

**Φώτης Φωτόπουλος – Αριστοτέλης Χαραλαμπάκης**

# **ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ II**

**ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ  
ΛΥΜΕΝΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ  
ΛΥΜΕΝΑ ΘΕΜΑΤΑ ΕΞΕΤΑΣΕΩΝ**

**ΑΘΗΝΑ 1996**

Πρόλογος .....	3
I. Θεωρία.....	4
Α. Ηχομόνωση .....	5
Β. Αδρανή .....	10
Γ. Κονιάματα .....	11
Δ. Σκυρόδεμα .....	15
II. Ασκήσεις.....	21
1.1) Κοκκομετρική Σύνθεση (Ελληνικοί Κανονισμοί) .....	22
1.2) Κοκκομετρική Σύνθεση (Γερμανικοί Κανονισμοί) .....	24
1.3) Κοκκομετρική Σύνθεση (Ελληνικοί Κανονισμοί) .....	27
2.1) Σύνθεση Σκυροδέματος .....	28
2.2) Σύνθεση Σκυροδέματος .....	31
2.3) Σύνθεση Σκυροδέματος .....	35
2.4) Σύνθεση Σκυροδέματος .....	39
3.1) Ηχομόνωση (εκ του βαδίσματος).....	44
3.2) Ηχομόνωση (εκ του βαδίσματος).....	49
3.3) Ηχομόνωση (εκ του αέρος).....	51
3.4) Ηχομόνωση (εκ του βαδίσματος).....	55
3.5) Ηχομόνωση (εκ του αέρος).....	58
3.6) Προστασία από "ήχο εκ του βαδίσματος" .....	59

## Πρόλογος

Οι σημειώσεις αυτές γράφτηκαν για τους φοιτητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και καλύπτουν πλήρως το μάθημα των Τεχνικών Υλικών (Ειδικό Μέρος) που διδάσκεται κατά τα εαρινά εξάμηνα στα τμήματα των Πολιτικών Μηχανικών και Αρχιτεκτόνων του ΕΜΠ. Οι σημειώσεις αυτές είναι μέρος της σειράς για τα μαθήματα Γενικού Τμήματος που κυκλοφορεί.

Σκοπός των σημειώσεων αυτών είναι να δοθούν με σαφήνεια και απλότητα όλες οι έννοιες και οι εφαρμογές των Τεχνικών Υλικών, διατηρώντας όμως παράλληλα την επιστημονική αυστηρότητα και ευκρίνεια που πρέπει να διέπει τέτοιες προσπάθειες.

Πρωταρχική προσπάθεια υπήρξε η διεξοδική επεξήγηση και διερεύνηση των εφαρμογών (των πρακτικών) που έχουν τα όσα διδάσκονται στο μάθημα αυτό. Για το λόγο αυτό, χωρίστηκαν οι σημειώσεις αυτές σε δυο κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχουν απαντημένες πολλές ερωτήσεις θεωρίας, όπως αυτές δόθηκαν στις εξετάσεις που έγιναν τα τελευταία 12 χρόνια. Πιστεύουμε ότι οι απαντήσεις είναι υποδειγματικές και ότι θα βοηθήσουν στη μελέτη του μαθήματος.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παραθέσαμε μεγάλο πλήθος ασκήσεων που χαρακτηρίζονται από αξιοσημείωτη ποικιλία. Οι πιο πολλές αποτέλεσαν θέματα του παρελθόντος. Λάβαμε επίσης υπόψη το πεπερασμένο πλήθος που έχουν αυτές οι ασκήσεις ώστε να αποφύγουμε άσκοπες επαναλήψεις και περιττά σχόλια.

Παρ' όλους τους περιορισμούς στη βιβλιογραφία πιστεύουμε ότι δημιουργήσαμε ένα αξιόλογο φυλλάδιο που θα βοηθήσει σημαντικά τους αναγνώστες. Καταβάλαμε μεγάλη προσπάθεια για τη συγκέντρωση του υλικού και ταυτόχρονα φροντίστηκε να υπάρχει ομοιογένεια στην έκφραση καθώς και στη διατύπωση για να μην δημιουργούνται προβλήματα στους αναγνώστες.

Φ. Φωτόπουλος

A. Χαραλαμπάκης

# **I. Θεωρία**

A. Ηχομόνωση

B. Αδρανή

Γ. Κονιάματα

Δ. Σκυρόδεμα

## **A. Ηχομόνωση**

### **A.1) Μέτρο προστασίας LSM έναντι του ήχου δια του αέρα, βελτίωση αυτού.**

Ορίζεται ως η δυνατή παράλληλη μετατόπιση της θεωρητικής καμπύλης κατά τη διεύθυνση των τεταγμένων κατά ακέραιο αριθμό (dB) έως ότου η μέση υπέρβασή της ως προς την καμπύλη που προέκυψε από μετρήσεις, να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη όχι όμως μεγαλύτερη από 2,0dB. Το διάστημα κατά το οποίο μετατοπίσθηκε η θεωρητική καμπύλη σε ακέραιο αριθμό μετρούμενο θετικό προς τα άνω, αρνητικό προς τα κάτω, εκφράζει το μέτρο προστασίας LSM έναντι του ήχου δια του αέρα.

Βελτίωση γίνεται με χρησιμοποίηση επιχρίσματος, δύσκαμπτων τοίχων, επιλογή συχνότητας  $f$  πολύ μεγαλύτερης της ιδιοσυχνότητας  $f_R$  των μελών της κατασκευής, θύρες υψηλής ηχομονωτικής ικανότητας.

---

### **A.2) Ποιοί τοίχοι λέγονται εύκαμπτοι και ποιοί δύσκαμπτοι; Ποιοί είναι προτιμότεροι για ηχομόνωση;**

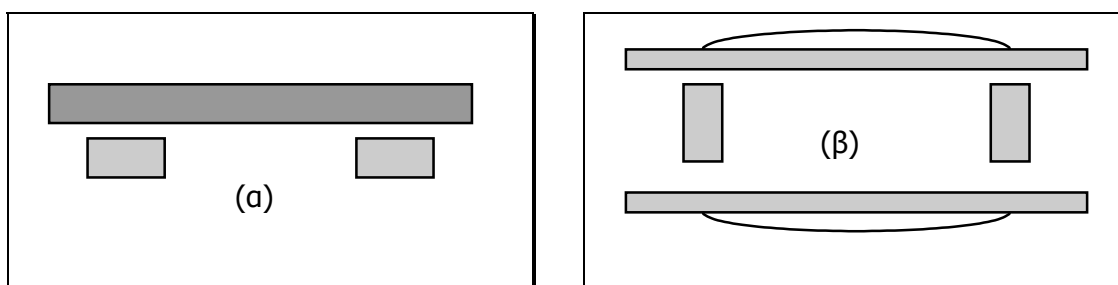
Καλούμε  $f_g$  ως οριακή συχνότητα των μελών της κατασκευής τη συχνότητα για την οποία το μήκος κύματος του ήχου στον αέρα συμπίπτει με το μήκος καμπτικού κύματος των μελών της κατασκευής. Στην περιοχή της  $f_g$  μειώνεται η ηχομονωτική ικανότητα των μελών της κατασκευής. Η ελάχιστη ηχομονωτική ικανότητα εμφανίζεται λίγο ψηλότερα της  $f_g$ . Αν είναι  $f_g > 1500\text{Hz}$  έχω εύκαμπτο τοίχο, αλλιώς αν  $f_g < 1500\text{Hz}$  δύσκαμπτο.

Οι εύκαμπτοι τοίχοι χρησιμοποιούνται συνήθως ως διπλοί ή σε συνδυασμό με δύσκαμπτους για βελτίωση της ηχομόνωσης. Για την εξασφάλιση της προστασίας έναντι του ήχου χρησιμοποιούνται εν γένει μόνο δύσκαμπτοι τοίχοι με τέτοιο βάρος ώστε η οριακή

συχνότητά τους ( $f_g$ ) να πλησιάζει το κατώτατο όριο της ακουστικής περιοχής ήτοι περίπου 100Hz και όχι εντός αυτής.

**A.3) Επίδραση ασυνεχειών και ανομοιογενειών στην ηχομονωτική ικανότητα.**

Οι τοίχοι άνευ επιχρίσματος παρουσιάζουν συχνά μικρή ηχομονωτική ικανότητα λόγω ύπαρξης ασυνεχειών. Η ηχομονωτική ικανότητα των μελών της κατασκευής είναι δυνατόν να επηρεασθεί από (α) ανομοιόμορφη κατανομή της μάζας, (β) το φαινόμενο του συντονισμού σε τμήματα της κατασκευής.



**A.4) Πώς επιδρά η ιδιοσυχνότητα  $f_R$  των μελών της κατασκευής στην ηχομονωτική συμπεριφορά τοίχων ή πατωμάτων περισσότερων της μιας στρώσεως;**

Η μεταφορά του ήχου δια μέσου τοίχων και πατωμάτων από δυο ή περισσότερες στρώσεις που είναι συνδεδεμένες με μονωτικά υλικά ή στρώματα αέρα γίνεται με διάφορους τρόπους. Με χρήση τοίχων με περισσότερες στρώσεις επιτυγχάνεται μείωση του βάρους της κατασκευής που απαιτείται για να επιτευχθεί κατάλληλη ηχομόνωση.

Όσον αφορά την επίδραση της ιδιοσυχνότητας  $f_R$  των μελών της κατασκευής, διακρίνονται τρεις περιοχές συχνοτήτων για ηχομόνωση:

- (i)  $f < f_R \Rightarrow$  καμία βελτίωση
- (ii)  $f \approx f_R \Rightarrow$  μείωση ηχομόνωσης
- (iii)  $f > f_R \Rightarrow$  βελτίωση

Πρέπει το πάχος του εμπιερχομένου στρώματος αέρα να είναι μεγάλο αλλιώς δεν είναι δυνατό να υπάρξει βελτίωση σε μεγάλο βαθμό. Συνεπώς η συχνότητα συντονισμού  $f_R$  του μέλους της κατασκευής πρέπει να είναι αρκετά χαμηλά ( $\approx 100\text{Hz}$ ) όπως συμβαίνει στην περίπτωση στρώσεων αυξημένου βάρους, ικανού πάχους κενού μεταξύ των στρώσεων καθώς και μειωμένη δυσκαμψία μονωτικής στρώσης.

#### **A.5) Κατηγορίες ηχοαπορροφητικών υλικών.**

Γενικά όταν  $\alpha > 0,6$  τότε το υλικό λέγεται ηχοαπορροφητικό, όπου  $\alpha$  ένας συντελεστής που λέγεται συντελεστής ηχοαπορρόφησης. Έχουμε τις παρακάτω κατηγορίες:

- (i) Πορώδη (πλάκες από ίνες ξύλου, τάπητες)
- (ii) Με σχισμές και οπές (πλάκες αμιάντου - γυψοχάρτου)
- (iii) Ταλαντώμενες πλάκες (φατνώματα από ξύλινες πλάκες)

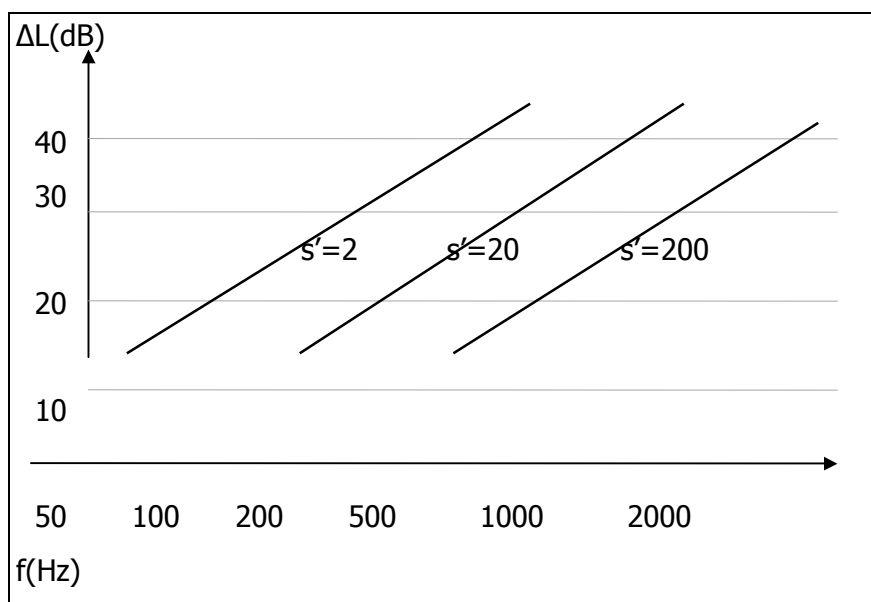
#### **A.6) Περί δυναμικής δυσκαμψίας ενός μέλους μιας κατασκευής και της επιρροής της στις ηχομονωτικές ιδιότητες.**

Η δυναμική δυσκαμψία  $s'$  σχετίζεται με τη μείωση της στάθμης του ήχου εκ βαδίσματος  $\Delta L$  με τον παρακάτω τύπο:

$$\Delta L = 40 \log \frac{f}{f_R}, \quad \text{οπου } f_R = 500 \sqrt{\frac{s'}{m'}}$$

όπου  $f_R$  η συχνότητα συντονισμού του δαπέδου σε Hz  
 $f$  η συχνότητα σε Hz  
 $s'$  η δυναμική δυσκαμψία της μονωτικής στρώσης ( $\text{kp/cm}^3$ )  
 $m'$  το βάρος ανά μονάδα επιφάνειας δαπέδου ( $\text{kp/cm}^2$ )

Πολύ κατατοπιστικό είναι και το παρακάτω διάγραμμα όπου φαίνεται πως όσο μειώνεται η δυναμική δυσκαμψία τόσο αυξάνει η μείωση  $\Delta L$  της στάθμης του ήχου εκ του βαδίσματος και άρα αυξάνεται η ηχομονωτική ικανότητα του μέλους της κατασκευής.



**A.7) Μέτρα περιορισμού της προστασίας έναντι του ήχου δια μέσου των μελών της κατασκευής.**

Γίνεται χρήση καθέτων διαχωριστικών αρμών, για τη δε περίπτωση ελαφρών τοίχων και οροφών χρησιμοποιούνται κατάλληλες επενδύσεις (πχ πλάκα υαλόμαλλου). Η τοποθέτηση μονωτικής στρώσης μεταξύ του πατώματος και των υπερκειμένων τοίχων δεν παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα και δε συνίσταται.



---

**A.8) Μέτρο βελτιώσεως της προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος VM.**

**Τρόπος υπολογισμού του.**

Μέτρο βελτιώσεως της προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος VM δια ειδικής επιστρώσεως ορίζεται ως η διαφορά των μέτρων προστασίας έναντι του ήχου από βάδισμα TSM αναφορικά προς το πάτωμα αναφοράς με καθορισμένη καμπύλη τιμών στάθμης ήχου από το βάδισμα  $L_{nB}$  άνευ και μετ' επιστρώσεως.

Για τον υπολογισμό του VM υπολογίζεται αρχικά η τιμή  $TSM_0$  του πατώματος αναφοράς. Ακολούθως υπολογίζεται η τιμή  $L_n$  για το πάτωμα αναφοράς μετ' επιστρώσεως με τη βοήθεια του τύπου:  $L_{n1B} = L_{nB} - \Delta L$  (dB) και έστω  $L_{n1B}$  η ευρεθείσα καμπύλη που από αυτή υπολογίζεται η τιμή TSM του πατώματος αναφοράς με επιστρώση έστω  $TSM_1$ .

Τότε θα ισχύει:  $VM = TSM_1 - TSM_0$  (dB).

---

**A.9) Συμπεριφορά δαπέδων κατά την προστασία έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος.**

α) Δάπεδα: οι τάπητες δίδουν ικανοποιητική προστασία έναντι του ήχου εφόσον το πάχος τους είναι τουλάχιστον 5mm. Είναι δυνατή η τοποθέτηση πιλημάτων ή αφρωδών υλικών κάτω από τον τάπητα.

β) Κολυμβητά Δάπεδα: υποστρώματα επί μαλακών μονωτικών στρώσεων, αποτελούν το βασικότερο μέσο για την προστασία έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος. Η ηχομονωτική τους ικανότητα εκδηλώνεται πάνω από τη συχνότητα συντονισμού  $f_R$  που εξαρτάται από το είδος της μονωτικής στρώσης και από το είδος του δαπέδου. ( βλ. & A.6)

---

## **B. Αδρανή**

### **B.1) Ασυνεχείς κοκκομετρικές καμπύλες και εφαρμογές τους.**

Εκτός από τις συνεχείς κοκκομετρικές καμπύλες, υπάρχουν και οι ασυνεχείς που επιβάλλονται για λόγους οικονομικούς ή κατασκευαστικούς (πχ εμφανές σκυρόδεμα). Εφαρμογή έχουμε στη θεωρία στοιβάξεως, σύμφωνα με την οποία όταν ο συνολικός όγκος ελαχιστοποιείται, η στοιβάξη προϋποθέτει την ύπαρξη ενός κόκκου συμπληρώσεως διαμέτρου  $d_s \leq 0,14D$ .

---

### **B.2) Ποιές προϋποθέσεις πρέπει να πληρούν τα αδρανή για παρασκευή σκυροδέματος καλής ποιότητας;**

(α) Η σύνθεση των αδρανών πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η απαιτούμενη ποσότητα τσιμεντοπολτού που πληροί τα κενά και περιβάλλει τους κόκκους να είναι η ελάχιστη δυνατή.

(β) Η επιφάνεια των κόκκων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη και γι'αυτό οι κόκκοι πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγάλου μεγέθους, ώστε η περιβάλλουσα ποσότητα τσιμέντου να είναι ελάχιστη.

(γ) Οι κοκκομετρικές καμπύλες των αδρανών (ιδανικές) πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να πληρούνται τα παραπάνω ταυτόχρονα (συνεχείς ή ασυνεχείς).

