Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης με Πετροβάμβακα:
Η βέλτιστη επιλογή διαχείρισης του υγροθερμικού φορτίου

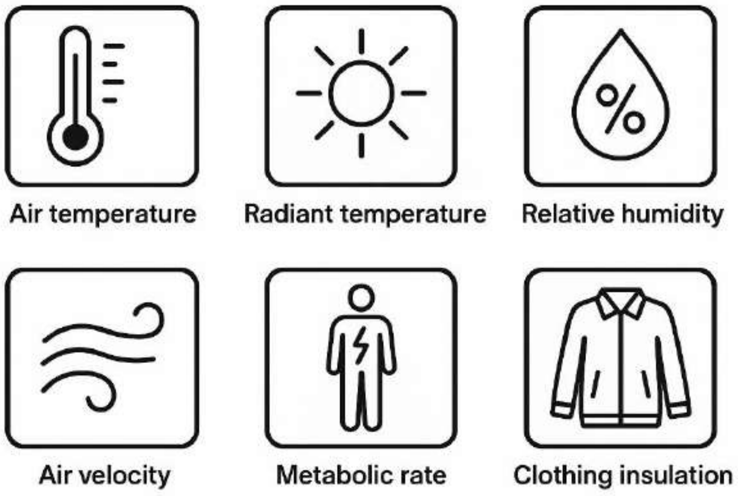
Χρήστος Χατζηάστρου
Χημικός, MSc. Χημείας Δομικών Υλικών
Δ/ντής Τεχνικής Υποστήριξης

ΟΙΚΟΔΟΜΗ EXPO
ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΗΣ ΕΚΘΕΣΗΣ ΟΙΚΟΔΟΜΗ
ΔΙΟΡΓΑΝΩΣΗ ΠΣΕΜ ΚΑΙ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ BUILDING GREEN
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΤΑΙΡΙΩΝ ΜΟΝΩΣΗΣ
BUILDING GREEN+
Building a Sustainable Environment

Η έννοια της Θερμικής Άνεσης

Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η θερμική άνεση

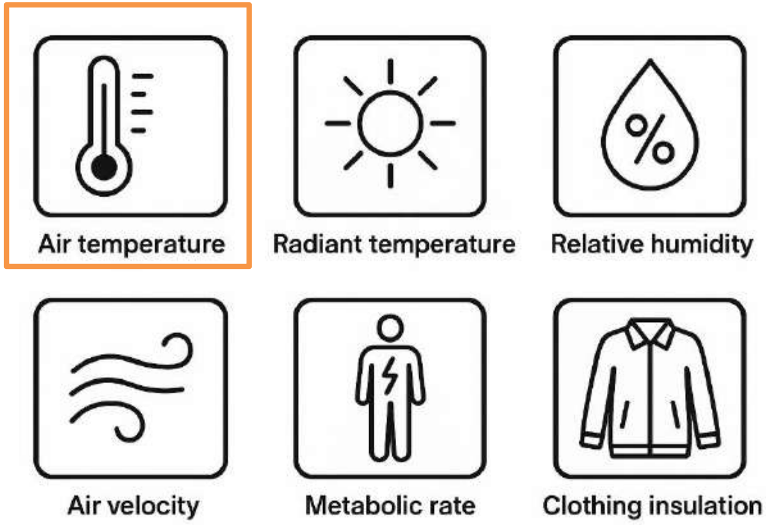
Διακρίνονται σε ***προσωπικούς***, όπως ο μεταβολισμός και ο βαθμός ένδυσης - και σε ***περιβαλλοντικούς***, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία/ακτινοβολία των περιβαλλουσών επιφανειών, η ταχύτητα του αέρα και η σχετική υγρασία του αέρα.



Ορισμός: Η θερμική άνεση είναι **η υποκειμενική κατάσταση ικανοποίησης με το θερμικό περιβάλλον**, όπως αυτή επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αέρα, την ακτινοβολία θερμότητας, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα αέρα, το μεταβολικό ρυθμό και την ενδυμασία.

