

ΙΕΜΑ Ινστιτούτο Έρευνας Ακουστικής & Μουσικής

Κύκλος Διαλέξεων Εφαρμογές της Ακουστικής στην Δόμηση

2η ΔΙΑΛΕΞΗ : Προσόψεις Κτιρίων

εισηγητής Νίκος Κ. Μπάρκας

δρ. πολιτικός μηχανικός, duar ακουστικής LeMans
επίκουρος καθηγητής αρχιτεκτονικής τεχνολογίας - ακουστικής
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Δ.Π.Θ.

Email : nbarkas@arch.duth.gr

Σημειώσεις μαθήματος ΔΟΜΙΚΗ ΦΥΣΙΚΗ - ΗΧΟΜΟΝΩΣΗ : eclass.duth.gr

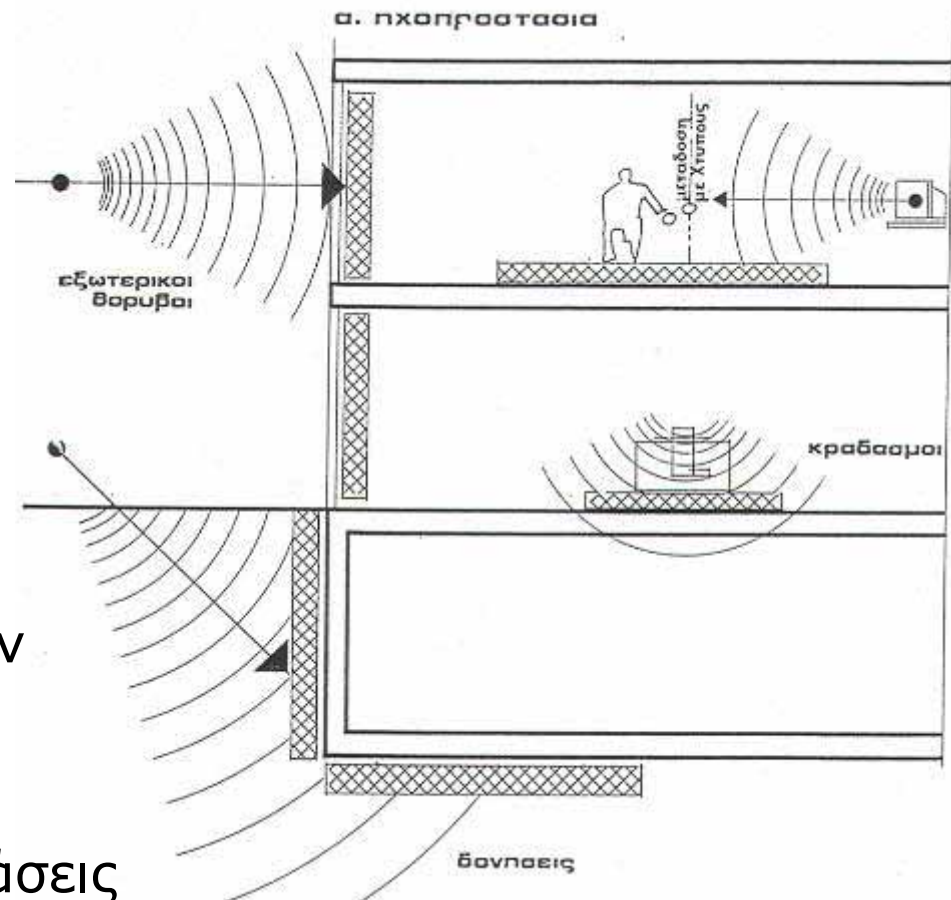
ΓΕΝΙΚΑ : το πρόβλημα του θορύβου στα κτίρια

Είδη θορύβου

- Αερόφερτος
- Κτυπογενής / κραδασμός

Προέλευση του θορύβου στα κτίρια :

- από το εξωτερικό περιβάλλον
- από γειτονικά διαμερίσματα
- από το ίδιο διαμέρισμα
- από κοινόχρηστες εγκαταστάσεις



