

# ΘΕΡΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΚΤΗΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Μέρος 8<sup>ο</sup>

Υγρασία & Συμπύκνωση υδρατμών

Αλέξανδρος Κρίθαρης

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Προσωρινός Ενεργειακός Επιθεωρητής

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ -Εισαγωγή /1.

### 6.1. Εισαγωγή /1

Η ελλιπής θερμομονωτική προστασία σε μια κτηριακή κατασκευή, πέραν του αισθήματος μειωμένης θερμικής άνεσης που μπορεί να παρέχει, ενδέχεται να αποδειχθεί και το βασικό αίτιο για την εμφάνιση προβλημάτων υγρασίας στον εσωτερικό χώρο.

Η υγρασία αυτής της μορφής οφείλεται στη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα, όταν αυτός έχει φτάσει σε κατάσταση κορεσμού και έρχεται σε επαφή με τις ψυχρές επιφάνειες των δομικών στοιχείων.

Εκδηλώνεται είτε ως επιφανειακή συμπύκνωση των υδρατμών στις εξωτερικές επιφάνειες, είτε ως συμπύκνωση των υδρατμών στο εσωτερικό ενός υδρατμοδιαπερατού δομικού στοιχείου κατά τη διάχυσή τους μέσω αυτού.

Αν και η δράση της υγρασίας αυτών των μορφών είναι σχετικά περιορισμένη, μπορεί :

- να προκαλέσει ποικίλες φυσικές, χημικές και μηχανικές αλλοιώσεις στα υλικά, (αποχρωματισμούς, αποφλοιώσεις, αποκολλήσεις ή διαβρώσεις κ.α),

- να μειώσει ή και να εξαλείψει τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες,

- να συμβάλει στην ανάπτυξη μικροοργανισμών, αλλά και

- να προκαλέσει βλάβες στην υγεία των ενοίκων λόγω ανθυγιεινότητας του χώρου.

Σε ορισμένες, μάλιστα, περιπτώσεις (π.χ. τοιχογραφιών και ζωγραφικού διακόσμου επί των επιφανειών των δομικών στοιχείων) μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα επιζήμια λόγω της φθοροποιού της δράσης.

Ειδικά για τα θερμομονωτικά υλικά, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η προσβολή τους από υγρασία μπορεί ουσιαστικά να ακυρώσει το ρόλο τους στα δομικά στοιχεία.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Εισαγωγή / 2 Υγρασία αέρα.

### 6.1. Εισαγωγή / 2

Τα θερμομονωτικά υλικά οφείλουν τις θερμομονωτικές τους ιδιότητες στον εγκλωβισμό μικρών ποσοτήτων αέρα μέσα στους πόρους τους.

Όταν το υλικό διαβρέχεται τότε ο αέρας εκτοπίζεται από το νερό που καταλαμβάνει τη θέση του.

Τότε η θερμομονωτική ικανότητα του υλικού περιορίζεται ή χάνεται, αναλόγως του βαθμού προσβολής, δεδομένου ότι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του νερού ( $\lambda$ ) είναι περίπου 24 φορές μεγαλύτερος του αέρα και άρα η προβαλλόμενη αντίσταση στη ροή θερμότητας στην περίπτωση ενός πλήρως από νερό εμποτισθέντος υλικού μειώνεται μέχρι και στο 1/24.

Η έγκαιρη επισήμανση του κινδύνου και η λήψη των απαραίτητων μέτρων προστατεύει τα δομικά υλικά και συμβάλλει στην ορθή λειτουργία τους στο δομικό σύστημα.

Σε υφιστάμενες κατασκευές το φαινόμενο μπορεί κατά κανόνα να αντιμετωπισθεί απλά, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις, στις το πρόβλημα δεν είναι πλήρως αντιμετωπίσιμο και οι όποιες προτεινόμενες λύσεις αποδεικνύονται αποσπασματικές και αναποτελεσματικές.

### 6.2. Η υγρασία του αέρα

Ο ατμοσφαιρικός αέρας έχει την ικανότητα να συγκρατεί υδρατμούς, που δεν είναι ορατοί και γι' αυτό δεν γίνονται αντιληπτοί.

Αυτή η ικανότητα του αέρα, δηλαδή να συγκρατεί στη μάζα του υδρατμούς, εξαρτάται από την ατμοσφαιρική πίεση και από τη θερμοκρασία του.

Από τους δύο αυτούς παράγοντες η επίδραση της ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς απειροελάχιστα μεταβάλλεται σε μια περιοχή, θεωρείται πρακτικά ασήμαντη και γι' αυτό το λόγο δεν λαμβάνεται υπόψη.

Αντιθέτως, η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις τόσο μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού περιβάλλοντος, όσο και μεταξύ των διαφορετικών χώρων του εσωτερικού περιβάλλοντος και γι' αυτό η επίδραση της θεωρείται ουσιαστική και είναι αυτή που καθορίζει την ικανότητα του αέρα να συγκρατεί τους υδρατμούς.

Σε υψηλότερες θερμοκρασίες ο αέρας μπορεί να συγκρατήσει μεγαλύτερη ποσότητα υδρατμών, ενώ σε χαμηλότερες συγκρατεί μικρότερη.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Το φαινόμενο της δρόσου /1.

### 6.3. Η υγρασία του αέρα - Το φαινόμενο της δρόσου /1

**Απόλυτη υγρασία (C)** του αέρα : Η ποσότητα των υδρατμών του αέρα που περιέχονται στη μονάδα του όγκου του. (kg/m<sup>3</sup>).

**Ποσότητα κορεσμού :** Η **μέγιστη** ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει ο αέρας στη μονάδα του όγκου του για μια **συγκεκριμένη** θερμοκρασία.

**θερμοκρασία κορεσμού ( $\theta_s$ ) ή θερμοκρασία (σημείο) δρόσου** Η **συγκεκριμένη** θερμοκρασία για την οποία ο αέρας δύναται να συγκρατήσει την μέγιστη ποσότητα υδρατμών στην μονάδα του όγκου του.

Στην περίπτωση που ( $\theta > \theta_s$ ) :

Η **θερμοκρασία** του αέρα **υπερβεί** την θερμοκρασία κορεσμού ή **το σημείο δρόσου**, αυτός παύει να είναι κορεσμένος. Τότε ο αέρας **περιέχει ποσότητα** υδρατμών **μικρότερη** από αυτή του σημείου **κορεσμού**. Λέμε ότι ο αέρας παρουσιάζει τη **σχετική υγρασία**, που ορίζεται ως το πηλίκο :

$$\varphi = \frac{C}{C_s} \times 100 \%$$

της συγκέντρωσης των μορίων υδρατμού (C) προς τη συγκέντρωση των μορίων σε κατάσταση κορεσμού (C<sub>s</sub>) στον **ίδιο όγκο** αέρα και στην **ίδια θερμοκρασία**, εκφρασμένο επί τοις εκατό:

Στην περίπτωση που ( $\theta \leq \theta_s$ ) :

Η θερμοκρασία **πέσει κάτω** από τη **θερμοκρασία δρόσου** αυτό επιφέρει **μείωση της ικανότητας συγκράτησης** του αέρα και **άρα πλεόνασμα** μιας ποσότητας **υδρατμών**, που, επειδή δεν μπορούν να συγκρατηθούν, **υγροποιούνται** και εναποτίθενται υπό μορφή μικρών σταγόνων επάνω στις περιβάλλουσες επιφάνειες.

**Αυτό είναι το φαινόμενο της δρόσου.**

## 6.4. Η υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης (Δρόσος)

### Η εκδήλωση του φαινομένου

Όπως προαναφέρθηκε, για μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, όταν η περιεχόμενη ποσότητα υδρατμών φθάσει στη μέγιστη δυναμένη να συγκρατηθεί, τότε ο αέρας βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού ( $\phi=100\%$ ).

Αν η **απόλυτη υγρασία** του αέρα **αυξηθεί** ή η **θερμοκρασία** του αέρα **μειωθεί** περαιτέρω, ο αέρας θα περιέχει **πλεονάζοντες υδρατμούς**, που, επειδή δεν μπορούν απ' αυτόν να συγκρατηθούν, **υγροποιούνται** και επικάθονται στις περιβάλλουσες ψυχρές επιφάνειες υπό μορφή σταγονιδίων.

Το φαινόμενο εμφανίζεται κυρίως το χειμώνα, και σε χώρους με μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας ή συγκέντρωση υδρατμών.

Για παράδειγμα, με το θάμπωμα των υαλοπινάκων των εξωτερικών κουφωμάτων .

Ο υαλοπίνακας έχοντας μεγάλη θερμική αγωγιμότητα ψύχεται εύκολα με αποτέλεσμα την πτώση της θερμοκρασίας του να παρακολουθεί και ο αέρας του εσωτερικού χώρου που έρχεται σ' επαφή μ' αυτόν λόγω μετάδοσης της θερμότητας. Η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα πέφτει κάτω από τη θερμοκρασία δρόσου και η ποσότητα των περιεχόμενων υδρατμών, μη δυναμένη πλέον να συγκρατηθεί, συμπυκνώνεται και επικάθεται υπό μορφή σταγονιδίων επάνω στον υαλοπίνακα.

Με **δύο τρόπους** μπορεί επομένως να προκληθεί **επιφανειακή συμπύκνωση**:

Με **πτώση της θερμοκρασίας** του αέρα και άρα μείωση της ποσότητας υδρατμών που μπορεί να συγκρατηθεί.

Με **αύξηση της περιεχόμενης ποσότητας υδρατμών** στην ίδια θερμοκρασία αέρα.

Η υγρασία συμπύκνωσης εμφανίζεται :

είτε υπό μορφή σταγονιδίων επάνω στις αδιάβροχες επιφάνειες (μέταλλα, υαλοπίνακες, μάρμαρα, υαλωμένα πλακίδια),

είτε υπό μορφή εμποτισμού των υλικών, καθιστώντας συχνά πιο έντονο το χρώμα τους

(γύψινες επιφάνειες, επιχρίσματα, διακοσμητικές πλίνθοι κ.τ.λ.),

είτε γίνεται αισθητή λόγω ανάπτυξης μυκήτων στην υγρή περιοχή, ή λόγω προσκόλλησης της σκόνης της ατμόσφαιρας

στις υγρές επιφάνειες που δίνουν την εικόνα μικρών γκρίζων κηλίδων που εξαπλώνονται με την πάροδο του χρόνου.

### 6.4. Η υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης (Δρόσος)

Παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωση του φαινομένου κυρίως είναι:

#### Η ανεπαρκής θερμομονωτική προστασία των δομικών στοιχείων των κατασκευών.

Η εσωτερική του επιφάνεια παρουσιάζει τότε θερμοκρασία αρκετά χαμηλότερη από τη θερμοκρασία του χώρου.