---

## **Γ. Κονιάματα**

### **Γ.1) Ιδιότητες κονιαμάτων τσιμέντου - εποξειδικών ρητινών.**

- (i) Έχουν υψηλή αντοχή σε θλίψη και εφελκυσμό.
  - (ii) Έχουν διπλάσια ικανότητα προσφύσεως από τα συνήθη κονιάματα.
  - (iii) Είναι κατάλληλα για κατασκευές χωρίς αρμούς.
  - (iv) Αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό από κάμψη μέχρι 100%.
- 

### **Γ.2) Ιδιότητες και εφαρμογές τσιμέντου - ανιοντικού διαλύματος ρητίνης - μελαμίνης.**

- (i) Σημαντική βελτίωση της αντοχής σε θλίψη, εφελκυσμό από κάμψη, ικανότητας προσφύσεως.
  - (ii) Αυξημένη αντοχή σε μικρή ηλικία.
  - (iii) Σημαντική μείωση υδατοπερατότητας.
  - (iv) Βελτίωση εργασίμου.
  - (v) Αυξημένη ρευστότητα.
- 

### **Γ.3) Γενικές ιδιότητες κονιαμάτων.**

Με τον όρο κονίαμα εννοούμε το μείγμα μιας ή περισσότερων κονιών με αδρανή. Οι ιδιότητές τους εξαρτώνται από:

- (i) Αναλογία ανάμιξης (κο)
  - (ii) Τρόπο ανάμιξης
  - (iii) Είδος της κονίας
  - (iv) Είδος των αδρανών
  - (v) Είδος των προσθέτων (στεγανοποιητικά, πλαστικοποιά, προστασία από παγετό)
  - (vi) Από τον τρόπο κατεργασίας και συμπυκνώσεως αυτού.
- 

**Γ.4) Ποιόν τύπο κονιάματος θα χρησιμοποιήσετε σε φέρουσα τοιχοποιία και γιατί;**  
**Ποιά τα είδη αυτών;**

Προφανώς θα χρησιμοποιήσουμε ένα από τα παρακάτω κονιάματα τοιχοποιίας:

- I. Αερική + υδραυλική άσβεστος (πολτός ή σκόνη) + λίαν υδραυλική + άμμος
- II. Τσιμέντο + αερική + υδραυλική άσβεστος + υπερυδραυλική + άμμος
- III. Τσιμέντο + άμμος.

Θα χρησιμοποιήσουμε την τρίτη κατηγορία κονιαμάτων σε φέρουσα τοιχοποιία καθόσον αυτά έχουν με διαφορά τη μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη.

---

**Γ.5) Κονιάματα υπό πίεση.**

Αυτά είναι τσιμεντοπολτός ή τσιμεντοκονίαμα και χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία του προεντεταμένου σκυροδέματος (πλήρωση σωλήνων τενόντων) μέχρι και στη κατασκευή σηράγγων, φραγμάτων, κά. (αύξηση αντοχής εδάφους με τσιμεντενέσεις).

---

**Γ.6) Διαφορές τσιμεντοκονιαμάτων - κονιαμάτων τσιμέντου/πλαστικών. Σε ποιές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται;**

(βλ.Γ.5) Τα τσιμεντοκονιάματα είναι κονιάματα υπό πίεση και χρησιμοποιούνται στην τεχνολογία του προεντεταμένου σκυροδέματος (πλήρωση σωλήνων τενόντων) μέχρι και στην κατασκευή σηράγγων, φραγμάτων, κá. (αύξηση αντοχής εδάφους με τσιμεντενέσεις).

Με προσθήκη πλαστικών στα τσιμεντοκονιάματα παίρνουμε κονίαμα το οποίο:

- (i) σκληρύνεται απουσίας υγρασίας
- (ii) έχουν λίγο αυξημένη αντοχή σε θλίψη
- (iii) Αυξημένη (ως 80% για συντελεστή πλαστικού/τσιμέντου=0,3) αντοχή εφελκυσμού από κάμψη
- (iv) Μεγάλη βελτίωση εργασίμου
- (v) Αύξηση της αντοχής σε πρόσφυση συνήθων κονιαμάτων (από  $4\text{kp/cm}^2 \rightarrow 25\text{kp/cm}^2$ ).

Επομένως έχουν σαφώς βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και εργάσιμο σε σχέση με τα τσιμεντοκονιάματα και επίσης η σκλήρυνσή τους γίνεται απουσίας υγρασίας ενώ στα τσιμεντοκονιάματα παρουσίας αυτής.

---

**Γ.7) Κονιάματα αμιαντοτσιμέντου και εφαρμογές τους.**

Τα κονιάματα αμιαντοτσιμέντου αποτελούνται από αμίαντο και τσιμέντο (1:6). Παρουσιάζουν αντοχή έναντι χημικών αντιδράσεων, παγετού και φωτιάς. Οι μηχανικές τους

αντοχές όπως ο εφελκυσμός και η κάμψη προσεγγίζουν αυτές του ξύλου και η αντοχή σε θλίψη αυτή του σκυροδέματος.

---

**Γ.8) Τι γνωρίζετε για τη θηραϊκοκονιάματα;**

Αυτά είναι υδραυλικά με μικρή αντοχή και χρησιμοποιούνται με τις παρακάτω αναλογίες:

(i) 1:3 (πολτός ασβέστου: Θηραϊκή γη)

(ii) 1:2:1 (πολτός ασβέστου:Θηραϊκή γη: άμμος)

---

**Γ.9) Τι κονίαμα θα χρησιμοποιήσετε για την κατασκευή υπογείου;**

Αφού έχουμε υπόγειο, οι τοιχοποιίες θα είναι φέρουσες και άρα θα επιζητήσω υψηλή αντοχή σε θλίψη, κάτι που για παράδειγμα συναντάμε σε κονίαμα τοιχοποιίας κατηγορία 3, τσιμέντο + άμμος.

---

## **Δ. Σκυρόδεμα**

### **Δ.1) Επίδραση θερμοκρασίας στο νωπό σκυρόδεμα.**

Η θερμοκρασία του νωπού σκυροδέματος επηρεάζει την πήξη και άρα τη δυνατότητα επεξεργασίας του.

Υψηλή θερμοκρασία: επιταχύνει την πήξη, μειώνει το επεξεργάσιμο, αυξάνει την αρχική και μειώνει την τελική αντοχή και αυξάνει τη συστολή ξηράνσεως. Η μείωση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με προσθήκη τεμαχίων πάγου κατά την ανάμιξη ή με προϋγρανση των αδρανών με ψυχρό νερό.

Χαμηλή θερμοκρασία: επιβραδύνει την πήξη και τη σκλήρυνση, αυξάνει το επεξεργάσιμο. Με την προϋπόθεση μη προσβολής από τον παγετό, η τελική αντοχή είναι συνήθως αυξημένη.

Σημειώνεται ότι η κατάλληλη θερμοκρασία για το νωπό σκυρόδεμα είναι από 5°C έως 30°C.

---

### **Δ.2) Τι σκυρόδεμα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή δαπέδου βιομηχανίας;**

Θα πρέπει να έχει αυξημένη αντοχή σε τριβή, η οποία δύναται να βελτιωθεί με (α) υψηλής αντοχής σκληρυνθέντος τσιμέντου, (β) μικρή ποσότητα κονιάματος, (γ) μεγάλα

αδρανή από πετρώματα υψηλής αντοχής, (δ) υψηλό ποσοστό χονδρού υλικού, (ε) ειδική επεξεργασία επιφανειών.

Ειδικότερα πρέπει  $B_n \geq 350$  με συντελεστή ύδατος - τσιμέντου  $w=(W+L)/z \leq 0,45$  και περιεκτικότητα σε τσιμέντο  $z \leq 350 \text{ kg/m}^3$  και οι κοκκομετρικές καμπύλες να είναι ασυνεχείς.

---

**Δ.3)** *Τι ειδικά μέτρα απαιτούνται για την κατασκευή εμφανούς σκυροδέματος καλής ποιότητας;*

- (i) Κοκκομετρικές καμπύλες ασυνεχείς
- (ii) Σωστή αναλογία z:k:w
- (iii) Ιδιαίτερη σημασία έχει η περιεκτικότητα σε τσιμέντο, διότι ο τσιμεντοπολτός θα πρέπει να πληρώσει τα κενά μεταξύ των αδρανών και να περιβάλλει τους κόκκους.
- (iv) Η έκχυση θα πρέπει να γίνει με έντεχνο τρόπο, ώστε να αποφεύγεται η απόμιξη ή η ανομοιογένεια των υλικών έτσι ώστε να μην μειώνεται η υδατοπερατότητα και η αντοχή.

---

**Δ.4)** *Για τον έλεγχο της αντοχής σε κάμψη του σκυροδέματος τι δοκίμια θα χρησιμοποιήσετε και ποιές οι συνθήκες διατηρήσεως αυτών και γιατί;*

Ο έλεγχος της αντοχής σε κάμψη του σκυροδέματος προσδιορίζεται με πρισματικά δοκίμια 15x15x70cm (αμφιέριστο με δυο συγκεντρωμένα φορτία στα τρίτα του ανοίγματος) ή 10x15x70cm (συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσον). Το μήκος των δοκιμίων θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο του ύψους, ώστε τα αποτελέσματα να μην επηρεάζονται από διατμητική καταπόνηση.



Τα δοκίμια διατηρούνται, μέχρι της δοκιμής, υπό το ύδωρ ώστε το αποτέλεσμα της δοκιμής να μην επηρεάζεται από εφελκυστικές τάσεις από συστολή ξηράνσεως.

---

**Δ.5) Μειονεκτήματα κρουστικών ελέγχων του σκυροδέματος στο έργο.**

Μια μέθοδος για έλεγχο του σκυροδέματος χωρίς καταστροφή είναι με τη χρησιμοποίηση κρουσιμέτρων, οπότε γίνεται μέτρηση της διαμέτρου  $d$  και της αναπήδησης  $R$ . Τα μειονεκτήματα είναι τα παρακάτω:

- (i) Η μέτρηση της  $d$  είναι αρκετά επίπονη και επηρεάζεται από το μέγεθος των κόκκων, τη σύνθεση και την περιεκτικότητα σε τσιμέντο.
  - (ii) Η μέτρηση φορτισμένου μέλους της κατασκευής δίνει μεγαλύτερη αναπήδηση  $R$ .
  - (iii) Γενικά με τους ελέγχους αυτούς, ελέγχεται η περιοχή κοντά στην επιφάνεια και σε περίπτωση απόμιξης έχουμε υψηλές τιμές. Επίσης επηρεάζει ο βαθμός ενυδάτωσης.
- 

**Δ.6) Ποιός ο καλύτερος τρόπος συμπακνώσεως του νωπού σκυροδέματος και γιατί;**

Στην περίπτωση που σκληρυνθεί το σκυροδέμα χωρίς επεξεργασία, παραμένει ποσότητα αέρα εντός της μάζας με αποτέλεσμα τη δημιουργία πόρων, οι οποίοι επηρεάζουν δυσμενώς τις ιδιότητες του σκυροδέματος. Άρα θα πρέπει το νωπό σκυροδέμα να συμπακνώνεται πλήρως, ώστε να απομακρύνονται οι πόροι του αέρα.

Οι συνηθισμένοι τρόποι συμπακνώσεως είναι:

- (i) Κοπανισμός με το χέρι ή μηχανικά
- (ii) Ραβδισμός με χαλύβδινες ή ξύλινες ράβδους

(iii) Δόνηση με δονητές μέσα στη μάζα, επιφανειακών, ξυλοτύπου ή και με δονητικές τράπεζες.

Ο καλύτερος τρόπος είναι με δόνηση γιατί επιτυγχάνεται έτσι η μεγαλύτερη αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος.

**Δ.7) Τι σκυρόδεμα θα χρησιμοποιήσετε για την κατασκευή πασσάλων θεμελίωσης;**

Θα πρέπει να έχει αυξημένη αντοχή σε κρούση. Για να συμβαίνει αυτό, θα πρέπει να έχει περιεκτικότητα σε τσιμέντο  $\leq 400\text{kg/m}^3$ , συντελεστή ύδατος - τσιμέντου  $w=0,45$  και  $B_{z28} \geq 450\text{kg/cm}^2$ .

Ακόμη τα αδρανή θα πρέπει να είναι δευτερογενούς θραύσεως, με τραχεία επιφάνεια και με μικρό μέτρο ελαστικότητας. Η κοκκομετρική σύνθεση θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο μεγαλύτερος κόκκος να είναι μικρότερος από 30mm και η ελάχιστη περιεκτικότητα άμμου (0/8mm) 60%.

**Δ.8) Συντήρηση σκυροδέματος για διάφορες καιρικές συνθήκες.**

Γίνεται με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα.

<b><u>Καιρικές Συνθήκες</u></b>	<b><u>Τρόπος Συντήρησης</u></b>
Κανονικές Συνθήκες ( $20\pm 5^\circ\text{C}$ , σχετική υγρασία $65\pm 10\%$ )	Διαβροχή ελευθέρων επιφανειών για 7 μέρες.
Επίδραση ηλιακής ακτινοβολίας ή θερμοκρασίας $> 25^\circ\text{C}$ .	Επιπρόσθετη κάλυψη ελευθέρων επιφανειών και διαβροχή ξυλοτύπων.

Άνεμοι, ισχυρές μετατοπίσεις μαζών αέρα.	Διαβροχή ξυλοτύπων, συχνή διαβροχή και κάλυψη ελευθέρων επιφανειών.
Ψύχος - Υγρασία - Θερμοκρασία <math><10^{\circ}\text{C}</math>	Κάλυψη ελευθέρων επιφανειών.
Χαμηλές θερμοκρασίες, παγετός κατά τη διάρκεια της νύχτας, θερμοκρασία από $-5^{\circ}\text{C}$ ως $+5^{\circ}\text{C}$ .	Διάσθρωση σε θερμοκρασία $>15^{\circ}\text{C}$ , προστασία επιφανειών σκυροδέματος προ και μετά την αφαίρεση ξυλοτύπων τουλάχιστον για 7 μέρες.

**Δ.9) Συνεκτικότητα νωπού σκυροδέματος, κατηγορίες και έλεγχος.**

Συνεκτικότητα είναι το μέτρο για το εργάσιμο και το βαθμό συμπυκνώσεως του νωπού σκυροδέματος. Διακρίνουμε τις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

- (i) **K<sub>I</sub>** : Στεγνό σκυρόδεμα που περιέχει μικρή ποσότητα νερού. Δύσκολα επεξεργάζεται και δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευή με πυκνό οπλισμό με μικρή διατομή, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε θεμελιώσεις ή κατασκευές χωρίς (ή με αραιό) οπλισμό.
- (ii) **K<sub>II</sub>** : Περιέχει περισσότερο νερό και χρησιμοποιείται σε κατασκευές με πυκνό οπλισμό, έστω και αν οι διατομές είναι πολύ μικρές.
- (iii) **K<sub>III</sub>** : Χρησιμοποιείται σε πολύ πυκνό οπλισμό έστω κι αν οι διατομές είναι μικρές.

Ο έλεγχος γίνεται:

- I. Εργαστηριακά (τράπεζα εξαπλώσεως, δοκιμή Powers, δοκιμή Walz)
- II. Εργοταξιακά (μετρητής Hum, δοκιμή Slump).

**Δ.10)** Ποιά είναι τα κυριότερα πρόσθετα του σκυροδέματος και ποιές ιδιότητες μεταβάλλουν;

Τα κυριότερα πρόσθετα του σκυροδέματος είναι τα στεγανοποιητικά με σχηματισμένους πόρους και μεταβάλλουν:

- (i) τη ρευστότητα
- (ii) σχηματίζουν πόρους
- (iii) μεταβάλλουν τη στεγανοποίηση
- (iv) επιβραδύνουν - επιταχύνουν την πήξη

Αντίστοιχα πρόσθετα σκυροδέματος που βελτιώνουν τις ιδιότητές του είναι:

- (I). Ανόργανα (θηραϊκή γη, άσβεστος, τέφρα, χρώματα)
  - (II). Οργανικά (πλαστικά, καουτσούκ, άσφαλτος)
-

## **II. Ασκήσεις**

### **1) Κοκκομετρική Σύνθεση**

- 1.1) Δυο αδρανή, Ελληνικοί Κανονισμοί
- 1.2) Δυο αδρανή, Γερμανικοί Κανονισμοί
- 1.3) Τρία αδρανή, Ελληνικοί Κανονισμοί

### **2) Σύνθεση Σκυροδέματος**

- 2.1) Σύνθεση Σκυροδέματος
- 2.2) Σύνθεση Σκυροδέματος (17/6/86)
- 2.3) Σύνθεση Σκυροδέματος (27/8/85)
- 2.4) Σύνθεση Σκυροδέματος (17/6/85)
- 2.5) Σύνθεση Σκυροδέματος

### **3) Ηχομόνωση**

- 3.1) Ηχομόνωση "εκ του βαδίσματος" (17/6/86)
- 3.2) Ηχομόνωση "εκ του βαδίσματος"
- 3.3) Ηχομόνωση "εκ του αέρος"
- 3.4) Ηχομόνωση "εκ του βαδίσματος" (27/8/85)
- 3.5) Ηχομόνωση "εκ του αέρος" (17/6/85)
- 3.6) Προστασία από "ήχο εκ του βαδίσματος"

Παρατήρηση: Ο συμβολισμός (xx,yy,"έκφραση") που συναντάται αρκετά συχνά στις σημειώσεις αυτές σημαίνει ότι πληροφορίες ή/και σχεδιαγράμματα χρήσιμα για τη μελέτη της θεωρίας και των ασκήσεων βρίσκονται στο διδακτικό βιβλίο xx (=I,II,III,IV τόμος), σελίδα yy και όπου "έκφραση" , η παράγραφος, ο πίνακας ή το σχεδιάγραμμα που μας ενδιαφέρει.

### 1.1) Κοκκομετρική Σύνθεση (Ελληνικοί Κανονισμοί)

Δίνονται τα δυο αδρανή A και B που τους έχει γίνει κοκκομετρική ανάλυση (τα ποσοστά διόδου των). Με ποιά αναλογία θα πάρω το Γ που είναι κατάλληλο (δηλαδή βρίσκεται στην εξαιρετική ή/και στην χρησιμοποιήσιμη περιοχή) ;

d	0.2	1	3	7	15	30	
A	13	43	70	94	100	100	$\Sigma_A=420$
B	1	3	4	10	40	100	$\Sigma_B=158$

Παρατήρηση 1η: Το είδος των κανονισμών (ελληνικοί ή γερμανικοί) το καταλαβαίνουμε από την εκφώνηση και μάλιστα από τα μεγέθη των οπών των κοσκίνων που χρησιμοποιήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα αν οι οπές των κοσκίνων που δίδονται είναι 0,2 - 1 - 3 - 7 - 15 και 30, τότε έχουμε ελληνικούς κανονισμούς, διαφορετικά θα θεωρούμε ότι έχουμε γερμανικούς κανονισμούς.

