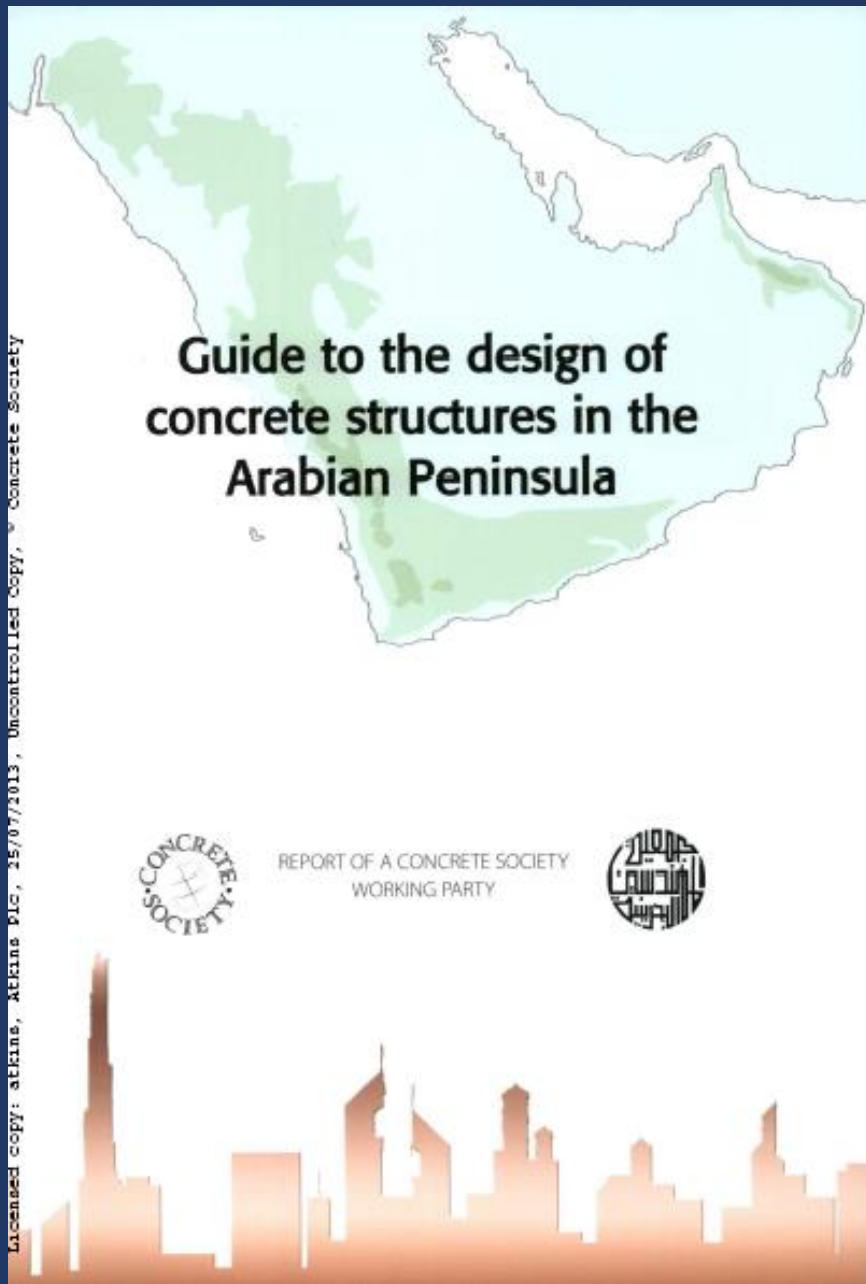


REPORT OF A CONCRETE SOCIETY  
WORKING PARTY





- Δομημένος Σχεδιασμός για Ανθεκτικότητα Κατασκευών ΟΣ
- Αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα του αρχικού (conceptual stage) σχεδιασμού
- Διάρκεια ζωής κατασκευής παράμετρος σχεδιασμού (30 χρόνια μέση διάρκεια ζωής )
- Διαβάθμιση Επιθετικού περιβάλλοντος ανάλογα με συνθήκες υγρασίας και ακριβή τοποθεσία δομικού στοιχείου (ύψος από επιφάνεια εδάφους)
- Κύριες βλάβες: διάβρωση σπλισμού, δράση θειϊκών

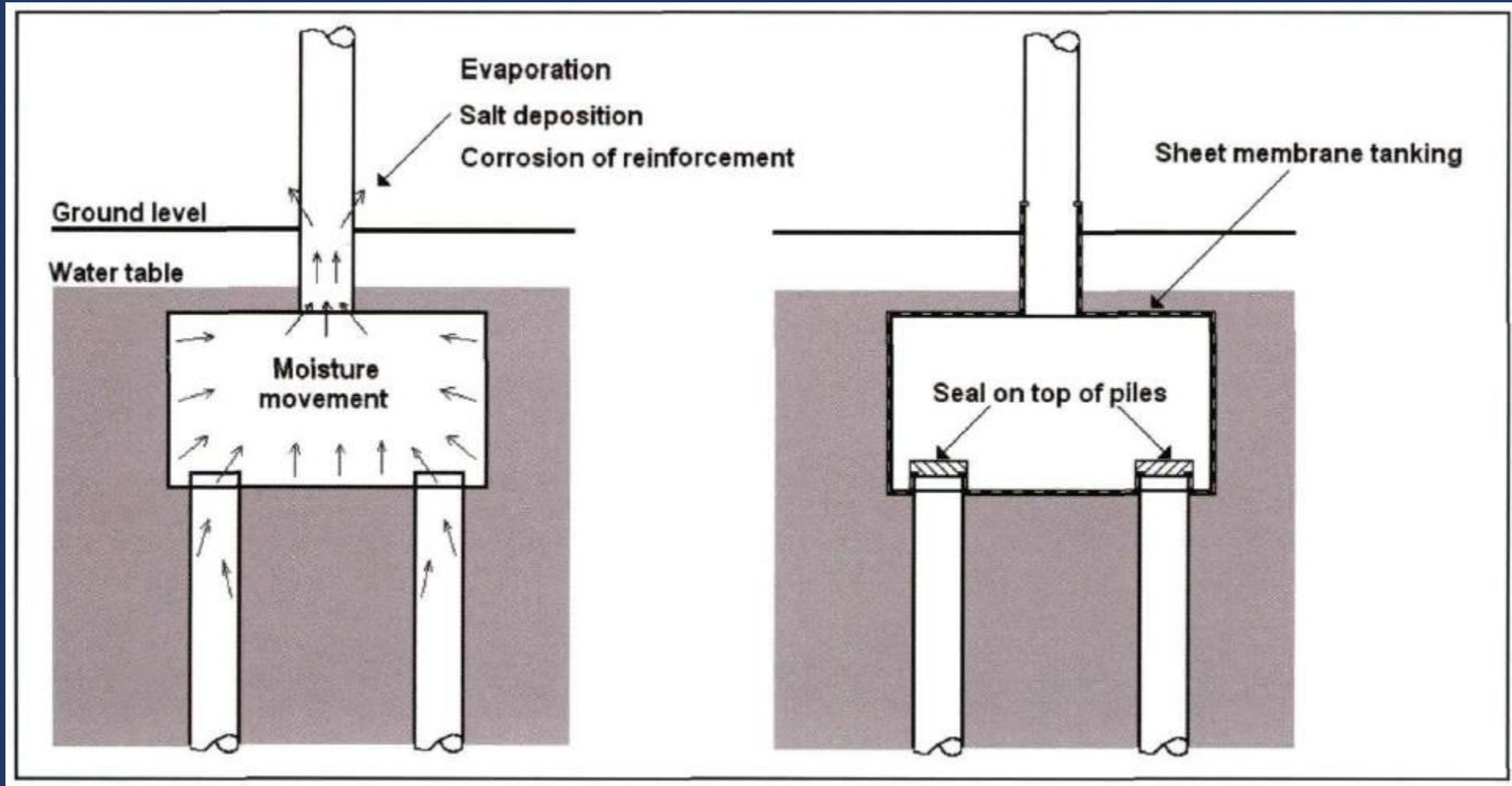


- “Deemed-to-satisfy” αναθεωρημένη με βάση ιδιαιτερότητες Αραβικής Χερσονήσου.
- Αρκετά μεγάλες απαιτούμενες επικαλύψεις σκυροδέματος
- Χρησιμοποίηση τριπλών μιγμάτων OPC/FA/SF, OPC/GGBS/SF
- Ενθάρυνση χρήσης αυτό-συμπυκνούμενου σκυροδέματος και σκυροδεμάτων υψηλών αντοχών (C50/60 και πάνω).
- Χρήση ανοξείδωτου δομικού χάλυβα (stainless steel), Galvanised steel, fusion bonded epoxy coated steel,
- Χρήση μεμβρανών (θεμέλια)
- Χαρακτηρισμός κατασκευών «ειδικού τύπου»



## Τοποθεσία

- Σύνδεση Σχεδιασμού για Ανθεκτικότητα με αρχική μόρφωση κατασκευής



### 3 Design for durability

#### 3.1 Introduction

##### 3.1.1 General

As noted in Chapter 2 durability design starts with choosing an appropriate structural form at the concept stage and, where possible, trying to eliminate the use of reinforcement. Once the decision to use reinforced concrete has been made, durability design needs to be an integral part of the whole design process. In many parts of the world, durability design for most structures is fairly straightforward and follows procedures set down in codes and standards. For example, durability design now adopted in Europe begins with an assessment of the exposure conditions which are appropriate to each of the elements of a structure, considers the intended life and ends with details of the concrete mix, cover to reinforcement and any additional durability enhancement techniques which may be required to meet the intended life. The objective of the present chapter is to develop a similar procedure for use in the Arabian Peninsula and to suggest appropriate mixes and cover to reinforcement to meet the most common local environmental exposure situations.

The general principles are that a structure or member is assigned an appropriate exposure class or classes and design life and these lead directly to the necessary concrete properties (cement type, maximum water/cement (w/c) ratio and minimum cement content). This is known as the 'deemed to satisfy' approach. Exposure classes and durability design parameters specific to the Arabian Peninsula must be used and up until now these have tended to be developed on a project-by-project basis and no authoritative guidance has been available. The approach described below is based in a much simplified form on the basic methods in BS EN 206-1, Concrete<sup>®</sup> and BS 8500, Concrete – Complementary British Standard to BS EN 206-1<sup>14</sup> but

with recommendations that are specific to circumstances in the Arabian Peninsula. The exposures and durability provisions of BS 8500 should not be applied in the region without substantial modification.

One significant variation from the European procedure is that structures or elements are considered as either 'normal' or 'special'. Differentiation between these categories is based partly on the conditions to which the structure or element is exposed and partly on their intended life. Criticality or difficulty of repair or replacement could also be brought into consideration. At the present time it is only possible to make suggestions for durability design parameters for 'normal' structures. A flowchart for the durability design process for the region is set out in Figure 6.