Αν η επιφανειακή του θερμοκρασία υπολείπεται της θερμοκρασίας δρόσου για τα δεδομένα υγρασίας του χώρου, στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου θα σχηματισθεί συμπύκνωση.

#### Η θερμική αδράνεια των δομικών υλικών.

Κατά τη θέρμανση ενός ψυχρού χώρου τα δομικά υλικά των περιμετρικών δομικών στοιχείων δεν παρακολουθούν με τον ίδιο ρυθμό τη θέρμανση του αέρα του χώρου. Κυρίως τα βαριά υλικά παρουσιάζουν υψηλή θερμική αδράνεια και καθυστερούν να θερμανθούν. Αν σ' αυτό το διάστημα της χρονικής υστέρησης η επιφανειακή τους θερμοκρασία παραμείνει χαμηλότερη της θερμοκρασίας δρόσου, θα σχηματισθεί επιφανειακή συμπύκνωση.

**Η παραγόμενη υγρασία σ' ένα χώρο.** Σε χώρους με έντονη παραγωγή υδρατμών αυξάνεται η σχετική υγρασία και, αν ο αέρας του χώρου με την υψηλή συγκέντρωση υδρατμών έρθει σε επαφή με μια χαμηλής θερμοκρασίας επιφάνεια, θα φθάσει εύκολα τη θερμοκρασία κορεσμού και να εναποθέσει την περίσσεια υδρατμών που δεν θα μπορεί να συγκρατήσει.

**Η διακοπή της θέρμανσης του χώρου.** Παρατηρείται συνήθως σε υπνοδωμάτια κατά τη διάρκεια της νύκτας, όταν διακόπτεται η θέρμανση και αυξάνεται η ποσότητα των υδρατμών του αέρα λόγω της αναπνοής των ατόμων που βρίσκονται σ' αυτά. Και πάλι λόγω της πτώσης της θερμοκρασίας και της αύξησης των παραγόμενων υδρατμών μέσω της αναπνοής η σχετική υγρασία φθάνει σε κατάσταση κορεσμού και εναποθέτει την περίσσεια των υδρατμών υπό μορφή σταγονιδίων επάνω στις ψυχρότερες επιφάνειες.

Στις παλαιές κατασκευές δυνητικά ευνοείται περισσότερο η ανάπτυξη του φαινομένου της δρόσου, επειδή αυτές **στερούνται θερμικής** προστασίας, ή επειδή ενδεχομένως έχουν **μεγάλου πάχους τοίχους** από βαριά υλικά που παρουσιάζουν υψηλή θερμική αδράνεια.

Η **κακή αεροστεγανότητα περιορίζει** την εμφάνιση του φαινομένου καθώς ευνοείται η εκτόνωση των συγκεντρωμένων υδρατμών στο εξωτερικό περιβάλλον. Αντίθετα, σε ένα αεροστεγώς προστατευμένο κτήριο, που όμως παραμένει ανεπαρκώς θερμομονωμένο, το φαινόμενο μπορεί πολύ ευκολότερα να εμφανιστεί.

- π.χ. σε ένα παλαιό κτήριο, στο οποίο αντικαταστάθηκαν τα παλαιά κουφώματα με σύγχρονα αεροστεγή με διπλούς υαλοπίνακες, αλλά δεν πραγματοποιήθηκε καμία άλλη επέμβαση στα αδιαφανή δομικά στοιχεία (τοίχους, δάπεδο, οροφή) και παρέμειναν χωρίς θερμομόνωση, ο κίνδυνος συμπύκνωσης των υδρατμών του αέρα του εσωτερικού χώρου στις επιφάνειες των χαμηλής θερμοκρασίας δομικών στοιχείων προβάλλει ιδιαίτερα αυξημένος.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΡΟΣΟΣ - Κύρια χαρακτηριστικά.

### 6.4. Η υγρασία επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών (Δρόσος)

Τα κύρια χαρακτηριστικά της υγρασίας συμπύκνωσης, που βοηθούν στη διάκριση από άλλες μορφές υγρασίας, είναι :

#### Ο παροδικός της χαρακτήρας.

Εκδηλώνεται κατά την **ψυχρή** περίοδο και κυρίως κατά τη διάρκεια των χαμηλών εξωτερικών θερμοκρασιών. Αντιθέτως, από την άνοιξη αρχίζει το φαινόμενο να υποχωρεί και σύντομα, όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία, εξαφανίζεται. Αφήνει όμως συχνά το στίγμα της, που είναι οι μικρές μαύρες κηλίδες (από τους ρύπους) και οι μύκητες.

#### Ο περιορισμός της δράσης της στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων.

Η συμπύκνωση δεν προχωρεί σε βάθος στη μάζα των δομικών στοιχείων και επηρεάζει κατά κανόνα την επιφανειακή στρώση (επιχρίσματα, σπατουλαρίσματα, βαφές).

#### Η επιλογή των ψυχρών επιφανειών.

Σε ένα δομικό στοιχείο κατασκευασμένο από διαφορετικά δομικά υλικά **εκδηλώνεται πρώτα** σ' αυτά που παρουσιάζουν μεγάλη μάζα (δηλαδή σ' αυτά που είναι **βαρύτερα**) και άρα παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική αδράνεια.

Σε. σε έναν τοίχο κατασκευασμένο από πλίνθους και πέτρες η συμπύκνωση θα εκδηλωθεί πρωτίστως στις θέσεις που βρίσκονται οι πέτρες.

Σε μια πλάκα με διαδοκιδώσεις (πλάκα Zollner) θα εμφανιστεί στη θέση των δοκίδων, περιγράφοντας με έναν ελαφρό εμποτισμό και επισκότιση του χρώματος τη θέση τους στην πλάκα, πίσω από το οροφокονίαμα.

Πιο εύκολα εκδηλώνεται σε μια εξωτερική δίεδρη ή τρίεδρη γωνία, διότι εκεί παρουσιάζονται μεγαλύτερες θερμικές απώλειες.

Ωστόσο, θα πρέπει κανείς με **μεγάλη προσοχή** να **αποφαιίνεται** για την εκδήλωση του φαινομένου, αφενός διότι ορισμένα χαρακτηριστικά της υγρασίας συμπύκνωσης μπορεί να αποτελούν ίδιο και άλλων μορφών υγρασίας και αφετέρου διότι μπορεί να υπάρχει **συνδυασμός αιτίων** και τα χαρακτηριστικά της άλλης μορφής υγρασίας να είναι ισχυρότερα και να επισκιάζουν αυτά της υγρασίας συμπύκνωσης (π.χ. υγρασία εδάφους και υγρασία συμπύκνωσης με επικρατέστερα τα χαρακτηριστικά της υγρασίας εδάφους).

Έτσι, η **εσφαλμένη διάγνωση** μπορεί να οδηγήσει και σε εσφαλμένα μέτρα αντιμετώπισης, που στην καλύτερη περίπτωση μπορεί να αποδειχθούν αναποτελεσματικά, ενώ στη χειρότερη μπορεί να λειτουργήσουν επιβαρυντικά για την κατασκευή. Τέτοια λανθασμένα μέτρα μπορεί να είναι, για παράδειγμα, η **στεγανοποίηση** του δομικού στοιχείου, η επάλειψη της επιφάνειάς του με μια **αδιαπέρατη** από τους υδρατμούς **βαφή** κ.ά.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΡΟΣΟΣ - Κύρια χαρακτηριστικά.

### 6.5. Η αντιμετώπιση

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προϋπόθεση αποτελεί η διάγνωση του αιτίου που προκαλεί την εκδήλωση του φαινομένου και η εξάλειψή του.

Κατά κανόνα τα μέτρα οφείλουν να αποσκοπούν προς μία από τις εξής δύο κατευθύνσεις ή συνδυασμό τους, ανάλογα με την περίπτωση:

**Άνοδο της θερμοκρασίας** της ψυχρής επιφάνειας, επί της οποίας εκδηλώνεται το φαινόμενο.

Ως πλέον πρόσφορη λύση αποδεικνύεται η **καλή θερμομονωτική** προστασία, καθώς περιορίζει τις θερμικές απώλειες και άρα βοηθάει τα δομικά στοιχεία να αναπτύξουν υψηλότερες θερμοκρασίες.

Εναλλακτικά, η **αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα**, καθώς αυξάνεται τότε και ικανότητά του να συγκρατεί υδρατμούς και άρα μειώνεται η σχετική του υγρασία.

**Μείωση της ποσότητας των υδρατμών** του αέρα του χώρου.

Ως πλέον πρόσφορο μέτρο αποδεικνύεται ο **καλός αερισμός** του χώρου.

Η **εκτόνωση** των παραγόμενων υδρατμών στο **εξωτερικό** περιβάλλον **και όχι** ο εμπλουτισμός του αέρα (που υπάρχει εντός του χώρου) με νωπό με αυτούς αποτελεί την ιδανική λύση.

Δηλαδή, οι παραγόμενοι υδρατμοί σε ένα χώρο θα πρέπει κατά τη χρήση του χώρου (π.χ. κατά τη διάρκεια του μαγειρέματος) ή μετά τη χρήση του (π.χ. μετά το μπάνια) να οδηγούνται προς τα έξω και όχι στους υπόλοιπους χώρους του διαμερίσματος.

Και στις δύο περιπτώσεις επιδιώκεται η **μείωση της σχετικής υγρασίας του αέρα** που έρχεται σε επαφή με τις επιφάνειες, δηλαδή η ταπείνωση της θερμοκρασίας κορεσμού (θερμοκρασίας δρόσου).

Έτσι, για παράδειγμα, ακόμη και στην περίπτωση ενός **απλού αερισμού** απαιτείται προσοχή, διότι ο **νέος «καθαρός» αέρας** που θα αντικαταστήσει τον κορεσμένο με υδρατμούς του εσωτερικού χώρου **δεν πρέπει** να παρουσιάζει υψηλότερη **θερμοκρασία** από αυτόν του εσωτερικού περιβάλλοντος, καθώς τότε υπάρχει ο κίνδυνος ο νέος θερμός αέρας, ερχόμενος σε επαφή με τις ψυχρές επιφάνειες του εσωτερικού χώρου, να χάσει μέρος της θερμότητάς του και αντί να μειώσει, να αυξήσει τη σχετική του υγρασία και να επιδεινώσει την κατάσταση.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΡΟΣΟΣ - Κύρια χαρακτηριστικά.

### Χώροι που μπορεί να παρατηρηθεί το φαινόμενο επιφ. συμπύκνωσης υδρατμών

Σε **υπόγειους μη θερμαινόμενους χώρους**, που λόγω θερμικής αδράνειας των υλικών κατασκευής των δομικών τους στοιχείων διατηρούν χαμηλή τη θερμοκρασία τους ακόμη και κατά την έναρξη της θερινής περιόδου, με αποτέλεσμα ο θερμός αέρας που εισέρχεται σ' αυτούς να ψύχεται και να ανεβάζει τη σχετική υγρασία του, φθάνοντας ενίοτε σε κατάσταση κορεσμού.