Παρατήρηση 2η: Το αν ένα αδρανές είναι χονδρόκοκκο ή λεπτόκοκκο το διαπιστώνουμε επίσης από τα δεδομένα της εκφώνησης. Για παράδειγμα για το αδρανές A αν χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα (I,60,πιν) βλέπουμε ότι βρίσκεται στην χρησιμοποιήσιμη και στην περιοχή "πλέον ψιλό" άρα πρόκειται σαφώς για λεπτόκοκκο αδρανές. Στην περίπτωση που ένα αδρανές βρίσκεται ταυτόχρονα σε δυο περιοχές, τότε ο χαρακτηρισμός του προκύπτει από την περιοχή στην οποία βρίσκονται τα πιο πολλά σημεία του.

Σύμφωνα με τα παραπάνω το A είναι λεπτόκοκκο και το B χονδρόκοκκο. Έστω παίρνουμε X% κβ από το A και Y% κβ από το B. Θα είναι  $X+Y=100$  (1). Αφού το Γ θα ταυτίζεται (ή μάλλον θέλουμε να ταυτίζεται) με την ιδανική καμπύλη τότε (I,60,σχ)  $\Sigma_\Gamma=\Sigma_E$ . Αλλά το  $\Sigma_E$  είναι γνωστό και πάντα σταθερό. Είναι  $\Sigma_E=9+24+43+60+82+100=318=\Sigma_\Gamma$ . Επειδή δε ισχύει  $\Sigma_A(X/100)+\Sigma_B(Y/100)=\Sigma_\Gamma \Rightarrow 4,20X+1,58Y=318$  (2).

Οι εξισώσεις (1) και (2) αποτελούν ένα γραμμικό σύστημα 2x2 του οποίου η λύση προκύπτει εύκολα με τη μέθοδο της αντικατάστασης  $Y=38,9\%$  και  $X=61,1\%$ . Είναι όμως πράγματι το  $\Gamma$  κατάλληλο; Ναι μεν μπορεί να θέσαμε το  $\Sigma_{\Gamma}=\Sigma_{\epsilon}$  όμως τούτο εξασφαλίζει κάποια αρχική προσέγγιση χωρίς να το εγγυάται. Χρειάζεται συνεπώς να βρούμε τις συγκεντρώσεις των A και B για να βρούμε του  $\Gamma$  και να αποφανθούμε.

.d	0,2	1	3	7	15	30
A	7,9	26,3	42,8	57,4	61,1	61,1
B	0,4	1,2	1,6	3,9	15,9	38,9
$\Gamma$	8,3	27,5	44,4	61,3	76,7	100

$\pi\chi$  για το κόκκινο των 0,2mm έχω  $13*0,611=7,9$  και  $1*0,389=0,4$  για τα A και B ενώ για το  $\Gamma=A+B=7,9+0,4=8,3$ .

Πάω τώρα στο (I,60,σχ) και έχω το 1ο και 5ο σημείο (κόσκια των 0,2mm και 15mm αντίστοιχα) να βρίσκονται εντός της εξαιρετικής περιοχής τα δε 2ο,3ο και 4ο σημείο εντός της χρησιμοποιήσιμης περιοχής. Δηλαδή επιβεβαιώθηκαν οι επιφυλάξεις μας. Η προσομοίωση  $\Sigma_{\epsilon}=\Sigma_{\Gamma}$  ναι μεν εξασφαλίζει καταλληλότητα του  $\Gamma$  μόνο όμως στην περίπτωση που θέλουμε να είμαστε ΚΑΙ στην εξαιρετική περιοχή ΚΑΙ στην χρησιμοποιήσιμη.

Αν υποθέσουμε ότι θα επιθυμούσαμε να βρισκόμαστε μόνο στην εξαιρετική περιοχή θα πρέπει να σκεφτούμε ως εξής: Τα σημεία 2,3 και 4 πρέπει να κατέβουν από την χρησιμοποιήσιμη στην εξαιρετική περιοχή. Άρα το  $\Gamma$  είναι προς το πλέον ψιλό (I,60,σχ) και πρέπει να πάει προς το πλέον χονδρό. Με άλλα λόγια πρέπει να μειώσουμε το ποσοστό συμμετοχής του λεπτόκοκκου A και να αυξήσουμε επομένως του χονδρόκοκκου B. Μετά θα ξαναβρούμε τις συγκεντρώσεις και αν δεν είναι εξ'ολοκλήρου το  $\Gamma$  στην εξαιρετική περιοχή επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία.

Παρατήρηση 3η: Αν τα ποσοστά X,Y βγουν αρνητικά (έστω ένα εξ αυτών) τότε όπως και τα αναμίξω τα A και B θα βγει ακατάλληλο το  $\Gamma$ . Αυτό όμως δεν ισχύει απαραίτητα στην περίπτωση που έχω παραπάνω των δυο αδρανών όπως θα δούμε παρακάτω.

Παρατήρηση 4η: Με τη χρήση ελληνικών κανονισμών μπορούμε να κάνουμε κοκκομετρική σύνθεση μέχρι τριών αδρανών, τους δε γερμανικούς θα τους χρησιμοποιήσουμε εναλλακτικά μόνο για την περίπτωση κοκκομετρικής σύνθεσης δυο αδρανών.

Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε πως η μέθοδος αυτή ονομάζεται μέθοδος των διόδων. Έτσι αν σε ένα πρόβλημα αναφέρεται να γίνει η κοκκομετρική σύνθεση με τη μέθοδο των διόδων, τότε αυτόματα γνωρίζουμε τις οπές των κοσκίνων και ότι έχουμε να κάνουμε με ελληνικούς κανονισμούς.

## 1.2) Κοκκομετρική Σύνθεση (Γερμανικοί Κανονισμοί)

Δίδονται τα δυο παρακάτω αδρανή. Να βρείτε την αναλογία τους ώστε να προκύψει το αδρανές Γ που να βρίσκεται στην εξαιρετική περιοχή.

.d	0,25	1	2	4	8	16	32
A	10	36	45	68	82	90	100
B	0	0	0	12	30	80	100

Λόγω των οπών των κοσκίνων είναι σαφές ότι έχουμε γερμανικούς κανονισμούς. Είναι επίσης σαφές (I,60,σχ) ότι το B είναι χονδρόκοκκο και το A λεπτόκοκκο. Έστω έχω X% από το A και Y% από το B. Τότε  $X+Y=100$  (1). Θα σχηματίσουμε τον παρακάτω πίνακα:

	(D <sub>i</sub> )A	(D <sub>i</sub> )B	(R <sub>i</sub> )A	(R <sub>i</sub> )B	(a <sub>i</sub> )A	(a <sub>i</sub> )B	F <sub>i</sub>	(F)A	(F)B
0/0,25	10	0	90	100	0,10	0	20	2	0
0,25/1	36	0	64	100	0,26	0	70	18,2	0
1 /2	45	0	55	100	0,09	0	115	10,35	0
2 /4	68	12	32	88	0,23	0,12	145	33,35	17,4
4 /8	82	30	18	70	0,14	0,18	175	24,50	31,5
8 /16	90	80	10	20	0,08	0,50	205	16,40	102,5



16 /32	100	100	0	0	0,10	0,20	235	23,50	47
--------	-----	-----	---	---	------	------	-----	-------	----

Στην πρώτη στήλη του πίνακα αυτού αναφέρονται οι οπές των κοσκίνων. Το 1 /2 για παράδειγμα σημαίνει το ποσό του αδρανούς που συγκρατείται από το κόσκινο που έχει οπές 1mm και διαφεύγει από το κόσκινο που έχει οπές 2mm.

Στη δεύτερη στήλη και στην τρίτη αναγράφονται τα νούμερα για τα Α και Β όπως αυτά δίδονται από την εκφώνηση χωρίς καμιά αλλαγή.

Στην τέταρτη και πέμπτη στήλη γράφουμε τα συγκρατούμενα ποσά για τα αδρανή Α και Β αντίστοιχα επί τοις εκατό. Δηλαδή  $R_i = 100 - D_i$ . Πρακτικά η τέταρτη στήλη προκύπτει αν από το 100 αφαιρέσουμε τα στοιχεία της δεύτερης. Όμοια η πέμπτη από την αφαίρεση από το 100 των στοιχείων της τρίτης στήλης.

Πάμε στην έκτη στήλη. Πρόκειται για τον συντελεστή  $a_i$  ο οποίος δίδεται από τον τύπο:

$$a_i = \frac{D_i - D_{i-1}}{100}$$

Για παράδειγμα το πρώτο στοιχείο της έκτης στήλης είναι  $a_1 = (10-0)/100 = 0,1$  όπου  $D_0$  θεωρήσαμε το μηδέν. Το δεύτερο στοιχείο της ίδιας στήλης είναι  $a_2 = (36-10)/100 = 0,26$  κοκ. Ομοίως η έβδομη στήλη προκύπτει από την τρίτη (για το Β).

Η όγδοη στήλη είναι δοσμένη και σταθερή για τις συγκεκριμένες οπές. Θα χρησιμοποιούνται αυτά τα νούμερα ως έχουν για τις συγκεκριμένες οπές. Αν στο πρόβλημα οι οπές αλλάξουν, τα F μπορούν εύκολα να βρεθούν με χρήση του παρακάτω τύπου:

$$F_i = 50[\log(10 \cdot d_u) + \log(10 \cdot d_o)]$$

όπου  $d_u$  η οπή του "μεγάλου" και  $d_o$  η οπή του "μικρού" κόσκινου. Δίνουμε παράδειγμα για το δεύτερο  $F_2$  όπου  $d_u = 0,25$  και  $d_o = 1 \Rightarrow F_i = 50[\log 2,5 + \log 10] = 70$ .

Τέλος για την ένατη και δέκατη στήλη τα  $F(A)$  και  $F(B)$  προκύπτουν από τον τύπο  $F=a_i \cdot F_i$ . Δηλαδή το δεύτερο στοιχείο της ένατης στήλης προέκυψε ως εξής  $F(2)=0,26 \cdot 70=18,2$ .

Στη συνέχεια θα βρούμε τα αθροίσματα της ένατης και δέκατης στήλης που είναι  $F_1=128,3$  και  $F_2=198,4$ . Ισχύει τώρα  $(X/100)F_1+(Y/100)F_2=F_S$  (2) όπου  $F_S =151$  πάντα και αναφέρεται στην ιδανική (πρότυπη) καμπύλη. Έτσι  $1,283X+1,984Y=151$  (3). Όμως οι (1),(3) αποτελούν γραμμικό σύστημα  $2 \times 2$  που επιλύεται εύκολα και δίνει:  $X=68\%$ ,  $Y=32\%$ . Βρίσκω τις συγκεντρώσεις των A, B οπότε έχω:

.d	0,25	1	2	4	8	16	32
A	6,8	24,5	30,6	46,2	55,8	61,2	68
B	0	0	0	3,8	9,6	25,6	32
Γ	6,8	24,5	30,6	50	65,4	86,8	100
πρότυπη	8	28	37	47	62	80	100

Τη γραμμή "πρότυπη" τη συμπληρώσαμε για δική μας βοήθεια. Δίδεται έτοιμη από το (I,61,σχ74) . Τα στοιχεία της πέμπτης για παράδειγμα στήλης προκύπτουν ως εξής: για το A έχω  $0,68 \cdot 68=46,2$  για το B  $0,32 \cdot 12=3,8$  για το  $\Gamma=A+B=3,8+46,2=50$ .

Βάζω εν συνεχεία τα σημεία του  $\Gamma$  στο (I,60,σχ) και βλέπω ότι τα σημεία 1,2 και 3 είναι στην εξαιρετική περιοχή, τα δε 4,5 και 6 στη χρησιμοποιήσιμη. Πρέπει να ελαττώσω το ποσοστό του φιλόκοκκου αδρανούς δηλαδή του A. Αν όμως πχ βάλω  $X=66\%$  και  $Y=34\%$  τότε και το σημείο 3 γίνεται ακατάλληλο άρα δεν επιδέχεται το πρόβλημα περαιτέρω βελτίωση.

Παρατήρηση: Υπάρχουν δυο τρόποι επίλυσης των κοκκομετρικών συνθέσεων με γερμανικούς κανονισμούς. Ο πρώτος είναι αυτός που δείξαμε και λέγεται υπολογιστική μέθοδος με τη βοήθεια της τιμής F, ο δεύτερος που είναι παρεμφερής λέγεται με τη βοήθεια της τιμής K.

### 1.3) Κοκκομετρική Σύνθεση (Ελληνικοί Κανονισμοί)

Δίνονται τρία αδρανή A,B,Γ με τα αντίστοιχα ποσοστά διόδου των. Να βρεθούν τα ποσοστά κατά τα οποία θα πρέπει να αναμιχτούν έτσι ώστε να προκύψει κατάλληλο Δ.

.d(mm)	0,2	1	3	7	15	30	
A	24	50	76	85	100	100	$\Sigma_A=435$
B	0	0	30	52	76	100	$\Sigma_B=258$
Γ	3	10	26	38	56	100	$\Sigma_\Gamma=233$

Κατά τα γνωστά., το A είναι (I,60,σχ) πλέον ψιλό, το B πλέον χονδρό το Γ ανήκει στην εξαιρετική και στην πλέον χονδρό περιοχή. Ας πάρουμε X% κβ από το A, Y% κβ από το B και Z% κβ από το Γ. Θα είναι  $X+Y+Z=100$  (1).

Βρίσκουμε τα αθροίσματα  $\Sigma_A=435$ ,  $\Sigma_B=258$ ,  $\Sigma_\Gamma=233$ . Θα υποθέσουμε ότι  $\Sigma_\Delta=\Sigma_E=318$  γνωστό από (I,60,σχ). Τότε  $(X/100)\Sigma_A+(Y/100)\Sigma_B+(Z/100)\Sigma_\Gamma=318 \Rightarrow$   
 $\Rightarrow 4,35X+2,58Y+2,33Z=318$  (2)

Προφανώς θέλουμε ακόμα μια σχέση μεταξύ των A ,B και Γ. Από το δοσμένο πίνακα μπορώ να διαλέξω οποιαδήποτε στήλη με ποσοστά διόδου. Θα πάρουμε τη στήλη 1 γιατί έχει ένα μηδενικό που βοηθάει στους υπολογισμούς.

$$A_i (X/100)+B_i(Y/100)+\Gamma_i(Z/100)=E_i \Rightarrow 24(X/100)+0(Y/100)+3(Z/100)=9 \Rightarrow$$

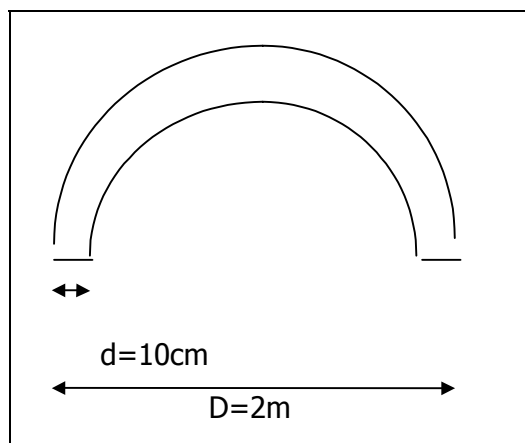
$$\Rightarrow 0,24X+0,03Z=9$$
 (3)

Οι σχέσεις (1),(2),(3) αποτελούν ένα γραμμικό σύστημα 3x3 το οποίο δίνει  $X=35,8\%$ ,  $Y=50,6\%$  και  $Z=13,6\%$ . Βρίσκω για έλεγχο τα ποσά διόδου του Δ.

.d (mm)	0,2	1	3	7	15	30	
A	8,6	17,9	27,2	30,4	35,8	35,8	
B	0	0	15,2	26,3	38,5	50,6	
Γ	0,4	1,4	3,5	5,2	7,6	13,6	
Δ	9	19,3	45,9	61,9	81,9	100	$\Sigma_\Delta=\Sigma_E$

Βλέπουμε ότι τα 1,2,5,6 σημεία βρίσκονται εντός της εξαιρετικής περιοχής τα δε 3 και 4 εντός της χρησιμοποιήσιμης. Άρα είναι κατάλληλο το Γ. Αν θέλαμε να είναι μόνο στην εξαιρετική θα έπρεπε να μειώσουμε το ποσοστό του λεπτόκοκκου του Α.

Εδώ είναι χρήσιμο να παρατηρήσουμε πως αν ένα ή παραπάνω εκ των X,Y,Z βγουν αρνητικά τότε θα πρέπει να πάρουμε άλλα ποσοστά διόδου οπότε θα αλλάξει η (3). Αν με όλους τους συνδυασμούς βγαίνουν αρνητικά αποτελέσματα τότε και μόνο τότε λέμε ότι είναι αδύνατο να πετύχουμε ανάμιξη τέτοια που να μας δίνει επιθυμητό Δ.



## 2.1) Σύνθεση Σκυροδέματος

Να γίνει σύνθεση δύσκαμπτου σκυροδέματος ονομαστικής αντοχής Bn450 για την κατασκευή κελύφους και να υπολογισθούν τα υλικά ανά τρέχον μέτρο. Στοιχεία κελύφους: διάμετρος 2m, πάχος 10cm (δίδεται σε πρόσοψη). Το τσιμέντο που δίδεται στο εργοτάξιο Z<sub>450</sub> έχει  $\rho_z=3,1 \text{ kg/dm}^3$  και μέση πυκνότητα αδρανών  $\rho_k=2,65 \text{ kg/dm}^3$ . Δίνεται επίσης το  $K_{humel}=4,85$ . Ο αέρας που υπάρχει μέσα μετά τη συμπύκνωση του νωπού σκυροδέματος - το πορώδες είναι  $L=1,5\%$  κό. Δίδεται τέλος ο παρακάτω πίνακας που αφορά τις αναλογίες ανάμιξης των τριών αδρανών και την υγρασία που εμπεριέχουν όπως αυτά προσδιορίστηκαν εργαστηριακά.