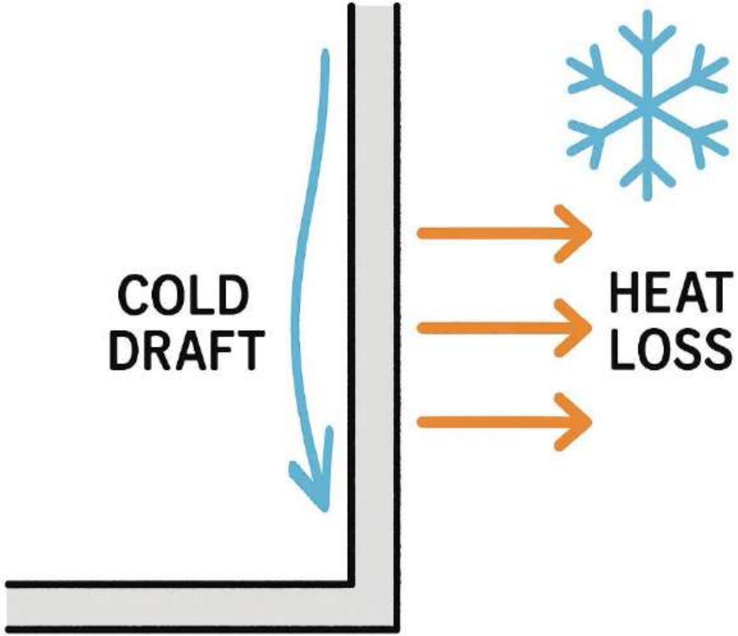
Πως επιδρά η θερμοκρασία του αέρα

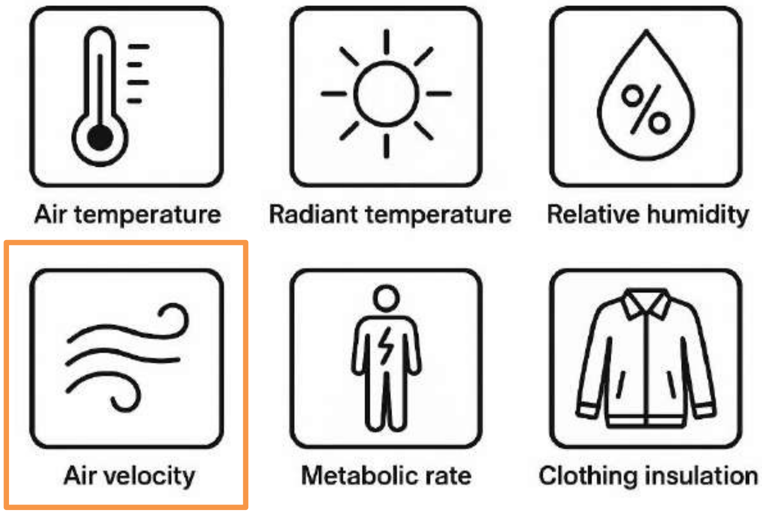
Υπάρχουν **δύο μηχανισμοί αυτορρύθμισης** της θερμοκρασίας του οργανισμού μας και σχετίζονται με τη θερμοκρασία του χώρου:



- **Σε πολύ ζεστούς χώρους** όπου η θερμοκρασία αυτών των χώρων μπορεί να είναι ακόμα και μεγαλύτερη των 37 °C, η απόρριψη θερμότητας από τον οργανισμό προς το περιβάλλον με μεταφορά, αγωγή και ακτινοβολία είναι μικρότερη από αυτή που χρειάζεται για να νιώθει άνετα ο οργανισμός. Τότε ενεργοποιείται **ο μηχανισμός της εφίδρωσης**, δηλαδή ο οργανισμός απορρίπτει θερμότητα μέσω των υδρατμών από τους πόρους του δέρματος, **και η κυκλοφορία του αίματος αυξάνεται**.
- **Σε πολύ κρύους χώρους** ο οργανισμός απορρίπτει περισσότερη θερμότητα από αυτή που χρειάζεται. Τότε για να μειώσει αυτή τη ροή θερμότητας προς το περιβάλλον, ο οργανισμός **μειώνει την κυκλοφορία του αίματος** για να μειώσει τη θερμότητα που χάνει και **ενεργοποιεί το ρίγος** για να αυξήσει την παραγωγή θερμότητας και την βιολογική μόνωση.