Το θεωρητικό πλαίσιο : ΗΧΟΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ

- $L_o - L_1 = D \Rightarrow L_o = L_1 + D$
όπου L_o ο πραγματικός ή αναμενόμενος θόρυβος στην πηγή
και L_1 ο ανεκτός θόρυβος στον δέκτη ή αλλιώς
η επιβεβλημένη ησυχία στον προστατευόμενο χώρο
- $D = R_w$ (ή $L_{n,w}$) - $\sum a_i$
όπου D η διαφορά στάθμης (*difference level*)
ανάμεσα στους χώρους που θεωρούνται εξωτερικός / προστατευόμενος
και a_i μια σειρά παραμέτρων
που επηρεάζουν την ηχοδιάδοση και την περατότητα

ΠΡΟΣΟΧΗ : τα μεγέθη εκφράζονται σε τιμές κανονικοποιημένης στάθμης (*decibel*) σε σφαιρικές τιμές $dB(A)$ ή συχνοτικές τιμές dB .

ΓΕΝΙΚΑ : παράγοντες της ηχοδιάδοσης

- **α) η απόσταση**
- β) η επίδραση της ατμόσφαιρας, του ανέμου και της υγρασίας
- γ) η ηχοαπορρόφηση στο έδαφος (φυτεύσεις)
- δ) οι γωνίες εκπομπής & λήψης
(η σχετική θέση πηγής - δέκτη σε διατομή)
- **ε) ηχοφράγματα** (περίθλαση) / **ηχοανακλάσεις** (ενίσχυση)
(φαινόμενα σήραγγας, απέναντι κτίρια, η διαμόρφωση της όψης)

ΕΙΔΙΚΑ : παράγοντες της περατότητας

- **1) η ύπαρξη ανοιγμάτων**
- 2) η ηχοαπορρόφηση εντός του προστατευόμενου χώρου
- 3) ο αριθμός των εκτεθειμένων πλευρών του χώρου
- 4) οι συντελεστές ασφαλείας
(των βιβλιογραφικών μεγεθών ή ερευνητικών δεδομένων)

ΤΟ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

□ Σύμφωνα με τον Ελληνικό Κτιριοδομικό Κανονισμό (άρθρο 12)

όλα τα κτίρια οφείλουν να πληρούν τα βασικά κριτήρια ακουστικής άνεσης και να εξασφαλίζουν τις αντίστοιχες παραμέτρους εσωτερικής ησυχίας & ηχομονωτικής ικανότητας

□ ΩΣΤΟΣΟ : δεν είναι υποχρεωτική η κατάθεση Μελέτης Ηχομόνωσης

σε ανεγειρόμενες ή επισκευαζόμενες οικοδομές

(δηλαδή δεν υπάρχει υποχρέωση συμμόρφωσης στις απαιτήσεις του άρθρου 12)

□ ΔΗΛΑΔΗ : τα θέματα της Ηχοπροστασίας διώκονται κατόπιν έγκλισης (μη αυτεπάγγελτα αδικήματα),

ύστερα από αυτοψία, σχετικά με την παραβίαση συγκεκριμένων ορίων θορύβου:

-υπέρβαση των 35 dB(A) σε χώρους κατοικίας, τις ώρες κοινής ησυχίας

(από γειτονικές κατοικίες ή κέντρα διασκέδασης),

-υπέρβαση των 45 - 50 dB(A) σε χώρους κατοικίας, τις ώρες κοινής ησυχίας από προϋπάρχουσες βιοτεχνικές εγκαταστάσεις **σε αστικές περιοχές**,

-υπέρβαση των 65 dB(A), στα όρια του οικοπέδου, από επαγγελματική δραστηριότητα **σε βιοτεχνικές ή βιομηχανικές περιοχές**.

Διατάξεις και Κανονισμοί (συμπληρωματικά)

- Κατά **DIN 4109** (ό,τι δεν καλύπτει το άρθρο 12)
- ΠΔ 1180 / 81, ΦΕΚ 293/Α όρια θορύβου στα όρια οικοπέδου
- ΥΔ 45 / 3010 / 85, ΦΕΚ 593B /85 & 48 /86
όρια θορύβου σε κατοικία
- Σχέδιο ΕΛΟΤ 868 θόρυβος σε πρόσοψη κτιρίου
- VDI 2081 (2000) θόρυβος συσκευών κλιματισμού

Ο ΚΤΙΡΙΟΔΟΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ άρθρο 12 (Α` ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ)