Αδρανές		Υγρασία	Αναλογία
I	0/2	7%	28%
II	2/8	4%	32%
III	8/32	2%	40%

Καταρχήν η αναλογία των αδρανών δίνεται άρα δε χρειάζεται κοκκομετρική σύνθεση. Η άσκηση λέει δύσκαμπτο σκυρόδεμα άρε από (I,83,πιν) έχουμε την κατηγορία συνεκτικότητάς του που είναι η  $K_I$ . Από (III,32,πιν1) έχω:

$$Bn450 \Rightarrow \beta_{ws} = 500 \Rightarrow \beta_{D28} \geq 550 \text{ kp / cm}^2$$

Αν τώρα πάμε στο (III,33,σχ4) για  $Z_{450}$  και  $\beta_{D28}=550$  θα πάρουμε  $w=0,45$ . Στη συνέχεια και αφού βρήκαμε το συντελεστή ύδατος - τσιμέντου πάμε να βρούμε την περιεκτικότητα σε ύδωρ  $W$ . Από (III,34,σχ5) έχω  $K_{humel}=4,85$  και παίρνω  $W=150$ . Πρέπει να σημειώσουμε ότι θα πάμε στο μέσον της ζώνης  $K_I$  καθότι έχουμε τη μέση τιμή εκεί. Είναι:

$$w=W/z \Rightarrow z=333,3 \text{ kg/m}^3$$

Αυτή είναι και η τρέχουσα απαίτηση σε τσιμέντο ανά κυβικό μέτρο. Τώρα κοιτάω αν ο αέρας είναι πάνω από 3% . Όμως  $L=1,5\%$  άρα άτοπο. Αν ήταν θα πήγαίνα στο (III,35) και θα εφαρμόζα τον τύπο του βιβλίου. Τώρα έχω:

$$K=\rho_k (1000-z/p_z - W -L) \text{ kg/m}^3$$

Προσοχή στις μονάδες. Όταν λέμε  $L=1,5\% \Rightarrow L=15 \text{ dm}^3/\text{m}^3$  beton και αυτό θα αντικαθιστούμε στον παραπάνω τύπο. Τα υπόλοιπα μένουν ως έχουν και αν δοθούν διαφορετικά πρέπει να μετατραπούν στις παραπάνω μονάδες.

$$K=2,65 *(1000 - 333,3/3,1 -150- 15) = 1927,8 \text{ kg/m}^3.$$

Αυτό το  $K$  που βρήκαμε δεν είναι τίποτα άλλο από το άθροισμα των ποσοτήτων με τις οποίες τα τρία (ή όσα είναι) αδρανή συμμετέχουν στο σκυρόδεμα. Θα βρούμε εν συνεχεία την ποσότητα καθενός από τα τρία αδρανή, και το ποσό της υγρασίας του.

	συμμετοχή	Ποσότητα	Υγρασία	Νερό	Βρεμένα
I	28%	539,8	7%	37,8	577,6
II	32%	616,9	4%	24,7	641,6
III	40%	771,1	2%	15,4	786,5

Η δεύτερη και τέταρτη στήλη δίδονται από τα δεδομένα του προβλήματος και η τρίτη ήδη αναφέρθηκε πως προκύπτει (πχ  $K \cdot 0,28 = 539,8$  για το Α). Πρέπει να τονίσουμε πως τα αδρανή όπως εμείς τα παραλαμβάνουμε έχουν κάποια υγρασία. Εξάλλου αυτό μας το λέει και το πρόβλημα. Η υγρασία σημαίνει πως περιέχουν κάποια μικρή αλλά όχι αμελητέα ποσότητα νερού. Επειδή εμείς τελικά ζητούμε κατά τη σύνθεση του σκυροδέματος την αναλογία τσιμέντου, αδρανών και νερού, πρέπει να την λάβουμε υπόψη μας αυτή την ποσότητα.

Έτσι αν το 7% του Α είναι υγρασία, η ποσότητα του νερού θα είναι  $539,8 \cdot 0,07 = 37,8$ . Ομοίως για τα άλλα και έτσι προκύπτει η πέμπτη στήλη. Εμείς όμως θέλουμε 539,8 kg καθαρού αδρανούς Α. Άρα για να τα αποκτήσουμε (προσεγγιστικά) θέλουμε να παραγγείλουμε τόσα συν το ποσό του νερού που περιέχουν δηλαδή  $539,8 + 37,8 = 577,6$  kg. Έτσι προκύπτει και η τελευταία στήλη. Αθροίζω πέμπτη και έκτη στήλη:

$$\text{Υγρασία} = 37,8 + 24,7 + 15,4 = 77,9 \text{ kg} = 78 \text{ kg}$$

$$\text{Αδρανή} = 577,6 + 641,6 + 786,5 = 2006 \text{ kg περίπου}$$

Τότε είναι σαφές ότι  $k=2006$ . Απομένει να βρω το νερό. Θέλαμε  $W=150$  kg νερού. Τα 78 kg όμως τα παίρνουμε μέσω των αδρανών. Άρα τελικά θέλουμε  $w=150-78=72$  kg νερού επιπλέον. Άρα η αναλογία είναι:

$$z:k:w = 333 : 2006 : 72 \text{ κβ}$$

ή

$$1:k/z:w/z = 1 : 2006/333 : 72/333 \text{ μβ}$$

Βρίσκω τον όγκο του κελύφους που έχει πλάτος 1m:

$$V = \frac{\pi R^2}{2} 1 - \frac{\pi (R-d)^2}{2} 1 = \pi \left( \frac{1}{2} - \frac{(1-0,1)^2}{2} \right) = 0,298 m^3$$

Με απλή μέθοδο των τριών βρίσκω τις ζητούμενες ποσότητες πχ για το τσιμέντο:

$$\begin{array}{l|l} \text{Στο } 1m^3 \text{ θέλω } 333 \text{ kg τσιμέντο} & ; = 333 \cdot 0,298 = 99,2 \text{ kg} \\ \text{Στα } 0,298m^3 & ; \end{array}$$

\* Προκύπτουν: 99,2kg τσιμέντο, 597,8kg αδρανών και 21,5kg νερού.

## 2.2) Σύθεση Σκυροδέματος

α) Για μια πλάκα διαστάσεως 6x10x0,15m από οπλισμένο μη υδατοπερατό σκυρόδεμα, χρησιμοποιείται πλαστικό σκυρόδεμα. Εργοταξιακό τσιμέντο  $Z_{350}$  με  $\rho_z = 2,8\text{kg/dm}^3$  και δυο είδη αδρανών με ποσά υγρασίας 1,5% και 1% αντίστοιχα. Η μέση πυκνότητα των αδρανών σε ξηρά κατάσταση ήταν  $\rho_k=2,5\text{kg/dm}^3$ . Δίδεται επίσης  $K_{humel}=4,4$  και η περιεκτικότητα του αέρα σε νωπό σκυρόδεμα 1% κό. Με βάση την κοκκομετρική ανάλυση, να χαρακτηρισθούν τα αδρανή I και II και να προσδιορισθεί η αναλογία ανάμιξης των, ώστε να προκύψει μείγμα εξαιρετικής περιοχής.

	0,2	1	3	7	15	30
I	18	60	74	86	98	100
II	3	9	15	28	50	100

Από (I,60,σ<sub>χ</sub>) το II είναι πλέον χονδρό (χονδρόκοκκο), το δε I πλέον ψιλό (ψιλόκοκκο). Έστω X% από το I και Y% από το II. Τότε  $X+Y=100$  (1). Βρίσκω κατά τα γνωστά (έχω ελληνικούς κανονισμούς) τα αθροίσματα των ποσοστών διόδων για τα I και II και είναι  $\Sigma_I=436$  και  $\Sigma_{II} = 205$  ενώ δίδεται (βρίσκεται εύκολα)  $\Sigma_E=318$  για την ιδανική καμπύλη. Είναι τώρα

$$\Sigma_I(X/100)+\Sigma_{II}(Y/100)=318 \Rightarrow 4,36X+2,05Y=318 \quad (2)$$

Οι (1) και (2) αποτελούν γραμμικό σύστημα 2x2 με εύκολη λύση που είναι  $X=48,92\%$  και  $Y=51,08\%$ . Βρίσκω τις συγκεντρώσεις των I και II στον παρακάτω πίνακα.

	0,2	1	3	7	15	30
I	8,8	29,4	36,2	42,1	47,9	48,9
II	1,5	4,6	7,7	14,3	25,5	51,1
Γ	10,3(x)	34(x)	43,9(x)	56,4	73,4	100
X=45% Γ	9,8(x)	32(x)	41,6	54,1	71,6	100

X=42% Γ	9,3(x)	30,4(x)	39,8	52,4	70,2	100
X=35% Γ	8,3	26,9(x)	35,7	48,3	66,8	100
X=29% Γ	7,4	23,8	32,1	44,8	63,9	100

Κατά τα γνωστά βρίσκουμε τα I και II και προσθέτοντας βγαίνει το Γ. Αν όμως ανατρέξουμε στο (I,60,σχ) θα δούμε ότι τα σημεία 1,2,3 βρίσκονται στη χρησιμοποιήσιμη περιοχή και όχι στην εξαιρετική όπως ζητείται. Πρέπει επομένως να μετατοπιστεί η καμπύλη Γ λίγο προς τα κάτω. Θα μειώσουμε επομένως τη συμμετοχή του ψιλόκοκκου (του I) και θα αυξήσουμε επομένως αυτή του II (του χονδρόκοκκου). Το πόσο θα μειωθεί η συγκέντρωση είναι κάτι το οποίο δεν το γνωρίζουμε. Επειδή όμως το πρόβλημα είναι το σημείο 1 από 10,3 να γίνει 9 ή λιγότερο αλλά περισσότερο από 1, το σημείο 2 από 34 να γίνει λιγότερο από 24 αλλά περισσότερο από 8 κοκ, θα ελέγξουμε αν πχ με X=30% και Y=70% ικανοποιείται αυτό. Αν όχι αλλάζουμε κατάλληλα τα X,Y, αν ναι, κοιτάμε αν ικανοποιούνται επίσης και τα υπόλοιπα σημεία.

Σημειώσαμε τις μεταβολές του Γ για X=45%, X=42% , X=35% και X=29% που είναι και το ζητούμενο (Y=71%). Με (x) στο πινακάκι σημειώνονται τα σημεία του Γ που είναι στη χρησιμοποιήσιμη περιοχή. Εδώ χρειάζεται προσοχή μήπως με τη μεταβολή των ποσοστών βγει κάποιο άλλο σημείο πχ το 4 ή το 5 από την εξαιρετική περιοχή, γιαυτό και δε μπορούμε να μειώνουμε όσο θα θέλαμε τις συγκεντρώσεις X και Y.

β) Να προσδιορισθεί η ονομαστική αντοχή του σκυροδέματος που αντιστοιχεί στην καλύτερη αντοχή σε θλίψη με τα δεδομένα του προβλήματος.

*Βοηθητικοί (εν γένει) πίνακες (I,87,πιν2), (III,32,πιν1,2), (I,83 πιν).*

Από (I,83,πιν) έχω  $K_{II}$  κατηγορία συνεκτικότητας σκυροδέματος καθόσον η εκφώνηση λέει "πλαστικό σκυρόδεμα". Επίσης αναφέρεται ότι το σκυρόδεμα είναι "μη υδατοπερατό" άρα από (III,43) πρέπει  $w \leq 0,60$  εφόσον η πλάκα έχει πάχος 15cm. Αλλά από (III,33,πιν4) έχω  $\beta_{D28} \geq 340$  και έτσι επιλέγω (III,32,πιν1) Bn350 (αντοχή σε θλίψη 450kp/cm<sup>2</sup>). Για Bn250 έχω  $w=0,65$  άτοπο τα δε Bn450, Bn550 δεν τέμνουν την καμπύλη.

γ) Να υπολογισθούν τα απαιτούμενα υλικά.

Bn350  $\Rightarrow \beta_{ws} = 400 \Rightarrow \beta_{D28} = 450$  και  $K_{II}$ . Άρα από (III,33,σχ4)  $\Rightarrow w=0,47$ .



$$K_{\text{humel}}=4,4 \Rightarrow (\text{III},34,\text{σχ}5) \Rightarrow W=175 \text{ επομένως } z=175/0,47=372$$

Σημειώνεται ότι τον τύπο  $z=W/w$  τον χρησιμοποιούμε επειδή  $L<3\%$  αν όμως είχαμε  $L>3\%$  θα πηγαίναμε (III,35) και θα εφαρμόζαμε τον τύπο  $z=(W+L)/w$  αντί αυτού.

$$K=\rho_k (1000-z/\rho_z - W - L) = 2,5(1000-372/2,8 - 175 - 10) = 1705 \text{ kg/m}^3 \text{ beton.}$$

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει όταν βλέπουμε  $L=1\%$  θα το αντικαθιστούμε με το 10, δηλαδή την τιμή του  $L$  πριν την αντικαταστήσουμε την πολλαπλασιάζουμε με το 10 ( $6\% \Rightarrow 60$ ) κοκ.

Απομένει η υγρασία που θα βρεθεί με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα. Στη δεύτερη στήλη αναγράφεται η συμμετοχή του καθενός αδρανούς και στην τρίτη η δοσμένη από τα δεδομένα υγρασία του κάθε αδρανούς. Έπειτα πολλαπλασιάζουμε δεύτερη και τρίτη στήλη οπότε προκύπτει η ποσότητα του νερού που αναγράφεται στην τέταρτη στήλη, και την οποία την προσθέτουμε στην δεύτερη για να βρούμε τελικά το βάρος των αδρανών που απαιτείται.

	Συμμετοχή	Υγρασία	Νερό	Βρεμένα
I	494,45	1,5%	7,42	501,9
II	1210,55	1%	12,11	1222,7

Προσθέτουμε το ποσό της υγρασίας που έχουμε για να το αφαιρέσουμε από το νερό που απαιτείται  $7,42 + 12,11 = 19,53$  και προσθέτουμε τα επιμέρους ποσά των αδρανών  $501,9 + 1222,7 = 1725$  (περίπου). Το νερό που θέλουμε είναι  $W$ -υγρασία =  $175 - 1953 = 155$ .

Άρα  $z:k:w = 372:1705:155$  ή  $1:1705/372: 155/372$  μβ.

Βρίσκουμε τον όγκο της πλάκας  $V=0,15 * 10 * 6 = 9\text{m}^3$  και άρα θέλουμε:

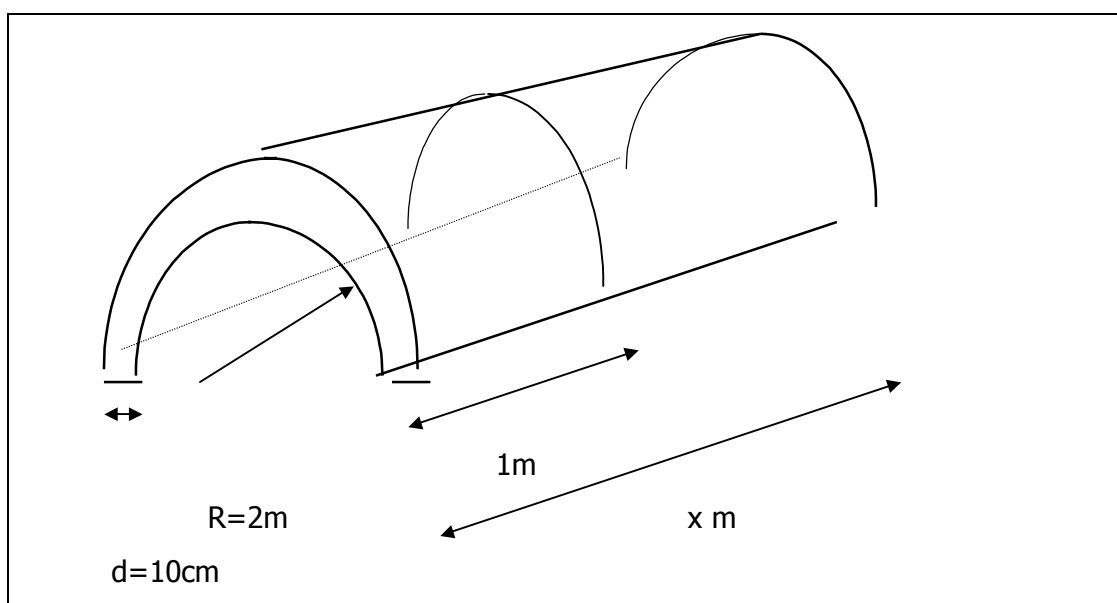
- I. 3348kg τσιμέντο
- II. 15525 kg αδρανών
- III. 1395 kg νερού.

δ) Ποιό θα ήταν το ποιοτικό και ποσοτικό αποτέλεσμα αν λόγω αμέλειας δεν είχε ληφθεί υπόψη η επιφανειακή υγρασία των αδρανών;

Θα συμμετείχαν προφανώς λιγότερα αδρανή και περισσότερο νερό ενώ στη συμμετοχή του τσιμέντου δε θα είχαμε καμιά μεταβολή. Το γεγονός αυτό θα επηρέαζε τις ιδιότητες του παραγόμενου σκυροδέματος πχ θα άλλαζε η φαινόμενη πυκνότητά του.