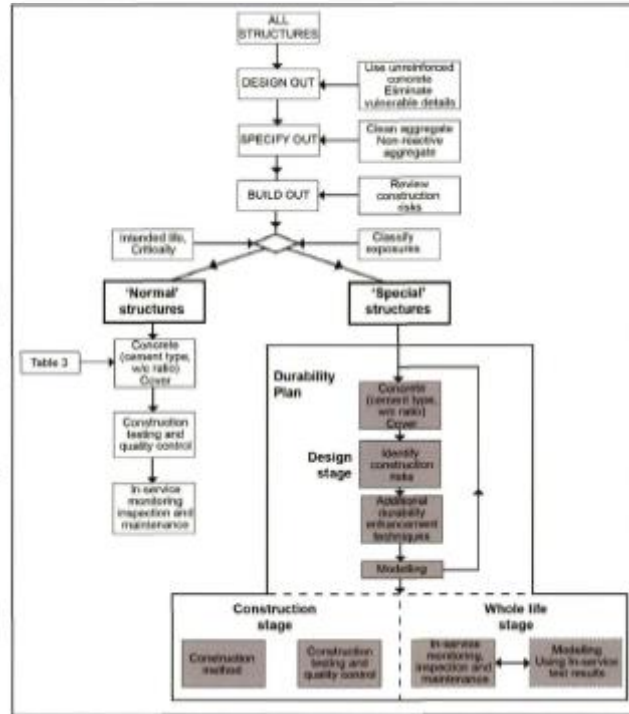
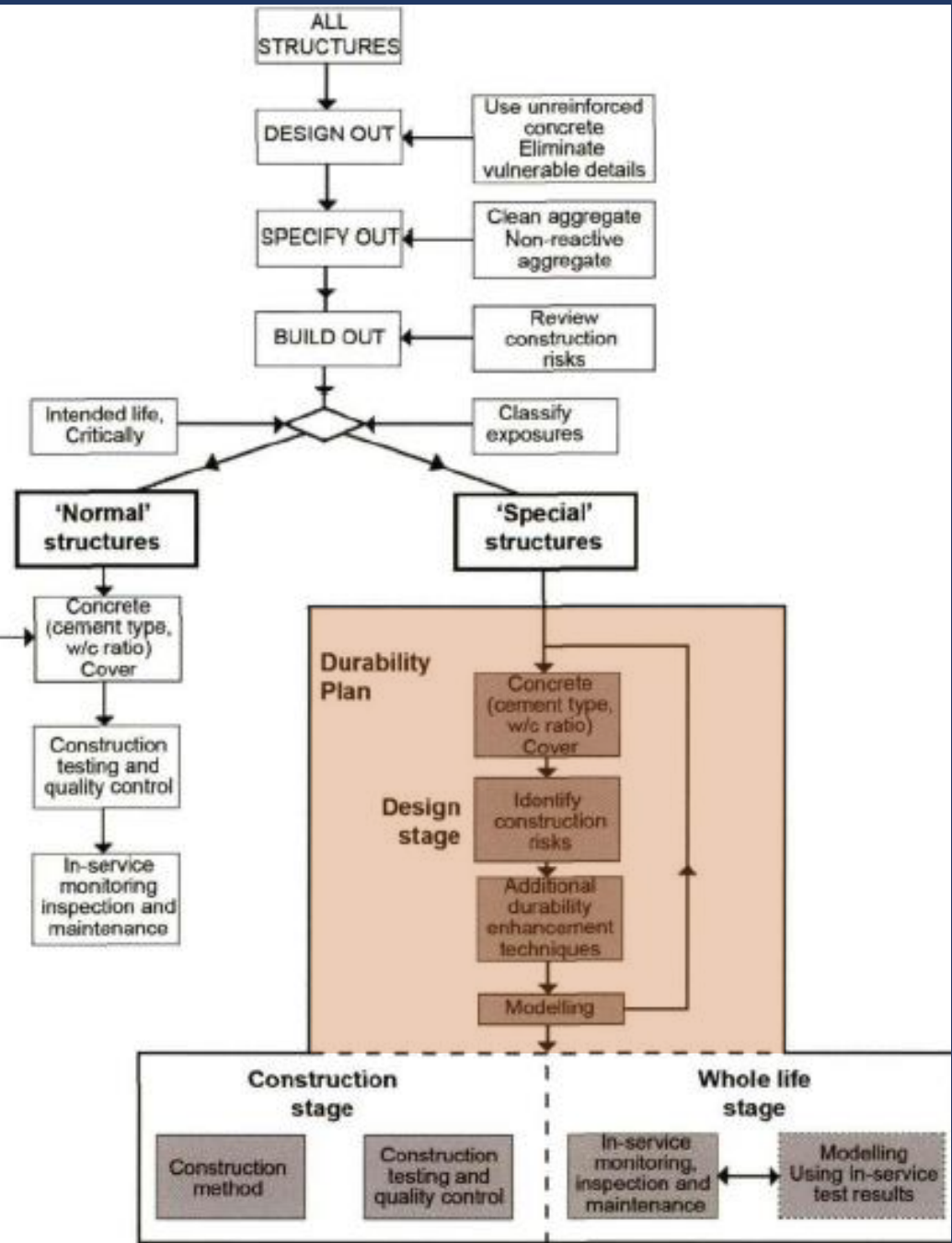
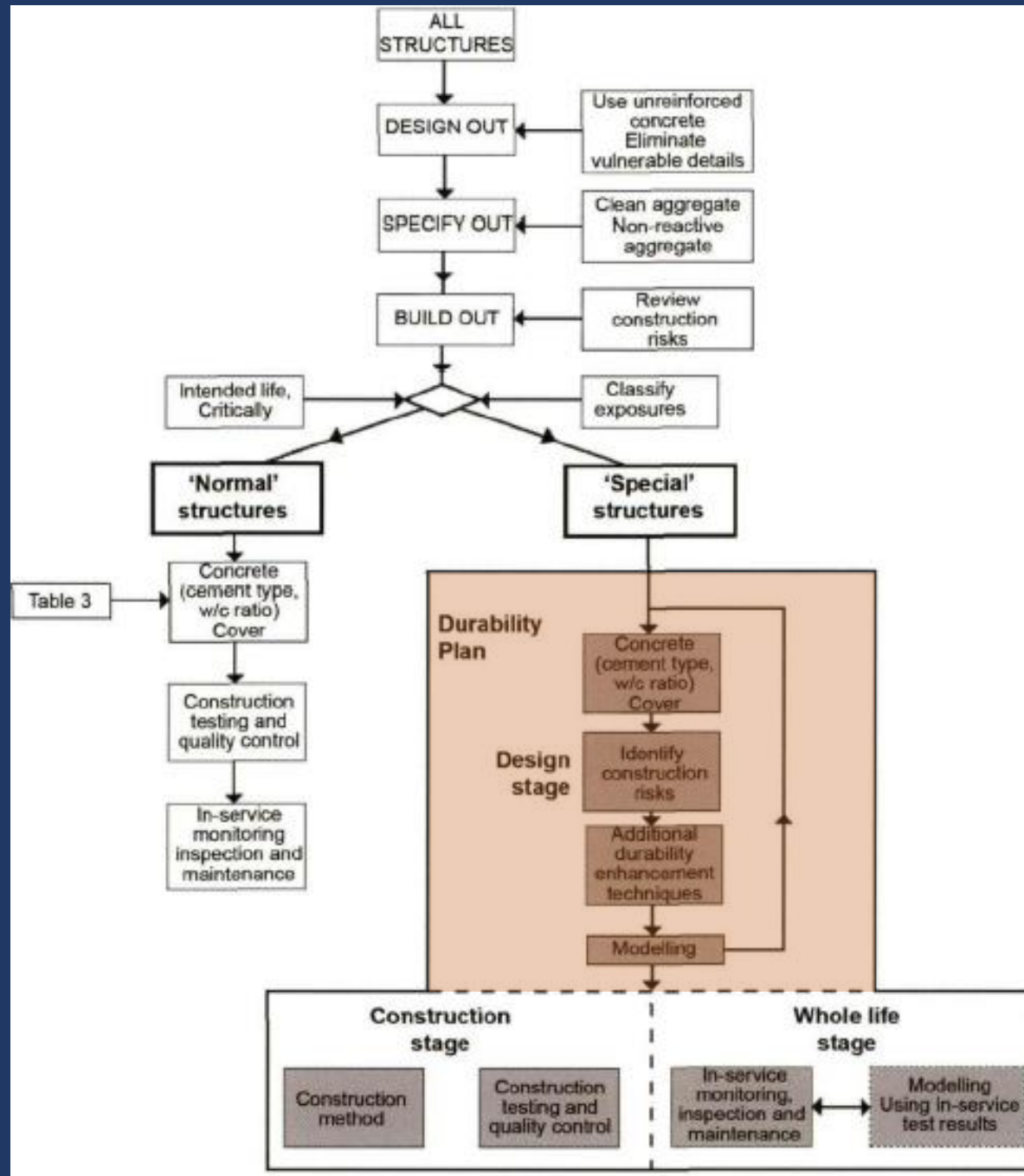
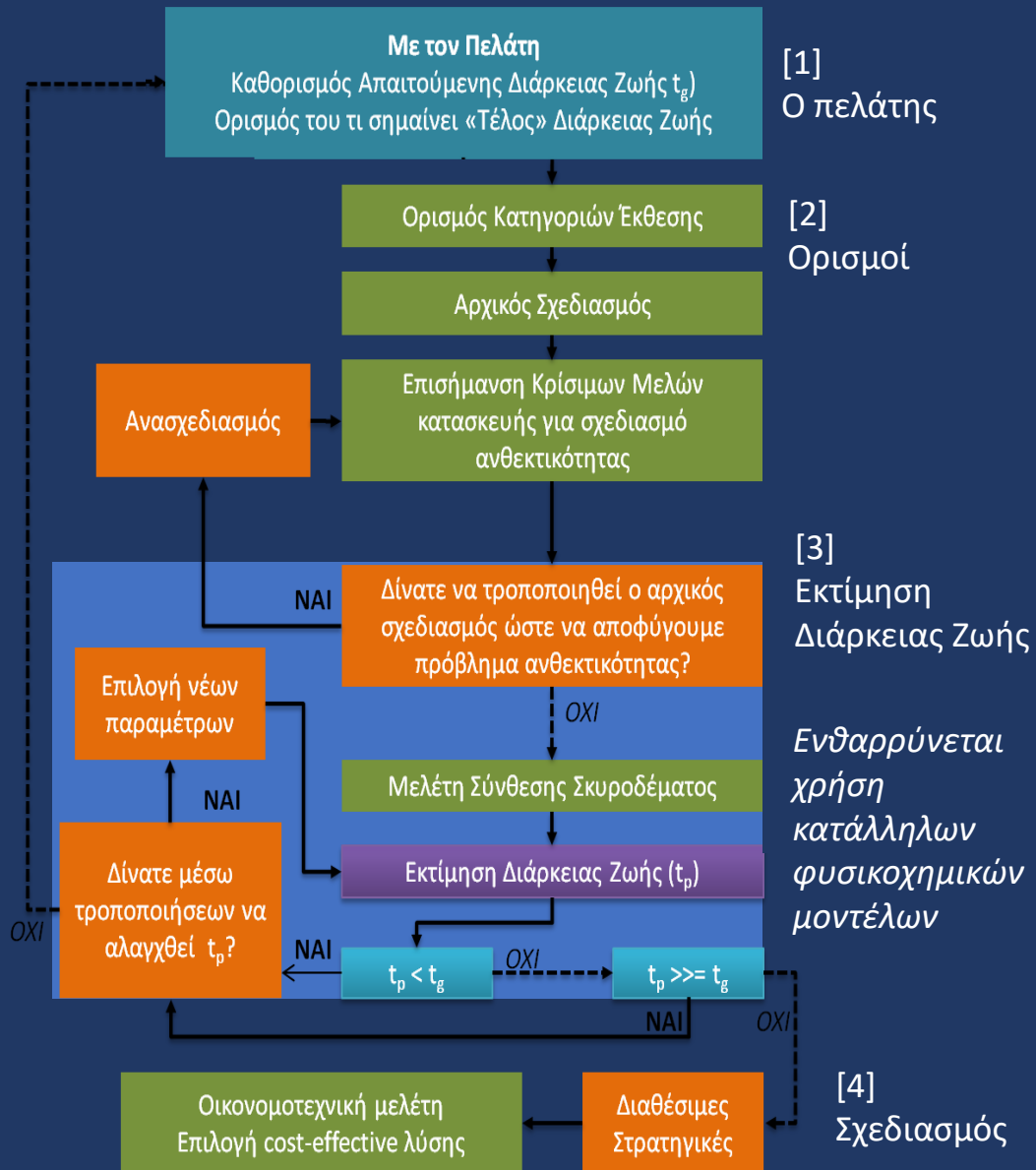


Figure 6 - Durability design process for 'normal' and 'special' structures.

Table 3

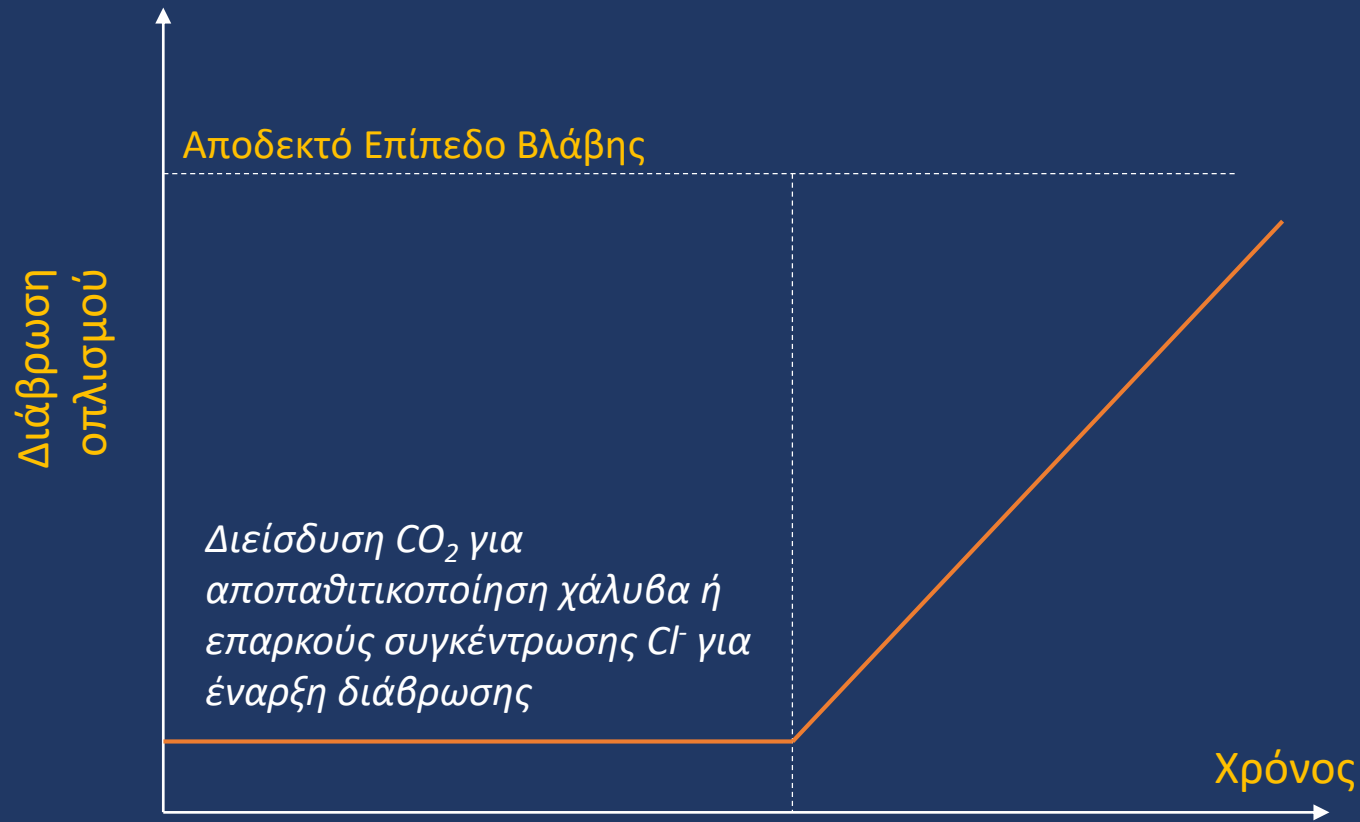


# Δομημένος Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας Κατασκευών ΟΣ (fib)





# Ορισμός Διάρκειας Ζωής



Περίοδος Εισαγωγής  
( $t_i$ )

Περίοδος Εξέλιξης  
( $t_p$ )

Χρονική περίοδος που απαιτείται για εξέλιξη συνεπειών διάβρωσης σε μη αποδεκτό βαθμό.

Χρόνος που απαιτείται ώστε το βάθος ενανθράκωσης να φθάσει ράβδο οπλισμού ή συγκέντρωση χλωριόντων να υπερβεί κρίσιμη τιμή

In the case of sulfate attack, the combined approach of assessing the aggressivity of the environment (on the basis of sulfate concentration of soil and groundwater, pH and mobility of groundwater) and providing a concrete with appropriate properties (cement type, cement content and w/c ratio) along with external protection has been successful. The durability design process and requirements are discussed in Section 3.2.4 and 3.2.5.

The process of specifying concrete in BS 8500 and also the procedure adopted here is based on:

- determining which deterioration processes are likely to affect the structure, and
- taking the environment into consideration

to arrive at an exposure class.

The process is illustrated in Figure 7. It should be noted that a concrete element can have different class designations for different exposure conditions. For example, the columns of an office building in the coastal strip of the Arabian Peninsula could be at risk from corrosion of reinforcement due to both carbonation and chlorides. It is possible for a member to have different class designations on different faces. An example of this is a harbour quay wall which could have soil with sulfates on one side and sea water on the other. It would be at risk of sulfate attack on one face and the risk of corrosion of reinforcement related to chloride penetration on the other. This is discussed further in Section 3.3.

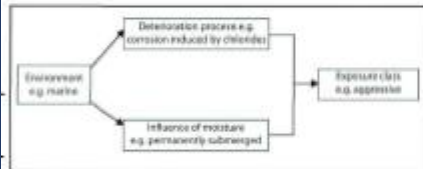


Figure 7 - Process of determining class designation by consideration of environment and possible deterioration mechanisms.

### 3.2.2 Exposure classes related to reinforcement corrosion

Corrosion can only normally take place if passivity of the reinforcement has been lost either because of carbonation or because of the presence of salts. In either case, another main influencing factor is the presence or absence of moisture. This is not only because corrosion requires the presence of moisture but also because the transport processes associated with carbonation and/or chloride ingress are dependent on the moisture state of the cover concrete. The exposure classes for corrosion of reinforcement associated with carbonation and/or chloride ingress are therefore each subdivided into three sub-classes: 'Wet, rarely

dry', 'Moderate humidity' and 'Cyclic wet and dry'. In the case of carbonation exposures, 'Dry' is grouped together with 'Wet, rarely dry' and 'Moderate humidity' classes as these conditions have much the same result. These classes are given descriptions as shown in Table 2, with illustrative examples.

Corrosion of reinforcement is the greatest risk to structures in the Arabian Peninsula. A durability design approach which assigns an exposure class and which provides concrete properties and cover to reinforcement which are appropriate to the exposure class, is applicable to the majority of projects in the region ('normal' structures). There will be a number of situations ('special' structures) where either durability may not be provided by concrete quality and cover to reinforcement alone or where the required cover to reinforcement would lead to unacceptable calculated crack widths. Such situations include:

- structures with long intended lives (> 30 years)
- structures in or close to the sea
- structures in contact with saline process water (e.g. pump chambers in desalination plants)
- complex structures
- thin sections
- highly critical elements
- structures which contain or exclude saline water (e.g. basements and tunnels below the water table).

In these cases additional durability enhancement techniques will probably be required.

It is realised that the above leads to a situation where structures in common environments, e.g. coastal, become 'special' structures. This is not intended to imply that all such structures should be designed with additional enhancement techniques and experience may indicate that these are not necessary. In many cases durability can still be provided by the use of appropriate concrete mixes and cover to reinforcement. One particular situation where this is probably the case is external superstructures within 50m of the coast. These are undoubtedly affected by chlorides in the atmosphere and structures exposed to dust and condensation are vulnerable. However, in many locations, superstructures of buildings, for example, could be argued as falling within the 'Severe' or even 'Aggressive' categories rather than 'Extreme' as indicated in Table 2. This is particularly the case if they are protected by cladding or there is a reasonable track record of lesser provisions providing adequate durability. In this case, the designation 'special' means that careful consideration needs to be given to durability design and a record should be kept of the design decisions and the reasons for them.

Corrosion of reinforcement is the greatest risk to structures in the Arabian Peninsula. A durability design approach which assigns an exposure class and which provides concrete properties and cover to reinforcement which are appropriate to the exposure class, is applicable to the majority of projects in the region ('normal' structures). There will be a number of situations ('special' structures) where either durability may not be provided by concrete quality and cover to reinforcement alone or where the required cover to reinforcement would lead to unacceptable calculated crack widths. Such situations include:

- structures with long intended lives (> 30 years)
- structures in or close to the sea
- structures in contact with saline process water (e.g. pump chambers in desalination plants)
- complex structures
- thin sections
- highly critical elements
- structures which contain or exclude saline water (e.g. basements and tunnels below the water table).

In these cases additional durability enhancement techniques will probably be required.