Μεγέθη (στήλες)

- R_w / L_n ικανότητα
- L_A / L_p ησυχία

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	■ ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητ. χρήσης		■ ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης		ηχοπροστασία		■ ηχομόνωση ανάμεσα σε χώρους ίδιας κατοικ.		■ Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	αερόφ.	κτυπ.	αερόφ.	κτυπ.	κυκλ.	εγκατ.	αερόφ.	αερόφ.	κτυπ.
συμβολισμοί	R'_w	$L'_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$	$L_{Aeq,h}$	L_{pA}	R'_w	R'_w	$L'_{n,w}$
μονάδες	dB	dB	dB	dB	dB(A)	dB(A)	dB	dB	dB
κατοικία - προσωρινή διαμονή	54	55	-	-	30	25	48	60	45
γραφεία - εμπόριο	52	60	58	52	35	30	-	55	55
εκπαίδευση	57	58	58	52	30	25	-	60	45
υγεία	57	55	58	52	30	25	-	60	45
συνάθροιση - βιομηχανία	65	40	62	47	(25)	(25)	-	(65)	(40)

Διάκριση χώρων (γραμμές)

Ο ΚΤΙΡΙΟΔΟΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ άρθρο 12 (Β` ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ)

ΕΙΔΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ	■ ηχομόνωση από γειτονικό χώρο κύριας ή βοηθητ. χρήσης		■ ηχομόνωση κατοικίας (διαμερίσματος) από άλλο χώρο κύριας χρήσης		ηχοπροστασία		■ ηχομόνωση ανάμεσα σε χώρους ίδιας κατοικ.		■ Ηχομόνωση κύριου χώρου από χώρους εγκαταστάσεων
	■ ηχομόνωση από χώρους κοινής χρήσης				■ από εξωτερ. θόρυβο	■ από θόρυβο εγκαταστάσεων			
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	αερόφ.	κτυπ.	αερόφ.	κτυπ.	κυκλ.	εγκατ.	αερόφ.	αερόφ.	κτυπ.
συμβολισμοί	$R'_{W,1}$	$L'_{n,w,2}$	$R'_{W,3}$	$L'_{n,w,4}$	$L_{Aeq,h}$	L_{pA}	$R'_{W,7}$	$R'_{W,8}$	$L'_{n,w,9}$
μονάδες	dB	dB	dB	dB	dB(A)	dB(A)	dB	dB	dB
κατοικία - προσωρινή διαμονή	50	60	-	-	35	30	42	55	50
γραφεία - εμπόριο	48	65	52	55	40	35	-	53	60
εκπαίδευση	50	65	55	55	35	30	-	55	50
υγεία	50	60	55	55	35	30	-	53	50
συνάθροιση - βιομηχανία	60	45	60	48	(25)	(25)	-	(62)	(45)

ΠΙΝΑΚΑΣ Β η πλευρική μετάδοση

$R'_{W,7}$ (dB)	$R_{W,8}$ (dB)
έως 42	$R'_{W,7} + 0$
από 43 έως 48	$R'_{W,7} + 2$
από 49 έως 52	$R'_{W,7} + 3$
από 53 έως 55	$R'_{W,7} + 4$
από 56 έως 60	$R'_{W,7} + 6$ (d)

Γενικά : ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΕΡΟΦΕΡΤΩΝ ΘΟΡΥΒΩΝ

□ $R_w = L_0 - L_1 + \sum \alpha_i$

(σε dB) $R_w =$

$(L_0 + k) - L_1 + 10\log(f) + 10\log(TR) + 10\log(S/V) + 10\log(n) + 8$

όπου

- **k παράγων ασφαλείας** αποτίμησης του θορύβου
- **f ανοίγματα** [f= 4 με ανοίγματα, f = 1 χωρίς ανοίγματα]
- **TR χρόνος αντήχησης** στον προστατευόμενο χώρο (sec)
- **S εμβαδόν διαχωριστικού φράγματος** (m²) και
- **V όγκος προστατευόμενου χώρου** (m³)
- **n πλήθος εκτεθειμένων πλευρών** του προστατευόμενου χώρου