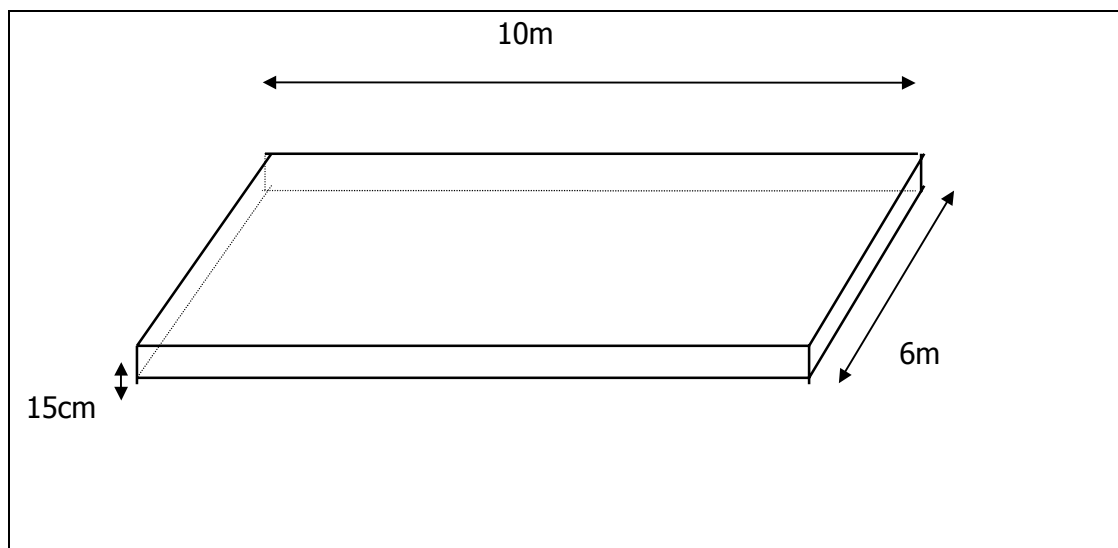
ε) Πόσο θα ήταν δυνατό να βελτιωθεί η ποιότητα του αρχικά κατασκευασθέντος σκυροδέματος από την άποψη της αντοχής, χωρίς να μεταβληθεί η κατηγορία του νωπού σκυροδέματος, αν το τσιμέντο και τα αδρανή παραμείνουν σταθερά ποιοτικά και ποσοτικά ;

Γνωρίζουμε ότι  $z=W/w=372$  όπου  $167 \leq W \leq 182$  περίπου. Για  $W=167$  παίρνουμε  $w=0,45$  που όμως δίνει  $B_{D28}=460 \text{ kp/cm}^2$ . Δηλαδή μπορούμε να ελαττώσουμε το συντελεστή ύδατος - τσιμέντου  $w$  στο διάγραμμα  $B_{D28}-w$  (I,92,σχ1) προσέχοντας όμως στο (I,92,σχ2) διάγραμμα Khumel -  $W$  στο οποίο μπορούμε να κινηθούμε ελεύθερα στο διάστημα της



κατηγορίας να μην ανατρέψουμε τη σχέση  $z=W/w=372$ .

(άσκησης 2.1 - το κέλυφος)



(άσκησης 2.2 - η πλάκα)

### 2.3) Σύνθεση Σκυροδέματος

Η κατασκευή οριζόντιας πλάκας επικαλύψεως από οπλισμένο σκυρόδεμα διαστάσεων  $6 \times 10 \times 0,15\text{m}$ , απαιτεί τη χρησιμοποίηση πλαστικού σκυροδέματος Bn350. Για την παρασκευή του σκυροδέματος αυτού χρησιμοποιήθηκαν τα κάτωθι: τσιμέντο κατηγορίας  $Z_{450}$  και πυκνότητας  $\rho_z = 3 \text{ kg/dm}^3$ . Δυο είδη αδρανών με αντίστοιχα ποσά επιφανειακής υγρασίας 2 και 1%. Η κοκκομετρική ανάλυση των αδρανών σε ξηρά κατάσταση έδωσε τα εξής αποτελέσματα (οπές κοσκίνων σε mm):

	<b>0,2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>30</b>
<b>I</b>	18	60	74	86	98	100
<b>II</b>	6	8	12	30	60	100

Η μέση πυκνότητα των αδρανών σε ξηρά κατάσταση μετά τη σύνθεσή τους ήταν  $\rho_k = 2,60 \text{ kg/dm}^3$ , ενώ η τιμή του K κατά Humel ήταν 4,60. Η περιεκτικότητα σε αέρα του νωπού σκυροδέματος είναι 1,1% κό. Ζητούνται:

α) Να υπολογισθούν τα απαιτούμενα υλικά για την κατασκευή της πλάκας επικαλύψεως.

β) Ποιο θα ήταν το ποιοτικό και ποσοτικό αποτέλεσμα επί του σκυροδέματος, αν λόγω αμέλειας, δεν είχε ληφθεί υπόψη η επιφανειακή υγρασία των αδρανών;

γ) Αν θελήσουμε να διπλασιάσουμε το μέτρο ασφάλειας του σκυροδέματος, ποιά παράμετρο προτείνετε να μεταβάλλουμε και σε τι ποσοστό;

δ) Πόσο θα ήταν δυνατό να βελτιωθεί η ποιότητα του αρχικά παρασκευασθέντος σκυροδέματος, από την άποψη της αντοχής, χωρίς να μεταβληθεί η κατηγορία του νωπού σκυροδέματος, αν το τσιμέντο και τα αδρανή παραμείνουν σταθερά ποιοτικά και ποσοτικά;

α) Θα πρέπει να εκτελέσουμε κοκκομετρική σύνθεση με προφανώς ελληνικούς κανονισμούς. Είναι σαφές από το διάγραμμα (I,60,σχ) ότι το I είναι πλέον ψιλό (λεπτόκοκκο) το δε II πλέον χονδρό (χονδρόκοκκο). Έστω παίρνουμε X% από το I και Y% από το II. Τότε θα είναι  $X+Y=100$  (1). Αναζητούμε τη δεύτερη εξίσωση.

	<b>0,2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	
<b>I</b>	18	60	74	86	98	100	<b>Σ<sub>I</sub>=43</b> <b>6</b>
<b>II</b>	6	8	12	30	60	100	<b>Σ<sub>II</sub>=21</b> <b>6</b>
<b>Πρ</b>	9	24	43	60	82	100	<b>Σ<sub>E</sub>=31</b> <b>8</b>

Έχω προφανώς  $(X/100) \Sigma_I + (Y/100) \Sigma_{II} = \Sigma_E \Rightarrow 4,36X + 2,16Y = 318$  (2) οπότε οι (1) και (2) αποτελούν γραμμικό σύστημα 2x2 το οποίο και θα λύσουμε:

$4,36(100-Y) + 2,16Y = 318 \Rightarrow 436 - 4,36Y + 2,16Y = 318 \Rightarrow 2,2Y = 118 \Rightarrow Y = 53,6\%$   
επομένως  $X = 46,4\%$ . Φτιάχνω τον παρακάτω πίνακα. Με (x) σημειώνω τα σημεία της καμπύλης Γ τα οποία είναι στη χρησιμοποιήσιμη περιοχή και όχι στην εξαιρετική.

Επειδή όμως το πρόβλημα δεν κάνει λόγο (ούτε και συντρέχει κάποιος άλλος) για την κοκκομετρική καμπύλη, μπορούμε κάλλιστα να δεχτούμε ότι αυτή μπορεί να βρίσκεται τόσο εντός της εξαιρετικής, όσο και εντός της χρησιμοποιήσιμης περιοχής.

	<b>0,2</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>30</b>
<b>I</b>	8,4	27,8	34,3	39,9	45,5	46,4
<b>II</b>	3,2	4,3	6,4	16,1	32,2	53,6
<b>Γ</b>	11,6 (x)	32,1 (x)	40,7	56,0	77,7	100

Θεωρώντας ότι η αναλογία I και II μας καλύπτει, πάμε στο (III,32,πιν1) όπου βλέπουμε ότι  $B_{h350} \Rightarrow B_{ws} = 500 \text{ kr/cm}^2 \Rightarrow \beta_{D28} \geq 450 \text{ kr/cm}^2$ . Άρα κοιτάμε στο (III,33,σχ4) για να βρούμε το συντελεστή ύδατος - τσιμέντου. Ξέρουμε ότι έχουμε το  $Z_{450}$  τσιμέντο και άρα ενδιαφερόμαστε για την καμπύλη  $Z_{450}$  του σχήματος. Εκλαμβάνουμε  $w=0,57$  περίπου.

Γνωρίζουμε ακόμα ότι  $K_{humel}=4,60$ . Η εκφώνηση (τίποτα δεν είναι τυχαίο) λέει για πλαστικό σκυρόδεμα, οπότε εμείς από (I,83,πιν) συμπεραίνουμε ότι πρόκειται για  $K_{II}$  κατηγορία συνεκτικότητας. Τότε από (III,34,σχ5) παίρνουμε  $W= 170$  περίπου, πηγαίνοντας στο μέσο της λωρίδας  $K_2$  αφού πρόκειται για ζώνη.

Κοιτάζουμε την περιεκτικότητα σε αέρα. Αν ήταν  $L>3\%$  θα επηρέαζε την ποσότητα σε τσιμέντο. (Τύπος (III,35) πάνω - πάνω  $w=(W+L)/z$ ) Επειδή όμως  $L=1,1\%$  μόνο, θα είναι  $z=W/w$  και άρα  $z=298$ .

Τέλος για τα αδρανή έχουμε:

$$K = \rho_k(1000 - z/\rho_z - W - L) = 2,60(1000 - 298/3 - 170 - 11) = 1871 \text{ kg/m}^3 \text{ beton.}$$

Απομένει η υγρασία που θα βρεθεί με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα.

	<b>Συμμετοχή</b>	<b>Υγρασία</b>	<b>Νερό</b>	<b>Βρεμένα</b>
<b>I</b>	868,1	2%	17,4	885,5
<b>II</b>	1002,9	1%	10	1012,9

Συνολικά θα θέλω  $k=885,5 + 1012,9 = 1898 \text{ kg /m}^3 \text{ beton αδρανή}$ . Για το νερό έχω  $w=170-10-17,4 = 143 \text{ kg/m}^3 \text{ beton}$ .

Άρα  $z:k:w = 298:1898:143$ . Για να βρω πόσο τσιμέντο, αδρανή και νερό θέλω για τη συγκεκριμένη κατασκευή, είναι απαραίτητο να βρω τον όγκο της.

$$V = 6 \cdot 10 \cdot 0,15 = 9 \text{m}^3 \text{ και άρα θα θέλω:}$$

- (i) 2682 kg τσιμέντο
- (ii) 17082 kg αδρανών
- (iii) 1287 kg νερού

β) Θα συμμετείχαν προφανώς λιγότερα αδρανή και περισσότερο νερό, το δε τσιμέντο θα έμενε αμετάβλητο. Το γεγονός αυτό θα επηρέαζε τις ιδιότητες του παραγόμενου σκυροδέματος πχ θα άλλαζαν η φαινόμενη πυκνότητά του και οι μηχανικές του αντοχές.

γ) Το μέτρο ασφαλείας αναφέρεται στον (III,32,πιν1) και φαίνεται καθαρά ότι για το Bn350 είναι  $\geq 50 \text{kp/cm}^2$ . Εμείς τώρα θέλουμε να το διπλασιάσουμε, δηλαδή να το κάνουμε  $100 \text{kp/cm}^2$  τουλάχιστον. Με άλλα λόγια επιθυμούμε  $\beta_{D28} \geq 500$  και όχι 450 όπως πριν. Αυτό γίνεται αν στο (III,33,σχ4) βάλουμε για  $Z_{450} w = 0,52$  περίπου. Αλλά πρέπει να το ελέγξουμε μήπως χαλάει την αναλογία  $z:k:w$  πριν το αποδεχτούμε.

Για τον έλεγχο πάμε στο (III,34,σχ5) και κοιτάμε για  $W = 0,52 \cdot 298 = 155$  και  $K_{\text{humel}} = 4,60$  αν πέφτουμε μέσα στο  $K_{\text{II}}$ . Αυτό δεν συμβαίνει. Άρα πρέπει να αλλάξουμε και το  $W$  που για να αλλάξει πρέπει να αλλάξει και η περιεκτικότητα σε τσιμέντο ή βέβαια να βάλουμε τόσο πολύ αέρα  $L$  μέσα στο σκυρόδεμα ώστε  $L > 3\%$  και να επηρεάζει τους υπολογισμούς κάτι που πρέπει για άλλους λόγους να αποφύγουμε.

Πάντως για να διπλασιάσουμε το μέτρο ασφαλείας του σκυροδέματος πρέπει να μειώσουμε το συντελεστή ύδατος - τσιμέντου κατά  $(0,57 - 0,52) / 0,57 = 9\%$  περίπου.

δ) Η απάντηση έγκειται στο σχήμα (III,34,σχ5) γιατί σ'αυτό όπως έχουμε ήδη πει, το  $W$  για σταθερό  $K_{\text{humel}}$  μπορεί να παίρνει τιμές σ'ένα μικρό διάστημα καθόσον έχουμε ζώνη. Εμείς βέβαια αναφερθήκαμε στη μέση της ζώνης, τούτο όμως δε σημαίνει ότι δε μπορούμε να έχουμε διακυμάνσεις εντός αυτής.

Πράγματι  $165 \leq W \leq 178$  περίπου. Για  $W=165$  παίρνουμε  $w=165/298 = 0,55$  που όμως αν το βάλουμε στο (III,33,σχ4) παίρνουμε  $\beta_{D28} = 465 \text{ kp/cm}^3$ . Η μόνη προσοχή είναι να μην ανατραπεί ο λόγος  $W/w$  που μας δίνει την περιεκτικότητα σε τσιμέντο  $z$ .

## 2.4) Σύνθεση Σκυροδέματος

Η προδιαγραφή κατασκευής στοιχείου επικαλύψεως πάχους 15cm από οπλισμένο σκυρόδεμα, απαιτεί σκυρόδεμα Bn350. Για την κατασκευή του έργου προσεκομίσθησαν στο εργοτάξιο τσιμέντο  $Z_{350}$ , πυκνότητας  $\rho_z = 3,1 \text{ kg/dm}^3$  και τρία είδη αδρανών I,II και III με τις παρακάτω αναλογίες και ποσοστά επιφανειακής υγρασίας.

<b>Αδρανές</b>	<b>Διαβάθμιση Κόκκων (mm)</b>	<b>Ποσοστό αναμίξεως (κβ)</b>	<b>Ποσοστό επιφα- νειακής Υγρασίας</b>
<b>I</b>	0/2	24%	2,5%
<b>II</b>	2/8	33%	1,5%
<b>III</b>	8/32	43%	1%

Το μείγμα των αδρανών για τις παραπάνω αναλογίες παρέχει κοκκομετρική καμπύλη μέσα στην εξαιρετική περιοχή. Οι εργοταξιακές συνθήκες επιβάλλουν τη χρησιμοποίηση πλαστικού σκυροδέματος περιεκτικότητας σε αέρα  $L=1,5\%$  κό. Η μέση πυκνότητα των αδρανών σε ξηρά κατάσταση βρέθηκε ίση με  $\rho_k = 2,70 \text{ kg / dm}^3$ . Η τιμή του  $K$  κατά Humel των αδρανών είναι  $K=4,85$ . Ζητείται να υπολογισθούν τα απαιτούμενα υλικά για την κατασκευή ενός κυβικού μέτρου σκυροδέματος.

Το πρόβλημα κάνει λόγο για πλαστικό οπλισμένο σκυρόδεμα. Άρα από (I,83,πιν) βρίσκουμε ότι πρόκειται για σκυρόδεμα συνεκτικότητας  $K_{II}$ . Επίσης έχουμε Bn350 που σημαίνει ότι έχει  $\beta_{ws} = 400 \text{ kp/cm}^2 \Rightarrow \beta_{D28} \geq 450 \text{ kp/cm}^2$ . Αυτά όλα τα βρήκαμε στο (III,32,πιν1).

Γνωρίζοντας το  $\beta_{D28}$  καθώς και το εργοταξιακό τσιμέντο ( $Z_{350}$ ) πάμε στο (III,33,σχ4) και παίρνουμε το συντελεστή ύδατος - τσιμέντου  $w=0,47$  περίπου. Επίσης, γνωρίζοντας το Khumel και την κατηγορία συνεκτικότητας του σκυροδέματος μπορούμε να βρούμε την απαίτηση σε νερό (χωρίς να λάβουμε ακόμα υπόψη μας την επιφανειακή υγρασία των αδρανών)  $W$  από το (III,34,σχ5). Πράγματι είναι  $W=165$  περίπου, πηγαίνοντας στο μέσον της λωρίδας  $K_2$  καθώς και έχουμε ζώνη.

Η απαίτηση ανά κυβικό μέτρο beton σε τσιμέντο θα δίνεται από τον τύπο  $z=W/w$  (III,34) καθώς και  $L=1,6\% < 3\%$  βλέπε (III,35). Άρα θα έχουμε  $z=165/0,47 \Rightarrow z=351 \text{ kg/m}^3$ .

Για την εύρεση της περιεκτικότητας σε αδρανή εφαρμόζουμε τον τύπο που δίνει το  $K$  (III,35), γνωρίζοντας πως όπου  $L$  θα βάλουμε  $1,6 * 10 = 16$ . (Πάντα το πολλαπλασιάζουμε με το 10 πριν το αντικαταστήσουμε, τα υπόλοιπα δε νοούμερα ως έχουν).

$$K=2,70*(1000-351/3,1 - 165 - 16) = 1906 \text{ kg /m}^3 \text{ beton.}$$

Θα βρούμε στη συνέχεια την πραγματική απαίτηση σε αδρανή, αφαιρώντας την επιφανειακή υγρασία. Ύστερα, και γνωρίζοντας την επιφανειακή υγρασία, την αφαιρούμε από την απαίτηση σε νερό, για να βρούμε επίσης την πραγματική απαίτηση σε νερό. Όλα αυτά θα γίνουν με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα.

Αδρανές	Κόκκοι	Ποσοστό	Συμμετοχή	Υγρασία	Νερό	Βρεμένα
I	0/2	24%	457,4	2,5%	11,4	468,8
II	2/8	33%	629,0	1,5%	9,4	638,4
III	8/32	43%	819,6	1%	8,2	827,8

Θα χρειαστούμε δηλαδή 1935 kg αδρανών βρεγμένων. Τότε θα έχουμε 29 kg νερού ως επιφανειακή υγρασία.

Παρατήρηση 1η : Η στήλη "διαβάθμιση κόκκων" που μας δίνεται με τα δεδομένα της άσκησης, στην προκειμένη περίπτωση δε χρησιμεύει. Είναι όμως χρήσιμη στο να δούμε ποιό από τα αδρανή είναι λεπτόκοκκο και ποιό χονδρόκοκκο. Για παράδειγμα όταν λέμε 8/32 εννοούμε ότι όλοι οι κόκκοι του αδρανούς III περνούν από κόσκινο με οπές διαμέτρου 32mm και όλοι δεν περνούν από κόσκινο με οπές διαμέτρου 8mm. Άρα είναι εν γένει χονδρόκοκκο.