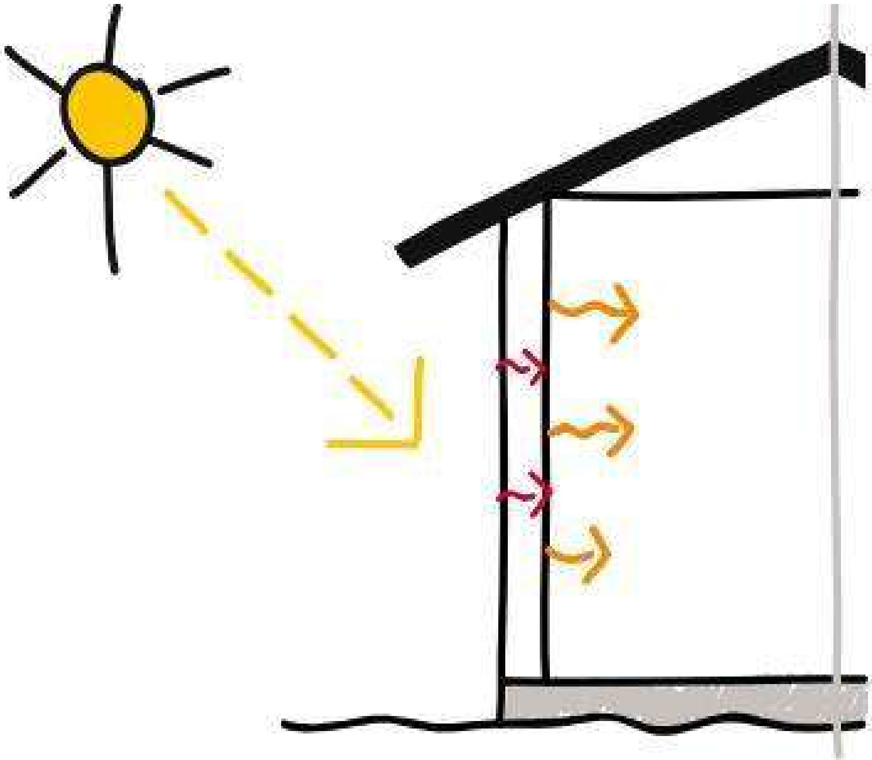
Πως επιδρά η ταχύτητα αέρα

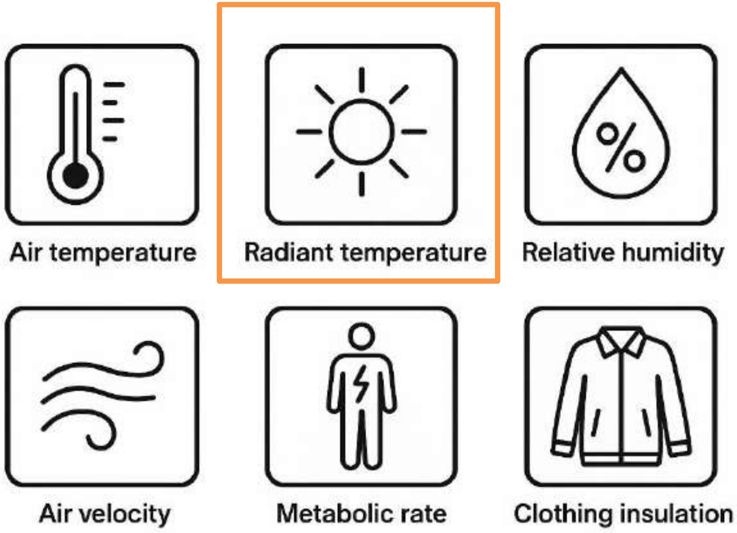




- **Τον χειμώνα, δίπλα σε μη μονωμένους εξωτερικούς τοίχους,** παρατηρούνται ψυχρά ρεύματα αέρα που προκαλούνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ζεστού εσωτερικού αέρα και της ψυχρής επιφάνειας. Ο θερμός αέρας ψύχεται τοπικά, γίνεται βαρύτερος και δημιουργεί καθοδικά ρεύματα που «γλιστρούν» κατά μήκος του τοίχου, αυξάνοντας τη μεταφορά θερμότητας από το σώμα και προκαλώντας αίσθηση ψύχους.

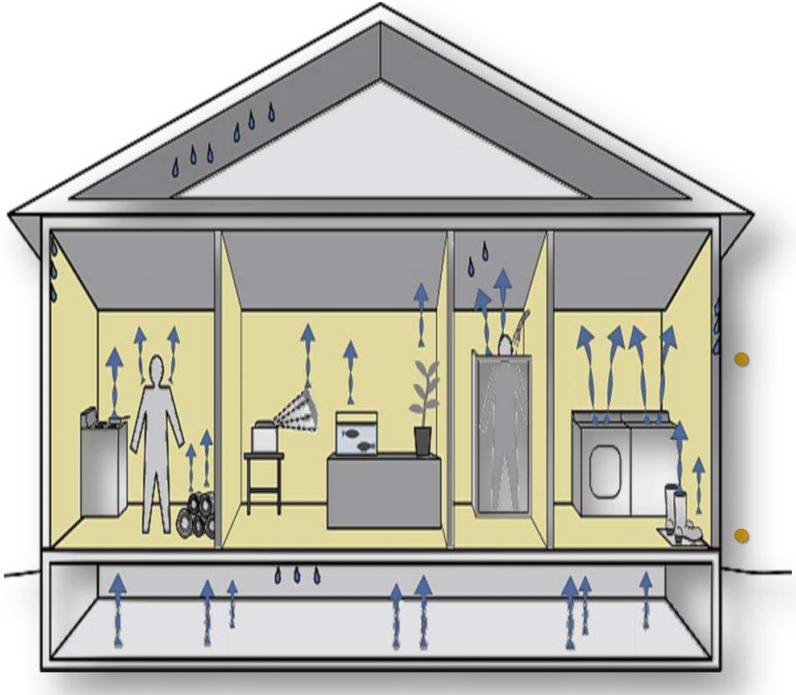
Πως επιδρά η ακτινοβολία

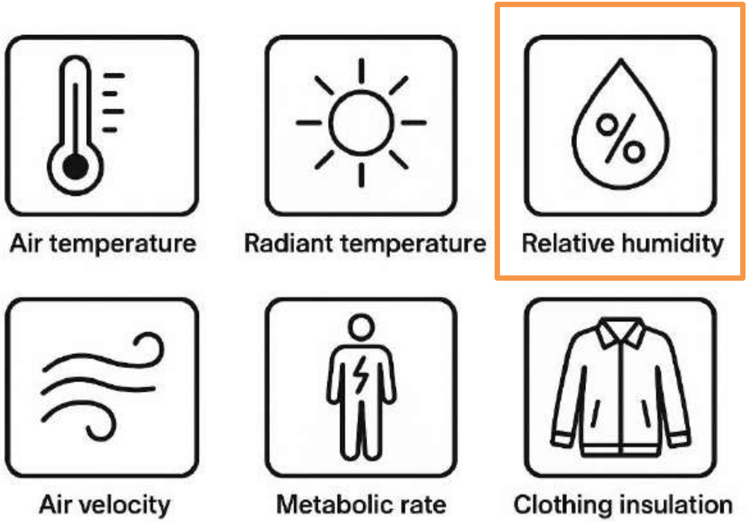




- **Το καλοκαίρι σε μη μονωμένους τοίχους** η έντονη θερμική ακτινοβολία από θερμές επιφάνειες μπορεί να προκαλέσει **αίσθημα δυσφορίας**, οδηγώντας σε υπερβολική χρήση του κλιματισμού και σε μείωση της θερμοκρασίας του αέρα σε επίπεδα που όχι μόνο δεν βελτιώνουν την άνεση, αλλά **εντείνουν τη θερμική ανισορροπία** και αυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση.