Table 6.1.  
Exposure classes for reinforcement corrosion

Exposure Class	Class description
X0	<b>No risk of corrosion</b> or attack. Non saline conditions. Blinding concrete, non-reinforced concrete or slab on ground
X1	<b>Mild exposure</b> – Non saline conditions (dry or wet, rarely dry). External concrete at least 3m above ground level, internal concrete in dry conditions, concrete permanently submerged in non-saline water or non-aggressive groundwater (Class S1).
X2	<b>Moderate exposure</b> – Non saline conditions (cyclic wet and dry). External reinforced concrete less than 3m above ground level, water-retaining structures exposed to fluctuating water levels.
X3	<b>Aggressive exposure</b> – Permanently submerged or wet (rarely dry). Concrete in contact with groundwater including capillary rise zone, concrete containing or permanently exposed to saline water.
X4	<b>Severe exposure</b> – Moderate humidity. External concrete within 1km from the sea or in contact with high saline water table or sabkhas. Concrete not affected by condensation, irrigation or leakage, which are more than 3m above ground level.
X5	<b>Extreme exposure</b> – Cyclic wet and dry. External concrete within 1km from the sea or in contact with high saline groundwater or sabkhas. Concrete affected by condensation, irrigation or leakage, which are less than 3m above ground level or within capillary zone. Concrete surfaces exposed to sea water splash or in sea water tidal zone.

Ήπιο

«Μεσαίο»

Επιθετικό

Αρκετά Επιθετικό

Ιδιαίτερα Έντονα  
Επιθετικό



Structure type for intended life (years)		Class designation (Class description)	Informative examples applicable in the Arabian Peninsula
< 30	30+		
<b>Corrosion induced by carbonation</b>			
<b>Non-saline conditions – excludes structures within 1km of the sea, structures in areas with high saline water tables and structures sited in <i>sabkhas</i> or <i>salinas</i>.</b>			
Normal	Special	<b>Mild</b> (Dry or Wet, rarely dry)  (Moderate humidity)	(i) External surfaces at least 3m above ground level (>3m πάνω από επιφάνεια εδάφους) (ii) Surfaces inside buildings with low air humidity (iii) Surfaces permanently submerged in non-saline water (iv) Surfaces permanently below non-aggressive ground/groundwater Surfaces inside buildings or structures (excluding kitchens, laundries, bathrooms, washrooms and lavatories) with moderate air humidity
		<b>Moderate</b> (Cyclic wet and dry)	(i) External surfaces less than 3m above ground level (≤ 3m πάνω από επιφάνεια εδάφους) (ii) Surfaces between high and low water level in water-retaining structures with fluctuating water levels (non-saline water) (iii) Surfaces above water level in enclosed water-retaining structures (condensation, non-saline water) (iv) Surfaces in kitchens, laundries, bathrooms, washrooms and lavatories provided that any fluid which comes into contact is non-saline

Structure type for intended life (years)		Class designation (Class description)	Informative examples applicable in the Arabian Peninsula
< 30	30+		
<b>Corrosion induced by chlorides</b>			
Normal	Special <sup>(a)</sup>	<b>Moderately Aggressive</b> (Permanently submerged)	Surfaces of under-sea structures which are permanently <b>at least 5m below low tide level</b>
		<b>Aggressive</b> (Wet, rarely dry)	(i) Surfaces underground in areas with saline groundwater including the capillary rise zone (but see also sulfate exposure classes) (ii) Surfaces of structures containing saline water which are in permanent contact with the water (iii) Surfaces between high tide level and <b>5m below sea level</b>
		<b>Severe</b> (Moderate humidity)	(i) External surfaces which are not affected by condensation, condensation runoff, irrigation or leakage and which are <b>more than 3m above ground level</b> of structures which are: (a) in geographical locations with high saline water table, <i>salinas</i> or <i>sabkhas</i> or (b) <b>between 50m and 1km from the sea</b>
Special <sup>(a)</sup>	Special <sup>(a)</sup>	<b>Extreme</b> (Cyclic wet and dry)	(i) External surfaces in geographical locations, between 50m and 1km from the sea or with high saline groundwater, <i>salinas</i> or <i>sabkhas</i> which are: (a) <b>less than 3m<sup>(b)</sup> above ground level</b> or within the capillary rise zone or (b) affected by condensation, condensation runoff, irrigation or leakage (ii) Surfaces of water-retaining structures where the contained water is saline and which are: (a) affected by fluctuating water levels, spray or splash or (b) on the opposite side of the member from the contained water and could be affected by leakage. (iii) Internal surfaces of water excluding structures such as tunnels and basements where the excluded water is saline (iv) Splash zone – external surfaces of structures <sup>(c)</sup> from high tide level to 50m inland

## Απαιτούμενες επικαλύψεις για δράση ενανθράκωσης

Arabian Peninsula exposure class <sup>(a)</sup>	Compressive strength class <sup>(b)</sup> , maximum w/c ratio and minimum cement or combination content for normal-weight reinforced concrete with 20mm maximum aggregate size for an intended life of 30 years.							Cement/combination (see Table 1)
<b>Corrosion induced by carbonation</b>								
<b>Non saline conditions – excludes structures with saline water tables and structures sited in <i>sabkhas</i> or <i>salinas</i>.</b>								
	Nominal cover to reinforcement							
	30 + Δc	35 + Δc						
<b>Mild</b>	C35 0.50 340							All in Table 1
<b>Moderate</b>	C50 0.40 380	C40 0.45 360	C35 0.50 340					All in Table 1

Δc: 15 mm (γενικά)  
10 mm (καλή ποιότητα κατασκευής)  
> 50 mm (επαφή με έδαφος)



### 3.2.3 Durability provisions – reinforcement corrosion

#### 'Normal' structures

Suggested minimum cement contents, maximum w/c ratios and nominal cover to reinforcement for an intended working life of 30 years for exposure classes related to corrosion of reinforcement are shown in Table 3. The suggested values assume that robust tanking has been provided to the foundations or that alternative measures have been taken to prevent salts and moisture rising from the ground through the foundations and into the structure. The values for the nominal cover to the reinforcement (the figure shown on the drawings) are given in the form '25 + Δc', where Δc is a reinforcement fixing tolerance. It is recommended that this should be taken as 15mm for in-situ construction

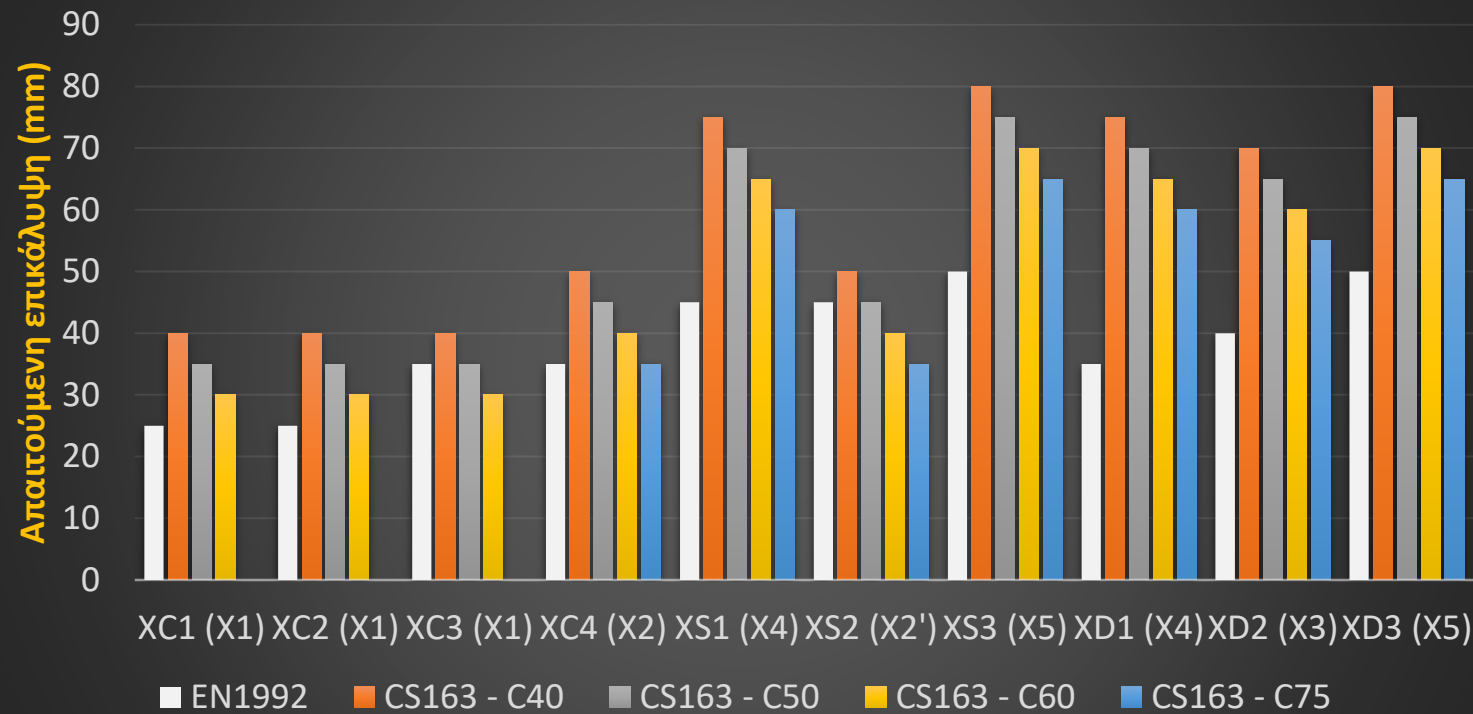
in the region. A value of 10mm might be appropriate where there is good quality control on site and for precast members where there is good control over reinforcement placing. A value of 10mm could also be appropriate in the lower-risk 'Mild' exposure class. A fixing tolerance less than 10mm could be adopted in the special circumstances of precast elements which are carefully checked after production and where non-compliant units are rejected. Higher values may be required where a very long design life is required. Where concrete is cast against the ground, such as for bored piles or diaphragm walls, the tolerance on cover should not be less than 50mm. A similar value for tolerance on cover should be taken where a pile connects into a pile cap. The value of Δc adopted in design should be stated on the drawings or in the contract documents as it will be used when assessing compliance of cover to reinforcement on site.



## Απαιτούμενες επικαλύψεις για δράση χλωριόντων

Corrosion induced by chlorides										
	Nominal cover to reinforcement <sup>(c)</sup> - mm									
	35 + Δc	40 + Δc	45 + Δc	50 + Δc	55 + Δc	60 + Δc	65 + Δc	70 + Δc	75 + Δc	
<b>Moderately aggressive</b>	C50 0.40 380									A, B
	C40 0.45 360									C, D, E
<b>Aggressive</b>	N/A	N/A	N/A	C60 0.35 400		C50 0.40 380	C40 0.45 360			C
	N/A	N/A	C60 0.35 400		C50 0.40 380	C40 0.45 360				D
	N/A	C60 0.35 400		C50 0.40 380	C40 0.45 360					E
<b>Severe</b>	N/A	N/A	N/A	N/A	C60 0.35 400		C50 0.40 380	C40 0.45 360		C
	N/A	N/A	N/A	C60 0.35 400		C50 0.40 380	C40 0.45 360			D
	N/A	N/A	C60 0.35 400		C50 0.40 380	C40 0.45 360				E
<b>Extreme</b> (Additional enhancement)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	C60 0.35 400	C50 0.40 380	C40 0.45 360	C





	EC 2		CS 163			
		c (mm)	c (mm)/C40	c (mm)/(C50)	c (mm)/(C60)	c (mm)/(C75)
XC1 (X1)	20/25	25	40	35	30	
XC2 (X1)	25/30	25	40	35	30	
XC3 (X1)	25/30	35	40	35	30	
XC4 (X2)	30/37	35	50	45	40	35
XS1 (X4)	25/30	45	75	70	65	60
XS2 (X2')	25/30	45	50	45	40	35
XS3 (X5)	30/37	50	80	75	70	65
XD1 (X4)	30/37	<b>35</b>	<b>75</b>	70	65	60
XD2 (X3)	35/45	40	70	65	60	55
XD3 (X5)	35/45	50	80	75	70	65

## Έκθεση σε Θειικά

Minimum strength class	Minimum cement (kg/m <sup>3</sup> )	Maximum w/c	Cement type (see Table 1)	Sulfate <sup>(a)</sup>				Mild	Moderate	Moderately aggressive	Aggressive	Severe	Extreme (additional enhancement techniques required)	
				S-1	S-2	S-3	S-4							
C35	340	0.5	All	Yes	No	No	No	30 + Δc	40 + Δc	N/A	N/A	N/A	N/A	
C40	360	0.45	A, B	Yes	No	No	No	30 + Δc	35 + Δc	35 + Δc	N/A	N/A	N/A	N/A
			C	Yes	No	No	No				65 + Δc	70 + Δc	75 + Δc	
			D	Yes	Yes	No	No				60 + Δc	65 + Δc	70 + Δc	
			E	Yes	No	No	No				55 + Δc	60 + Δc	65 + Δc	
C50	380	0.4	A	Yes	No	No	No	30 + Δc	30 + Δc	35 + Δc	N/A	N/A	N/A	N/A
			B	Yes	Yes	No	No				N/A	N/A	N/A	
			C	Yes	Yes	No	No				60 + Δc	65 + Δc	70 + Δc	
			D	Yes	Yes	Yes	No				55 + Δc	60 + Δc	65 + Δc	
			E	Yes	Yes	No	No				50 + Δc	55 + Δc	60 + Δc	
C60	400	0.35	A	Yes	No	No	No	30 + Δc	30 + Δc	35 + Δc	N/A	N/A	N/A	N/A
			B	Yes	Yes	Yes	No				N/A	N/A	N/A	
			C	Yes	Yes	Yes	No				50 + Δc	55 + Δc	65 + Δc	
			D	Yes	Yes	Yes	Yes				45 + Δc	50 + Δc	60 + Δc	
			E	Yes	Yes	Yes	No				40 + Δc	45 + Δc	55 + Δc	

Γενικός κανόνας σε περίπτωση συνύπαρξης των παραπάνω παραγόντων είναι, λόγω του υψηλότερου ρυθμού διείσδυσης Cl<sup>-</sup> στο σκυρόδεμα (σε σχέση με τα θειικά), να θεωρείται πιο επιθετική (ως προς την εμφάνιση διάβρωσης σπλισμού) η δράση χλωριόντων.