Παρατήρηση 2η : Είναι πολύ σημαντικό να βρούμε το ολικό ποσό της υγρασίας και να το αφαιρέσουμε από την απαίτηση σε νερό  $W$ , γιατί διαφορετικά θα έχουμε τις συνέπειες που είδαμε κατά τις προηγούμενες ασκήσεις. Ωστόσο, τα βρεμένα αδρανή περιέχουν κατά τι περισσότερη υγρασία από αυτή που βρίσκουμε, που όμως είναι τόσο μικρή που θεωρείται αμελητέα.

Η απαίτηση λοιπόν σε νερό θα είναι  $W=165-29=136 \text{ kg/m}^3$ . Μπορούμε τέλος να γράψουμε την αναλογία ανάμιξης  $z:k:w$

$$z:k:w = 351 : 1935 : 136 \text{ κβ}$$

ή

$$1:k/z:w/z = 1 : 1935/351 : 136 \text{ μβ}$$

Επειδή δε, όλες οι απαιτήσεις αυτές είναι ανά  $\text{m}^3$  beton, το πρόβλημα έχει ήδη λυθεί. Δηλαδή για την κατασκευή  $1\text{m}^3$  beton θα χρειαστούμε  $351 \text{ kg}$  τσιμέντο,  $1935\text{kg}$  αδρανών και  $136\text{kg}$  νερού.

Παρατήρηση 3η: Η μέθοδος αυτή, δηλαδή να βρίσκουμε τις απαιτήσεις σε υλικά μιας κατασκευής ανά  $\text{m}^2$  ή  $\text{m}^3$  (ανά τετραγωνικό ή κυβικό μέτρο ανάλογα με την κατασκευή) λέγεται προσδιορισμό των απαιτούμενων υλικών ανά τρέχον μέτρο της κατασκευής.

## 2.5) Σύνθεση Σκυροδέματος

Θέλουμε να συνθέσουμε σκυρόδεμα πλαστικό, κατηγορίας Bn350. Για το λόγο αυτό διατίθενται εργοταξιακό τσιμέντο  $Z_{350}$  φαινόμενης πυκνότητας  $\rho_z = 3,1 \text{ kg/dm}^3$ . Διατίθενται επίσης τρία είδη αδρανών, τα οποία όταν αναμιγνύονται με τις παρακάτω αναλογίες, δίνουν κοκκομετρική γραμμή, η οποία βρίσκεται εντός της "εξαιρετικής περιοχής".

<b>Αδρανές</b>	<b>Διαβάθμιση Κόκκων</b>	<b>Ποσοστό</b>	<b>Υγρασία</b>
<b>I</b>	0/2	28%	7%
<b>II</b>	2/8	32%	4%
<b>III</b>	8/32	40%	2%

Από την κοκκομετρική ανάλυση κάθε ενός από τα παραπάνω αδρανή και από τη σύνθεσή τους με τις παραπάνω αναλογίες, υπολογίστηκαν τα εξής στοιχεία:  $K_{humel}=4,85$  και φαινόμενη πυκνότητα μείγματος  $\rho_k= 2,65 \text{ kg/dm}^3$ . Τέλος είναι γνωστό και το ποσοστό της επιφανειακής υγρασίας καθενός από τα τρία αδρανή και δίδεται στον παρακάτω πίνακα, καθώς και η περιεκτικότητα σε αέρα μετά τη συμπύκνωση του σκυροδέματος 1,5% κό. Ζητείται να βρεθούν τα υλικά που απαιτούνται για την παραπάνω κατασκευή ανά τρέχον κυβικό μέτρο.

Καταρχήν θα βρούμε το συντελεστή ύδατος - τσιμέντου. Έχουμε από (III,33,σχ4)  $Z_{350}$  για το τσιμέντο και  $B_{h350} \Rightarrow \beta_{ws}= 400\text{kp/cm}^3 \Rightarrow \beta_{D28} \geq 450\text{kp/cm}^2$  για τη μέση αντοχή σε θλίψη οπότε  $w=0,47$ .

Υπενθυμίζεται ότι ο πίνακας που συνδέει τη μέση αντοχή σε θλίψη του τσιμέντου με τον τύπο του είναι ο (III,32,πιν1). Επίσης πολύ χρήσιμος και απαραίτητος είναι ο πίνακας (I,83,πιν) από όπου βλέπουμε ότι το πλαστικό σκυρόδεμα ανήκει στην κατηγορία συνεκτικότητας  $K_{II}$ . Επίσης  $K_{humel}=4,85$  και πηγαίνοντας στη μέση της ζώνης  $K_{II}$  στο (III,34,σχ5) παίρνουμε  $W=167 \text{ kg/m}^3$  περίπου.

Επειδή η περιεκτικότητα σε αέρα είναι  $L=1,5\% < 3\%$ , τότε η απαίτηση (τελική) σε τσιμέντο θα είναι  $z=W/w \Rightarrow z=167/0,47 \Rightarrow z=355 \text{ kg/m}^3$ .

Για τα αδρανή έχουμε (δεν ξεχνάμε ότι σε όγκο  $1000\text{dm}^3$  συμπυκνωμένου σκυροδέματος θα περιέχονται  $1,5*10=15 \text{ dm}^3$  αέρα)

$$K=2,65*(1000-355/3,1 - 167 - 15) \Rightarrow K=1864 \text{ kg/m}^3 \text{ beton.}$$

Κατά τα γνωστά σχηματίζουμε τον παρακάτω πίνακα για να βρούμε πόση είναι η απαίτηση σε βρεμένα αδρανή και νερό καθόσον τα αδρανή που προμηθευόμαστε έχουν ήση νερό μέσα τους ως επιφανειακή υγρασία.

<b>Αδρανή</b>	<b>Ποσοστό</b>	<b>Συμμετοχή</b>	<b>Υγρασία</b>	<b>Νερό</b>	<b>Βρεμένα</b>
<b>I</b>	28%	521,9	7%	36,5	558,4
<b>II</b>	32%	596,5	4%	23,9	620,4
<b>III</b>	40%	745,6	2%	14,9	760,5

Το συνολικό λοιπόν ποσό υγρασίας που υπάρχει είναι 75,3kg και θα αφαιρεθεί από την αρχική εκτίμησή μας για απαίτηση σε ύδωρ. Πράγματι τώρα πλέον μπορούμε να ισχυριστούμε με ασφάλεια ότι η απαίτηση σε νερό θα είναι  $167-75,3 = 92 \text{ kg/m}^3 \text{ beton}$ .

Όσον αφορά την απαίτηση σε (βρεμένα) αδρανή αυτή θα είναι ίση με το άθροισμα της πέμπτης στήλης του παραπάνω πίνακα δηλαδή ίση με  $1939 \text{ kg/m}^3 \text{ beton}$ ., άρα μπορούμε να δώσουμε την αναλογία z:k:w.

$$z:k:w = 355 : 1939 : 92 \text{ κβ}$$

ή

$$1:k/z:w/z = 1 : 1939/355 : 92/355 \text{ μβ.}$$

Παρατήρηση 1η: Η συντομογραφία κβ στην αναλογία z:k:w σημαίνει κατά βάρος αναλογία, η δε συντομογραφία μβ δίπλα στην αναλογία z:k:w σημαίνει μέρη βάρους.

Παρατήρηση 2η: Πολύ χρήσιμες παρατηρήσεις που αφορούν ορισμένες βασικές κατηγορίες τσιμέντου, δίδονται στα (III,43) & (III,44) παράγραφος 7. Συγκεκριμένα όταν έχουμε:

- Σκυρόδεμα Μη Υδατοπερατό: Ο συντελεστής ύδατος - τσιμέντου δε θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0,60 για δομικά στοιχεία πάχους 10 έως 40cm για δε μεγαλύτερα την τιμή 0,70. Μετά από τα διαγράμματα μπορούμε να βρούμε την κατηγορία του από πλευράς αντοχών. (III,33,σχ4) & (III,34,σχ5).
- Σκυρόδεμα αυξημένης αντοχής έναντι παγετού: ισχύει και εδώ η παρατήρηση που έγινε για σκυρόδεμα μη υδατοπερατό.
- Σκυρόδεμα αυξημένης αντοχής έναντι χημικών επιδράσεων: καταρχήν είναι αδιαπέρατο από το νερό και ύστερα ο συντελεστής w ύδατος - τσιμέντου δε θα πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 0,60 και για ισχυρές επιδράσεις την τιμή 0,50.
- Σκυρόδεμα αυξημένης αντοχής έναντι ισχυρών μηχανικών καταπονήσεων: στην περίπτωση που το πρόβλημα πει ότι θέλουμε σκυρόδεμα με κάποιες αυξημένες αντοχές (είτε θλίψη, είτε τριβή, κλπ) θα πρέπει να έχουμε σκυρόδεμα συνεκτικότητας  $K_t$  (δύσκαμπτο) και όχι πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε τσιμέντο.

- Σκυρόδεμα υπό το ύδωρ: Ο συντελεστής ύδατος - τσιμέντου θα πρέπει να είναι μικρότερος από την τιμή 0,60.

Παρατήρηση 3η: Αν το πρόβλημα μας δίνει το μέτρο συμπυκνώσεως του σκυροδέματος και το Khumel ανατρέχουμε στον πίνακα (III,34,πιν6) για την εύρεση της απαίτησης σε νερό W.

Παρατήρηση 4η: Αν το πρόβλημα αναφέρει για άοπλο ή οπλισμένο σκυρόδεμα και μας λείπει κάποιο στοιχείο για την εύρεση της κατηγορίας του τσιμέντου (προϋποθέτουμε ότι μας τη ζητάει) τότε μπορούμε για το επιπρόσθετο αυτό στοιχείο να ανατρέξουμε στον πίνακα (III,32,πιν2) που θα μας βοηθήσει στο να βρούμε την κατηγορία BnXXX.

### 3.1) Ηχομόνωση (εκ του βαδίσματος)

Να προσδιορισθεί το μέτρο προστασίας του ήχου εκ του βαδίσματος αν κατά τον ηχομονωτικό έλεγχο πατώματος και κατά την ανάλυση σε οκτάβες προέκυψαν για τη στάθμη του ήχου  $L_{T1}$  και για τη μείωση της στάθμης του ήχου του χώρου  $\Delta L_3$  λόγω ηχοαπορρόφησης τα παρακάτω:

f(Hz)	100	200	400	800	1600	3200
$L_{T1}$ (dB)	70	72	75	76	77	74
$\Delta L_3$ (dB)	1	0,5	1	1	0,5	1

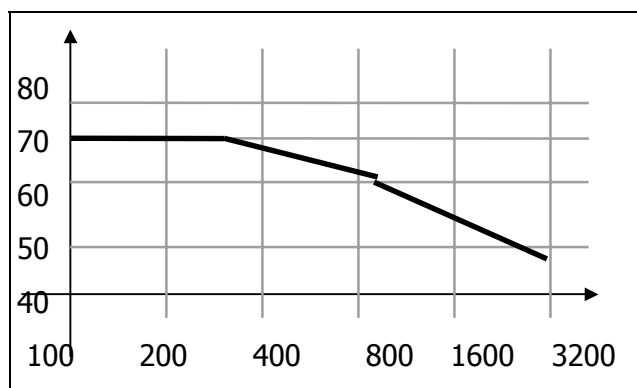
Παρατήρηση 1η: Στο θέμα αυτό το  $\Delta L_3$  δίδεται. Αν δε δινόταν, τότε το πρόβλημα θα έδινε απαραίτητα τον όγκο του δωματίου V, το χρόνο αντήχησης  $T_R$  σε όλες τις δοσμένες συχνότητες οπότε θα υπολογίζαμε το  $\Delta L_3$  ως εξής:

$$\Delta L_3 = 10 \log \frac{A}{A_0}, \quad \text{οπου } A_0 = 10, \quad A = \frac{0,165V}{T_R}$$

Παρατήρηση 2η: Εδώ μας δίδονται τα δεδομένα σε 6 συχνότητες (οκτάβες) . Θα μπορούσαν να μας είχαν δοθεί σε 16. Άλλη περίπτωση δεν εξετάζεται.

Βρίσκω το  $L_n = L_{T1} + \Delta L_3$  για κάθε μια από τις δοσμένες συχνότητες. Τις τιμές του  $L_n$  που βρήκα τις βάζω πάνω στην πρότυπη καμπύλη (II,191,σχ10) και εκτελώ την παρακάτω διαδικασία (βλέπε σχήμα). Μετατοπίζω (αν χρειάζεται) κατά τον άξονα των τεταγμένων (του  $\gamma$ ) την πρότυπη καμπύλη έως ότου **η μέση υπέρβαση της καμπύλης που προέκυψε από μετρήσεις ως προς την πρότυπη καμπύλη**, να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη, όχι όμως μεγαλύτερη από 2,0dB. Η μετατόπιση αυτή μετρούμενη αρνητική προς τα άνω, θετική προς τα κάτω μας δίνει το μέτρο προστασίας του ήχου εκ του βαδίσματος TSM και αν αυτό είναι μεγαλύτερο από +2dB τότε το πάτωμα είναι ικανοποιητικό από ηχομονωτικής άποψης , αν όχι θέλει βελτίωση.

Προφανώς η πρότυπη καμπύλη έχει αρχικά υπέρβαση 10,8. Το πινακάκι μας δείχνει διεξοδικά για μοναδιαία μετατόπιση της ιδανικής τη μέση υπέρβαση και πώς αυτή μεταβάλλεται. Η τελική μετατόπιση που δίνει υπέρβαση όσο το δυνατόν μεγαλύτερη της πρότυπης ως προς την καμπύλη που πάρθηκε από μετρήσεις  $L_n$ , όχι όμως μεγαλύτερη από +2,0dB , είναι το ζητούμενο μέτρο της προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος TSM που αναζητούμε προκειμένου να αποφανθούμε αν το πάτωμα είναι κατάλληλο από ηχομονωτικής άποψης.



<b>f(Hz)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>800</b>	<b>1600</b>	<b>3200</b>	<b>Υπέρβαση</b>
Πρότυπη	70	70	69	66	59	50	
Ln	71	72,5	76	77	77,5	75	10,8
TSM=-5	75	75	74	71	64	55	6,9
TSM=-10	80	80	79	76	69	60	4,1
TSM=-12	82	82	81	78	71	62	3,3
TSM=-13	83	83	82	79	72	63	2,9
TSM=-14	84	84	83	80	73	64	2,6
TSM=-15	85	85	84	81	74	65	2,3
TSM=-16	86	86	85	82	75	66	1,9

Βλέπουμε ότι  $TSM=-16 < +2$  άρα καταρχήν το πάτωμα είναι ακατάλληλο από ηχομονωτικής άποψης.

Για να γίνει περισσότερο κατανοητή η διαδικασία της μέσης υπέρβασης που ως όρος είναι μάλλον παραπλανητικός θα δώσουμε το παράδειγμα για μετατόπιση  $TSM=-12$ . Καταρχήν και σύμφωνα με την παρατήρηση 2, ο παρονομαστής θα είναι 6 ή 16 ανάλογα με το πλήθος των συχνοτήτων που έχουμε. Δηλαδή αν σε δυο συχνότητες η πρότυπη καμπύλη υπερβαίνει την καμπύλη των μετρήσεων, εμείς θα διαιρούμε την υπέρβαση δια του 6 ή του 16 και όχι δια του 2 όπως θα ήταν λογικό ακούγοντας τον όρο "μέση".

Ας υποθέσουμε ότι μετατοπίζεται η πρότυπη καμπύλη κατά 12 μονάδες προς τα άνω. Η σειρά 2 του πίνακα μας δίνει τις αρχικές τιμές της πρότυπης καμπύλης, τις οποίες έχουμε πάρει από το (II,191,σχ10). Η πρώτη μας δουλειά είναι να βρούμε τις νέες τιμές. Πχ στη συχνότητα των 400Hz από 69 θα πάει  $69+12=81$ .

Αφού ολοκληρώσουμε για όλες τις συχνότητες, κοιτάμε σε ποιές η καμπύλη που πήραμε με τις μετρήσεις έχει μεγαλύτερη τιμή από την πρότυπη. Εδώ στα 1600Hz και στα 3200Hz έχουμε υπέρβαση. Προσθέτουμε τις διαφορές :  $(77,5-71)+(75-62)=6,5+13=19,5$  και ότι βρούμε το διαιρούμε με το 6 ή το 16 (εδώ με το 6) οπότε παίρνουμε 3,3 (περίπου) που είναι και η μέση υπέρβαση. Αν μπορεί να μειωθεί και άλλο ( $TSM=-13,14,\dots$ ) συνεχίζουμε ως

να κατέβουμε λίγο κάτω ή αν γίνεται να φτάσουμε στο +2,0dB (TSM=-16) οπότε και σταματάμε.

Αν το TSM που βρήκαμε είναι μεγαλύτερο από +2,0dB τότε από ηχομονωτικής άποψης το δάπεδο είναι κατάλληλο, αν όχι (όπως και εδώ) είναι ακατάλληλο και θέλει βελτίωση.

β) Ο ηχομονωτικός έλεγχος μετά την τοποθέτηση βελτιωτικής στρώσης επί του πατώματος έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα:

f(Hz)	100	200	400	800	1600	3200
L <sub>T2</sub> (dB)	57	56	60	60	59	61

υπό την προϋπόθεση ότι ο χρόνος αντήχησης στο χώρο παραμένει αμετάβλητος, να προσδιορισθεί το μέτρο βελτίωσης της στρώσης που τοποθετήθηκε στο πάτωμα.

Το θέμα εν συνεχεία μας ζητά (επειδή όπως είπαμε το δάπεδο κρίθηκε ακατάλληλο) να προσδιορίσουμε το μέτρο VM βελτίωσης της στρώσης. Το ότι ο χρόνος αντήχησης T<sub>R</sub> έμεινε σταθερός (βλ. Παρατήρηση 1) σημαίνει ότι ΔL<sub>3</sub> έμεινε σταθερό. Εδώ πρέπει να κάνουμε ίσως την ουσιαστικότερη παρατήρηση που θα μας οδηγήσει στη λύση του προβλήματος.

**Το μέτρο βελτίωσης είναι ίσο με  $VM=TSM_1-TSM_0$  εξ ορισμού, όπου  $TSM_0=-14dB$  εξ ορισμού και αναφέρεται στο πρότυπο δάπεδο.** Τίθεται το ερώτημα πως μπορούμε να παρεμβάλλουμε το δικό μας δάπεδο σε έναν τύπο (του VM) που αναφέρεται για ένα άλλο δάπεδο και συγκεκριμένα για το πρότυπο δάπεδο.