Πως επιδρά η υγρασία

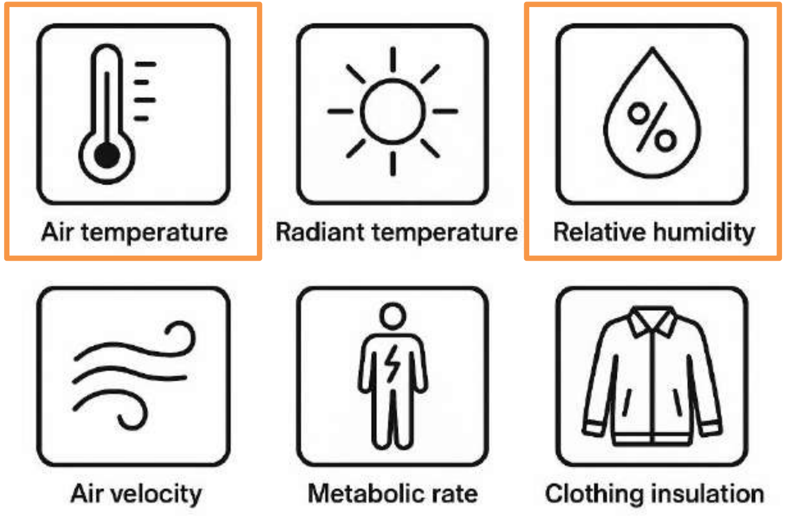




- **Σε συνθήκες υψηλής υγρασίας** το περιβάλλον γίνεται αποπνικτικό, ο αέρας φαίνεται βαρύς και δυσχεραίνει την αναπνοή, ενώ ενισχύεται και η ανάπτυξη μικροοργανισμών που επιβαρύνουν το αναπνευστικό.
- **Σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας** ο αέρας είναι ξηρός, προκαλώντας ερεθισμούς σε δέρμα, μάτια και λαιμό, καθώς και μια εντονότερη αίσθηση ψύχους λόγω της αυξημένης εξάτμισης της υγρασίας από το δέρμα.

Υγρασία & Κτηριακή παθολογία

Απαιτήσεις ελληνικής νομοθεσίας



Στην Ελλάδα, τα **τυπικά όρια** που χρησιμοποιούνται σε κανονισμούς/τεχνικές οδηγίες είναι:

•**Χειμώνας:** 20–22 °C

•**Καλοκαίρι:** 25–27 °C

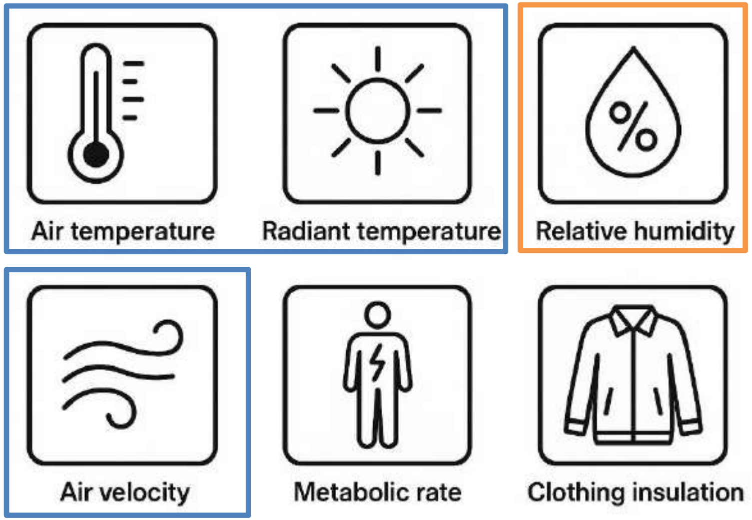
•**Σχετική υγρασία (χειμώνα και καλοκαίρι):** 40–60%

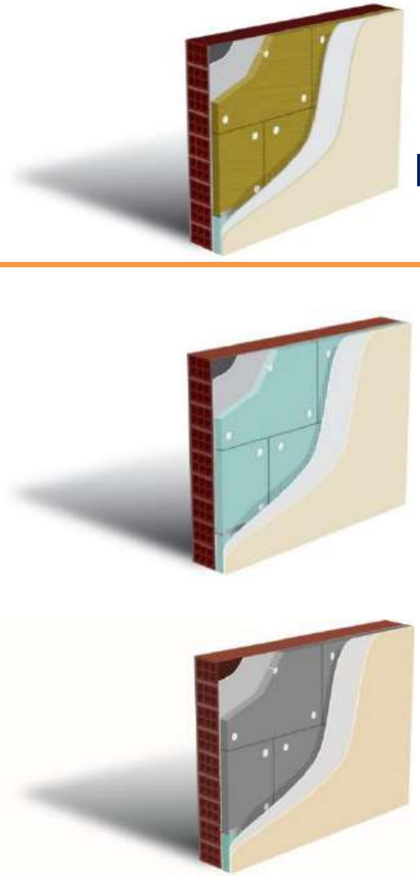
(ΚΕΝΑΚ/ΤΟΤΕΕ 20701/ EN ISO 7730 & EN 15251).

Διαπνοή & Θερμική Άνεση στα Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης*

*Η παρουσίαση αφορά δημοσίευση αποτελεσμάτων ερευνητικών έργων και δοκιμές αποκλειστικά για τα προϊόντα FIBRAN: Εξηλασμένης Πολυστερίνης FIBRAN*xps*, Γραφιτούχας Διογκωμένης Πολυστερίνης FIBRAN*eps*, Πετροβάμβακα FIBRAN*geo*. Οι συγκρίσεις αφορούν μόνο τα εν λόγω προϊόντα και δεν αποτελούν γενικεύσεις για τις δυνατότητες ομοειδών προϊόντων.