Σε **υπόσκαφα κτήρια**, στα οποία ρυθμιστικός παράγοντας της θερμοκρασίας του εσωτερικού χώρου και του αισθήματος δροσιάς σ' αυτά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αποτελεί το έδαφος που τα περιβάλλει.

Σε **οποιοδήποτε χώρο**, στις θερμότερες ημέρες του καλοκαιριού, όταν ο θερμός αέρας που εισέρχεται στους δροσερούς χώρους χάνει μέρος της θερμότητάς του, μειώνεται η θερμοκρασία του και ανεβαίνει η σχετική υγρασία του, ενδεχομένως μέχρι κατάσταση κορεσμού.

Στις παλαιές κατασκευές δυνητικά ευνοείται περισσότερο η ανάπτυξη του φαινομένου της δρόσου, επειδή αυτές **στερούνται θερμ/τικής** προστασίας, ή επειδή ενδεχομένως έχουν **μεγάλου πάχους τοίχους** από βαριά υλικά που παρουσιάζουν υψηλή θερμική αδράνεια.

Η **κακή αεροστεγανότητα περιορίζει** την εμφάνιση του φαινομένου καθώς ευνοείται η εκτόνωση των συγκεντρωμένων υδρατμών στο εξωτερικό περιβάλλον. Αντίθετα, σε ένα αεροστεγώς προστατευμένο κτήριο, που όμως παραμένει **ανεπαρκώς** θερμομονωμένο, το φαινόμενο μπορεί πολύ ευκολότερα να εμφανιστεί.

Π.χ. σε ένα παλαιό κτήριο, στο οποίο αντικαταστάθηκαν τα παλαιά κουφώματα με σύγχρονα αεροστεγή με διπλούς υαλοπίνακες, **αλλά** δεν πραγματοποιήθηκε καμία άλλη επέμβαση στα αδιαφανή δομικά στοιχεία (τοίχους, δάπεδο, οροφή) και **παρέμειναν χωρίς θερμομόνωση**, ο κίνδυνος συμπύκνωσης των υδρατμών του αέρα του εσωτερικού χώρου στις επιφάνειες των χαμηλής θερμοκρασίας δομικών στοιχείων προβάλλει ιδιαίτερα αυξημένος.

## 6.6 Έλεγχος για τον σχηματισμό επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών / 1

Ο αέρας που έρχεται σε επαφή με μια ψυχρή επιφάνεια χάνει μέρος της θερμότητάς του και ψύχεται.

$$\varphi = \frac{C}{C_s} \times 100 \%$$

Με την **πτώση** της θερμοκρασίας του **μειώνεται** και η δυνατότητά του να συγκρατεί υδρατμούς ( $C_s$ ), και καθώς η απόλυτη τιμή της υγρασίας του ( $C$ ) δεν διαφοροποιείται, **αυξάνεται** η τιμή της σχετικής του υγρασίας ( $\varphi$ ) μέχρι κορεσμού.

Αν ο αέρας ψυχθεί τόσο, ώστε η θερμοκρασία του να πέσει κάτω από το σημείο δρόσου, τότε δημιουργείται επιφανειακή συμπύκνωση.

Επομένως, για να μην προκληθεί συμπύκνωση, θα πρέπει η επιφανειακή θερμοκρασία ( $\theta_{ei}$ ) να παραμείνει μεγαλύτερη της θερμοκρασίας δρόσου ( $\theta_s$ ).

Δηλαδή:

|                                 |                               |
|---------------------------------|-------------------------------|
| $(\theta_{ei}) > (\theta_s)$    | δεν δημιουργείται συμπύκνωση, |
| $(\theta_{ei}) \leq (\theta_s)$ | δημιουργείται συμπύκνωση.     |

Η **θερμοκρασία δρόσου** ( $\theta_s$ ) μπορεί

είτε να **υπολογισθεί** βάσει μαθηματικών σχέσεων, όταν είναι **γνωστή η θερμοκρασία** και η **σχετική υγρασία του αέρα** (ή η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου) **και** εξ αυτών η ασκούμενη **πίεση των υδρατμών** σε κατάσταση κορεσμού **και η ατμοσφαιρική πίεση**,

είτε να ληφθεί απευθείας από **πίνακα** .

Η **επιφανειακή θερμοκρασία** ( $\theta_{ie}$ ) του δομικού στοιχείου μπορεί να βρεθεί

είτε με απευθείας μέτρηση

είτε με υπολογισμό, λαμβάνοντας υπόψη την αντίσταση που προβάλλουν στη ροή θερμότητας οι στρώσεις του δομικού στοιχείου.  $\theta_{ie} = \theta_i - R_i \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_a)$

## 6.6 Έλεγχος για τον σχηματισμό επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών /1

Κατά την υπολογιστική διαδικασία γίνονται αποδεκτά κατά απλοποιητική παραδοχή ότι:

- τα υλικά είναι ομογενή και ισότροπα και βρίσκονται μεταξύ τους σε τέλεια θερμική επαφή,
- η θερμική ροή είναι μονοδιάστατη και η μετάδοση της θερμότητας γίνεται κατά διεύθυνση κάθετη προς την επιφάνεια,
- το δομικό στοιχείο εξετάζεται σε στάσιμη θερμοκρασιακή κατάσταση.
- η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ παραμένει σταθερή.
- η θερμική ροή δεν επηρεάζεται από στιγμιαίες επιδράσεις του περιβάλλοντος (άνεμο, βροχή, ηλιασμό κ.τ.λ.).

Τότε η ροή θερμότητας μέσω ενός δομικού στοιχείου μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$Q = A * U * \Delta\theta * t$$

|                           |  |
|---------------------------|--|
| Q [W]                     | θερμικές απώλειες από το δομικό στοιχείο σε χρόνο t,                             |
| A [m <sup>2</sup> ]       | η επιφάνεια ροής της θερμότητας,   |
| U [W/(m <sup>2</sup> *K)] | ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου,                            |
| Δθ [K]                    | η διαφορά θερμοκρασίας του χώρου εκατέρωθεν των δύο όψεων του δομικού στοιχείου, |
| t [s] ή [h]               | ο χρόνος υπολογισμού της ροής θερμότητας.  |

Η παραπάνω σχέση εκφρασμένη ανά μονάδα επιφανείας και ανά μονάδα χρόνου λαμβάνει τη μορφή:

$$q = Q/(A*t) = U*\Delta\theta \quad [W/m^2]$$

Ή αν η σχέση εκφραστεί ως προς τη διαφορά θερμοκρασίας, γράφεται:

$$\theta_i - \theta_a = \frac{1}{U} * q$$

Η επιφανειακή θερμοκρασία των δομικών στοιχείων, κάτω από την τιμή της οποίας σχηματίζεται συμπύκνωση των υδρατμών (δρόσος) στις περιβάλλουσες επιφάνειες ενός χώρου για δεδομένη τιμή θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας

| Θερμ. αέρα | Σχετική υγρασία του αέρα |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|            | °C                       | 30%  | 35%  | 40%  | 45%  | 50%  | 55%  | 60%  | 65%  | 70%  | 75%  | 80%  | 85%  | 90%  | 95%  | 100% |
| 10         | -6.0                     | -4.2 | -2.6 | -1.2 | 0.1  | 1.4  | 2.6  | 3.7  | 4.8  | 5.8  | 6.7  | 7.6  | 8.4  | 9.2  | 10.0 |      |
| 11         | -5.2                     | -3.4 | -1.8 | -0.4 | 1.0  | 2.3  | 3.5  | 4.7  | 5.8  | 6.7  | 7.7  | 8.6  | 9.4  | 10.2 | 11.0 |      |
| 12         | -4.5                     | -2.6 | -1.0 | 0.4  | 1.9  | 3.2  | 4.5  | 5.7  | 6.7  | 7.7  | 8.7  | 9.6  | 10.4 | 11.2 | 12.0 |      |
| 13         | -3.7                     | -1.9 | -0.1 | 1.3  | 2.8  | 4.2  | 5.5  | 6.6  | 7.7  | 8.7  | 9.6  | 10.5 | 11.4 | 12.2 | 13.0 |      |
| 14         | -2.9                     | -1.0 | 0.6  | 2.3  | 3.7  | 5.1  | 6.4  | 7.5  | 8.6  | 9.6  | 10.6 | 11.5 | 12.4 | 13.2 | 14.0 |      |
| 15         | -2.2                     | -0.3 | 1.5  | 3.2  | 4.7  | 6.1  | 7.3  | 8.5  | 9.6  | 10.6 | 11.6 | 12.5 | 13.4 | 14.2 | 15.0 |      |
| 16         | -1.4                     | 0.5  | 2.4  | 4.1  | 5.6  | 7.0  | 8.2  | 9.4  | 10.5 | 11.6 | 12.6 | 13.5 | 14.4 | 15.2 | 16.0 |      |
| 17         | -0.6                     | 1.4  | 3.3  | 5.0  | 6.5  | 7.9  | 9.2  | 10.4 | 11.5 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.3 | 16.2 | 17.0 |      |
| 18         | 0.2                      | 2.3  | 4.2  | 5.9  | 7.4  | 8.8  | 10.1 | 11.3 | 12.5 | 13.5 | 14.5 | 15.4 | 16.3 | 17.2 | 18.0 |      |
| 19         | 1.0                      | 3.2  | 5.1  | 6.8  | 8.3  | 9.8  | 11.1 | 12.3 | 13.4 | 14.5 | 15.5 | 16.4 | 17.3 | 18.2 | 19.0 |      |
| 20         | 1.9                      | 4.1  | 6.0  | 7.7  | 9.3  | 10.7 | 12.0 | 13.2 | 14.4 | 15.4 | 16.4 | 17.4 | 18.3 | 19.2 | 20.0 |      |
| 21         | 2.8                      | 5.0  | 6.9  | 8.6  | 10.2 | 11.6 | 12.9 | 14.2 | 15.3 | 16.4 | 17.4 | 18.4 | 19.3 | 20.2 | 21.0 |      |
| 22         | 3.6                      | 5.9  | 7.8  | 9.5  | 11.1 | 12.5 | 13.9 | 15.1 | 16.3 | 17.4 | 18.4 | 19.4 | 20.3 | 21.2 | 22.0 |      |
| 23         | 4.5                      | 6.7  | 8.7  | 10.4 | 12.0 | 13.5 | 14.8 | 16.1 | 17.2 | 18.3 | 19.4 | 20.3 | 21.3 | 22.2 | 23.0 |      |
| 24         | 5.4                      | 7.6  | 9.6  | 11.3 | 12.9 | 14.4 | 15.8 | 17.0 | 18.2 | 19.3 | 20.3 | 21.3 | 22.3 | 23.1 | 24.0 |      |
| 25         | 6.2                      | 8.5  | 10.5 | 12.2 | 13.9 | 15.3 | 16.7 | 18.0 | 19.1 | 20.3 | 21.3 | 22.3 | 23.2 | 24.1 | 25.0 |      |
| 26         | 7.1                      | 9.4  | 11.4 | 13.2 | 14.8 | 16.3 | 17.6 | 18.9 | 20.1 | 21.2 | 22.3 | 23.3 | 24.2 | 25.1 | 26.0 |      |
| 27         | 8.0                      | 10.2 | 12.2 | 14.1 | 15.7 | 17.2 | 18.6 | 19.9 | 21.1 | 22.2 | 23.2 | 24.3 | 25.2 | 26.1 | 27.0 |      |
| 28         | 8.8                      | 11.1 | 13.1 | 15.0 | 16.6 | 18.1 | 19.5 | 20.8 | 22.0 | 23.2 | 24.2 | 25.2 | 26.2 | 27.1 | 28.0 |      |
| 29         | 9.7                      | 12.0 | 14.0 | 15.9 | 17.5 | 19.0 | 20.4 | 21.7 | 23.0 | 24.1 | 25.2 | 26.2 | 27.2 | 28.1 | 29.0 |      |
| 30         | 10.5                     | 12.9 | 14.9 | 16.8 | 18.4 | 20.0 | 21.4 | 22.7 | 23.9 | 25.1 | 26.2 | 27.2 | 28.2 | 29.1 | 30.0 |      |