ΕΛΕΓΧΟΙ σύμφωνα με τον Κτιριοδομικό Κανονισμό

A1] όχληση από το εξωτερικό περιβάλλον

(σε dB) $R_w =$

$$(L_o + 3) - L_1 + 10\log(f) + 10\log(TR) + 10\log(S/V) + 10\log(n) + 8$$

A2] όχληση από γειτονικούς χώρους

A3] έλεγχος από μηχανολογικές εγκαταστάσεις

ΓΕΝΙΚΑ

$$R_w = R_w + d$$

κατά τον ΠΙΝΑΚΑ β

ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (1)

ο προσβάλλον (εξωτερικός) θόρυβος L_o ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΘΟΡΥΒΟΥ & ΗΧΟΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

είδος ηχητικής πηγής	τυπική στάθμη θορύβου [dB]							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1. ηλεκτρική ξυριστική μηχανή, στα 0.50 m	59	58	49	62	60	64	60	59
2. ηλεκτρική σκούπα, στο 1.00 m	48	66	69	73	79	73	73	72
3. πλυντήριο ρούχων	60	68	59	62	59	60	62	69
4. μηχάνημα κλιματισμού παραθύρου	64	64	65	56	53	48	44	37
5. κλίση τηλεφώνου, από 1.00 ως 4.00 m	-	41	44	56	68	73	69	83
6. ξυπνητήρι, από 1.00 ως 3.00 m	-	46	48	55	62	62	70	80
7. καζανάκι λουτρού (γέμισμα)	50	55	53	54	57	56	57	52
8. θόρυβος σωλήνων ύδρευσης (*)	59	69	65	67	73	71	73	65
42. αίθουσα διδασκαλίας	60	66	72	77	74	68	60	50
43. βιβλιοθήκες, αναγνωστήρια	60	63	66	67	64	58	50	40
44. αίθουσες υποδοχής και προθάλαμοι	60	66	72	77	74	68	60	50
45. αίθουσα ηλεκτρονικών υπολογιστών	78	75	73	78	80	78	74	70
46. γυμναστήρια	72	78	84	89	86	80	72	64
47. μαγειρεία	72	78	84	89	86	80	72	64
48. χώροι εργασίας εργαστηρίων	65	70	73	75	72	69	65	61
49. χώροι μηχανολογικού εξοπλισμού	87	86	66	67	64	58	50	40

ο εξωτερικός θόρυβος **L_o** στην ειδική περίπτωση της **κυκλοφοριακής όχλησης** τρόποι προσέγγισης

A] Πίνακας κυκλοφοριακών δεδομένων (σχέδιο ΕΛΟΤ 868)

ισοδύναμη A - ηχοστάθμη $L_{\text{Aeq},1}$, dB(A)				
αριθμός οχημάτων ανά ώρα	απόσταση μεταξύ του σημείου μέτρησης και του μέσου του πλησιέστερου οδοστρώματος (m)			
	5	15	50	150
15	49	44	39	34
50	54	49	44	39
150	59	54	49	44
500	64	59	54	49
1500	69	64	59	54
5000	74	69	64	59

B] Ηχομετρήσεις της υφιστάμενης κατάστασης
(πιθανή διόρθωση λόγω αναμενόμενης αλλαγής φόρτου ή προβλεπόμενων κυκλοφοριακών ρυθμίσεων)

ο εξωτερικός θόρυβος **L_o** στην ειδική περίπτωση της κυκλοφοριακής όχλησης

τρόποι προσέγγισης (3)

Δ] Χρήση συνδυαστικών εκτιμήσεων από ηχομετρήσεις συναφών περιστάσεων και διορθώσεις με υπολογισμούς αναμενόμενου φόρτου ή περιστάσεων κυκλοφορίας

διάκριση ελαφριάς – βαριάς κυκλοφορίας,
εκτίμηση ιδιαιτέρων περιστάσεων όπως :
μαρσάρισμα, φρενάρημα, κορνάρημα,
πράσινο ρεύμα, αναμονή ουράς κλπ

ΤΟ ΜΕΓΑ ΔΙΛΗΜΜΑ :

στατιστικά ισοδύναμη (ωριαία) $L_{eq(A)}$
ή μέγιστη στάθμη όχλησης L_{max}

ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (2)

η επιβεβλημένη (εσωτερική) ησυχία L_1 (ΤΑ ΔΙΕΘΝΗ ΚΡΙΤΗΡΙΑ NC)