Δυνητικές επιλογές





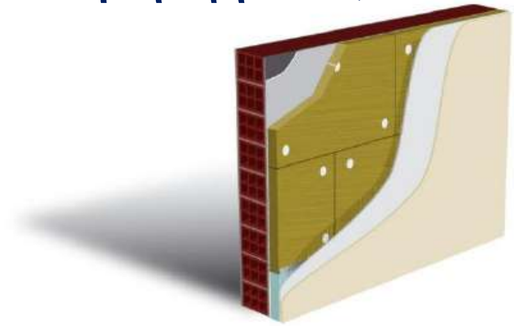
Πετροβάμβακας

Εξηλασμένη Πολυστερίνη

Διογκωμένη Πολυστερίνη

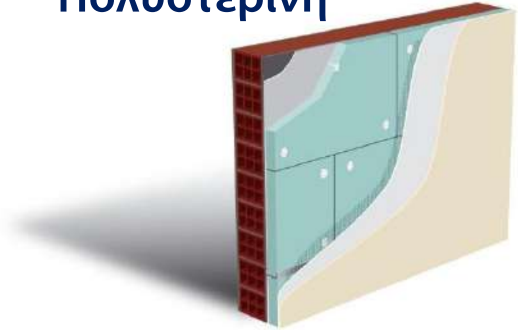
Παθητική διαπνοή - αφύγρανση

Πετροβάμβακας



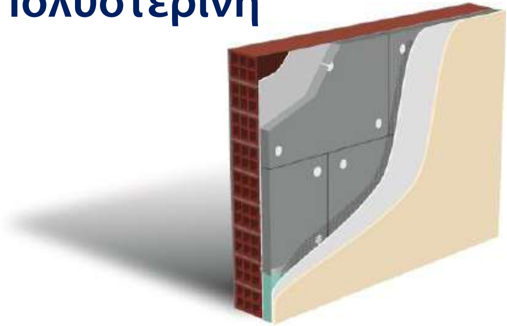
μ = 1

Εξηλασμένη Πολυστερίνη



μ = 50

Διογκωμένη Πολυστερίνη



μ = 30 -100

Sd = μxd για πάχος μόνωσης 20 cm

Sd_{MW} =1x0,20m =0,2m Sd_{XPS} =50x0,20m =10m Sd_{EPS} =μx0,20m =6-20m

Παθητική διαπνοή Λειτουργική διαπνοή

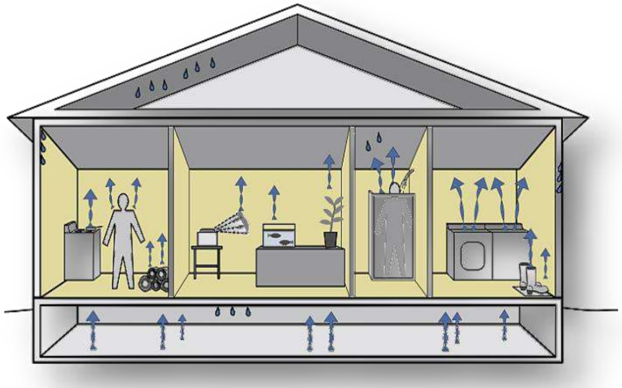
Παθητικό Σπίτι στην Ελλάδα με 20 cm πετροβάμβακα

HELLENIC
PASSIVE HOUSE
INSTITUTE

Certified
Passive House
Passive House Institute

Παθητική διαπνοή & Θερμική άνεση

Fraunhofer

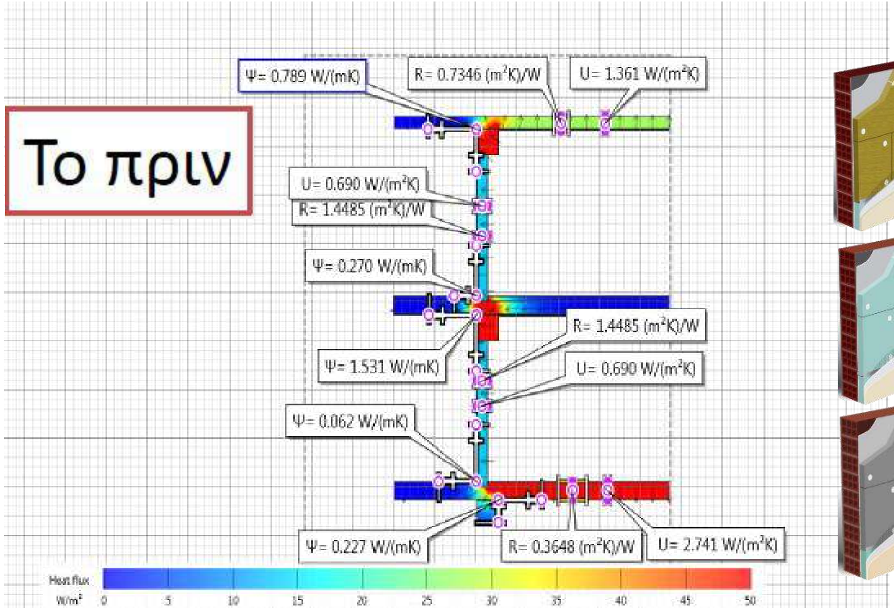


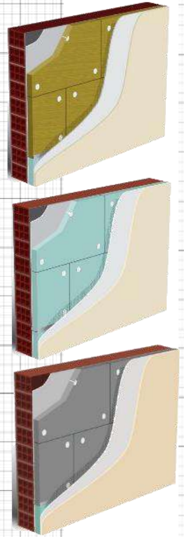
Πρόσφατες μελέτες από Fraunhofer Institute στη Γερμανία, δείχνουν ότι: τα ΣΣΕΘ με **πετροβάμβακα** επιτρέπουν την αποβολή υγρασία των τοίχων μόλις σε **6 μήνες**, όταν με τη χρήση **EPS** τα **2 χρόνια**!