## 6.6 Έλεγχος για τον σχηματισμό επιφανειακής συμπύκνωσης υδρατμών / 2

Θεωρούμενης της θερμικής ροής

κατά παραδοχή σταθερής, η εξίσωση είναι γραμμική

$$8.6. \quad \theta_i - \theta_a = \frac{1}{U} * q$$

και στη γεωμετρική της έκφραση παριστάνει ευθεία κλίσης q σε καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων με άξονα τετμημένων (X) τις θερμικές αντιστάσεις των στρώσεων του δομικού στοιχείου και άξονα τεταγμένων (ψ) τις θερμοκρασίες

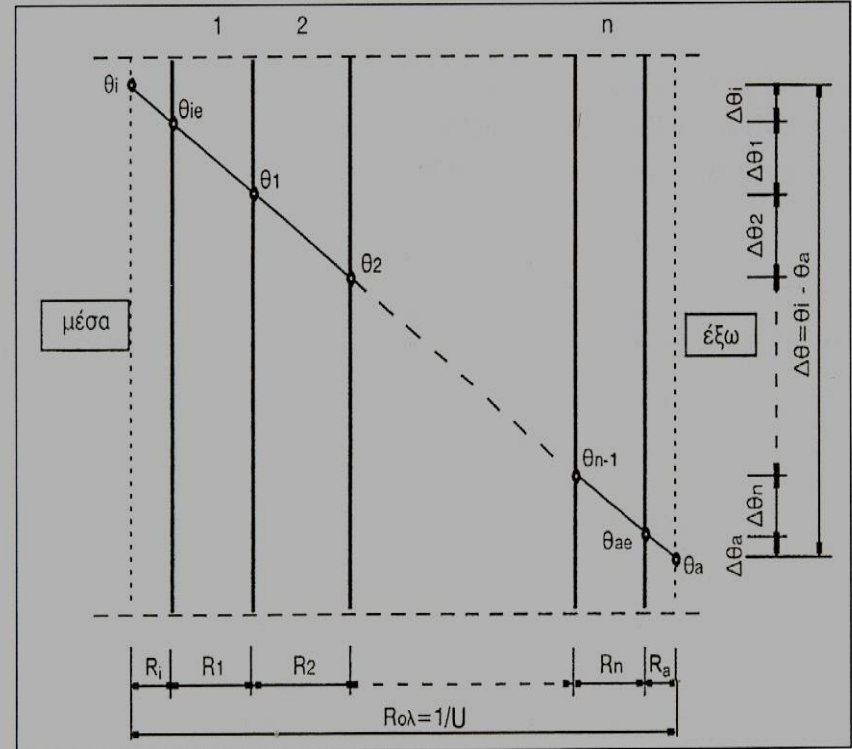
Τότε, αν  $\theta_{ie}$  είναι η εσωτερική επιφανειακή θερμοκρασία, κατ' αναλογία προκύπτει:

$$8.7. \quad \theta_i - \theta_{ie} = R_i * q$$

Διαιρώντας κατά μέλη τις εξισώσεις (8.6.) και (8.7.) και επιλύοντας ως προς  $\theta_{ie}$  προκύπτει:

$$\theta_{ie} = \theta_i - R_i * U * (\theta_i - \theta_a)$$

|               |            |   |
|---------------|------------|---|
| $\theta_i$    | [°C]       | η θερμοκρασία του αέρα του εσωτερικού χώρου           |
| $\theta_a$    | [°C]       | η θερμοκρασία του αέρα του εξωτερικού χώρου           |
| $\theta_{ie}$ | [°C]       | η επιφανειακή θερμοκρασία του δομικού στοιχείου       |
| $R_i$         | [W/(m² K)] | η αντίσταση θερμικής μετάβασης εσωτερικά              |
| $U$           | [W/(m² K)] | ο συντελεστής θερμοπερατότητας του δομικού στοιχείου. |



Η κατανομή των θερμοκρασιών στις διαδοχικές στρώσεις ενός δομικού στοιχείου, όταν στον άξονα των τετμημένων καταγράφονται οι θερμικές τους αντιστάσεις

Από τη σύγκριση των δύο μεγεθών,  $\theta_{ie}$  και  $\theta_s$ , ελέγχεται το ενδεχόμενο σχηματισμού επιφανειακής συμπύκνωσης στην επιφάνεια του δομικού στοιχείου.

Με αυτή την υπολογιστική διαδικασία μπορεί να ελεγχθεί το ενδεχόμενο συμπύκνωσης στην επιφάνεια ενός δομικού στοιχείου και να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα, κυρίως θερμομονωτικής προστασίας, προκειμένου να αποτραπεί η εκδήλωση του φαινομένου.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

### 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

#### 6.7.1 Περιγραφή του φαινομένου διάχυσης των υδρατμών

Όταν δύο χώροι, με διαφορετική συγκέντρωση υδρατμών ο καθένας, διαχωρίζονται μεταξύ τους με ένα υδρατμοδιαπερατό δομικό στοιχείο, τότε οι υδρατμοί από το χώρο με τη μεγαλύτερη συγκέντρωση τείνουν να μετακινηθούν μέσω των πόρων των υλικών του υδρατμοδιαπερατού δομικού στοιχείου προς το χώρο με τη μικρότερη συγκέντρωση υδρατμών, προκειμένου οι συγκεντρώσεις στους δύο χώρους να εξισωθούν.

Η μετακίνηση αυτή, η **διάχυση των υδρατμών**, οφείλεται στη διαφορετική πίεση που ασκούν οι υδρατμοί στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου.

Γι' αυτό και όταν εξισωθούν οι συγκεντρώσεις των υδρατμών στους δύο χώρους, επέρχεται και εξίσωση των πιέσεων και η εκδήλωση του φαινομένου σταματά.

Ταυτόχρονα, προς την αντίθετη κατεύθυνση διαχέονται μόρια του αέρα, ούτως ώστε η συνολική πίεση που ασκείται στις δύο όψεις του δομικού στοιχείου να παραμένει σταθερή.

Αν μεταξύ των δύο όψεων του δομικού στοιχείου επικρατεί διαφορετική θερμοκρασία, τότε στις διαδοχικές του στρώσεις η θερμοκρασία βαίνει μειούμενη από τη θερμή προς την ψυχρή όψη, και αυτή η πτώση της θερμοκρασίας επηρεάζει και τη δύναμνη να συγκρατηθεί ποσότητα των υδρατμών στον αέρα των πόρων των υλικών.

Έτσι, οι διαχεόμενοι υδρατμοί, αν συναντήσουν στην πορεία τους κάποια στρώση, στην οποία ο αέρας των πόρων έχει τόσο χαμηλή θερμοκρασία που να αδυνατεί να συγκρατήσει το σύνολο των διαχεόμενων υδρατμών, ένα μέρος τους θα συμπυκνωθεί και θα εκτοηίσει τον ευρισκόμενο στους πόρους αέρα, καταλαμβάνοντας τη θέση τους.

Προφανώς, το εμποτισμένο με υγρασία δομικό στοιχείο χάνει μέρος της θερμομονωτικής του ικανότητας, (δεδομένου ότι η θερμική αγωγιμότητα του νερού είναι περίπου 24 φορές μεγαλύτερη αυτής του αέρα ... )

Επιπροσθέτως όμως αποσαθρώνει σταδιακά το υλικό, ιδίως όταν το εμπεριεχόμενο νερό μετατραπεί σε πάγο (σε θερμοκρασία χαμηλότερη του 0 °C), καθώς με την αύξηση του όγκου του κατά το 1/10 διαρρηγνύεται ο συνδετικός ιστός του υλικού.

Η υγρασία συμπύκνωσης δεν γίνεται εύκολα αντιληπτή, διότι βρίσκεται στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου και δεν φθάνει στις εξωτερικές του επιφάνειες.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

### 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

#### 6.7.1 Περιγραφή του φαινομένου διάχυσης των υδρατμών

Είναι **παροδικό** φαινόμενο και παύει να εμφανίζεται όταν εκλείψουν οι λόγοι που το προκάλεσαν.

Όταν η **θερμοκρασία ανέλθει** σε υψηλότερα επίπεδα, τότε η δημιουργηθείσα υγρασία **μετατρέπεται** εκ νέου **σε υδρατμούς** που και απομακρύνονται και πάλι μέσω της διάχυσης **και** προς τις **δύο όψεις** του δομικού στοιχείου, επειδή η **συγκέντρωση** υδρατμών στο **εσωτερικό** του δομικού στοιχείου είναι **υψηλότερη** από τη συγκέντρωση στο εκατέρωθεν **εξωτερικό** περιβάλλον και οι συγκεντρώσεις τείνουν και πάλι να εξισωθούν.

#### 6.7.2 Έλεγχος και υπολογισμός του φαινομένου

Το **ενδεχόμενο συμπύκνωσης** των **υδρατμών** στο εσωτερικό ενός δομικού στοιχείου **πρέπει** και είναι δυνατόν **να ελεγχθεί** με κατάλληλες υπολογιστικές μεθόδους.

Επίσης είναι δυνατόν να **υπολογιστεί** και η **συμπυκνούμενη** και η **δυνάμενη** κατόπιν να εξατμισθεί **ποσότητα υδρατμών**, αν είναι γνωστές οι εσωτερικές και εξωτερικές **τιμές θερμοκρασίας** και **σχετικής υγρασίας** του αέρα, καθώς και τα **θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των υλικών** των διαδοχικών στρώσεων του δομικού στοιχείου.