είδος χώρου και ακουστικές απαιτήσεις	προτιμώμενα όρια Κριτηρίων Θορύβου	ισοδύναμη στάθμη σε dB
1. αίθουσες συναυλιών ή ρεσιτάλ, Οπερες, εργαστήρια επεξεργασίας ήχου κ.ά. (για εξαιρετικές ακουστικές συνθήκες)	NC-15 ως NC-20	25 - 30
2. υπνοδωμάτια και περιοχές ύπνου γενικώς, νοσοκομεία, κατοικίες, διαμερίσματα, ξενοδοχεία, μοτέλ κ.ά. (για ύπνο ή ανάπαυση)	NC-20 ως NC-30	30 - 40
3. αίθουσες θεάτρων, αίθουσες δοκιμών μουσικής ή οπικοακουστικών μέσων, αμφιθέατρα, στούντιο ραδιοφωνίας/TV, εκκλησίες, δικαστήρια, μεγάλες αίθουσες συνεδριάσεων, γραφεία προέδρων ή διευθυντών κ.ά. (για πολύ καλές ακουστικές συνθήκες)	NC-20 ως NC-30	30 - 40
4. γραφεία, αίθουσες συμβουλίων, αίθουσες διδασκαλίας, βιβλιοθήκες, αναγνωστήρια κ.ά. (για καλές ακουστικές συνθήκες)	NC-30 ως NC-35	40 - 45
5. ενιαίοι χώροι γραφείων, αίθουσες υποδοχής ή συναλλαγών, μικρά ή μεγάλα καταστήματα γενικώς, καφετέριες, εσπιατόρια, γυμναστήρια κ.ά. (για ανεκτές ακουστικές συνθήκες)	NC-35 ως NC-40	45 - 50
6. προθάλαμοι, διάδρομοι, χώροι εργαστηρίων, σχεδιαστηρίων ή τεχνικών εφαρμογών, καταστήματα τεχνολογικών ειδών κ.ά. (για περίπου ανεκτές ακουστικές συνθήκες)	NC-40 ως NC-45	50 - 55
7. μαγειρεία, πλυντήρια, αίθουσες ηλεκτρονικών υπολογιστών, σχολικά και βιομηχανικά εργαστήρια, γκαράζ, συνεργεία, χώροι ηλεκτρο-μηχανολογικών εγκαταστάσεων γενικώς κ.ά.	NC-45 ως NC-55	55 - 65

ΤΑ ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ (2) η επιβεβλημένη (εσωτερική) ησυχία L_1 ΟΙ ΣΥΧΝΟΤΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Κρθ ή NC	στάθμη ηχητικής πίεσης [dB]							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Κρθ ή NC-70	83	79	75	72	71	70	69	68
Κρθ ή NC-65	80	75	71	68	66	64	63	62
Κρθ ή NC-60	77	71	67	63	61	59	58	57
Κρθ ή NC-55	74	67	62	58	56	54	53	52
Κρθ ή NC-50	71	64	58	54	51	49	48	47
Κρθ ή NC-45	67	60	54	49	46	44	43	42
Κρθ ή NC-40	64	57	50	45	41	39	38	37
Κρθ ή NC-35	60	52	45	40	36	34	33	32
Κρθ ή NC-30	57	48	41	36	31	29	28	27
Κρθ ή NC-25	54	44	37	31	27	24	22	21
Κρθ ή NC-20	50	41	33	26	22	19	17	16
Κρθ ή NC-15	47	36	29	22	17	14	12	11

Η ΗΧΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΕΤΑΣΜΑΤΩΝ

Η ηχομονωτική ικανότητα ενός σταθερού τοιχώματος (οριζοντίου ή κατακόρυφου) καθορίζεται από τρεις ομάδες παραμέτρων :

- α) το επιφανειακό βάρος,**
- β) την ασυνέχεια της κατασκευής (φλοιοί και διάκενα),**
- γ) το είδος στήριξης των κατασκευών (ελαστικότητα),**

Η ηχομονωτική ικανότητα των κινητών πετασμάτων (κουφώματα : πόρτες, παράθυρα)

αποτελεί το πιο αδύναμο σημείο ενός ετερογενούς τοιχώματος και προσδιορίζεται από τρεις (3) αντίστοιχες ομάδες παραμέτρων :