## Προδιαγραφόμενα Τσιμέντα

Cement	Percentages of components <sup>(a)</sup>	Standard or (former Standard)	Reference for this guide	European designation to BS EN 197-1 <sup>(b)</sup>
Portland ASTM Type 1 ASTM Type 2	100% PC	(BS 12 <sup>(9)</sup> ) ASTM C 150 <sup>(10)</sup> ASTM C 150 <sup>(10)</sup>	A	CEM I
Sulfate-resisting ASTM Type 5	100% PC	BS 4027 <sup>(11)</sup> ASTM C 150 <sup>(10)</sup>	B	–
PC/fly ash	65–75% PC 35–25% pfa	(BS 6588 <sup>(1,2)</sup> )	C	CEM II/B-V
PC/ggbs	40–50% PC 60–50% ggbs	(BS 146 <sup>(1,3)</sup> )	C <sup>(c)</sup>	CEM III/A
PC/fly ash	60–74% PC 40–36% pfa		D	CEM IV/B-V
PC/ggbs	25–34% PC 75–66% ggbs	(BS 4246 <sup>(1,4)</sup> )	D	CEM III/B
Triple blend PC/fly ash/silica fume	55–70% PC 35–25% pfa 10–5% ms	–	E	–
Triple blend PC/ggbs/silica fume	30–45% PC 60–50% ggbs 10–5% ms	–	E	–

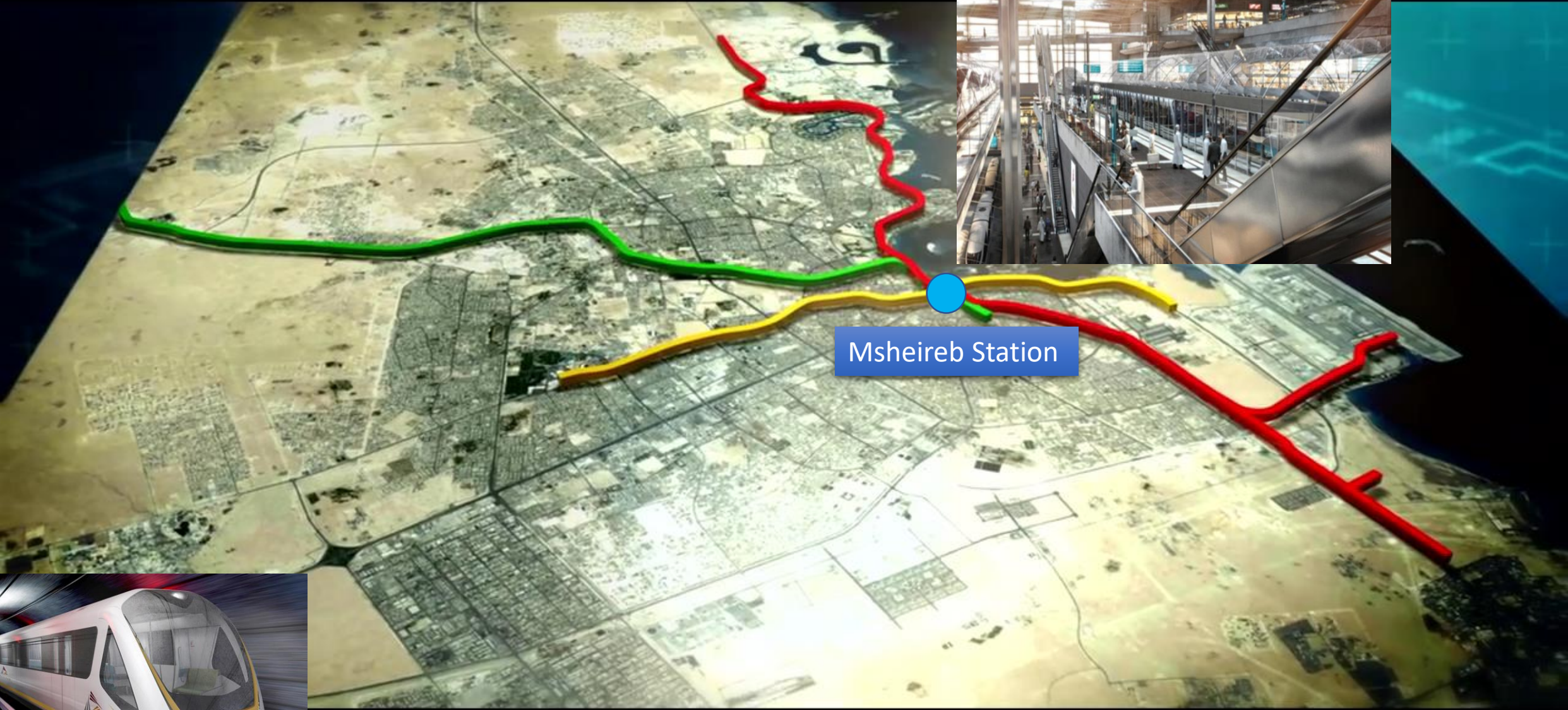
**Notes:**

(a) Only materials that conform to the requirements of a recognised standard (e.g. British, European or American), as outlined in Chapter 5, should be used.

(b) In most cases BS EN 197-1 permits wider variations in percentages of components than those shown. Combinations must conform to BS 8500-2:2006 Annex A.

(c) When the cement or combination is specified for sulfate resistance there is an additional requirement that if the alumina content of the slag exceeds 14%, the tricalcium aluminate content of the Portland cement component should not exceed 10%, add '+SR' to the abbreviation.





Msheireb Station

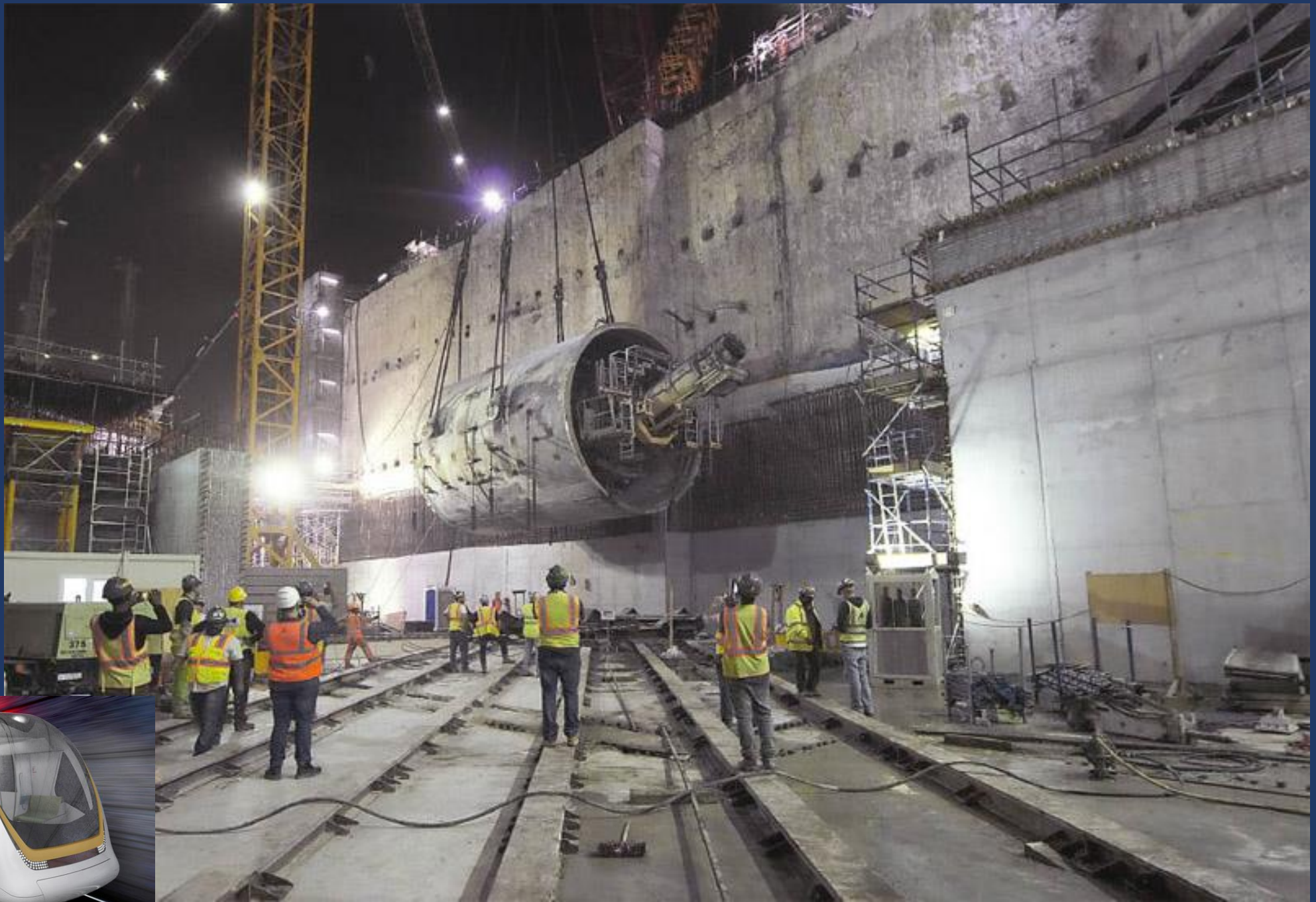
















Contractor:



## **QATAR INTEGRATED RAIL PROJECT**

**Doha Metro: Gold Line**

**Structural Concrete Durability Assessment**

**M006-GDB-STR-RPT-00016**



Expert opinion on the durability issues for structural concrete for Doha Metro Gold Line



Ορισμός Επιθετικού Περιβάλλοντος  
 Προσδιορισμός κύριου μηχανισμού φθοράς  
 Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής

Δραστικότητα Υπεδάφους

Reference	Contract Requirement
Contract Document Volume 6	
cl.1.3.2	<p>The durability aspects of the Contractor's plans and the O&amp;M manuals shall demonstrate how the selected design, materials, construction, operation and maintenance will meet the durability objectives necessary to achieve the required Design Life of each asset as specified. For each asset that comprises part of the Works, the Contractor's plans shall:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) define the characteristics of the environment;</li> <li>b) identify the potential deterioration mechanisms in that environment;</li> <li>c) determine the likely rate of deterioration;</li> <li>d) assess the material life;</li> <li>e) define the required material performance;</li> <li>f) assess the need for further protection;</li> <li>g) if appropriate, develop procedures for replacement of asset items and asset sub-items at intervals consistent with the Design Life specified;</li> <li>h) determine inspection and monitoring requirements; and</li> <li>i) if appropriate, outline possible remedial measures.</li> </ul>
cl.1.3.3	The design shall consider the highly aggressive nature of the geological units in Qatar with regards to soluble sulphate, chloride and salt concentrations. This shall be taken into account for durability purposes when designing the underground structures.
cl.1.3.6	The presence of highly aggressive groundwater requires careful design of resistant concrete mixes, increased cover to reinforcing steel, close control of flexural cracking and very careful detailing of
cl.1.3.13	The Design shall address all physical or chemical factors such as corrosion, chloride penetration, carbonation, sulphate cracking and corrosion of the steel reinforcement, steel spacer, steel accessories, embedded items and similar components that adversely affect the durability of the Works shall be identified and taken into account in the design to ensure the specified design life is achieved.
QCS, 5, 14.1.7 Clause 6	All foundations shall be provided with protection such as epoxy coatings or similar other accepted equivalents so that concrete is not exposed to harmful effects of soil, chlorides, etc.

Προστασία Θεμελιώσεων - Μembrάνη



## Προσδιορισμός Επιθετικότητας Υπεδάφους

- 123 γεωτρήσεις κατά μήκος διαδρομής
- 72 δείγματα (Gold Line) διαμέτρου (63 - 84 mm)
- Προσδιορισμός χημικής σύστασης (ιδιαίτερα περιεκτικότητα θεικών και χλωριόντων (mg/l))



## Aggressively assessment of soil and rock (υπέδαφος)

Lot	BH No.	Elev. (mQNHD) ( <sup>b</sup> )	Approx. Depth (mbgl)	Approx. Depth (mQNHD)	Location	Profile ID	pH	Water Soluble Sulphate (%)	Water Soluble Sulphate (mg/L) <sup>(d)</sup> SO <sub>3</sub>	Water Soluble Sulphate (mg/L) <sup>(e)</sup> SO <sub>4</sub>	Water Soluble Chloride (%)	Carbonate	
												as CO <sub>2</sub> (%)	as CaCC (%)
2.1	Doh_MW10DB_873	#N/A	2.8	#N/A	Airport City North	Doh_MW10DB_873/2.8	8.8	0.02	100	120	0.02	35.2	80
2.1	Doh_MW10DB_874	#N/A	10.05	#N/A	Airport City North	Doh_MW10DB_874/10.1	8.7	0.02	100	120	0.05	37.31	84.79
2.1	Doh_MW10DB_875	#N/A	19.6	#N/A	Airport City North	Doh_MW10DB_875/19.6	7.9	0.1	500	600	0.66	26.6	60.4
2.1	Doh_MW10DB_876	#N/A	9	#N/A	Airport City North to Al Sharq/ National Museum	Doh_MW10DB_876/9	8.8	0.01	50	60	0.02	43.64	99
2.1	Doh_MW10DB_921	#N/A	10.6	#N/A	Airport City North to Al Sharq/ National Museum	Doh_MW10DB_921/10.6	9	0.01	50	60	0.04	40.45	0.92
2.1	Doh_MW10DB_920	#N/A	13	#N/A	Airport City North to Al Sharq/ National Museum	Doh_MW10DB_920/13	8.5	0.02	100	120	0.06	32	72.8
2.1	Doh_MW10DB_877	#N/A	17.4	#N/A	Airport City North to Al Sharq/ National Museum	Doh_MW10DB_877/17.4	8.4	0.32	1600	1920	0.16	35.2	80
2.1	Doh_MW10DB_878	#N/A	8.9	#N/A	Al Sharq/ National Museum	Doh_MW10DB_878/8.9	8.5	0.05	250	300	0.03	38.4	87
2.1	Doh_MW10DB_879	#N/A	5.55	#N/A	Al Sharq/ National Museum	Doh_MW10DB_879/5.6	8.7	0.01	50	60	0.01	35.55	74
2.1	Doh_MW10DB_880	#N/A	11.15	#N/A	Al Sharq/ National Museum to Doha Souq	Doh_MW10DB_880/11.2	8.6	0.02	100	120	0.03	37.7	85.6

## Aggressively assessment of groundwater (υπόγεια ύδατα)

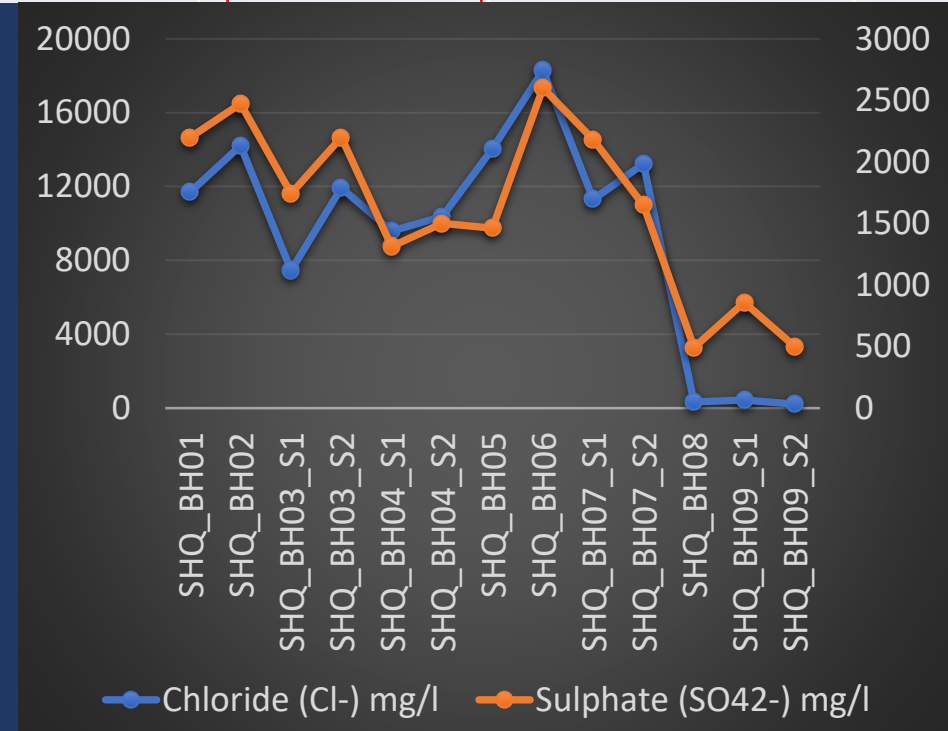
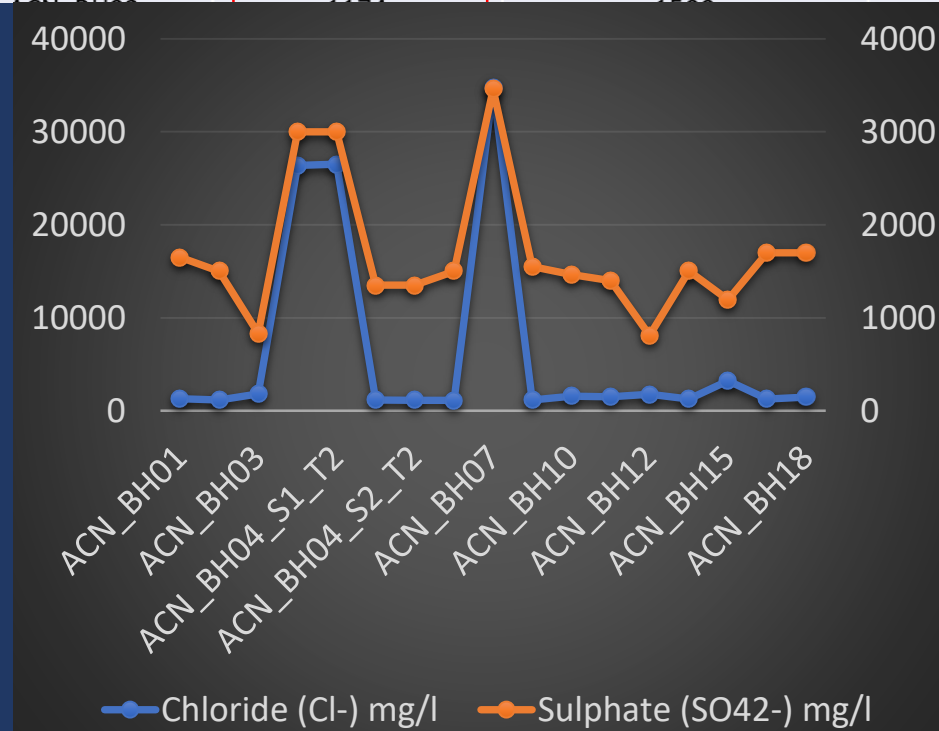
Lot	Lab ID	BH No.	Location	Sulphate (SO <sub>3</sub> ) mg/L	Total Alkalinity as CaCO <sub>3</sub> mg/L	Date Sampled	Field Tempe- rature (°C)	Field Conducti- vity (μS/cm)	Field pH	Total Alkalinity (mg/l)	Chloride (Cl) (mg/l)	Sulphide (mg/l)	Sulphate (SO <sub>4</sub> ) (mg/l) ( <sup>b</sup> )	Potassium (K) (mg/l)	Sodium (Na) (mg/l)	Calcium (Ca) (mg/l)	Magnesium (Mg) (mg/l)
2.2		Doh_MW10DB_725	Al Sadd	1520	195.3				7.14		683.5		1824				
2.2		Doh_MW10DB_770	Al Sadd Station to Transition Tunnel/Elevated	2010	53				7.55		887.7		2412				
2.1	185649	Doh_MW10DB_873				20/05/2012	31.4	7600	7.7	187	1535	<0.1	1100	38.38	898.4	303	183.8
2.1	185648	Doh_MW10DB_873				20/05/2012	31.6	35600	7.71	133	11085	<0.1	1600	236.1	6480	704.6	547
2.1	184281	Doh_MW10DB_874				14/05/2012	30.9	6820	7.48	182.8	1255	<0.1	1150	26.94	721.2	373.9	169.2
2.1	184282	Doh_MW10DB_874				14/05/2012	30.8	79400	7.11	92.8	31639	<0.1	1800	874.2	18742	1871	1109
2.1	185955	Doh_MW10DB_875				22/05/2012	31.6	5060	7.43	190.8	854.3	<0.1	1200	18.28	501.5	325.9	190.3
2.1	185954	Doh_MW10DB_875				22/05/2012	31.5	82600	7.54	85	94.7	<0.1	175	2.03	54.3	62.5	36.5
2.1	184279	Doh_MW10DB_876				14/05/2012	30.9	4950	7.36	205.3	826	<0.1	1050	17.76	474.7	358.3	137.8
2.1	184280	Doh_MW10DB_876				14/05/2012	31.3	7100	7.39	191	3304	<0.1	1750	66.08	1879	533.9	341.3
2.1	184278	Doh_MW10DB_921				14/05/2012	32.8	4250	7.25	206.8	687.7	<0.1	850	16.59	400.5	306.6	135.6