Κατά την υπολογιστική διαδικασία :

αρχικά **αναζητούνται** οι τιμές της **θερμοκρασίας** στη **διεπιφάνεια** των **διαδοχικών** στρώσεων του δομικού στοιχείου ή σε άλλες **ενδιάμεσες θέσεις**

κατόπιν υπολογίζεται η πορεία των καμπυλών των **μερικών πιέσεων** και των **πιέσεων κορεσμού** σε όλο το πάχος του δομικού στοιχείου. (κατασκευάζεται το διάγραμμα πιέσεων του δομικού στοιχείου ).

Για να αποφευχθεί η συμπύκνωση, θα πρέπει οι δύο καμπύλες στην πορεία τους  $s'$  όλο το πάχος του δομικού στοιχείου να παραμείνουν **ασύμπτωτες** (σχήμα 8.2.).

## 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

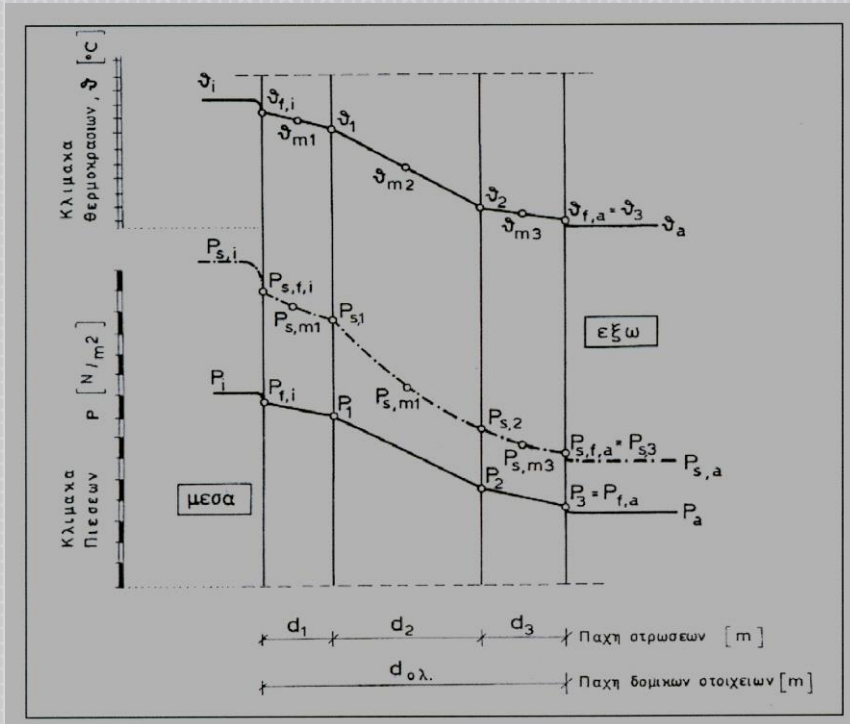
### 6.7.2 Έλεγχος και υπολογισμός του φαινομένου

Στην περιοχή στην οποία οι δύο καμπύλες συναντώνται, σχηματίζεται συμπύκνωση που εκτείνεται :

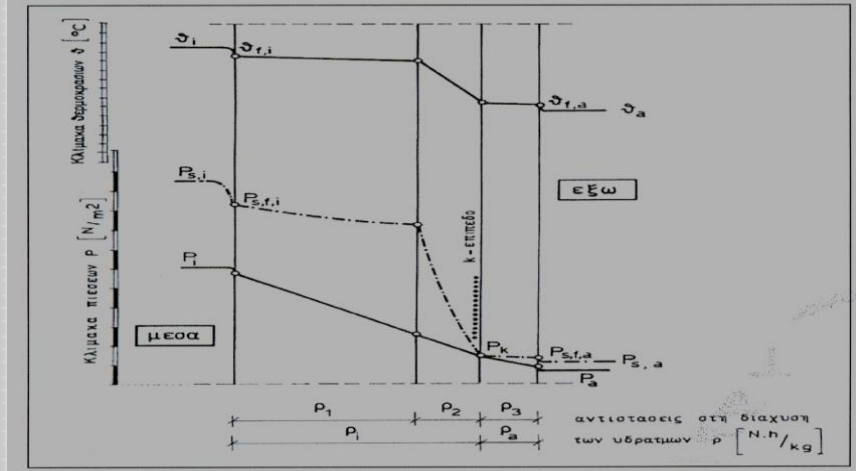
είτε σε ένα **περιορισμένο επίπεδο**

όταν η θέση εκείνη αποτελεί διεπιφάνεια δύο διαδοχικών στρώσεων και **παρουσιάζει απότομη πτώση της θερμοκρασίας**

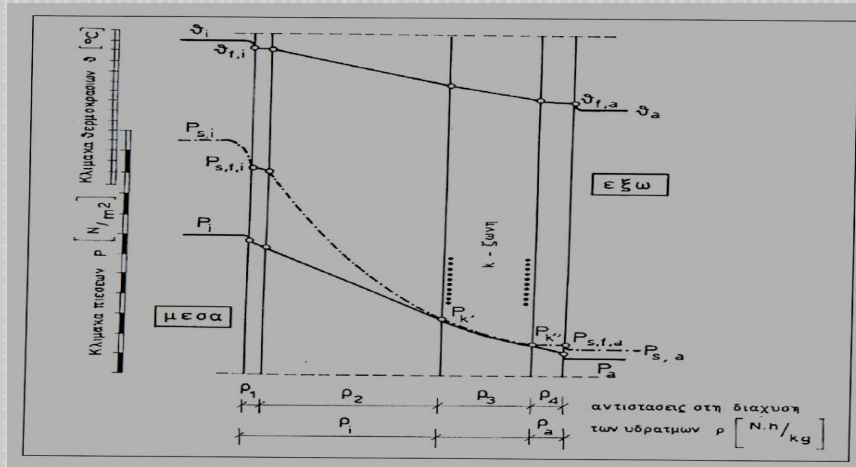
- είτε σε μια ευρύτερη **ζώνη**.



Σχήμα 8.2. Κατανομή των μερικών πιέσεων και των πιέσεων κορεσμού στις διαδοχικές στρώσεις ενός δομικού στοιχείου βάσει της κατανομής των θερμοκρασιών



Σχήμα 8.5. Σχηματισμός επιπέδου συμπύκνωσης σε πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, όταν οι καμπύλες μερικών πιέσεων και πιέσεων κορεσμού συναντιώνται.



Σχήμα 8.4. Σχηματισμός ζώνης συμπύκνωσης σε πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, όταν οι καμπύλες μερικών πιέσεων και πιέσεων κορεσμού συναντιώνται.

# 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

## 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

### 6.7.2 Έλεγχος και υπολογισμός του φαινομένου

Η μεθοδολογία υπολογισμών βασίζεται στην τεχνική που εφάρμοσε ο H. Glaser, στηριζόμενος στους νόμους του A. Fick και στις σχέσεις του J. S. Cammerer και αργότερα συμπλήρωσαν ή τροποποίησαν άλλοι ερευνητές, δίνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια ... στους υπολογισμούς.

Βασικές παραδοχές της μεθόδου – ροής των υδρατμών, (αντίστοιχες προς του φαινομένου της ροής θερμότητας) :

Η ροή των υδρατμών -είναι **μονοδιάστατη** και **κάθετη** προς την επιφάνεια του δομικού στοιχείου,

παραμένει **ανεπηρέαστη** από εξωγενείς παράγοντες και

**δεν επηρεάζει** τα **θερμοφυσικά χαρακτηριστικά** των δομικών υλικών.

Έτσι, η **πυκνότητα ροής** των διαχεόμενων υδρατμών μέσω των διαδοχικών στρώσεων ενός δομικού στοιχείου η στρώσεων υπολογίζεται αριθμητικά από τη σχέση:

$$g = \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{R_D \cdot T_j \cdot \mu_j \cdot d_j} \cdot (P_i - P_a)$$

Όπου :

|                |                            |  |
|----------------|----------------------------|--|
| g              | [kg/(m <sup>2</sup> ·h)]   | η πυκνότητα ροής των διαχεόμενων υδρατμών,                                   |
| D              | [m <sup>2</sup> /h]        | ο συντελεστής διάχυσης,  |
| R <sub>D</sub> | [(N·m)/(kg·K)]             | η σταθερά των τελείων αερίων για υδρατμούς ,(R <sub>D</sub> = 462 N·m/(kg·K) |
| T              | [K]                        | η θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν (Kelvin),                                    |
| μ              | [-]                        | ο συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών,                           |
| d              | [m]                        | το πάχος της κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου,                             |
| P <sub>i</sub> | [N/m <sup>2</sup> ] ή [Pa] | η μερική πίεση των υδρατμών του εσωτερικού χώρου,                            |
| P <sub>a</sub> | [N/m <sup>2</sup> ] ή [Pa] | η μερική πίεση των υδρατμών του εξωτερικού περιβάλλοντος.                    |

Ή με ισοδύναμες πράξεις και αντικαταστάσεις «γνωστών» ποσοτήτων :

$$g = (P_i - P_a) * \sum_{j=1}^n \frac{D_j}{R_D * T_j * \mu_j * d_j} \Leftrightarrow$$

$$g = (P_i - P_a) * \frac{1}{\sum_{j=1}^n \rho_j} \Leftrightarrow$$

$$g = \frac{(P_i - P_a)}{\sum_{j=1}^n \rho_j}$$

Ο **συντελεστής διάχυσης D<sub>j</sub>** εξαρτάται από την **θερμοκρασία** και της **πίεσης της ατμόσφαιρας**. Όμως για πρακτικούς λόγους λαμβάνεται **D<sub>j</sub>=0,086 m<sup>2</sup>/h**. (που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία των 10° C) Τότε :

$$\frac{R_D \cdot T_j}{D_j} = \frac{462 \frac{\text{N} \cdot \text{m}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (273 + 10) \text{K}}{0,086 \frac{\text{m}^2}{\text{h}}} = 152 \cdot 10^6 \frac{\text{Pa} \cdot \text{m} \cdot \text{h}}{\text{kg}}$$

$$\rho_j = \frac{R_D * T_j * \mu_j * d_j}{D_j}$$

**ρ<sub>j</sub> : Ειδικός συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών**

Αν η **ροή** των διαχεόμενων **υδρατμών** βάσει της παραπλεύρου σχέσης θεωρηθεί **σταθερή**, και οριστεί ως **Ειδικός συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών**, η χαρακτηριστική ποσότητα **ρ** που **εξαρτάται** από τα **θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των στρώσεων** του δομικού στοιχείου και είναι **ανάλογη** της ασκούμενης πίεσης από τους υδρατμούς (**διαφορά πίεσης**) μεταξύ των δύο όψεων ενός δομικού στοιχείου