Εδώ λοιπόν θα κάνουμε την εξής παραδοχή: **η βελτίωση που προκλήθηκε από την στρώση που προστέθηκε στο δάπεδο κατόπιν της αποδοχής του ως ακατάλληλο, θα προκαλούσε την ίδια βελτίωση στο πρότυπο δάπεδο.** Τώρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον τύπο που μας δίνει το VM.

Συντάσσουμε τον παρακάτω πίνακα:

<b>f(Hz)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>800</b>	<b>1600</b>	<b>3200</b>
$L_{T2}(dB)$	57	56	60	60	59	61
$\Delta L_3$	1	0,5	1	1	0,5	1
$L_{1n'}$	58	56,5	61	61	59,5	62
$\Delta L$	13	16	15	16	18	13
$L_nB$	72	73,5	75	76,5	77	77
$L_{n1B}$	59	57,5	60	60,5	59	64
<i>(Ιδανική)</i>	<i>70</i>	<i>70</i>	<i>69</i>	<i>66</i>	<i>59</i>	<i>50</i>

Η δεύτερη σειρά δίνεται. Η τρίτη είναι ίδια καθώς ο χρόνος αντήχησης είναι ο ίδιος. Η τέταρτη είναι  $L_{1n'} = \Delta L_3 + L_{T2}$  και η πέμπτη είναι η διαφορά  $\Delta L = L_n - L_{1n'}$ . Η έκτη είναι δοσμένη από (II,192,σχ12) και αφορά το πάτωμα αναφοράς (βλέπε παρατήρηση παραπάνω). Τέλος η έβδομη σειρά  $L_{n1B} = L_nB - \Delta L$ .

Παράδειγμα για τα 400Hz έχω  $L_{1n'} = 1+60=61$ ,  $\Delta L = 76-61=15$ ,  $L_{n1B} = 75-15=60$ .

Τοποθετούμε τα σημεία της  $L_{n1B}$  στο γνωστό μας διάγραμμα (II,191,σχ10) και πάμε να βρούμε τη μέση υπέρβαση της πρότυπης η οποία πρέπει να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερη όχι όμως παραπάνω από +2,0 dB.

<b>f(Hz)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>800</b>	<b>1600</b>	<b>3200</b>	<b>Υπέρβαση</b>
$L_{n1B}$	59	57,5	61	60,5	59	64	
πρότυπη	70	70	69	66	59	50	
TSM=-0	70	70	69	66	59	50	2,3
TSM=-1	69	69	68	65	58	49	2,2
TSM=-2	68	68	67	64	57	48	2,0
TSM=-3	67	67	66	63	56	47	1,8

Προφανώς  $TSM_1 = -2 \Rightarrow VM = -2 - (-14) = 12$  επειδή το πρότυπο δάπεδο έχει -14dB  $TSM_0$ .

---



### 3.2) Ηχομόνωση (εκ του βαδίσματος)

Μεταξύ δυο δωματίων υπάρχει πλάκα από σκυρόδεμα πάχους 12cm που φέρει προς την πλευρά του δωματίου ηχητικής λήψης επίχρισμα με πάχος 1,5cm. Το εμβαδόν του δαπέδου είναι  $F=30\text{cm}^2$  και ο όγκος του δωματίου ηχητικής λήψης  $V=90\text{m}^3$ . Επίσης δίδεται η στάθμη του ήχου εκ του βαδίσματος  $L_T$  σε όλες τις συχνότητες όπως επίσης και οι τιμές του χρόνου αντήχησης  $T_R$  στο δωμάτιο ηχητικής λήψης σ'όλες τις συχνότητες. Ζητείται να εξετασθεί το δάπεδο από ηχομονωτική άποψη σε σχέση με τον ήχο του βαδίσματος και στην περίπτωση που αποδειχθεί ότι δεν έχει την κατάλληλη ηχομόνωση, να προταθούν μέτρα για τη βελτίωσή της.

<b>f(Hz)</b>	<b><math>L_T</math></b>	<b><math>T_R</math></b>	<b><math>\Delta L_3</math></b>	<b><math>L_n(\text{dB})</math></b>	<b><math>\Pi_p</math></b>	<b><math>L_{T1}</math></b>	<b><math>L_{n1}</math></b>	<b><math>\Delta L</math></b>	<b><math>L_nB</math></b>	<b><math>L_{n1B}</math></b>
100	68,8	0,62	3,7	72,5	70	47,7	51,4	21,1	72	50
125	70,8	0,64	3,6	74,4	70	48,2	51,8	22,6	72,5	49,9
160	72,7	0,66	3,5	76,2	70	47,1	50,6	25,6	73	47,4
200	73,5	0,59	4	77,5	70	47,2	51,2	26,3	73,5	47,2
250	73,5	0,56	4,2	77,7	70	44,1	48,3	29,4	74	44,6
315	74,6	0,53	4,4	79	70	42,7	47,1	31,9	74,5	42,6
400	70,3	0,53	4,4	74,7	69	42,5	47	27,8	75	47,2
500	70	0,50	4,7	74,7	68	40,8	45,5	29,2	75,5	46,3
630	69,6	0,50	4,7	74,3	67	40,1	44,8	29,5	76	40,5
800	67,3	0,53	4,4	71,7	66	41,2	45,6	26,1	76,5	50,4
1000	66,8	0,56	4,2	71	65	38,2	42,4	28,4	77	48,6
1250	64,2	0,58	4	68,2	62	37,6	41,6	26,6	77	50,4
1600	62,8	0,58	4	66,8	59	36,8	40,8	26	77	51
2000	62,3	0,61	3,8	66,1	56	36,6	40,4	25,7	77	51,3
2500	61,2	0,60	3,9	65,1	53	35,4	39,3	25,8	77	51,2
3150	59,9	0,62	3,7	63,6	50	35,1	38,8	24,3	77	52,7

Εδώ έχουμε 16 συχνότητες. Το  $\Delta L_3$  δε δίνεται γι' αυτό το βρίσκουμε (βλέπε προηγούμενη άσκηση - παρατήρηση 1). Έπειτα  $L_n = \Delta L_3 + L_T$ . Το βρίσκουμε για όλες τις

συχνότητες και το βάζουμε στην καμπύλη αναφοράς για να βρούμε την υπέρβαση κατά τα γνωστά (II,191,σχ10).

<b>TSM (μεταβολή)</b>	<b>Μέση Υπέρβαση</b>
0	7,4
-1	6,4
-2	5,4
-3	4,4
-4	3,5
-5	2,6
-6	1,8

Κάνοντας πράξεις βρίσκουμε ότι, για να έχουμε μέση υπέρβαση 1,8 dB θα πρέπει να ανέβει η πρότυπη καμπύλη κατά 6, δηλαδή  $TSM = -6dB < +2dB \Rightarrow$  το δάπεδο είναι ακατάλληλο από ηχομονωτική άποψη. Σημειώνουμε ότι η στήλη  $L_{T1}$  δίδεται, όπως και η στήλη Πρ. Που αναφέρεται στην πρότυπη καμπύλη (II,191,σχ10).

Στις σελίδες 221,222 και 223 βρίσκονται όλα εκείνα τα στοιχεία που μας καθοδηγούν στην ενίσχυση της ηχομονωτικής ικανότητας του δαπέδου. Σημειώνεται ότι το  $\Delta L_3$  δηλαδή ο χρόνος αντήχησης μένει σταθερός.

Θα χρησιμοποιήσουμε (όχι αναγκαστικά ή απαραίτητα, απλά προτείνουμε) ξύλινο δάπεδο ,τσιμεντοκονίαμα και ινώδη πλάκα με πάχη όπως αυτά δίδονται στο βιβλίο. Βρίσκουμε  $L_{T1}$ ,  $L_{n1} = L_{T1} + \Delta L_3$ ,  $\Delta L = L_n - L_{n1}$  και προϋποθέτουμε ότι η διόρθωση κάνει και στο πρότυπο δάπεδο την ίδια βελτίωση που προκαλεί και στο δικό μας.

Το  $L_{n1B} = L_{nB} - \Delta L$  όπου  $L_{nB}$  γνωστό από (II,192,σχ12). Κάνω γραφική παράσταση (II,191,σχ10) και βρίσκω  $TSM_1 = +12(dB)$ . Δίδεται και ο παρακάτω πίνακας που δείχνει παραστατικά τη μέση υπέρ-βαση σε σχέση με το TSM.

TSM	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Υπέρβ	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	1,6	1,9	2,2

Επομένως  $VM=TSM_1=TSM_0 = 12-(-14)=26$ .

Τέλος για να δούμε αν το πάτωμα είναι ικανοποιητικό από ηχομονωτικής άποψης μετά την προσθήκη των παραπανίσιων στρώσεων, κάνουμε γραφική παράσταση  $L_{1n}$  (II,191,σχ10) και κοιτάμε αν  $TSM' > +2dB$ . Αν είναι τότε είναι εντάξει, αν όχι θέλει και άλλη βελτίωση προκειμένου να γίνει ικανοποιητικό.

TSM	0	1	2	5	7	10	13	16	17	18	19	20	21	22
Υπέρβ	0	0	0	0	0	0	0,1	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	1,9	2,5

Πράγματι  $TSM'=21dB > +2dB$  γεγονός που μας δείχνει ότι το νέο δάπεδο είναι ικανοποιητικό από ηχομονωτικής άποψης.

Σημειώνεται ότι εν γένει η διαδικασία ελέγχου του νέου πατώματος πρέπει να προηγείται χρονικά της εύρεσης του μέτρου βελτιώσεως της προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος κι αυτό για το λόγο ότι το VM μας είναι άχρηστο αν το νέο πάτωμα παραμένει ακατάλληλο από ηχομονωτικής άποψης.

### 3.3) Ηχομόνωση (εκ του αέρος)

Δίνεται ένα σύνθετο χώρισμα μεταξύ 2 δωματίων με  $F_{ολ}=18m^2$ . Αυτό αποτελείται από μια τοιχοποιία από συμπαγείς λίθους με μέσο μέτρο ηχομόνωσης  $R_o=51dB$ ,  $LSM=3$  και από μια πόρτα που έχει εμβαδόν  $F_1=1,5m^2$ . Ο όγκος του δωματίου ηχητικής λήψης είναι  $V=72m^3$ . Ζητείται να εξετασθεί το σύνθετο χώρισμα από ηχομονωτική άποψη. Αν δεν έχει

την κατάλληλη ηχομόνωση να προταθούν μέτρα για τη βελτίωσή του. Δίδονται οι ηχητικές στάθμες σε τριτοοκτάβες καθώς και ο χρόνος αντήχησης σε όλες τις συχνότητες.

<b>f(Hz)</b>	<b>L<sub>1</sub>(dB)</b>	<b>L<sub>2</sub>(dB)</b>	<b>T<sub>R</sub>(sec)</b>	<b>D</b>	<b>A</b>	<b>ΔL<sub>2</sub>*</b>	<b>Rges</b>
100	89,7	49,0	0,57	40,7	20,6	0,6	40,1
125	86,9	43,4	0,61	43,5	19,2	0,3	43,2
160	86,0	46,9	0,60	39,1	19,6	0,4	38,7
200	84,2	41,7	0,53	42,5	22,1	0,9	41,6
250	84,4	43,0	0,52	41,4	22,6	1,0	40,4
315	84,8	42,4	0,51	42,4	23,0	1,1	41,3
400	83,7	40,5	0,51	43,2	23,0	1,1	42,1
500	80,5	35,7	0,48	44,8	24,5	1,3	43,5
630	82,2	32,4	0,45	49,8	26,1	1,6	48,2
800	82,4	28,6	0,46	53,8	25,5	1,5	52,3
1000	82,5	27,7	0,44	54,8	26,7	1,7	53,1
1250	81,6	26,7	0,46	54,4	25,5	1,5	53,4
1600	82,7	27,6	0,49	55,1	24,0	1,2	53,9
2000	82,2	28,2	0,50	54,0	23,5	1,2	52,8
2500	80,3	24,7	0,55	54,6	21,3	0,7	53,9
3150	77,8	23,8	0,58	54,0	20,2	0,5	53,5

Οι πρώτες τέσσερις στήλες είναι δοσμένες. Η διαδικασία της ηχομόνωσης εκ του αέρος είναι σχετικά πιο απλή από αυτή της ηχομόνωσης εκ του βαδίσματος. Τα δεδομένα μπορεί να δίνονται σε οκτάβες (6 συχνότητες) ή τριτοοκτάβες (16 συχνότητες) οπότε κατά τον υπολογισμό της μέσης υπέρβασης έχουμε παρονομαστή 6 ή 16.

Για την πλήρωση της πέμπτης στήλης, από τη δεύτερη αφαιρούμε την τρίτη κι αυτό γιατί  $D=L_1-L_2$  πχ για τα 1600Hz  $D=L_1-L_2=82,7-27,6=55,1$ .

Για την έκτη στήλη, εφαρμόζουμε τον τύπο  $A=0,163V/T_R$  όπου V σταθερό και γνωστό και το  $T_R$  το παίρνουμε έτοιμο από τη δοσμένη τέταρτη στήλη. Για παράδειγμα για τη συχνότητα των 1000Hz έχουμε  $A=0,163*72/0,44=11,736/0,44=26,7$ .

Στη συνέχεια συμπληρώνουμε την έβδομη στήλη  $\Delta L_2^* = 10 \log(A/F_{\text{ολ}})$  όπου το  $F_{\text{ολ}} = 18 \text{ m}^2$  σταθερό και το A το παίρνουμε έτοιμο από την έκτη στήλη. Για παράδειγμα για τη συχνότητα των 1250Hz έχουμε  $\Delta L_2^* = 10 \log(25,5/18) = 10 \log(1,42) = 1,5$ .

Τέλος βρίσκουμε το  $R_{\text{ges}}$  απλά αφαιρώντας από την πέμπτη στήλη την έβδομη καθόσον είναι  $R_{\text{ges}} = D - \Delta L_2^*$ . Θα δώσουμε ένα παράδειγμα για τη συχνότητα των 3150Hz όπου  $R_{\text{ges}} = D - \Delta L_2^* = 54,0 - 0,5 = 53,5$ .

Για το  $R_{\text{ges}}$  μας ενδιαφέρει άμεσα η μέση τιμή του την οποία μετά το πέρας του πίνακα βρίσκουμε:  $R_{\text{gesm}} = 752,2/16 = 47 \text{ dB}$  (το  $R_{\text{ges}}$  μετράται σε dB).

Πάμε στο (II,189,σχ7) και βάζουμε τα  $R_{\text{ges}}$  που βρήκαμε. Εδώ έγκειται η μεγάλη διαφορά μεταξύ του υπολογισμού του μέτρου προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος TSM και του μέτρου προστασίας έναντι του ήχου εκ του αέρος LSM. Ενώ στο TSM θεωρούσαμε υπέρβαση στα σημεία της καμπύλης από μετρήσεις που ήταν μεγαλύτερα από αυτά της πρότυπης, εδώ θα θεωρούμε ότι έχουμε υπέρβαση όταν η πρότυπη είναι πάνω από την καμπύλη που πήραμε από τις μετρήσεις. Βλέπε και (II,188,β),(II,191,β).

Επίσης μια άλλη διαφορά είναι ότι το LSM θα μετράται θετικό προς τα άνω αρνητικό προς τα κάτω σε αντίθεση με το ήδη γνωστό μας TSM το οποίο το μετρούσαμε θετικό προς τα κάτω και αρνητικό προς τα άνω.

Το LSM που θα βρούμε θα το συγκρίνουμε με το +2,0dB και αν είναι μεγαλύτερο, τότε το χώρισμα θα είναι κατάλληλο από ηχομονωτικής άποψης για την προστασία έναντι του ήχου εκ του αέρος, αν όχι θα χρειαστεί να κάνουμε κάποια (εξ) βελτίωση (εις).

Με τη βοήθεια του παρακάτω πίνακα βλέπουμε πώς μεταβάλλεται η μέση υπέρβαση με διαδοχικές μετατοπίσεις της πρότυπης καμπύλης.

LSM	0	-1	-2
Υπέρβαση	3,1	2,4	1,6

Είναι σαφές ότι  $LSM = -2dB < +2,0dB$  άρα το χώρισμα είναι καταρχήν ακατάλληλο και θέλει βελτίωση. Τι όμως επηρεάζει το LSM;

- 1) Το  $R_0$
- 2) Το  $R_1$
- 3)  $F_0/F_1$

Όσο μεγαλύτερος ο λόγος (3) τόσο καλύτερη ηχομόνωση έχουμε. Όσο μικρότερο εμβαδόν πόρτας τόσο το καλύτερο δηλαδή. Όμως  $F_1 = 1,5m^2$  ήδη πολύ μικρό και άρα δεν μπορούμε να το μειώσουμε παραπάνω. Άρα  $F_0/F_1 = 12$  σταθερό.

Το  $R_0 = 51dB$  γνωστό. Το  $R_1$  πρέπει να το υπολογίσουμε. Είναι όμως  $R_0 - R_{gesm} = 51 - 47 = 4dB$ . Πάμε στο (II,207,σχ23) και για το λόγο  $F_0/F_1 = 12$  παίρνουμε (περίπου βέβαια)  $R_0 - R_1 = 12$  ήτοι  $R_1 = 39dB$  καθόσον  $R_0 = 51dB$ .

Πάμε στο (II,206,πιν) να δούμε για το  $R_1$  που έχουμε, τι πόρτα του αντιστοιχεί. Βλέπουμε προς μεγάλη μας λύπη ότι έχουμε πόρτα με ειδική ηχομονωτική κατασκευή (περίπτωση 3) και επομένως δεν μπορούμε να αλλάξουμε ούτε το  $R_1$ . Αν είχαμε για παράδειγμα  $R_1 = 26dB \Rightarrow$  περίπτωση 2  $\Rightarrow$  βαριές πόρτες  $\Rightarrow$  θα μπορούσαμε να βάλουμε μια ειδική θύρα όπως τώρα. Το μόνο που έμεινε είναι το  $R_0$  το οποίο και θα αλλάξουμε.