Υψηλές συγκεντρώσεις χλωριόντων και θεικών στο υπέδαφος

Sample Location	Chloride (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	Sulphate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) mg/l	pH
WAC_BH01	709	1661	7,5
WAC_BH02	674	1525	7,29
WAC_BH05	1134	2311	7,66
WAC_BH06	496	1259	7,29
WAC_BH07	319	1151	6,87
WAC_BH08	213	254	7,48
DSQ_03	16645	3700	7,61
DSQ_04	309,9	600	7,41
DSQ_05	2265	550	12,07

Sample Location	Chloride (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	Sulphate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) mg/l	pH
SAD_BH04	199	436	7,6
SAS_BH01	4894	1038	7,08
SAS_BH02	3191	4692	8,45
SAS_BH03	1773	4960	9,06
SAS_BH05	1277	921	7,41
SAS_BH07	1277	4159	8,9
SAS_BH08	993	4720	9,14
SAS_BH09	4113	944	7,31
SAS_BH04	886,9	1665	7,42

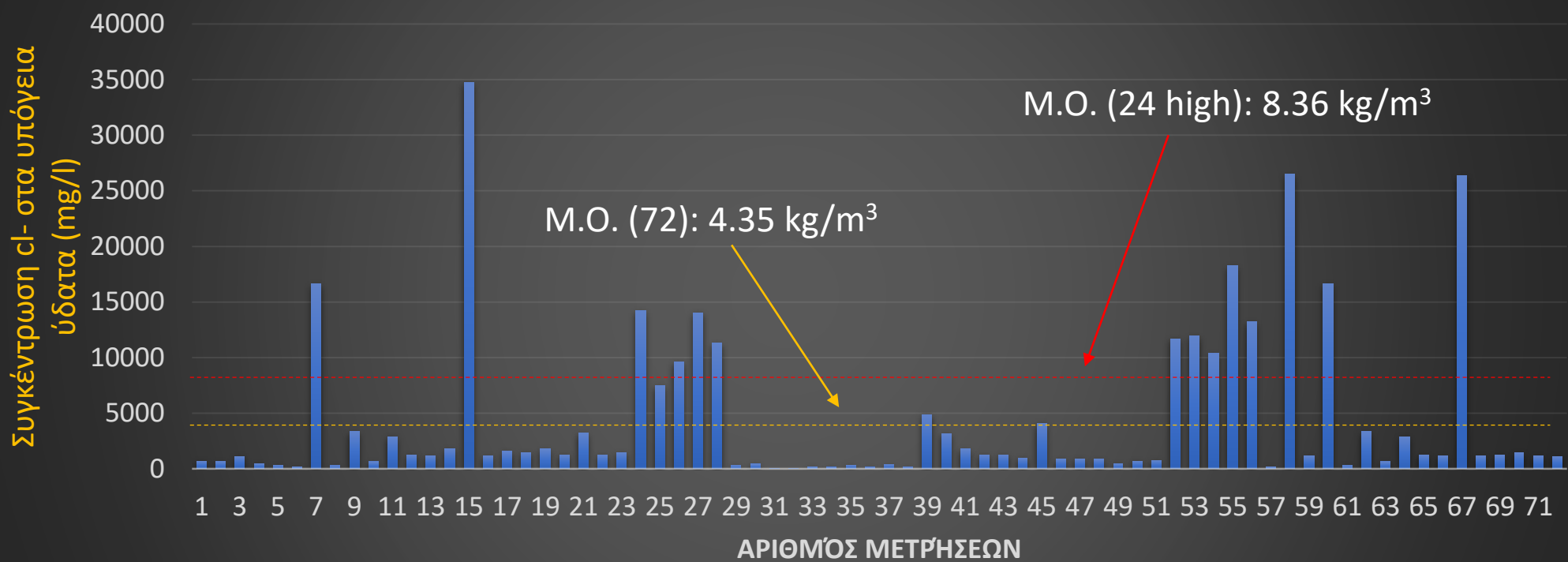
Αρκετά χαμηλό pH



ADB_BH08	161	1218	8,55
SAC_BH04	361	1613	8,52
SAC_BH06	174	2173	8,8
SAD_BH02	397	1474	8,53
SAD_BH04	199	436	7,6

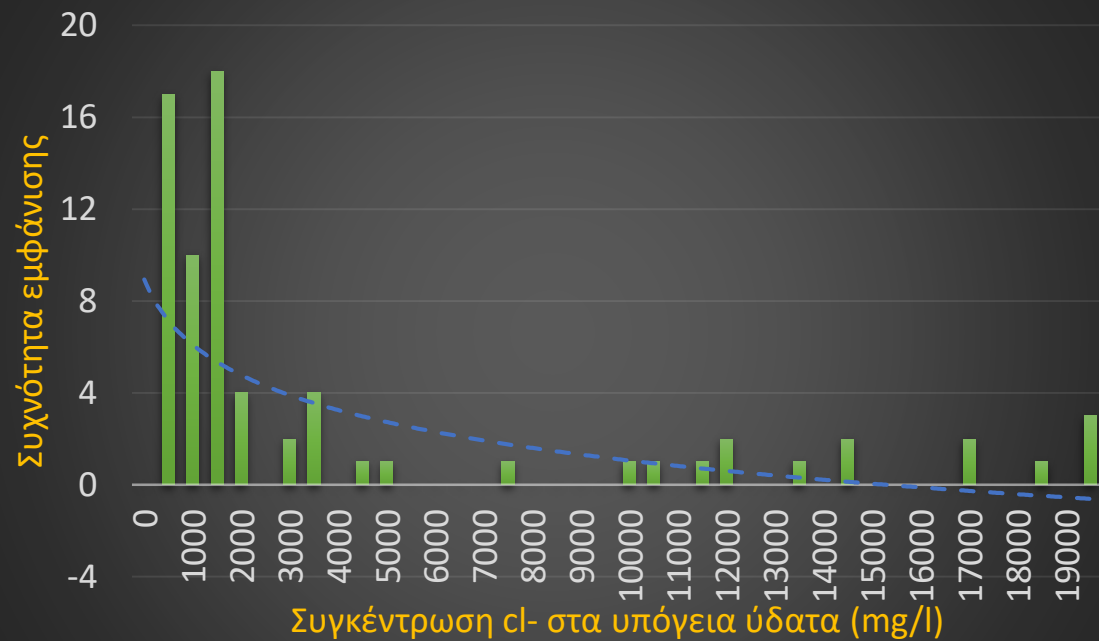
ACN_BH18	1483	1700	9,15
ACN_BH04_S2_T1	1143	1350	7,18
ACN_BH04_S3	1122	1500	7,81





- Σημαντική διακύμανση τιμών
- Μέσος Όρος μετρήσεων 4.35 kg/m<sup>3</sup> solution
- Γεωμετρικός μέσος όρος 1.45 kg/m<sup>3</sup> solution.

- Λογαριθμική κατανομή



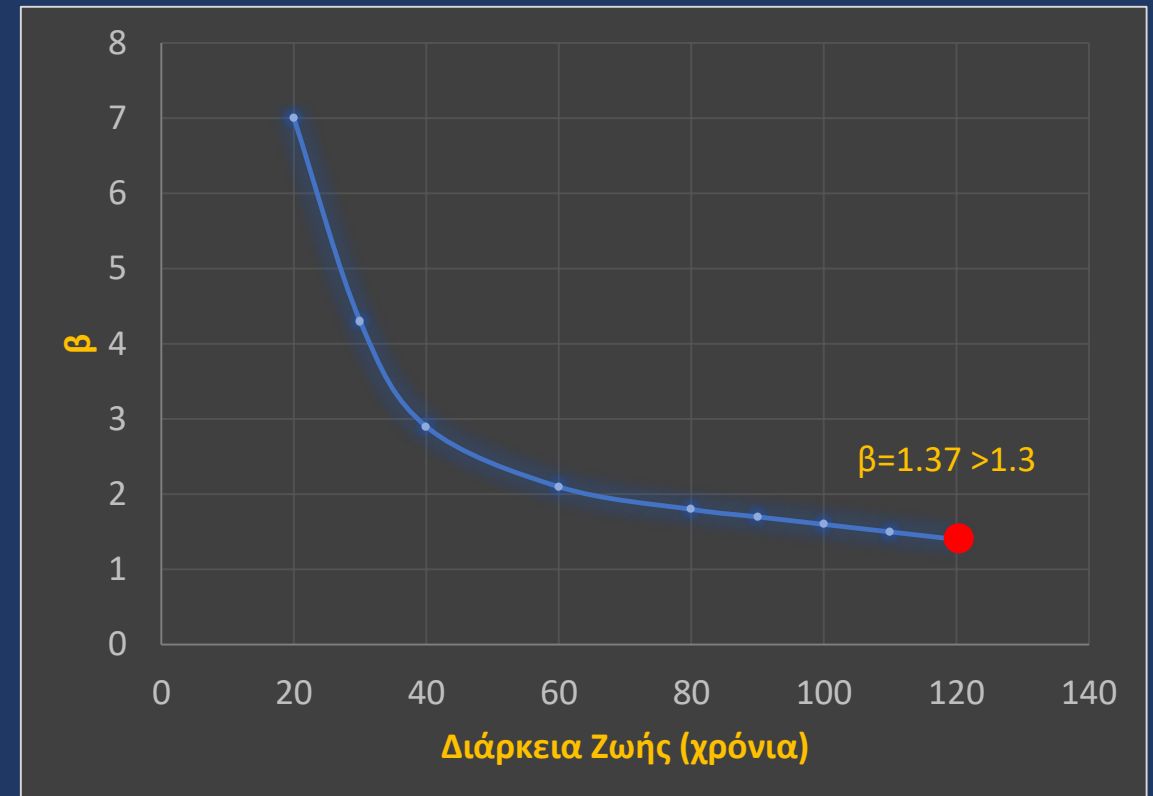
	Σκυρόδεμα δομικών στοιχείων σε επαφή με το έδαφος (Ομάδα Α)	Σκυρόδεμα δομικών στοιχείων όχι σε επαφή με το έδαφος (Ομάδα Β)	Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, εσωτερικές κολώνες (Ομάδα Γ)
Κατηγορία αντοχής	C40/50	C40/50	C60/75
Τριπλό μίγμα	25% OPC, 70% GGBS, 5% SF		
min T (kg/m <sup>3</sup> )	400	400	420
max N/T	0.35	0.35	0.33
d <sub>max</sub> (mm)	20	20	20
Πρόσθετα μέτρα	Αδιάβροχη μεμβράνη	Κανένα	Κανένα

Απαιτήσεις Ανθεκτικότητας	(Ομάδα Α)	(Ομάδα Β)	(Ομάδα Γ)
Water Absorption (%)	1.6	3.5	1.6
Chloride Migration (m <sup>2</sup> /s, @56 days)	1.5 x 10 <sup>-12</sup>	5.0 x 10 <sup>-12</sup>	1,5 x 10 <sup>-12</sup>
Resistance to Chloride ion Penetration, RCPT (coulombs)	1000	2000	800
Resistance to sulphate (expansion mm/m, @ 91 days)	0.5		

Δομικό Στοιχείο	Επικάλυψη (mm)
Επιφάνεια σκυροδέματος σε επαφή με το καλούπι ή με νερό	75
Εσωτερική πρόσοψη σκυροδέματος	50
Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε καιρικές συνθήκες < 3.0m από έδαφος	70
Σκυρόδεμα εκτεθειμένο σε καιρικές συνθήκες > 3.0m από έδαφος	50
Εσωτερικές πλάκες, δοκοί, κολώνες, τοίχοι, κλίμακες	50

## Στοχαστική Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής Ανθεκτικότητας Μέλους Κατασκευής (τοιχίο ομάδας Α πάχους 1.2m σε επαφή με υπόγεια ύδατα)

INPUT DATA	Unit	Mean	Standard deviation	Value 1	Value 2	Distribution
Initial no. of time steps		500				
No. of cells		240				
Groundwater concentration	mg/litre	1477	315			logarithmic
Initial concentration in concrete (Init C)	total chloride as % of cement			0	0.1	binary
Age at first exposure to chlorides	weeks	1040				constant
Critical chloride concentration $C_c$	total chloride as % of cement	0.4				constant
"cover" depth	m	0.04				constant
Element thickness	m	1.2				constant
Total Service life	years	114				constant
Pressure head	m	50				constant
Structure temperature	degrees K	306	5			linear
Reference temperature at which tested	degrees K	293				constant
Temperature regression variable b	degrees K	4800				constant
Reference age at which tested	weeks	8				constant
Age regression variable a (age coeff)		0.44	0.17			linear
Apparent diffusion coefficient (app D)	$m^2/s$	1.5E-12	3E-13			linear
Coefficient of permeability	m/s	1E-13	5E-15			logarithmic
Capacity factor		0.40	0.10			linear



### Προδιαγραφές πελάτη

Στα 120 χρόνια δείκτης αξιοπιστίας  $\beta$  1.3 για Ο.Κ.Α.