# 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

## 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

### 6.7.2 Έλεγχος και υπολογισμός του φαινομένου

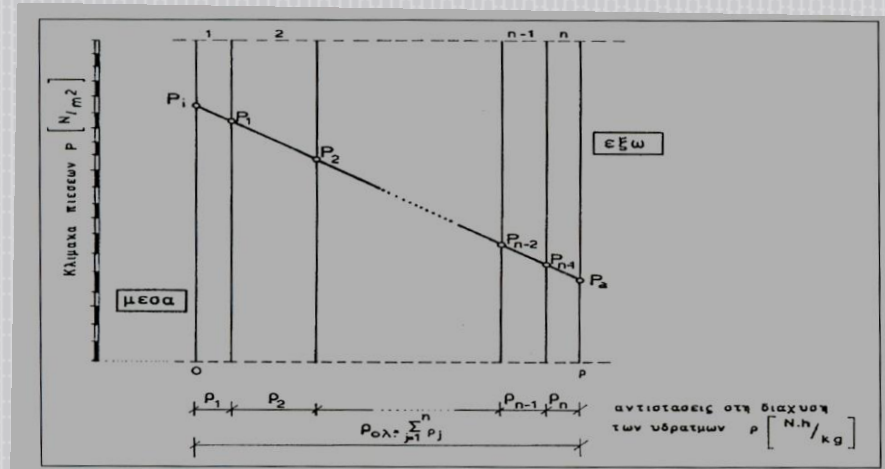
Η γραμμική σχέση που περιγράφει η εξίσωση :

$$g = \frac{(P_i - P_o)}{\sum_{j=1}^n \rho_j} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Δείχνει ότι η πίεση (διαφορά πιέσεων) που ασκούν οι διαχεόμενοι υδρατμοί στη διεπιφάνεια δύο διαδοχικών στρώσεων ενός δομικού στοιχείου, είναι ανάλογη της **ειδικής αντίστασης** της στρώσης του υλικού.

Η γραφική παράσταση της σχέσης σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων όπου

- στον άξονα των **τετμημένων** ορισθούν οι **ειδικές αντιστάσεις** των διαδοχικών στρώσεων και
- στον άξονα των **τεταγμένων** η **μερική πίεση** των υδρατμών



Επομένως, για να εξετασθεί αν δημιουργείται συμπύκνωση λόγω διάχυσης των υδρατμών, αρκεί να ελεγχθεί αν η ευθεία των **μερικών πιέσεων (P)** συναντά την καμπύλη των **πιέσεων κορεσμού (P\_s)**,

οι **τιμές** της καμπύλης πιέσεων κορεσμού (P\_s) οποίας προσδιορίζονται από τον **πίνακα** συναρτήσε της **θερμοκρασίας** ή μπορούν να υπολογισθούν σύμφωνα με το ευρωπαϊκό πρότυπο ISO 13788 βάσει των σχέσεων:

$$P_s = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \quad [\text{Pa}] \quad \text{για } \theta \geq 0^\circ\text{C}$$

$$P_s = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \quad [\text{Pa}] \quad \text{για } \theta < 0^\circ\text{C}$$

Προφανώς, σε περίπτωση κατά την οποία σχηματίζεται **συμπύκνωση** στο **εσωτερικό** του δομικού στοιχείου η πυκνότητα ροής των υδρατμών δεν θα είναι σταθερή σε όλο το πάχος του δομικού στοιχείου και η **καμπύλη των μερικών πιέσεων** στη θέση της συμπύκνωσης θα παρακολουθεί (θα ταυτίζεται με) την **καμπύλη των πιέσεων κορεσμού**.

| Θερμοκρασία αέρα<br>°C | Πίεση κορεσμού<br>Pa | Θερμοκρασία αέρα<br>°C | Πίεση κορεσμού<br>Pa | Θερμοκρασία αέρα<br>°C | Πίεση κορεσμού<br>Pa |
|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
| -20                    | 103                  | 0                      | 611                  | 20                     | 2337                 |
| -19                    | 113                  | 1                      | 656                  | 21                     | 2486                 |
| -18                    | 124                  | 2                      | 705                  | 22                     | 2642                 |
| -17                    | 137                  | 3                      | 757                  | 23                     | 2808                 |
| -16                    | 150                  | 4                      | 813                  | 24                     | 2982                 |
| -15                    | 165                  | 5                      | 872                  | 25                     | 3166                 |
| -14                    | 181                  | 6                      | 935                  | 26                     | 3359                 |
| -13                    | 198                  | 7                      | 1001                 | 27                     | 3563                 |
| -12                    | 217                  | 8                      | 1072                 | 28                     | 3778                 |
| -11                    | 237                  | 9                      | 1147                 | 29                     | 4003                 |
| -10                    | 259                  | 10                     | 1227                 | 30                     | 4241                 |
| -9                     | 283                  | 11                     | 1312                 | 31                     | 4490                 |
| -8                     | 309                  | 12                     | 1402                 | 32                     | 4752                 |
| -7                     | 338                  | 13                     | 1497                 | 33                     | 5027                 |
| -6                     | 368                  | 14                     | 1598                 | 34                     | 5316                 |
| -5                     | 401                  | 15                     | 1704                 | 35                     | 5619                 |
| -4                     | 437                  | 16                     | 1817                 | 36                     | 5937                 |
| -3                     | 475                  | 17                     | 1937                 | 37                     | 6271                 |
| -2                     | 517                  | 18                     | 2063                 | 38                     | 6621                 |
| -1                     | 562                  | 19                     | 2196                 | 39                     | 6987                 |

# 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

## 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

### 6.7.2 Έλεγχος και υπολογισμός του φαινομένου

Εφόσον προκύπτει μια ευρύτερη περιοχή στην οποία εκδηλώνεται η συμπύκνωση των υδρατμών (ζώνη συμπύκνωσης), τότε :

Η πυκνότητα ροής **g<sub>i</sub>** ως τη ζώνη συμπύκνωσης (βλπ σχ) θα ισούται με:

$$g_i = \frac{(P_i - P_{k'})}{\rho_i} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Όπου **ρ<sub>i</sub>** η ειδική αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών από τον εσωτερικό χώρο μέχρι τη ζώνη συμπύκνωσης,

και η πυκνότητα ροής **g<sub>a</sub>** μετά τη ζώνη συμπύκνωσης ισούται με:

$$g_a = \frac{(P_{k''} - P_a)}{\rho_a} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Όπου **ρ<sub>a</sub>** η ειδική αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών από τη ζώνη συμπύκνωσης μέχρι το εξωτερικό περιβάλλον,

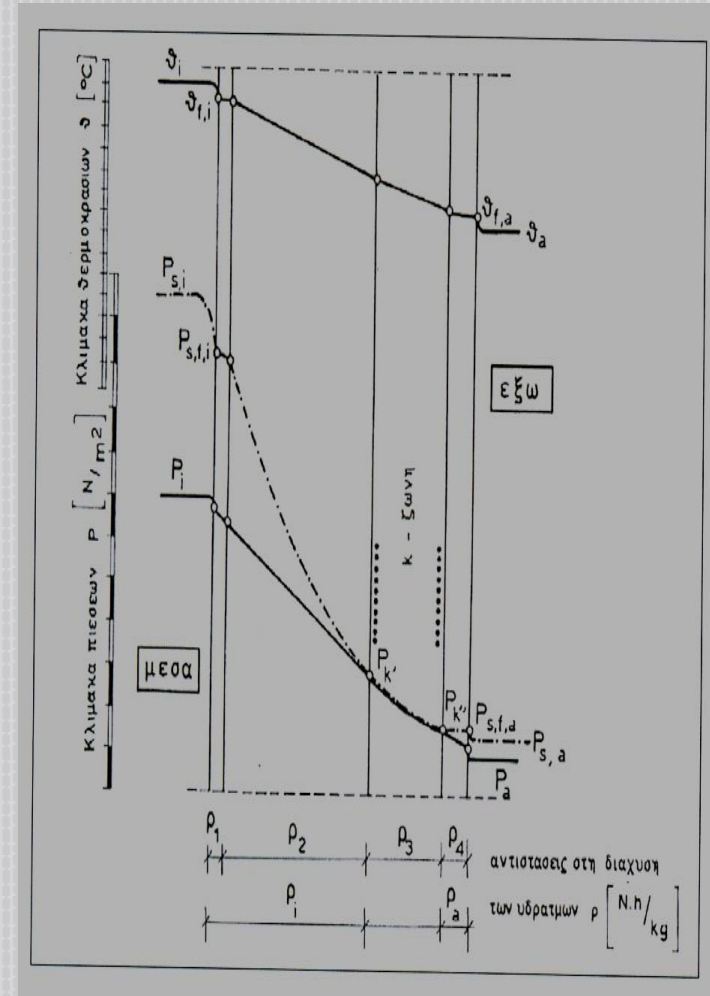
ενώ η **διαφορά** των δύο ποσοτήτων θα δίνει τη **συμπυκνούμενη ποσότητα g<sub>z</sub>** στο δομικό στοιχείο ανά ώρα και ανά μονάδα επιφάνειας του:

$$g_z = g_i - g_a = \frac{(P_i - P_{k'})}{\rho_i} - \frac{(P_{k''} - P_a)}{\rho_a} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Κατά την περίοδο εξάτμισης η συμπυκνωθείσα ποσότητα υδρατμών μεταπίπτει και πάλι στην αέρια φάση και εκδηλώνεται ροή υδρατμών προς τις δύο επιφάνειες του δομικού στοιχείου.