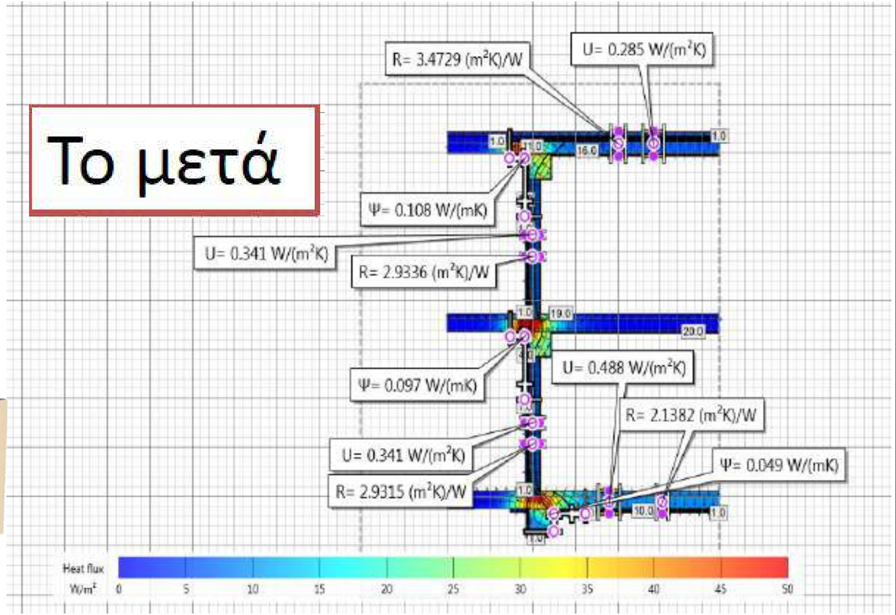
Διαπνοή & Κτηριακή παθολογία στα Συστήματα Εξωτερικής Θερμομόνωσης

Παθητική διαπνοή & Κτηριακή παθολογία (1)

Η θερμομόνωση μειώνει τη θερμοπερατότητα των δομικών στοιχείων ανεξαρτήτως τύπου μονωτικού…





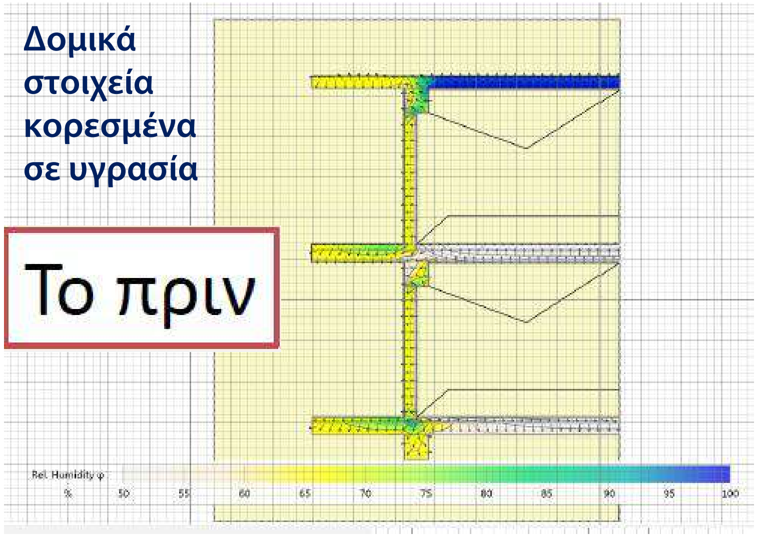


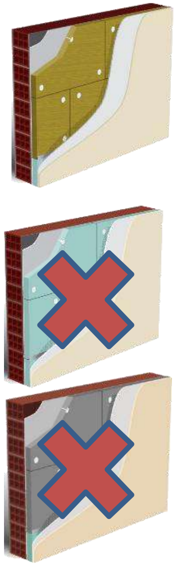
Παθητική διαπνοή & Κτηριακή παθολογία (2)

Ωστόσο δεν μπορούν όλα τα θερμομονωτικά υλικά να οδηγήσουν σε γρήγορη αφύγρανση των δομικών στοιχείων