### Τελικός Σχεδιασμός

Βάση προτεινόμενης μελέτης σύνθεσης και μέτρων προστασίας, επιτεύχθηκε  $\beta = 1.37$



## Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής Ανθεκτικότητας με Φυσικοχημικά Υπολογιστικά Εργαλεία

### EUCON Input

#### Ορισμός της Κατασκευής και Χαρακτηριστικά Υλικών

Τύπος Τσιμέντου  
Συστατικά Σκυροδέματος  
λόγος N/T  
Πρόσθετα, Πρόσμικτα  
Χημική σύσταση υλικών  
Πάχος δομικού στοιχείου και επικάλυψη

#### Συνθήκες Περιβαλλοντικής Έκθεσης

Συγκέντρωση CO<sub>2</sub> στην ατμόσφαιρα (%),  
Σχετική Υγρασία (%)

Συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στην εξωτερική επιφάνεια (kg/m<sup>3</sup> διαλ.)  
Αρχική τιμή συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> (kg/m<sup>3</sup> διαλ.)  
Κρίσιμη τιμή συγκέντρωσης Cl<sup>-</sup> για έναρξη διάβρωσης (kg/m<sup>3</sup> σκ.)  
Συντελεστής αποτελεσματικότητας ως προς διείσδυση Cl<sup>-</sup>  
Πάχος στοιχείου (mm)

#### Συντελεστές Διαχυτότητας

Αποτελεσματικός συντελεστής διείσδυσης CO<sub>2</sub> ( $\times 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s)  
Πορώδες ενανθρακομένου σκυροδέματος

Αποτελεσματικός συντελεστής διάχυσης Cl<sup>-</sup> ( $\times 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s)  
Συντελεστής αποδοτικότητας IT, ΠΠ ως προς διείσδυση Cl<sup>-</sup>, Πορώδες σκυροδέματος, Σταθερά ισορροπίας δέσμευσης Cl<sup>-</sup>, Συγκέντρωση κορεσμού Cl<sup>-</sup> στη στερεά φάση

#### Παράγοντες Χρόνου

Διάρκεια ζωής (χρόνια)

### EUCON Output

#### Ενανθράκωση

- Εκτίμηση Βάθους Ενανθράκωσης (mm) σε συγκεκριμένο χρόνο (years)
- Εκτίμηση Διάρκεια Ζωής (χρόνια) για συγκεκριμένη επικάλυψη σκυροδέματος (mm)

#### Δράση Χλωριόντων

#### Προφίλ χλωριόντων

- Συνολικά Cl<sup>-</sup> (kg/m<sup>3</sup> σκυρ.) κατά βάθος x (mm)
- Ελεύθερα Cl<sup>-</sup> (kg/m<sup>3</sup> sol.) κατά βάθος x (mm)
- Δεσμευμένα Cl<sup>-</sup> (kg/m<sup>3</sup> σκυρ.) κατά βάθος x (mm)

#### Διάρκεια Ζωής

Διάρκεια ζωής συναρτήσει υπολογιζόμενης απαιτούμενης επικάλυψης προκειμένου κατασκευή να μην διαβρωθεί λόγω Cl<sup>-</sup>

## [1] Ορισμός Κατασκευής και Υλικών

- Τύπος Τσιμέντου: CEM III/B 42.5 R (Clinker 25%, SCM 75%, SCM = 70% GGBS + 5% SF)
- Συστατικά Σκυροδέματος: Τσιμέντο 400 kg/m<sup>3</sup>, Πυκνότητα 2820 kg/m<sup>3</sup>, N/T 0.35, d<sub>max</sub>: 20 mm
- Χημική σύσταση υλικών: Clinker (SiO<sub>2</sub> 21.2%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.1%, CaO 66.8%, SO<sub>3</sub> 0.5)  
GGBS (SiO<sub>2</sub> 36.5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 13.8%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.33%, CaO 39%, SO<sub>3</sub> 0.7)  
(Λόγος δραστηριότητας πυριτίας SiO<sub>2</sub>, γ<sub>S</sub>, γ<sub>a</sub> = 90%)  
(Λόγος δραστηριότητας αλουμίνας Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, γ<sub>a</sub> = 90%)

Επικάλυψη σκυροδέματος: 50 mm

## [2] Συνθήκες Περιβαλλοντικής Έκθεσης (Ενανθράκωση)

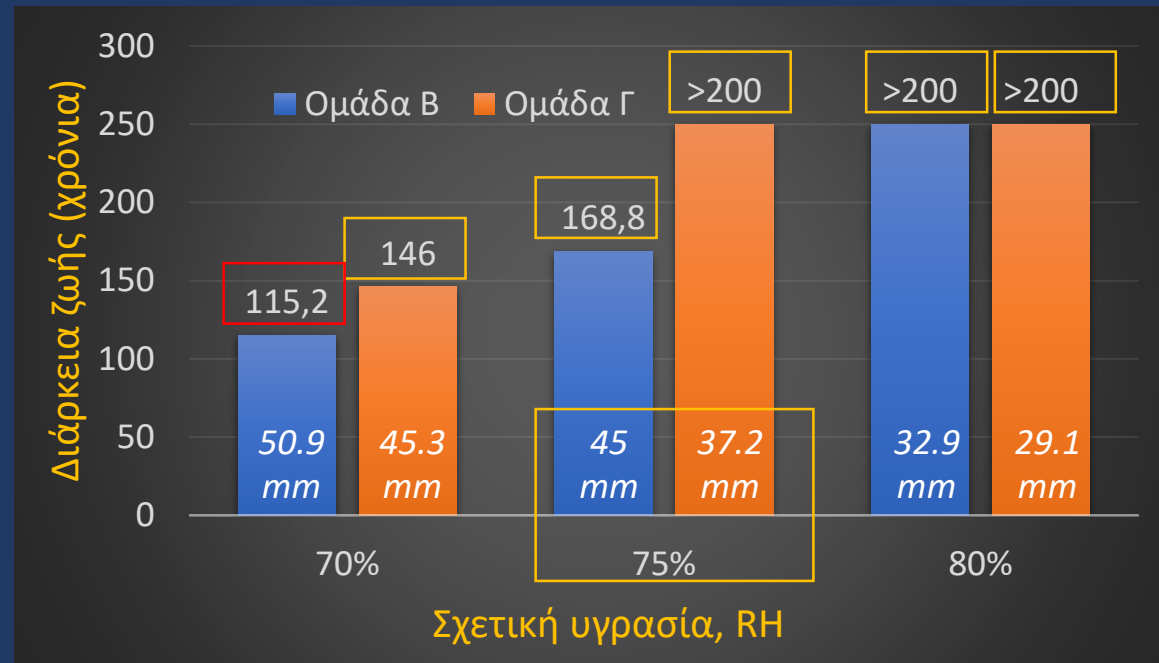
- Επιθετικό Περιβάλλον: XC3 (moderate humidity)
- Συγκέντρωση CO<sub>2</sub>: 0.08%
- RH: 70%, 75%, 80%

## [3] Συνθήκες Περιβαλλοντικής Έκθεσης (Χλωριόντα)

- Επιθετικό Περιβάλλον: XD2 (wet, rarely dry)
- Συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> στην εξωτερική επιφάνεια: 8.36 kg/m<sup>3</sup> sol. / 4.35 kg/m<sup>3</sup> sol.
- Βαθμός έκθεσης στο επιθετικό περιβάλλον: 1 (όχι προστασία) / 0.833 (προστασία)
- Συντελεστής αποδοτικότητας SCM ως προς δέσμευση Cl<sup>-</sup>: 2.2
- Αρχική Cl<sup>-</sup>: 0 kg/m<sup>3</sup> conc.
- Κρίσιμη συγκέντρωση Cl<sup>-</sup> για έναρξη διάβρωσης: 1.48 kg/m<sup>3</sup> conc.

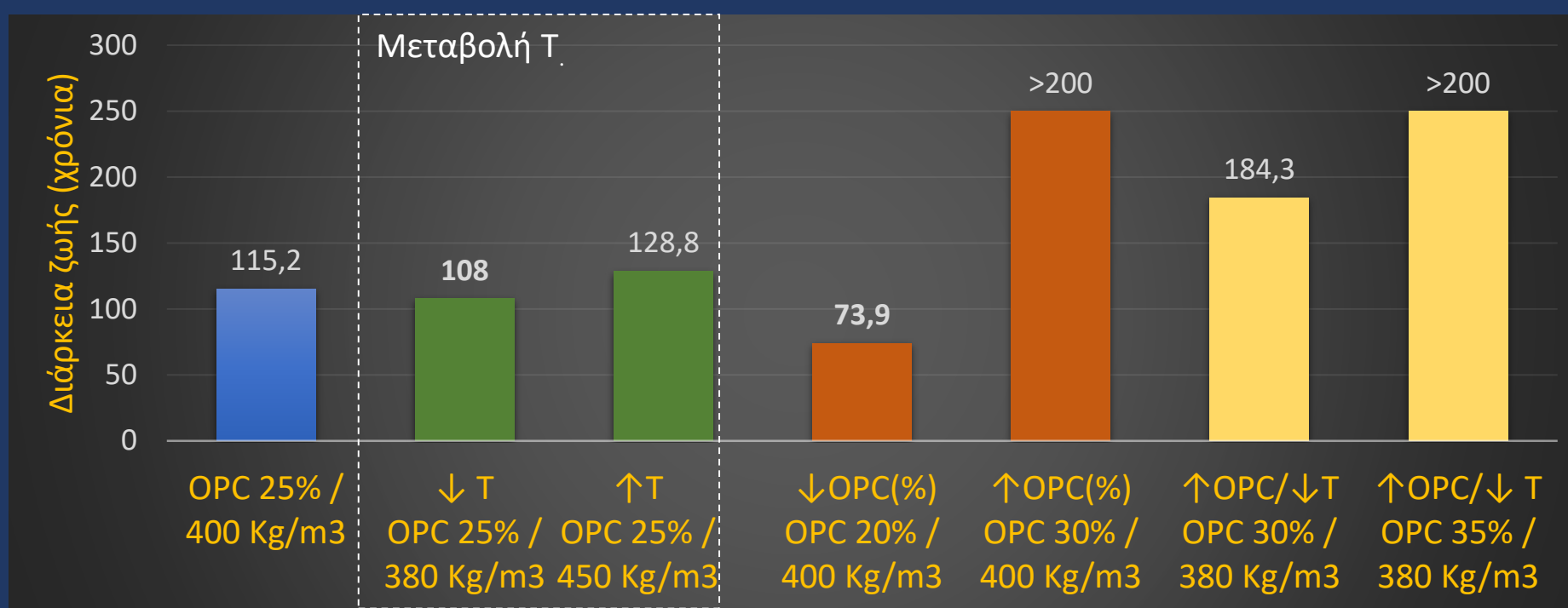
## [4] Παράγοντες Χρόνου

- Διάρκεια ζωής (χρόνια) 120



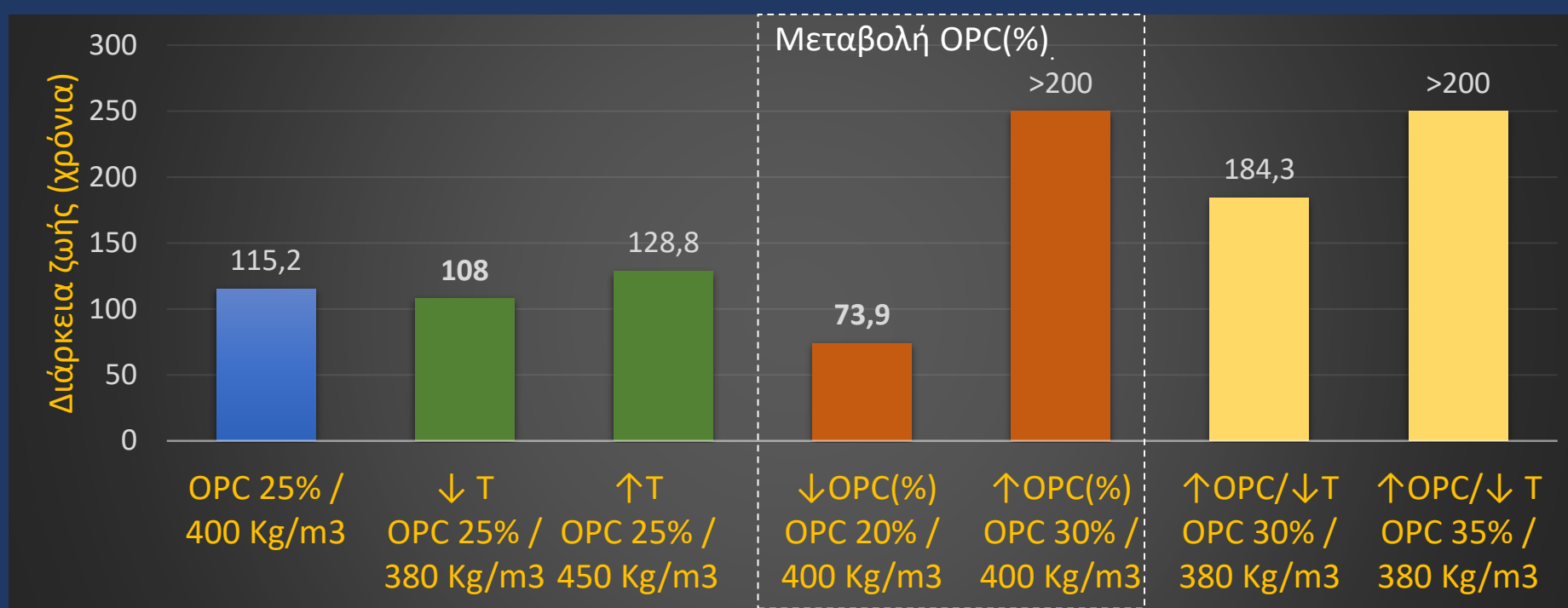
- Διάρκεια ζωής αρκετά μεγαλύτερη της επιθυμητής (120 έτη), εκτός (οριακά) για δομικά στοιχεία της ομάδας Β για 70% συνθήκες σχετικής υγρασίας.
- Για πιο αναμενόμενη τιμή σχετικής υγρασίας (75%), επικάλυψη 50 mm σύμφωνα με σχεδιασμό έργου κρίνεται αρκετή





- Μεταβολή (↑, ↓) Τσιμέντου στο αρχικό τριπλό μίγμα 25% OPC/70% GGBS/5% SF

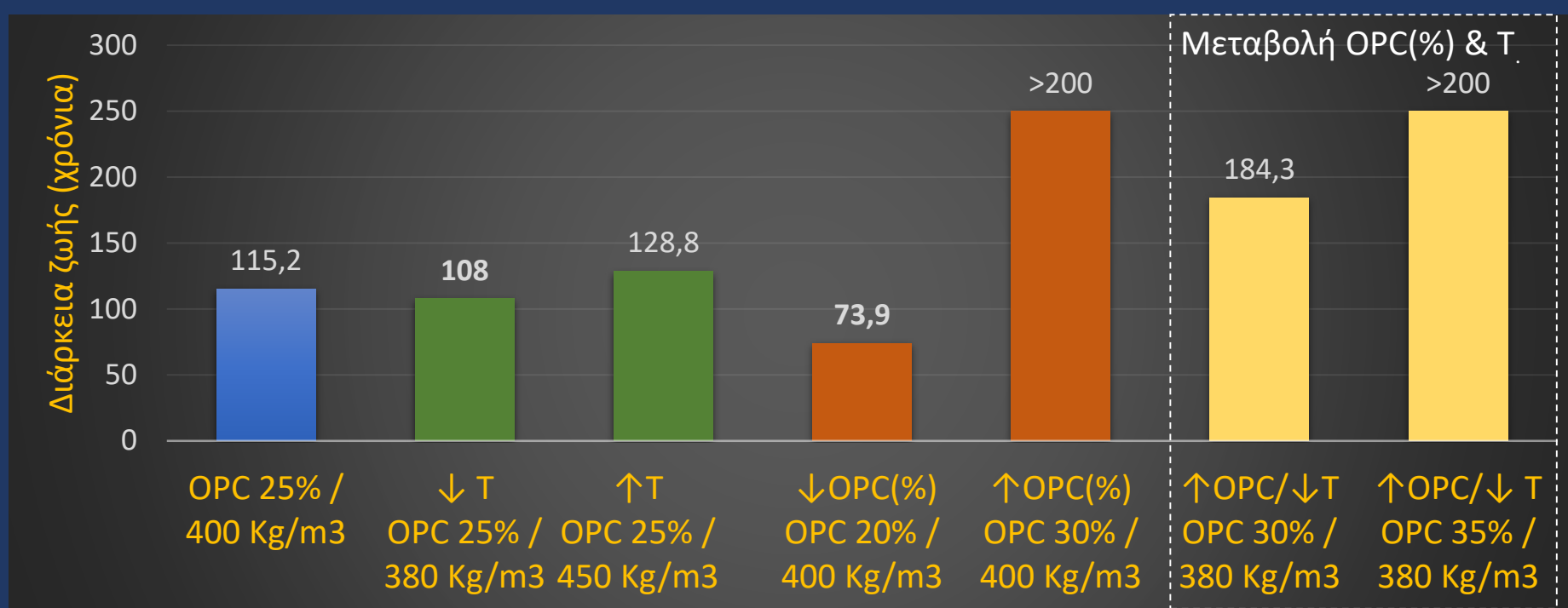
Απαιτούμενη Επικάλυψη Σκυροδέματος (mm)			
	Σχετική Υγρασία (RH)		
	70%	75%	80%
Ομάδα Β	50,9	45	32,9
Ομάδα Γ	45,3	37,2	29,1
Ομάδα Β-Control (OPC 25% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	50,9		
↓ T (OPC 25% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	52,9		
↑ T (OPC 25% - T 450 Kg/m <sup>3</sup> )	48,3		