Τότε για την περίοδο εξάτμισης η **δυνάμενη να εξατμισθεί** ποσότητα **g<sub>l</sub>** για ζώνη συμπύκνωσης θα είναι:

$$g_l = \frac{(P_{k'} - P_i)}{\rho_i} + \frac{(P_{k''} - P_a)}{\rho_a} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$



Σχηματισμός ζώνης συμπύκνωσης σε ένα πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, όταν η πορεία των μερικών πιέσεων και η πορεία των πιέσεων κορεσμού συναντώνται

# 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

## 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

### 6.7.2 Έλεγχος και υπολογισμός του φαινομένου

Όταν η ζώνη συμπύκνωσης περιορίζεται σε επίπεδο (σχήμα 8.5.), τα σημεία Κ' και Κ'' ταυτίζονται :

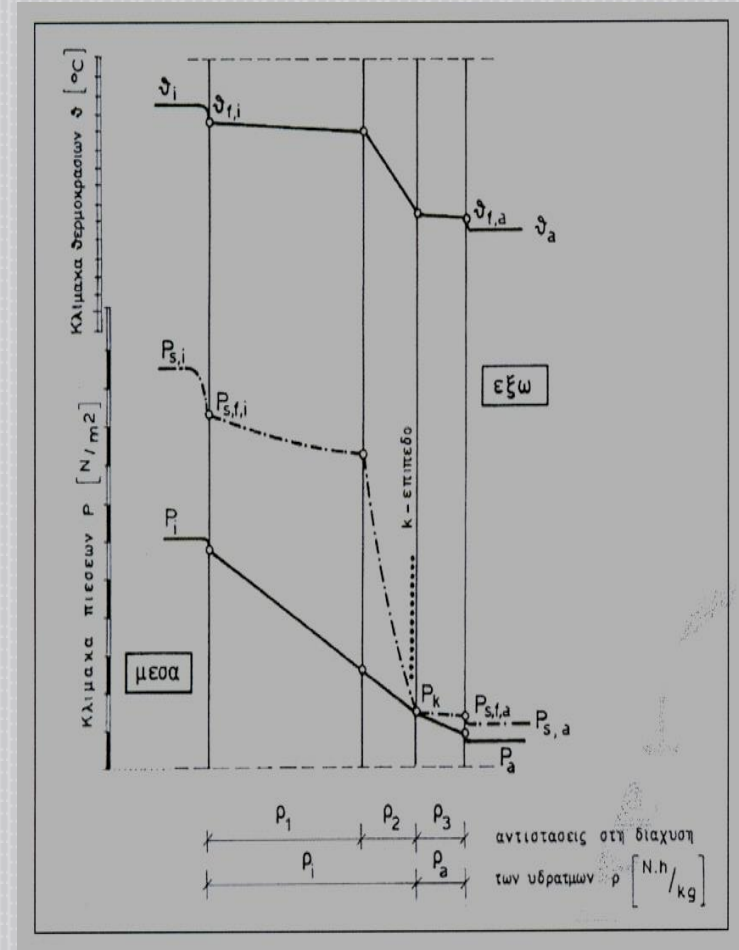
Η σχέση που δίνει την διαφορά των δύο ποσοτήτων και άρα την συμπυκνούμενη ποσότητα  $g_z$  στο δομικό στοιχείο ανά ώρα και ανά μονάδα επιφάνειας του, γράφεται:

$$g_z = g_i - g_a = \frac{(P_i - P_k)}{\rho_i} - \frac{(P_k - P_a)}{\rho_a} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$

Κατά την περίοδο εξάτμισης η συμπυκνωθείσα ποσότητα υδρατμών μεταπίπτει και πάλι στην αέρια φάση και εκδηλώνεται ροή υδρατμών προς τις δύο επιφάνειες του δομικού στοιχείου.

Τότε για την περίοδο εξάτμισης η **δυνάμενη να εξατμισθεί** ποσότητα  $g_l$  όταν τα σημεία Κ' και Κ'' ταυτίζονται και η ζώνη συμπύκνωσης περιορίζεται σε επίπεδο θα είναι:

$$g_l = \frac{(P_k - P_i)}{\rho_i} + \frac{(P_k - P_a)}{\rho_a} \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$$



Σχηματισμός επιπέδου συμπύκνωσης σε ένα πολυστρωματικό δομικό στοιχείο, όταν η πορεία των μερικών πιέσεων και η πορεία των πιέσεων κορεσμού συναντώνται και η ζώνη εκφυλίζεται σε επίπεδο συμπύκνωσης.

## 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

### Αποφυγή εκδήλωσης του φαινομένου

Αν  $t_z$  είναι η χρονική περίοδος κατά την οποία δημιουργείται συμπύκνωση και  $t_l$  η περίοδος κατά την οποία παρέχεται η δυνατότητα εξάτμισης της συμπυκνωθείσας ποσότητας υδρατμών, Τότε :

Για την περίοδο συμπύκνωσης  $t_z$  η κατ' έτος συμπυκνούμενη ποσότητα είναι  
 $G_z = g_z \cdot T_z$  [kg/m<sup>2</sup>]

Για την περίοδο εξάτμισης  $t_l$  η κατ' έτος δυνάμενη να εξατμισθεί είναι  
 $G_l = g_l \cdot t_l$  [kg/m<sup>2</sup>]

Βασική επιδίωξη αποτελεί η αποφυγή εκδήλωσης του φαινομένου.  
Δηλαδή οι υπολογισμοί να δίνουν πάντοτε τιμή  **$G_z = 0$** .

Όταν όμως αυτό δεν είναι εφικτό, επιδίωξη αποτελεί το **ετήσιο ισοζύγιο** της συμπυκνούμενης και της δυνάμενης να εξατμισθεί ποσότητας υδρατμών να γέρνει πάντα υπέρ της δυνάμενης να εξατμισθεί, δηλαδή να ισχύει η σχέση:

$$G_z - G_l < 0$$

Σε διαφορετική περίπτωση (αν δηλαδή η διαφορά προκύπτει θετική), **θεωρητικά** θα προστίθεται κατ' έτος μια ποσότητα μόνιμα συμπυκνούμενων υδρατμών στο εσωτερικό του δομικού στοιχείου, διατηρώντας μια **διαρκώς αυξανόμενη ποσότητα υγρασίας** στη μάζα του.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φαινόμενο

### 6.7 Υγρασία εσωτερικής συμπύκνωσης υδρατμών

#### Αποφυγή εκδήλωσης του φαινομένου

Ζώνη συμπύκνωσης σχηματίζεται συνήθως σε **δομικά στοιχεία**, στα οποία τα θερμοφυσικά χαρακτηριστικά των υλικών των διαδοχικών τους στρώσεων (δηλαδή κυρίως οι **συντελεστές θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda$**  και **αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών  $\mu$** ) παρουσιάζουν **παρεμφερείς** τιμές, ενώ **επίπεδο συμπύκνωσης** δημιουργείται σε **αντίθετη** περίπτωση.

Για παράδειγμα σε μια **μη θερμομονωμένη οπτοπλινθοδομή**, εκατέρωθεν επιχρισμένη, εφόσον δημιουργηθεί συμπύκνωση των υδρατμών, αυτή θα έχει τη μορφή **ζώνης συμπύκνωσης**. Αντιθέτως, σε ένα **τοιχίο σκυροδέματος θερμομονωμένο** από την **εσωτερική** πλευρά και, ομοίως, εκατέρωθεν επιχρισμένο, η **συμπύκνωση** των υδρατμών, εφόσον εκδηλωθεί, θα έχει τη μορφή **επιπέδου** συμπύκνωσης και θα εκτείνεται στη **διεπιφάνεια** μεταξύ **θερμομονωτικής** στρώσης και στρώσης **οπλισμένου σκυροδέματος**.

Γενικώς, σε **στοιχεία χωρίς θερμομονωτική** προστασία η συμπύκνωση των υδρατμών, εάν εκδηλωθεί, έχει ως επί το πλείστον τη μορφή **ζώνης συμπύκνωσης**, ενώ στα **θερμομονωμένα** δομικά στοιχεία έχει τη μορφή **επιπέδου συμπύκνωσης** και η θέση εκδήλωσής της είναι η εξωτερική (ψυχρή) όψη του θερμομονωτικού υλικού.

Τότε, αν το θερμομονωτικό υλικό είναι ευπρόσβλητο από την υγρασία, την απορροφά και μειώνει ή -σε περίπτωση πλήρη εμποτισμού του- χάνει τη θερμομονωτική του ικανότητα.

Στα θερμομονωμένα δομικά στοιχεία η συμπύκνωση δημιουργείται **πιο εύκολα**, αν η **θερμομόνωση** βρίσκεται από την **εσωτερική** πλευρά του δομικού στοιχείου, ενώ είναι **δύσκολο** να δημιουργηθεί, αν βρίσκεται από την **εξωτερική πλευρά**.

Υπό τις **ελληνικές κλιματικές συνθήκες** **δεν** προκύπτει εύκολα συμπύκνωση των υδρατμών λόγω διάχυσης σε ένα δομικό στοιχείο. Συνήθως το φαινόμενο εμφανίζεται στις ψυχρότερες κλιματικές **ζώνες  $\Gamma$  και  $\Delta$**  και κάτω από **αρκετά χαμηλές** εξωτερικές **θερμοκρασίες**. Ομως και σ' αυτές τις περιπτώσεις η δύναμη να εξατμισθεί ποσότητα των υδρατμών είναι κατά κανόνα πολλαπλασίως μεγαλύτερη της συμπυκνούμενης,

Στις **συνήθειες** κατασκευές η **αναλογία** μεταξύ των δύο ποσοτήτων  **$G_z$  προς  $G_l$**  είναι της τάξης του **1 :20** έως **1: 1 00**.

Επομένως, το **ετήσιο ισοζύγιο υγρασίας** κατά κανόνα **δεν προκύπτει θετικό** και κίνδυνος μόνιμης παραμονής υγρασίας **δεν υφίσταται**.

**Τα μέτρα προστασίας** αποβλέπουν κυρίως στην **αποτροπή εκδήλωσης του φαινομένου**, δηλαδή στο **μηδενισμό** της **ποσότητας  $G_z$**  και στην αποφυγή της φθοράς των δομικών υλικών με τον παροδικό εμποτισμό του υλικού με υγρασία και με τις διαδοχικές και επαναλαμβανόμενες καταστάσεις ύγρανσης και στεγνώματος του δομικού στοιχείου.

### 6.8 Το Φράγμα υδρατμών

#### 6.8.1. Η λειτουργία του

Καθοριστική παράμετρο στη συμπεριφορά ενός δομικού στοιχείου στη διάχυση των υδρατμών και στην ενδεχόμενη συμπύκνωσή τους στο εσωτερικό του αποτελεί η ύπαρξη ενός φράγματος υδρατμών μεταξύ των στρώσεων του.

Ως **φράγμα υδρατμών** νοείται κάθε **στρώση** μεταξύ των λοιπών στρώσεων του δομικού στοιχείου, **που προβάλλει** πολύ **υψηλότερη αντίσταση** στη **διάχυση** των υδρατμών από αυτήν που προβάλλουν οι υπόλοιπες στρώσεις.

Την προβαλλόμενη **αντίσταση στη διάχυση υδρατμών** ενός υλικού καθορίζει ο **συντελεστής αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών**  $\mu$ . Ο συντελεστής  $\mu$  είναι αδιάστατο μέγεθος και **ορίζει πόσες φορές μεγαλύτερη** αντίσταση προβάλλει αυτό το **υλικό** στη **διάχυση των υδρατμών** από ένα **στρώμα αέρα** ίσου **πάχους** και **ίδιας θερμοκρασίας**, όταν βρίσκεται σε **κατάσταση ηρεμίας**.

Η τιμή του συντελεστή  $\mu$  κάθε υλικού επηρεάζεται από τη **θερμοκρασία** και την **υγρασία**. Όμως για το εύρος των τιμών θερμοκρασίας χειμερινής και θερινής περιόδου αυτή η επίδραση είναι πολύ μικρή και γι' αυτό η τιμή του συντελεστή  $\mu$  θεωρείται πρακτικά σταθερή και ιδιαίτερη για κάθε υλικό.