Δομικά στοιχεία κορεσμένα σε υγρασία

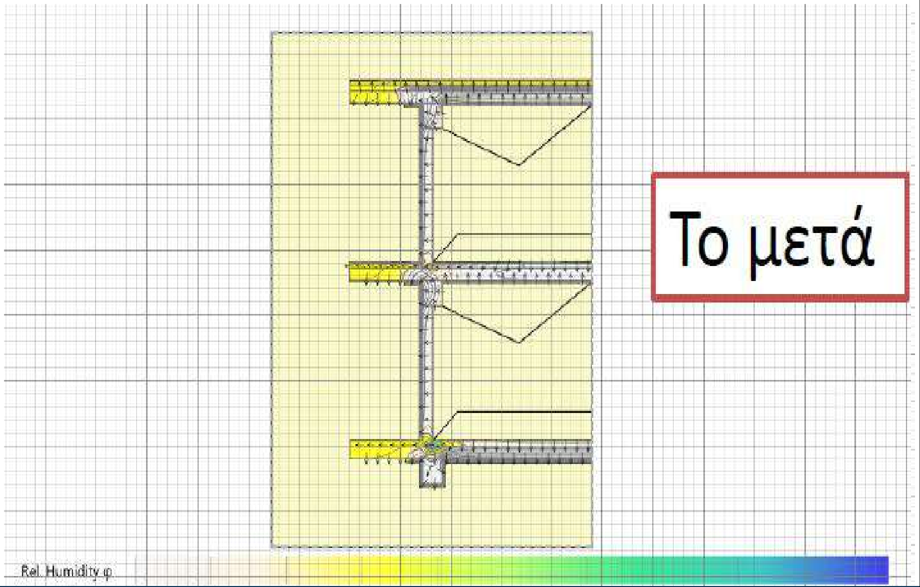
Το πριν





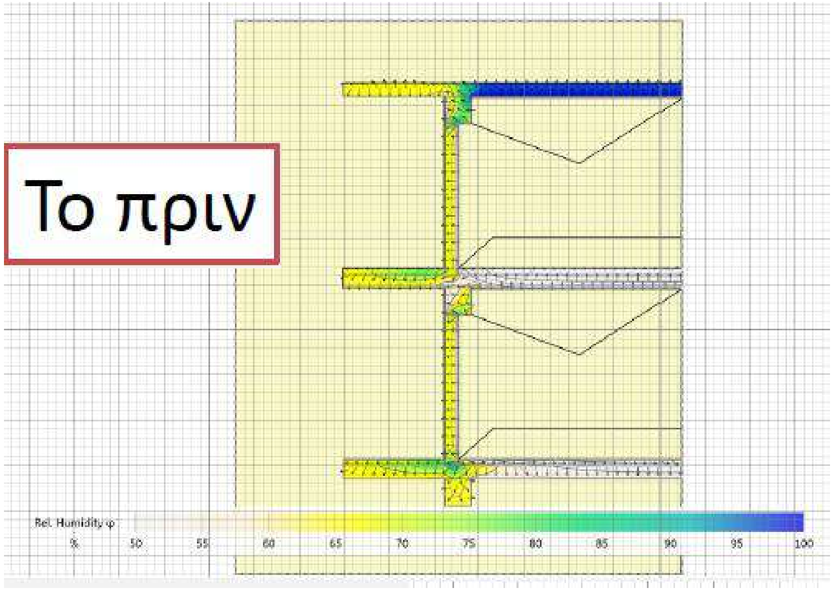
Το ΣΣΕΘ πετροβάμβακα έχουν δυνατότητα γρήγορης αφύγρανσης αντίθετα τα ΣΣΕΘ των αφρωδών επιταχύνουν τη διάβρωση λόγω της υψηλότερης θερμοκρασίας του νερού

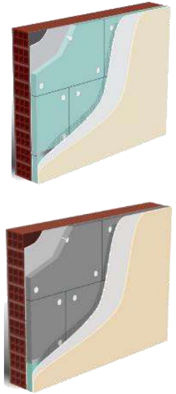
Το μετά



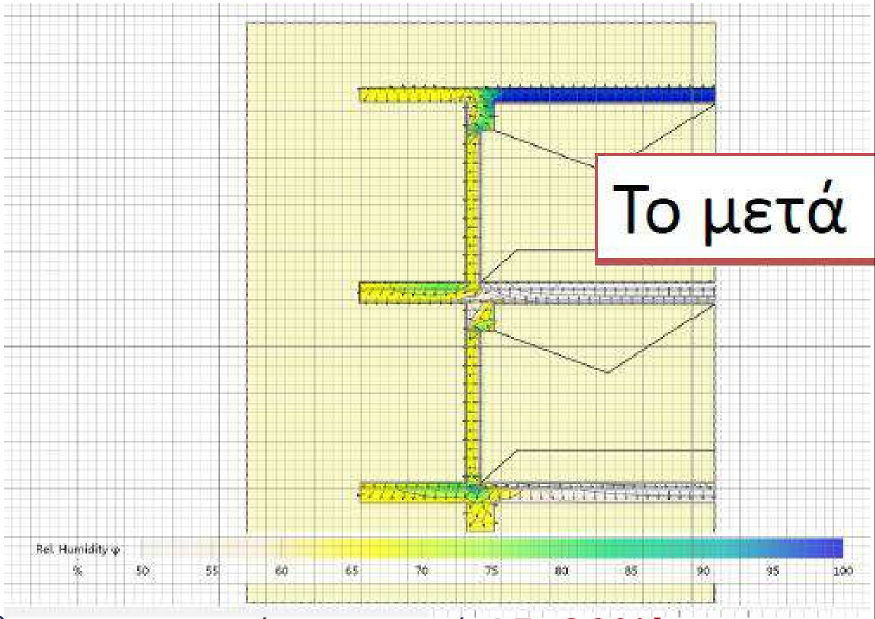
Παθητική διαπνοή & Κτηριακή παθολογία (3)

μέση θερμοκρασία σε βάθος 4 cm: ~17,6 °C °C





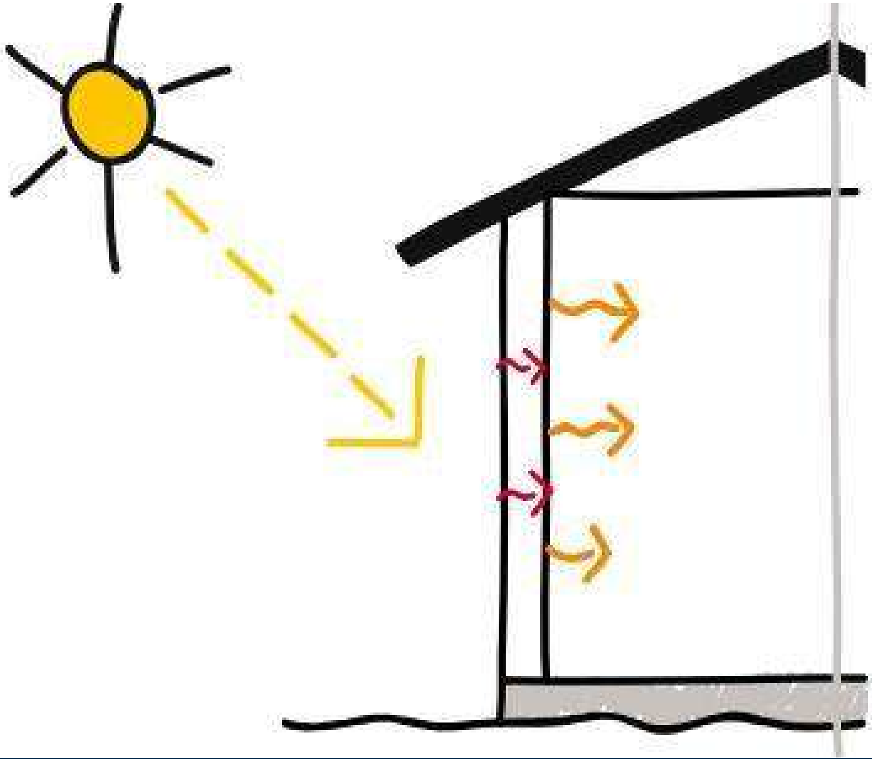
μέση θερμοκρασία σε βάθος 4 cm : ~19,9 °C