Απαιτούμενη Επικάλυψη Σκυροδέματος (mm)			
	Σχετική Υγρασία (RH)		
	70%	75%	80%
Ομάδα Β	50.9	45	32.9
Ομάδα Γ	45,3	37,2	29,1
Ομάδα Β-Control (OPC 25% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	50.9		

↓ OPC (OPC 20% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	64.6
↑ OPC (OPC 30% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	36.2

- Μεταβολή (↑, ↓) Ποσόστωσης OPC στο αρχικό τριπλό μίγμα (20% και 30% OPC)

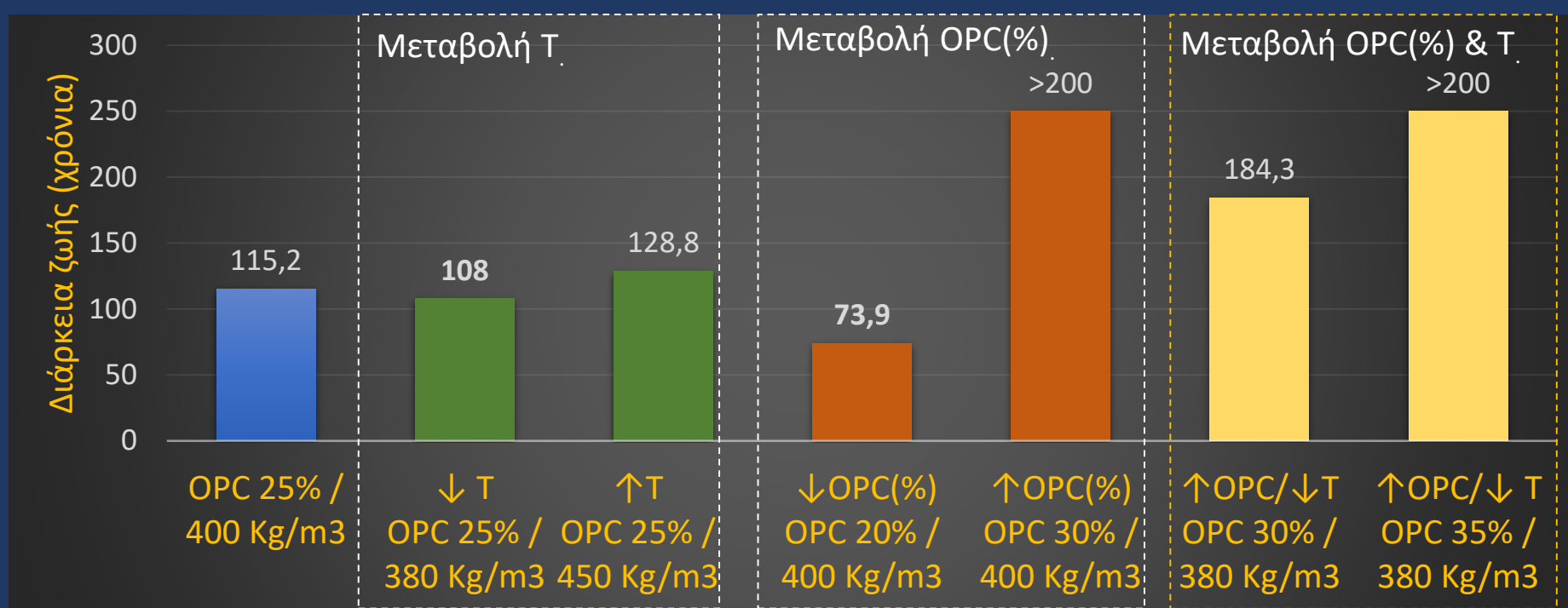


Απαιτούμενη Επικάλυψη Σκυροδέματος (mm)			
	Σχετική Υγρασία (RH)		
	70%	75%	80%
Ομάδα Β	50,9	45	32,9
Ομάδα Γ	45,3	37,2	29,1
Ομάδα Β-Control (OPC 25% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	50,9		

- Μεταβολή (↓) Τσιμέντου και Ποσόστωσης OPC (↑) στο αρχικό τριπλό μίγμα

↑ OPC/↓ T (OPC 30% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	40.1
↑ OPC/↓ T (OPC 35% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	30.8



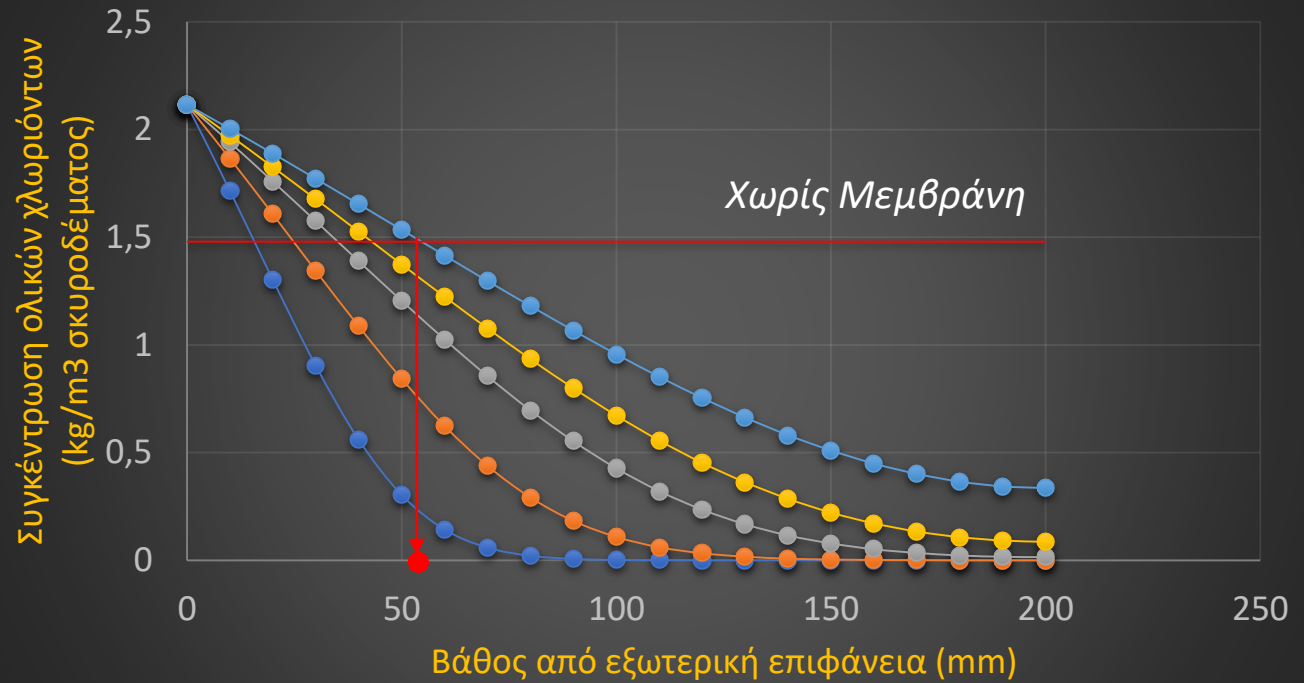


- Μεταβολή (↑, ↓) Τσιμέντου στο αρχικό τριπλό μίγμα 25% OPC/70% GGBS/5% SF
- Μεταβολή (↑, ↓) Ποσόστωσης OPC στο αρχικό τριπλό μίγμα (20% και 30% OPC)
- Μεταβολή (↓) Τσιμέντου και Ποσόστωσης OPC (↑) στο αρχικό τριπλό μίγμα

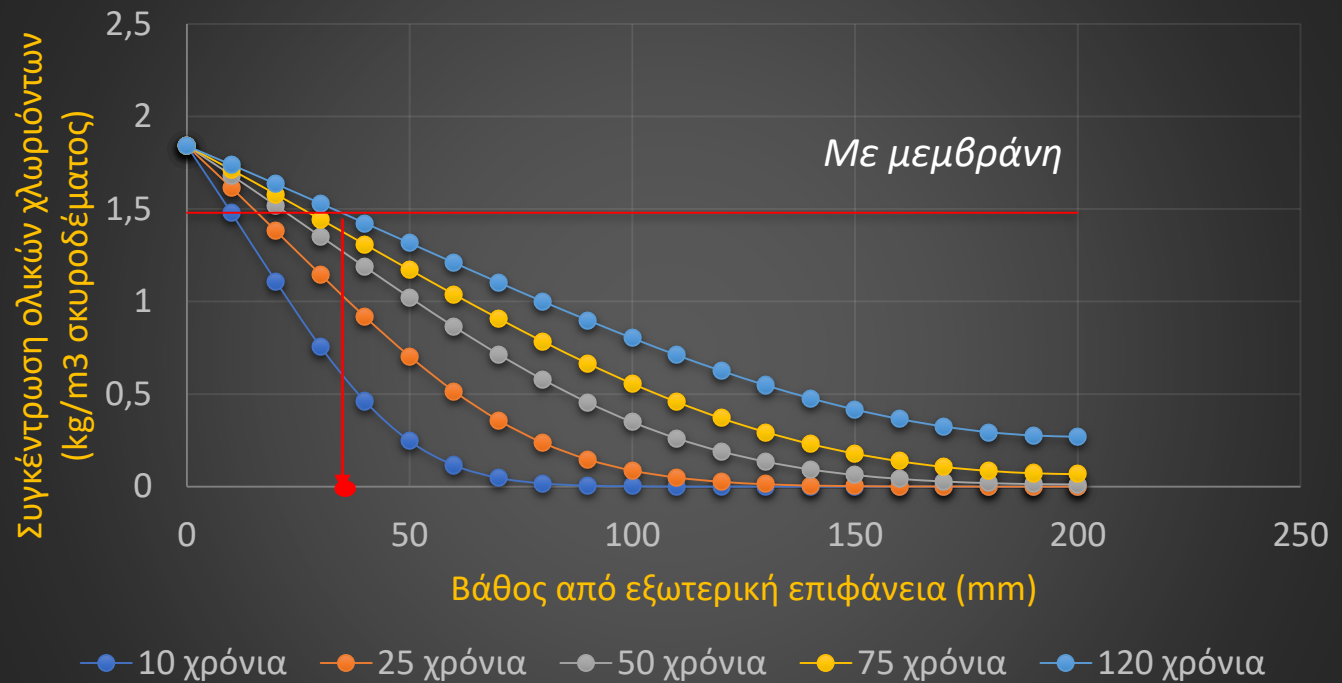
Απαιτούμενη Επικάλυψη Σκυροδέματος (mm)			
	Σχετική Υγρασία (RH)		
	70%	75%	80%
Ομάδα Β	50.9	45	32.9
Ομάδα Γ	45,3	37,2	29,1
Ομάδα Β-Control (OPC 25% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	50.9		
↓ T (OPC 25% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	52.9		
↑ T (OPC 25% - T 450 Kg/m <sup>3</sup> )	48.3		
↓ OPC (OPC 20% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	64.6		
↑ OPC (OPC 30% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	36.2		
↑ OPC/↓ T (OPC 30% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	40.1		
↑ OPC/↓ T (OPC 35% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	30.8		

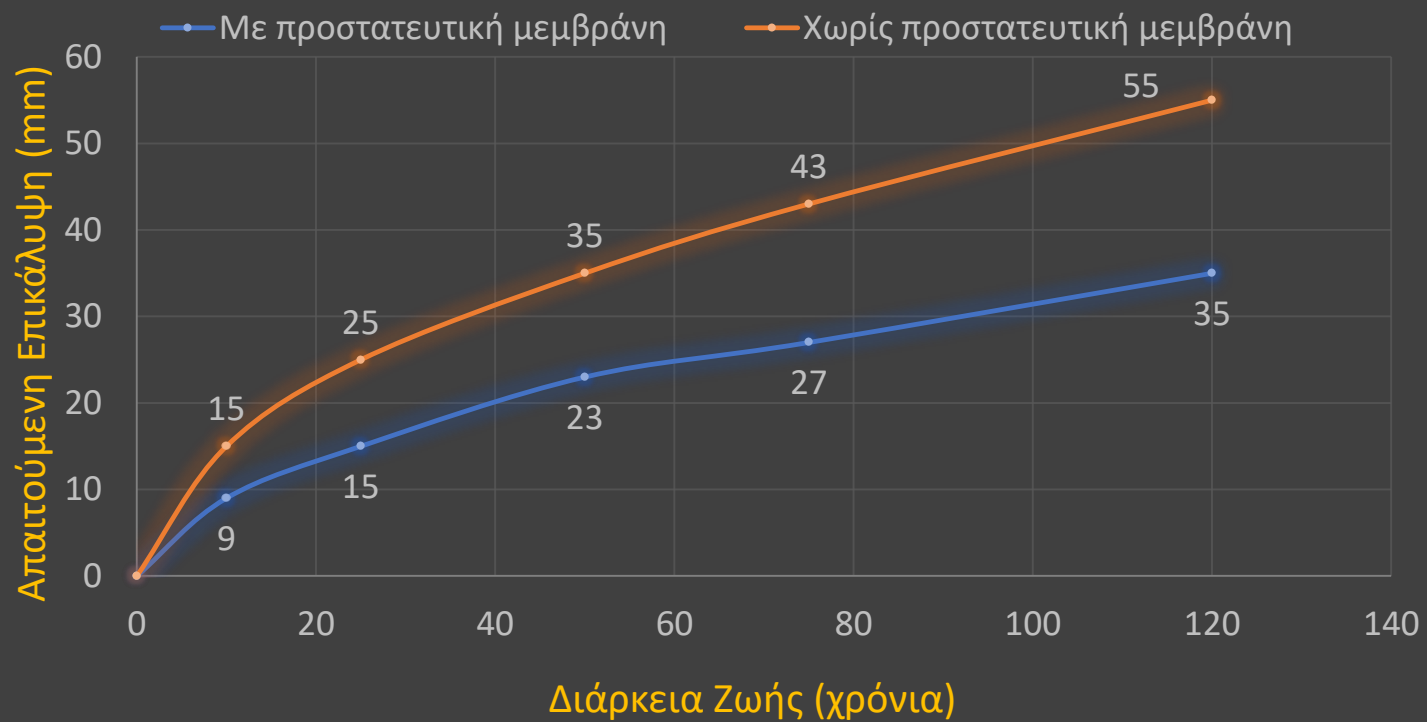
Τριπλά μίγματα 30% OPC/65% GGBS/5% SF, 35% OPC/60% GGBS/5% SF, πιο αποτελεσματικά από αυτό που επιλέχθηκε στη μελέτη.