- α) το επιφανειακό βάρος (κόστος, ευκινησία)**
- β) τη συναρμογή των κινητών φύλων στην κάσσα (στεγανότητα)**
- γ) την εφαρμογή επάλληλων ανοιγμάτων (διαφανείς φλοιοί)**

Ο ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ (1)

είναι το μέγεθος που χαρακτηρίζει την ηχομονωτική ικανότητα ενός ετερογενούς τοιχώματος

με ακίνητα (συμπαγή) και κινητά πετάσματα (κουφώματα) ή /και ανοίγματα (καπνοδόχους, αγωγούς εξαερισμού, οπές κλπ).

Ο σύνθετος δείκτης είναι συνάρτηση

- της ικανότητας των επιμέρους δεικτών (R_w)
- της επιφάνειας κάθε στοιχείου (S)
- ουσιαστικά προσδιορίζεται από την αξία των ηχομονωτικά αδύνατων στοιχείων του συνθέτου πετάσματος,
- λαμβάνει σφαιρική και επιμέρους συχνοτικές τιμές

Ο αναλυτικός υπολογισμός του σύνθετου δείκτη cR_w προκύπτει μέσω του βοηθητικού μεγέθους τ (δείκτης ηχοπερατότητας) όπου

$$\tau = 10^{-R_w / 10} \Rightarrow R_w = 10 \log (1/\tau)$$

Ο ΣΥΝΘΕΤΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΗΧΟΜΕΙΩΣΗΣ (2)

Πλήρης τύπος :

$$cR^{}_w = 10 \log[(S_1 + S_2 + S_3 + \dots) / (\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2 + \tau_3 S_3 + \dots)]$$

Γενικά, οι συνέπειες της μαθηματικής προσομοίωσης ενός σύνθετου δείκτη είναι δρακόντειες

- **είναι μάταιο** να προσπαθούμε να ενισχύσουμε τα πεπερασμένα όρια της ηχομονωτικής ικανότητας ενός τοίχου
- **είναι δαπανηρό** να επιδιώκουμε να αυξήσουμε την (αντικειμενικά χαμηλή) ηχομονωτική ικανότητα των κουφωμάτων
- **είναι σκόπιμο** να περιορίσουμε την (συχνά άσκοπη) επιφάνεια των ανοιγμάτων.

- Το αριθμητικό αποτέλεσμα (σφαιρική ή συχνотική τιμή) των υπολογισμών δίνει **τον φαινόμενο σύνθετο δείκτη $cR^{}_w$**
- Για τον προσδιορισμό του σύνθετου δείκτη cR_w (χωρίς τόνο) απαιτείται η προσαρμογή των δεδομένων σύμφωνα με τον **ΠΙΝΑΚΑ Β**

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ :

υπολογισμός του Σύνθετου δείκτη μιας πρόσοψης

μπατική Νο : 25, πλάτος 28cm	46	48	50	56	62	64	67	59
υαλοστάσιο Νο : 57 (6 + 12 + 6)	12	16	25	28	32	35	38	34
σύνθ. πέτασμα (αναλογία 1 : 3) cRw	16,4	20,4	29,4	32,4	36,4	39,4	42,4	38,4
			ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ					
2η δοκιμή, αύξηση ικανότητας τοιχώματος								
υπερμπατική Νο 29, πλάτος 39cm	54	56	58	64	70	76	83	68
υαλοστάσιο Νο : 57 (6 + 12 + 6)	12	16	25	28	32	35	38	34
σύνθ. πέτασμα (αναλογία 1 : 3) cRw	16,4	20,4	29,4	32,4	36,4	39,4	42,4	38,4
			καμιά βελτίωση, ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ					
3η δοκιμή, μείωση αναλογίας κουφώματος								
Νο : 25 , μπατική 28cm (14,2m ²)	46	48	50	56	62	64	67	59
Νο : 57, υαλοστάσιο 6 +12 +6 (3,3m ²)	12	16	25	28	32	35	38	34
σύνθ. πέτασμα (αναλογία 1 : 6) cRw	20,1	24,1	33,1	36,1	40,1	43,1	46,1	42,1
			μικρή βελτίωση, ΔΕΝ ΕΠΑΡΚΕΙ					