Πάμε στο (II,212-213). Πρέπει να πάρουμε άλλο χώρισμα, πχ άλλα τούβλα. Στη σελίδα 213 πίνακας (35) κατασκευή 3 με  $R_0 = 54dB$ , δοκιμαστικά. Θα κάνουμε τους αντίστροφους υπολογισμούς και αν δούμε ότι ούτε τώρα το χώρισμα είναι ικανοποιητικό από ηχομονωτικής άποψης, επανερχόμεθα και εκλαμβάνομε άλλο χώρισμα με ακόμη μεγαλύτερο  $R_0$  έως ότου να γίνει κατάλληλο το χώρισμα που έχουμε.

Πράγματι  $R_0 - R_1 = 54 - 39 = 15$  και από (II,207,σχ23)  $\Rightarrow R_0 - R'_{gesm} = 5 \Rightarrow R'_{gesm} = 49dB$  περίπου. Αυτός είναι ο μέσος όρος που θα είχε το  $R'_{ges}$  αν είχαμε υπολογίσει εξ'αρχής την κατασκευή που πήραμε. Τώρα θα έπρεπε για να προσδιορίσω αν είναι ικανοποιητικό από ηχομονωτική άποψη το νέο χώρισμα να έχω τις νέες τιμές του  $R_{ges}$  και όχι το μέσο όρο όπως έχω εδώ.

Έτσι είμεθα αναγκασμένοι να κάνουμε την εξής σημαντική παραδοχή: **συγκρίνω το  $R'_{ges}$  με το μέσο μέτρο ηχομονώσεως της καμπύλης αναφοράς που είναι**

**Rges<sub>A</sub>=49** εξ'ορισμού. Βλέπω ότι είναι ίσα άρα επειδή η πρότυπη καμπύλη έχει **LSM=+2** το ίδιο **LSM** θα έχει και η καμπύλη που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο χώρισμα του παραδείγματος.

Παρατήρηση: Επειδή οι τιμές της πρότυπης καμπύλης του σχήματος (II,189,σχ7) δεν είναι ευδιάκριτες, η ίδια καμπύλη εμφανίζεται στο (II,188,σχ6) και είναι η R'. Παρακάτω στον πίνακα που δίδεται, παρέχουμε για διευκόλυνση τις τιμές της πρότυπης καμπύλης που αντιστοιχούν στις τριτοοκτάβες.

10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100	12	16	20	25	31
0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	00	00	00	50
33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56

### 3.4) Ηχομόνωση (εκ του βαδίσματος)

Κατά τον ηχομονωτικό έλεγχο πατώματος και κατά την ανάλυση σε οκτάβες, προέκυψαν για τη στάθμη του ήχου  $L_{T1}$  και για τη μείωση της στάθμης του ήχου του χώρου  $\Delta L_3$ , λόγω ηχοαπορρόφησης τα κάτωθι αποτελέσματα.

f(Hz)	100	200	400	800	1600	3200
$L_{T1}$ (dB)	68	71	74	76	76	74
$\Delta L_3$ (dB)	0,5	1	1	0,5	0,5	1

α) Να προσδιορισθεί το "μέτρο προστασίας του ήχου εκ του βαδίσματος".

β) Ο ηχομονωτικός έλεγχος μετά την τοποθέτηση βελτιωτικής στρώσης επί του πατώματος έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα.

f(Hz)	100	200	400	800	1600	3200
$L_{T2}$ (dB)	55	56	59	58	60	62

Υπό την προϋπόθεση ότι ο χρόνος αντήχησης στο χώρο λήψης παραμένει αμετάβλητος, να προσδιορισθεί το μέτρο βελτίωσης της στρώσης που τοποθετήθηκε στο πάτωμα.

α) Καταρχήν θα βρούμε το  $L_n$  και θα το συγκρίνουμε με την πρότυπη καμπύλη (II,191,σχ10). Αν το πρόβλημα μας ζητούσε να βρούμε αν το νέο πάτωμα (μετά την τοποθέτηση βελτιωτικής στρώσης) είναι κατάλληλο θα συγκρίναμε με την πρότυπη καμπύλη το  $L_{n1}$  αλλά τώρα για να βρούμε το VM αρκεί να υπολογίσουμε το  $TSM_1$  συγκρίνοντας την πρότυπη καμπύλη (II,191,σχ10) με την  $L_{n1B}$ .

Η τελευταία σύγκριση αρκεί για το πρόβλημα καθόσον το  $TSM_0$  είναι γνωστό, σταθερό, και πάντα ίσο με -14dB. Θα κατασκευάσουμε επομένως κατά τα γνωστά (βλέπε 3.1, 3.2) τον παρακάτω πίνακα που θα μας οδηγήσει στη λύση του θέματος.

<b>f(Hz)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>800</b>	<b>1600</b>	<b>3200</b>
$L_{T1}$ (dB)	68	71	74	76	76	74
$\Delta_{L3}$ (dB)	0,5	1	1	0,5	0,5	1
$L_n$	68,5	72	75	76,5	76,5	75
Πρότυπη	70	70	69	66	59	50

Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει τη μέση υπέρβαση της καμπύλης που προέκυψε από μετρήσεις ως προς τη θεωρητική για διάφορες τιμές του TSM.

<b>TSM</b>	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12	-13	-14	-15	-16
<b>Υπέρβαση</b>	10,2	8,5	7,2	5,8	4,8	3,8	3,1	2,8	2,4	2,1	1,8

Είναι λοιπόν σαφές ότι  $TSM = -16 < +2dB$  άρα το πάτωμα είναι εκ πρώτης όψεως ακατάλληλο και επομένως σωστά το θέμα προχωράει στη βελτίωση αυτού.

β) Επειδή δε μας ενδιαφέρει να κοιτάξουμε αν το νέο πάτωμα είναι κατάλληλο, αλλά να βρούμε το μέτρο VM που εκφράζει τη βελτίωση που επήλθε, προχωρούμε στη σύνταξη του νέου πίνακα βάση του οποίου θα προσδιορίσουμε την  $L_{n1B}$  την οποία και θα συγκρίνομε με την πρότυπη καμπύλη (II,191,σχ10).



<b>f (Hz)</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>400</b>	<b>800</b>	<b>1600</b>	<b>3200</b>
<b>Ln</b>	68,5	72	75	76,5	76,5	75
<b>L<sub>T2</sub>(dB)</b>	55	56	59	58	60	62
<b>ΔL<sub>3</sub>*</b>	0,5	1	1	0,5	0,5	1
<b>Ln<sub>1</sub></b>	55,5	57	60	58,5	60,5	63
<b>ΔL</b>	13	15	15	18	16	12
<b>LnB</b>	72	73,5	76	76,5	77	77
<b>Ln<sub>1</sub>B</b>	59	58,5	61	58,5	61	65

Θα συγκρίνουμε τώρα την Ln<sub>1</sub>B με την πρότυπη καμπύλη. Ότι βρούμε θα είναι το TSM<sub>1</sub> και επειδή γνωρίζουμε εξ αρχής το TSM<sub>0</sub> κάνοντας τη γνωστή παραδοχή, μπορούμε να βρούμε το μέτρο βελτίωσης VM.

<b>TSM</b>	0	-1	-2	-3
<b>Υπέρβαση</b>	2,8	2,5	2,2	2,0

Βλέπουμε πως TSM<sub>1</sub>=-3dB άρα VM=-3-(-14)=11dB.

Παρατήρηση: Αν υποθέσουμε ότι ζητάμε να δούμε αν το νέο πάτωμα είναι κατάλληλο από ηχομονωτικής άποψης τότε συγκρίνουμε την πρότυπη καμπύλη με την Ln<sub>1</sub>. Προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

<b>TSM</b>	0	-1	-2
<b>Υπέρβαση</b>	2,4	2,1	1,8

Οπότε προκύπτει TSM=-2 < +2dB που όμως σημαίνει ότι το πάτωμα είναι ακόμη ακατάλληλο και ότι θα θέλει και άλλη βελτίωση.

---

### 3.5) Ηχομόνωση (εκ του αέρος)

Εάν το μέτρο ηχομονώσεως του κατασκευασθέντος τοίχου είναι  $R_0=53$  dB και το μέτρο ηχομονώσεως του υπάρχοντος παραθύρου στον τοίχο είναι  $R_{\text{παραθ}}=36$  dB, ο δε ηχομονωτικός έλεγχος της όλης τοιχοποιίας συμπεριλαμβανομένου και του ανοίγματος (παραθύρου) έδωσε τα κάτωθι αποτελέσματα ως προς το ολικό μέτρο ηχομονώσεως  $R_{\text{ges}}$ , ζητείται να ευρεθεί ο λόγος επιφάνειας παραθύρου - τοίχου και το μέτρο προστασίας έναντι του ήχου δια του αέρος LSM του παραπάνω τοίχου.

f(Hz)	100	200	400	800	1600	3200
Rges	40	39	45	50	53	52

Εδώ η άσκηση είναι υπεραπλουστευμένη, αφού μας δίνει το  $R_{\text{ges}}$ . Έχουμε πει ότι μας ενδιαφέρει ο μέσος όρος  $R_{\text{gesm}}$ . Αυτός είναι ίσος με  $R_{\text{gesm}}=47$  dB. Πάμε στο (II,189,σχ7) και βάζουμε τα δοσμένα  $R_{\text{ges}}$  στο διάγραμμα. Προκύπτει μια καμπύλη που είναι αυτή των μετρήσεων.

Στη συνέχεια δουλεύουμε κατά τα γνωστά, μετατοπίζοντας τη θεωρητική καμπύλη έως ότου η μέση υπέρβαση της ως προς την καμπύλη που προέκυψε από μετρήσεις να είναι κατά το δυνατόν μεγαλύτερη, όχι όμως μεγαλύτερη από 2,0dB. Ο παρακάτω πίνακας μας δίνει τη μέση υπέρβαση της θεωρητικής καμπύλης για διάφορες τιμές του LSM.

LSM	0	-1	-2
Υπέρβαση	3,3	2,5	1,7

Παρατηρούμε ότι επειδή  $LSM=-2<+2,0$ dB το χώρισμα (τοίχος + άνοιγμα) είναι καταρχήν ακατάλληλο από ηχομονωτικής άποψης. Επειδή όμως η άσκηση δε ζητάει βελτίωση το αφήνουμε έτσι και πάμε να βρούμε το λόγο επιφάνειας παραθύρου - τοίχου.

$$\text{Ισχύει } R_0 - R_{\text{gesm}} = 53 - 47 = 6 \text{ και επίσης } R_1 = R_{\text{παραθ}} \Rightarrow R_0 - R_1 = 53 - 36 = 17.$$

Από το διάγραμμα (II,207,σχ23) παίρνουμε για  $R_0 - R_{gesm}=6$  και  $R_0 - R_1=17$ , το λόγο της επιφάνειας τοίχου - παραθύρου που είναι  $F_0:F_1 = 15 \text{ m}^2$ .

---

### **3.6) Προστασία από “ήχο εκ του βαδίσματος”**

Ας υποθέσουμε ότι σε ένα πάτωμα έγινε ηχομονωτικός έλεγχος έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος και προέκυψε  $TSM=-12\text{dB}$ . Οι απαιτήσεις του χώρου μας υποχρεώνουν με τη βελτίωση που θα προτείνουμε, το δάπεδο να αποκτήσει  $TSM=+38 \text{ dB}$ . Προτείνετε κάποια λύση, ώστε να βελτιωθεί η ηχομονωτική ικανότητα αυτού του δαπέδου και να αποκτήσει το λιγότερο  $TSM=+38\text{dB}$ . Να βρεθεί επίσης το μέτρο βελτίωσης του ήχου έναντι του βαδίσματος VM. Η λύση που θα προταθεί να είναι σε λογικά οικονομικά και κατασκευαστικά πλαίσια.

Για την επίλυση του θέματος αυτού που θα βοηθήσει αρκετά στην κατανόηση των εννοιών TSM και VM, θα χρησιμοποιήσουμε τους πίνακες (II,221,πιν55), (II,222,πιν56), (II,222,πιν57) και (II,223,πιν58).

Προτείνουμε (δηλαδή δεν είναι η μοναδική λύση και ίσως ούτε η καλύτερη, αλλά είναι εφικτή κατασκευαστικά και λογική οικονομικά) την τοποθέτηση ινώδων πλακών ορυκτής προέλευσης με μέτρο βελτίωσης  $VM=31\text{dB}$  πάχους 1,5cm (II,222,πιν56). Άρα  $VM=TSM_1 - TSM_0 \Rightarrow 31=TSM_1 - (-14) \Rightarrow TSM_1 = 17\text{dB}$ .

Στη συνέχεια θα τοποθετήσουμε ελαστικό στρώμα (5mm) με μέτρο βελτιώσεως έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος  $VM=24 \Rightarrow VM=TSM_2 - TSM_0 \Rightarrow 24=TSM_2 - (-14) \Rightarrow TSM_2 = 10\text{dB}$ .

Επειδή δεν γνωρίζουμε αν αυτές οι προσθήκες θα καταστήσουν το δάπεδό μας κατάλληλο, προσπαθούμε να προσδιορίσουμε τι  $TSM_T$  έχει αποκτήσει με τις βελτιώσεις αυτές. Εδώ είναι απαραίτητο να αναφερθούμε στην παραδοχή που έγινε κατά την επίλυση ασκήσεων ηχομόνωσης και που βοηθάει δραστικά στη λύση των.

$$TSM_G = TSM_1 + TSM_2 = 17 + 10 = 27 \text{ dB.} \Rightarrow TSM_T = -14 + 27 = +13 \text{ dB} \ll +38 \text{ dB}$$

Προφανώς το μέτρο προστασίας  $TSM_T$  που απέκτησε προσωρινά το δάπεδο είναι ανεπαρκέστατο καθότι είναι πολύ μικρότερο από το ελάχιστο όριο που είναι τα +38,0dB. Άρα θα πρέπει να προσθέσουμε και άλλες βελτιωτικές στρώσεις.

Στο σημείο αυτό πρέπει να προσέξουμε να μην υπερβούμε κατά πολύ το ελάχιστο όριο προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος που μας δίνει η άσκηση διότι στην περίπτωση αυτή η λύση μας χαρακτηρίζεται μη αποδεκτή τόσο από οικονομικής άποψης όσο και από κατασκευαστικής.

Θα προσθέσουμε ξύλινο δάπεδο . Για το VM που έχει (II,221,πιν55) πρέπει να προσέξουμε ότι από κάτω του έχουμε βάλει πύλημα ινώδους δυτικής προέλευσης και άρα θα έχει  $VM=27 \text{ dB} \Rightarrow VM = TSM_3 - TSM_0 \Rightarrow 27 = TSM_3 - (-14) \Rightarrow TSM_3 = 13 \text{ dB}$ .

Κάνουμε πάλι έλεγχο μήπως φθάσαμε στο κατώτατο όριο προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος. Ο έλεγχος αυτός μας βοηθάει επίσης να βρούμε πόσα dB ακόμα υπολείπονται και κατά συνέπεια τι στρώση θα προσθέσουμε.

$$TSM_G = TSM_1 + TSM_2 + TSM_3 = 17 + 10 + 13 = 40 \text{ dB.} \Rightarrow \\ \Rightarrow TSM_T = -14 + 40 = +26 \text{ dB} < +38 \text{ dB}$$

Βλέπουμε ότι το δάπεδο μας, παραμένει μεν ακατάλληλο, όμως η διαφορά μεταξύ του υπάρχοντος μέτρου προστασίας και του επιθυμητού έχει μειωθεί πολύ. Το γεγονός αυτό μας κάνει να προσθέσουμε μια ακόμη βελτιωτική στρώση. Θα προσθέσουμε τάπητα και θα διαλέξουμε το μεγαλύτερο VM που είναι 30dB (II,221,πιν55).

$$\text{Είναι } VM=30 \text{ dB} \Rightarrow VM = TSM_4 - TSM_0 \Rightarrow 30 = TSM_4 - (-14) \Rightarrow TSM_4 = 16 \text{ dB.}$$

$$\text{Οπότε } TSM_G = TSM_1 + TSM_2 + TSM_3 + TSM_4 = 17 + 10 + 13 + 16 = 56 \text{ dB.} \Rightarrow \\ \Rightarrow TSM_T = -14 + 56 = +42 \text{ dB} > +38 \text{ dB}$$

Συμπεραίνουμε ότι το δάπεδο είναι πλέον κατάλληλο, καθόσον το μέτρο προστασίας που απέκτησε μετά τη βελτίωση της ηχομονωτικής του ικανότητας είναι μεγαλύτερο από το

ελάχιστο που απαιτείτο, όχι όμως πολύ μεγαλύτερο ώστε η πρότασή μας να θεωρηθεί οικονομικά ασύμφορη ή κατασκευαστικά (ή και αισθητική ακόμη) ανέφικτη.

Παρατήρηση 1η: Η άσκηση αυτή αναφέρεται σε προστασία έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος. Αν είχαμε προστασία έναντι του ήχου δια του αέρα, θα ακολουθούσαμε εντελώς ανάλογη διαδικασία μόνο που θα αναφερόμασταν στους πίνακες (II,211,πιν33), (II,211-212,πιν34), (II,212 - 213,πιν35) & (II,213,πιν36).

Παρατήρηση 2η: Σε ασκήσεις που ζητούν να ορίσουμε εμείς αυθαίρετα τη βελτίωση υπάρχουν προφανώς πολλές λύσεις. Επιτυχημένη είναι αυτή που προσεγγίζει το ελάχιστο επιθυμητό όριο χωρίς να είναι μικρότερη από αυτό και είναι αισθητικά αποδεκτή.

Παρατήρηση 3η: Συνίσταται μεγάλη προσοχή στις διαφορές που έγκεινται στον προσδιορισμό του μέτρου προστασίας έναντι του ήχου εκ του αέρος LSM και σε αυτόν του μέτρου προστασίας έναντι του ήχου εκ του βαδίσματος TSM. Για περισσότερες πληροφορίες βλέπε ασκήσεις και (II,188,β) & (II,191,β).

Παρατήρηση 4η: Είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε ότι όταν χρησιμοποιούμε κολυμβητά δάπεδα για τη βελτίωση της ηχομόνωσης, η ηχομονωτική τους ικανότητα μειώνεται με την πάροδο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα μετά από 1 χρόνο θα μειωθεί κατά 3 με 4 dB. Έτσι θα τα αποφύγουμε αν η άσκηση μας ζητάει να έχει η ηχομόνωση σταθερή με την πάροδο του χρόνου ηχομονωτική ικανότητα.

---