- Βαθμός έκθεσης στο επιθετικό περιβάλλον: 1 (όχι προστασία)



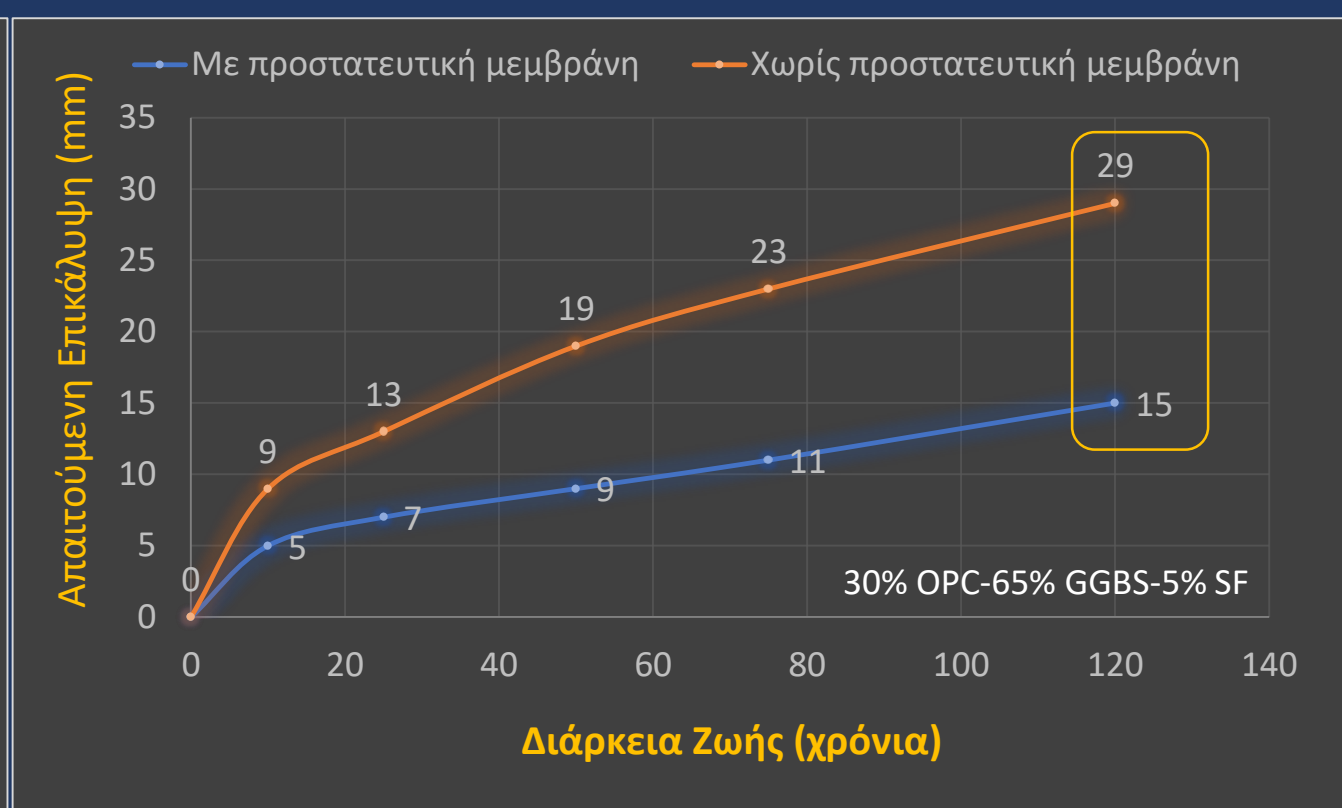
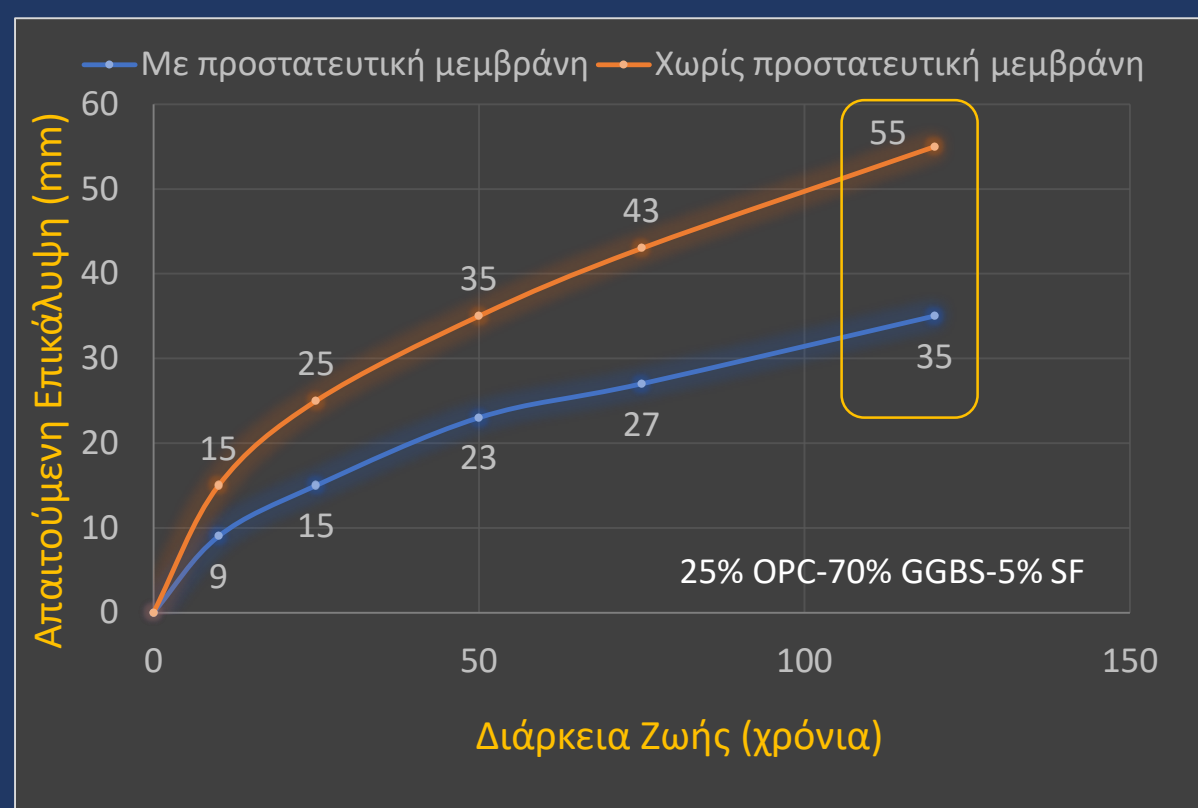
- Βαθμός έκθεσης στο επιθετικό περιβάλλον: 0.833 (προστασία)
- Εφαρμογή αδιάβροχης προστατευτικής μεμβράνης (διάρκεια ζωής 20 έτη)





	Απαιτούμενη Επικάλυψη Σκυροδέματος (mm)	Με μεμβράνη	Χωρίς μεμβράνη
	Ομάδα A - Control (OPC 25% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	35	55
Μεταβολή (↑, ↓) Τιμέντου στο αρχικό τριπλό μίγμα 25% OPC/70% GGBS/5% SF	↓T (OPC 25% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	35	-
	↑T (OPC 25% - T 450 Kg/m <sup>3</sup> )	33	-
Μεταβολή (↑, ↓) Ποσόστωσης OPC στο αρχικό τριπλό μίγμα (20% και 30% OPC)	↓OPC (OPC 20% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	77	-
	↑OPC (OPC 30% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	11	-
Μεταβολή (↓) Τιμέντου και Ποσόστωσης OPC (↑) στο αρχικό τριπλό μίγμα	↑OPC/↓ T (OPC 30% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	15	-
	↑OPC/↓ T (OPC 30% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	-	29
	↑OPC/↓ T (OPC 35% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	-	13





- Μεταβολή (↓) Τσιμέντου και Ποσόστωσης OPC (↑) στο αρχικό τριπλό μίγμα οδηγεί σε πολύ καλύτερη συμπεριφορά για διάρκεια ζωής 120 ετών)

Απαιτούμενη Επικάλυψη Σκυροδέματος (mm)	Με μεμβράνη	Χωρίς μεμβράνη
Ομάδα Α - Control (OPC 25% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	35	55
↓T (OPC 25% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	35	-
↑T (OPC 25% - T 450 Kg/m <sup>3</sup> )	33	-
↓OPC (OPC 20% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	77	-
↑OPC (OPC 30% - T 400 Kg/m <sup>3</sup> )	11	-
↑OPC/↓ T (OPC 30% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	15	-
↑OPC/↓ T (OPC 30% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	-	29
↑OPC/↓ T (OPC 35% - T 380 Kg/m <sup>3</sup> )	-	13

	Σκυρόδεμα δομικών στοιχείων σε επαφή με το έδαφος (Ομάδα Α)	Σκυρόδεμα δομικών στοιχείων όχι σε επαφή με το έδαφος (Ομάδα Β)	Σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, εσωτερικές κολώνες (Ομάδα Γ)
Κατηγορία αντοχής	C40/50	C40/50	C60/75
Τριπλό μίγμα	25% OPC, 70% GGBS, 5% SF 35% OPC, 60% GGBS, 5% SF		
min T (kg/m <sup>3</sup> )	400 380	400 380	420 380
max N/T	0.35	0.35	0.33
d <sub>max</sub> (mm)	20	20	20
Πρόσθετα μέτρα	Αδιάβροχη μεμβράνη Χωρίς Μεμβράνη	Κανένα	Κανένα
Κύριο Επιθετικό Αίτιο	Δράση Χλωριόντων (από υπόγεια ύδατα)	Ενανθράκωση	Ενανθράκωση

Φυσικοχημική εκτίμηση διάρκειας ζωής κατασκευής επιβεβαιώνει τη στοχαστική εκτίμηση.

Προτεινόμενη μελέτη σύνθεσης θα μπορούσε να αναπροσαρμοσθεί

Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής  
κατασκευών Ο.Σ.  
μέσω  
Φυσικοχημικών  
Υπολογιστικών Εργαλείων

+

Στατιστική  
αβεβαιότητα στην  
εκτίμηση σχετικών  
ιδιοτήτων και  
δράσεων



Ημι - Στοχαστική  
Εκτίμηση Διάρκειας Ζωής  
κατασκευών Ο.Σ.

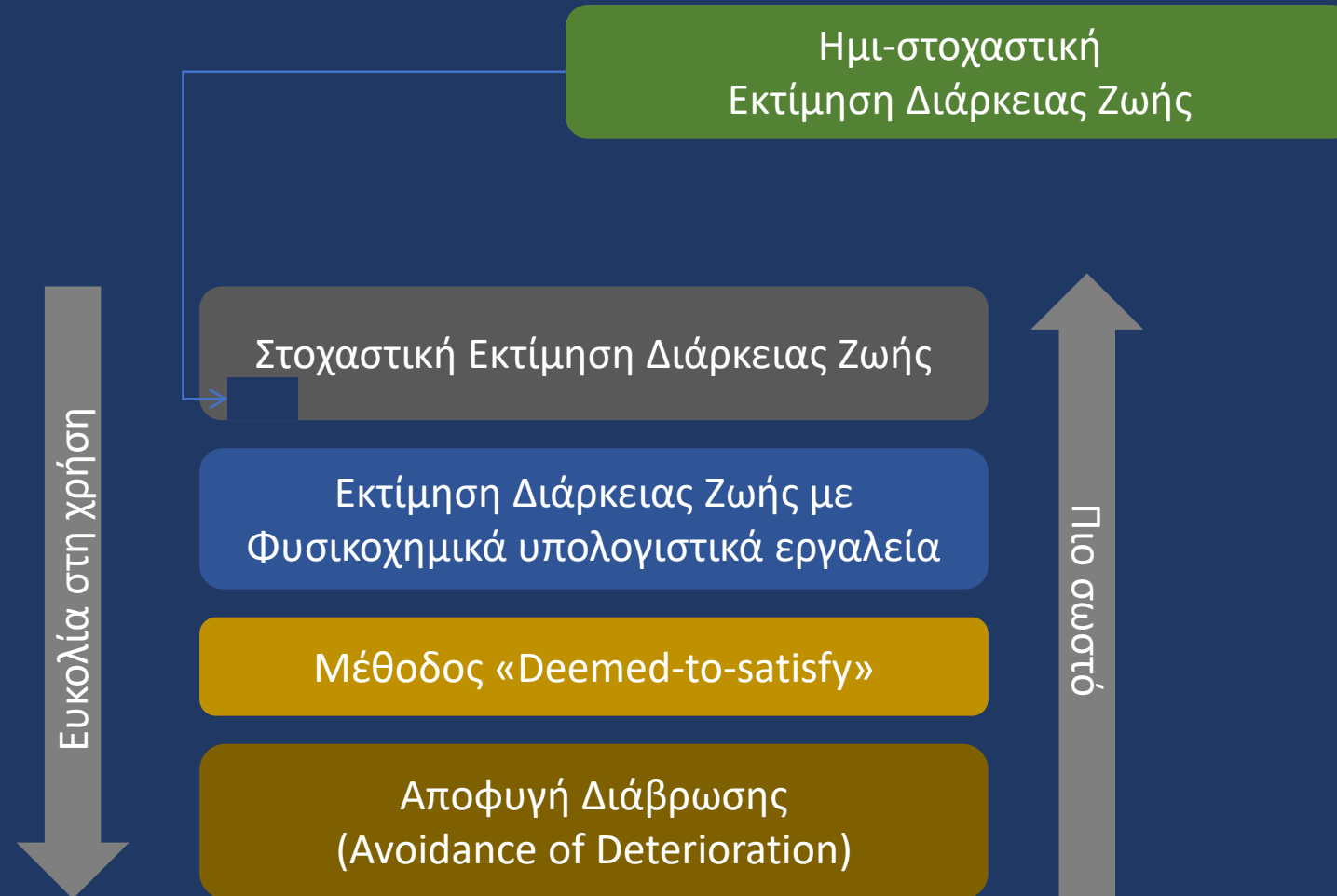
- Αυτή η διαδικασία έχει εφαρμοστεί για τη δράση της ενανθράκωσης
- Πρόκειται για ντετερμινιστική προσέγγιση όπου στοχαστική φύση ιδιοτήτων υλικού, φορτίων και αντοχών λαμβάνεται υπόψη μέσω σχετικών συντελεστών ασφαλείας
- Μέσω ανάλυσης σπουδαιότητας προκύπτουν οι συντελεστές με μεγαλύτερη βαρύτητα (επικάλυψη, RH, συντελεστής διείδυσης CO<sub>2</sub>)
- Για δεδομένη διάρκεια ζωής και συντελεστή αξιοπιστίας ( $\beta$ ) μέσω σχετικών διαδικασιών (ISO 2394) προκύπτουν οι συντελεστές ασφαλείας ( $\gamma_R, \gamma_{RH}$ ) για την εκτίμηση διάρκειας ζωής στην ενανθράκωση.

Στόχος: εκτίμηση διάρκειας ζωής να προκύπτει από έναν αλγόριθμο χωρίς «δύσκολες» διαδικασίες προσδιορισμού στατιστικής αβεβαιότητας σχετικών παραμέτρων.





# Στρατηγικές Σχεδιασμού για Ανθεκτικότητα Κατασκευών Οπλισμένου Σκυροδέματος



- Υιοθέτηση δομημένων διαδικασιών για Σχεδιασμό ανθεκτικότητας κατασκευών Ο.Σ. στους σύγχρονους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς
  - Διάρκεια Ζωής κατασκευής, άμεση παράμετρος σχεδιασμού
  - Καθορισμός και ορισμός δραστηκότητας επιθετικού περιβάλλοντος σε Εθνικό επίπεδο
  - Σύνδεση σχεδιασμού για ανθεκτικότητα με αρχικό δομοστατικό σχεδιασμό
- Ημι-στοχαστική εκτίμηση διάρκειας ζωής: Φυσικοχημικά υπολογιστικά εργαλεία εμπλουτισμένα με συντελεστές ασφαλείας

*“Η φαντασία είναι πιο σημαντική από τη γνώση. Γιατί ενώ η γνώση είναι περιορισμένη η φαντασία αγκαλιάζει ολόκληρο τον κόσμο, συμβάλλοντας έτσι στη πρόοδο και στην εξέλιξη”*

Albert Einstein



*Σας Ευχαριστώ*