Στη δεύτερη τεχνική οδηγία (Τ.Ο.Τ.Ε.Ε 20701-2/201 Ο) με τις «**θερμοφυσικές ιδιότητες των δομικών υλικών και τον έλεγχο της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων**» στον πίνακα 2 δίνονται οι τιμές του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών  $\mu$  για κάθε δομικό υλικό σε υγρή και ξηρή κατάσταση.

Κατά τους υπολογισμούς η τιμή του  $\mu$  **υπεισέρχεται στην σχέση υπολογισμού της πυκνότητας ροής** των διαχεόμενων υδρατμών για να προσδιοριστεί η προβαλλόμενη αντίσταση κάθε στρώσης του δομικού στοιχείου.

Από τον πίνακα προκύπτει ότι τα υλικά που παρουσιάζουν **πολύ υψηλές τιμές του  $\mu$**  είναι τα **ασφαλτόπανα**, τα **πλαστικά φύλλα**, το **γυαλί**, το **αφρώδες γυαλί**, το **φύλλο αλουμινίου** κ.ά., που πρακτικά θεωρείται ότι ανακόπτουν την πορεία των υδρατμών και παρεμποδίζουν τη διέλευσή τους μέσω της μάζας τους.

Άλλα υλικά, όπως **κεραμικά πλακίδια**, **πλακίδια υαλοπηφίδων**, **ορθομαρμαρώσεις** παρουσιάζουν **μικρότερες** τιμές του συντελεστή  $\mu$ , προβάλλουν όμως και αυτά υψηλή αντίσταση στη διάχυση των υδρατμών και **λειτουργούν επίσης** ως φράγματα υδρατμών.

Αντιθέτως, υλικά όπως ο **υαλοβάμβακας**, ο **πετροβάμβακας** κ.ά. δεν προβάλλουν **σχεδόν καμιά αντίσταση** και επιτρέπουν ανεμπόδιστα τη διάχυση των υδρατμών μέσω αυτών.

### 6.8 Το Φράγμα υδρατμών

#### 6.8.1. Η λειτουργία του

Είναι σαφές ότι η τοποθέτηση ενός υλικού που λειτουργεί ως **φράγμα υδρατμών** στο **εσωτερικό** ενός δομικού στοιχείου **ανακόπτει** ή **δυσχεραίνει** την **πορεία** των διαχεόμενων **υδρατμών**, ανάλογα με την τιμή του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών μ αυτού του υλικού.

Σ' εκείνη τη **θέση** παρατηρείται **υψηλή συγκέντρωση υδρατμών** και, **αν ο αέρας** που βρίσκεται στους πόρους του **έχει χαμηλή θερμοκρασία**, φθάνει εύκολα σε κατάσταση **κορεσμού** και αδυνατεί να συγκρατήσει τους υδρατμούς. Τότε η περίσσεια των υδρατμών υγροποιείται και κατακάθεται υπό μορφή σταγόνων στα τοιχώματα των πόρων του δομικού στοιχείου.

Επομένως ένα **υλικό** με **υψηλό συντελεστή αντίστασης στη διάχυση** των υδρατμών, **τοποθετημένο στην ψυχρή πλευρά** του δομικού στοιχείου, πολύ εύκολα θα **ευνοήσει τη συμπύκνωση** των διαχεόμενων υδρατμών.

**Στεγανοποιητικές στρώσεις**, υαλοποιημένα πλακίδια, ορθομαρμαρώσεις κ.τ.λ. **στις εξωτερικές επιφάνειες** των δομικών στοιχείων ανακόπτουν την πορεία των διαχεόμενων υδρατμών και **δημιουργούν συμπυκνώσεις πίσω από αυτά**. Η σχηματιζόμενη υγρασία μπορεί κατόπιν να συμβάλει στην αποσάθρωση και αποκόλληση αυτών των υλικών. Στη φθορά του δομικού στοιχείου συμβάλλει και η αλληλοδιάδοχη κατάσταση διύγρυνσης και στεγνώματος των υλικών, δεδομένου ότι κατά τη μετάπτωσή τους **από την υγρή στην αέρια φάση οι υδρατμοί αυξάνουν τον όγκο τους** περίπου κατά **1500** φορές, αναπτύσσοντας πίσω από τα αδιαπέρατα από αυτούς υλικά υψηλές τάσεις.

#### 6.8.2 Ο ρόλος του φράγματος υδρατμών

Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοια φαινόμενα, **όταν η παρουσία ενός αδιαπέρατου υλικού είναι απαραίτητη στην εξωτερική επιφάνεια ενός δομικού στοιχείου, επιδιώκεται η τοποθέτηση ενός άλλου υλικού, ίσης ή υψηλότερης τιμής του συντελεστή αντίστασης στη διάχυση των υδρατμών σε προηγούμενη θέση στη διαδοχή των στρώσεων ενός δομικού στοιχείου, στη θερμή του περιοχή**, δηλαδή πριν από τη θερμομονωτική στρώση.

Αυτή η στρώση λειτουργεί **επίσης ως φράγμα υδρατμών** και **ανακόπτει** την πορεία τους. Όμως σ' αυτή την περίπτωση η **υψηλή συγκέντρωση των υδρατμών δεν οδηγεί** σε συμπύκνωση, δεδομένου ότι **βρίσκεται στη θερμή περιοχή** του δομικού στοιχείου και ο αέρας των πόρων, διατηρώντας ακόμη σχετικά υψηλή θερμοκρασία, **δεν φθάνει σε κατάσταση κορεσμού** και μπορεί να συγκρατήσει τους συγκεντρωμένους υδρατμούς.

## 6. ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ / ΥΓΡΑΣΙΑ & ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - ΔΙΑΧΥΣΗ ΥΔΡΑΤΜΩΝ - Φράγμα υδρατμών

### 6.8 Το Φράγμα υδρατμών

#### 6.8.2 Ο ρόλος του φράγματος υδρατμών

Έτσι για παράδειγμα, σε μια **δικέλυφη τοιχοποιία** με θερμομόνωση στον πυρήνα, **η οποία** εξωτερικά **φέρει** κάποια **στεγανοποιητική στρώση** που λειτουργεί **ως φράγμα υδρατμών**, θα **πρέπει** να προστατευθεί με την τοποθέτηση ενός **δεύτερου φράγματος υδρατμών** σε προηγούμενη θέση στη **θερμή** περιοχή.

Αν Π.χ. η **θερμομόνωση** είναι από **υαλοβάμβακα**, είναι προτιμότερο να επιλεγεί πάπλωμα υαλοβάμβακα με **επικαλυμμένη τη μία όψη με φύλλο αλουμινίου**. Ο υαλοβάμβακας πρέπει να τοποθετηθεί κατά τέτοιο τρόπο που το φύλλο αλουμινίου **να «βλέπει»** προς τον **εσωτερικό χώρο** του κτηρίου.

Αν τοποθετηθεί ανάποδα, **αν** δηλαδή το φύλλο αλουμινίου **«βλέπει»** προς το **εξωτερικό περιβάλλον**, θα λειτουργήσει επιβαρυντικά για την κατασκευή και θα επιφέρει τα αντίθετα από τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα, καθώς **θα ανακόπτει** την **πορεία** των διαχεόμενων υδρατμών στην **εξωτερική** πλευρά του υαλοβάμβακα, που, ευρισκόμενη σε χαμηλή θερμοκρασία, **θα ευνοεί τη συμπύκνωσή τους**. Η σχηματιζόμενη υγρασία θα εμποτίζει τον υαλοβάμβακα και θα απομειώνει τη θερμομονωτική του ικανότητα.

Για τον ίδιο λόγο **δεν** θα **πρέπει να επικαλύπτεται με πλαστικό φύλλο η θερμομονωτική στρώση που τοποθετείται επάνω από οριζόντια οροφή, κάτω από μια μη θερμομονωμένη κεκλιμένη στέγη**. Το πλαστικό φύλλο **παρεμποδίζει τους** διαχεόμενους **υδρατμούς** να **εκτονωθούν** στο χώρο μεταξύ οριζόντιας οροφής και κεκλιμένης στέγης. **και**, καθώς είναι **αυξημένη η συγκέντρωσή τους** κάτω από αυτό, δηλαδή στην ψυχρή πλευρά της θερμομονωτικής στρώσης, οι **υδρατμοί συμπυκνώνονται** και εμποτίζουν το θερμομονωτικό υλικό με νερό.

Ομοίως, σε μια **δικέλυφη**, αεριζόμενη τοιχοποιία **δεν πρέπει να τοποθετείται επάνω στη θερμομονωτική στρώση** πλαστικό φύλλο ή **φύλλο αλουμινίου** από την πλευρά που **«βλέπει» προς το διάκενο αερισμού**, διότι αφενός **παρεμποδίζει την εκτόνωσή τους** σ' αυτό και κατόπιν τη μεταφορά τους στο εξωτερικό περιβάλλον **και** αφετέρου **συμβάλλει στη συμπύκνωσή τους**, καθώς η συγκέντρωση των υδρατμών γίνεται από την πλευρά της θερμομονωτικής στρώσης στην οποία ο αέρας των πόρων βρίσκεται σε χαμηλή θερμοκρασία και **δεν μπορεί να συγκρατήσει μεγάλη ποσότητα υδρατμών**.

Για τα **ελληνικά κλιματικά** δεδομένα όλων των κλιματικών ζωνών κατά γενικό κανόνα **ένα δομικό στοιχείο πρέπει να αφήνεται ελεύθερο να «αναπνέει»**, δηλαδή να μην παρεμποδίζεται η διέλευση των υδρατμών μέσω των πόρων της μάζας του, αντιθέτως αυτή πρέπει να διευκολύνεται. **Φράγμα υδρατμών** θα πρέπει να τοποθετείται **μόνον όταν** συντρέχουν λόγοι που το επιβάλλουν. Και ο συνηθέστερος λόγος είναι η **ύπαρξη ενός άλλου υλικού** που λόγω της φύσης του **παρεμποδίζει** τη διάχυση των υδρατμών **και βρίσκεται τοποθετημένο σε** τέτοια **θέση** στη διαδοχή των στρώσεων του δομικού στοιχείου **που ευνοεί τη συμπύκνωση**. **Τότε το φράγμα υδρατμών** τοποθετείται σε θέση που να παρεμποδίζει μεν τη διέλευση των υδρατμών (και άρα να τους εμποδίζει να φθάσουν μέχρι την αδιαπέραστη στρώση), να μην ευνοεί όμως τη συμπύκνωσή τους λόγω της υψηλής συγκέντρωσής τους, δηλαδή **να βρίσκεται στη θερμή περιοχή** του δομικού στοιχείου.

# ΘΕΡΜΟΝΩΤΙΚΗ ΕΠΑΡΚΕΙΑ ΚΤΗΡΙΑΚΟΥ ΚΕΛΥΦΟΥΣ

Τέλους 8<sup>ου</sup> Μέρους  
Υγρασία & Συμπύκνωση υδρατμών

Αλέξανδρος Κρίθαρης

Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Προσωρινός Ενεργειακός Επιθεωρητής

---