Σύμφωνα με το νόμο του Arrhenius η διάβρωση επιταχύνεται κατά **15–20%!**

Θερμική Άνεση και Θερμική Προστασία

Το καλοκαίρι δεν συμπεριφέρονται όλα τα υλικά με τον ίδιο τρόπο



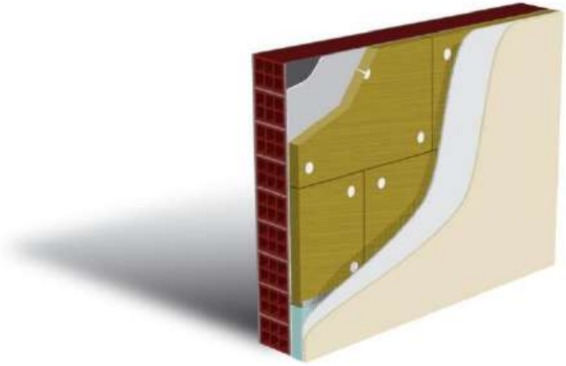
Κάποια υλικά καθυστερούν το θερμοκρασιακό κύμα να εισέλθει στο εσωτερικό περισσότερο από κάποια άλλα!

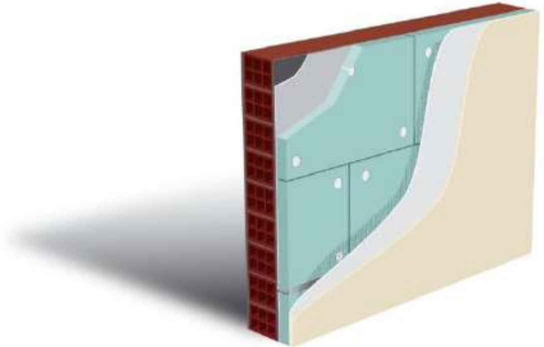
Θερμική Διαχυτότητα

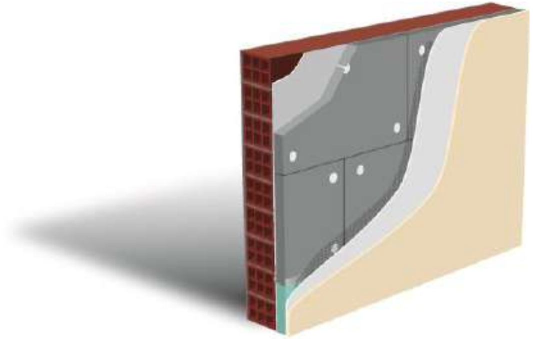
Το μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα ενός σώματος να άγει θερμότητα σε σχέση με την ικανότητα του να το αποθηκεύει ονομάζεται **θερμική διαχυτότητα**, **α** (m^2/s) και **αποτελεί μέτρο για το πόσο γρήγορα διαχέεται η θερμότητα διαμέσου ενός υλικού**. Δίνεται από τη σχέση:

$$\boldsymbol{\alpha} = \frac{\boldsymbol{\lambda}}{\boldsymbol{\rho}.\,\mathbf{c}_{\boldsymbol{p}}}$$

Τα υλικά με μεγάλη τιμή α αντιδρούν γρήγορα σε αλλαγές στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, σε αντίθεση με υλικά με μικρή τιμή της θερμικής διαχυτότητας, τα οποία απαιτούν μεγαλύτερο χρόνο για να έρθουν σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον τους.

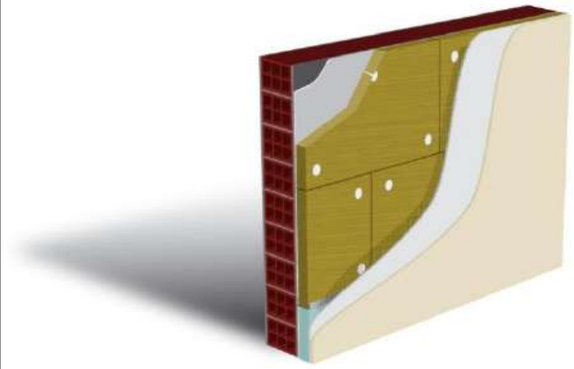






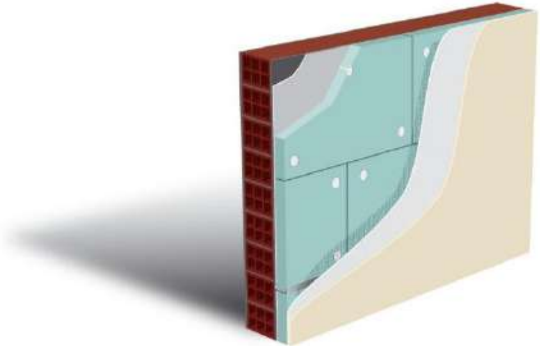
Θερμική διαχυτότητα α

Πετροβάμβακας



α= 3,67 $(m^2/s)\ x10^{-7}$

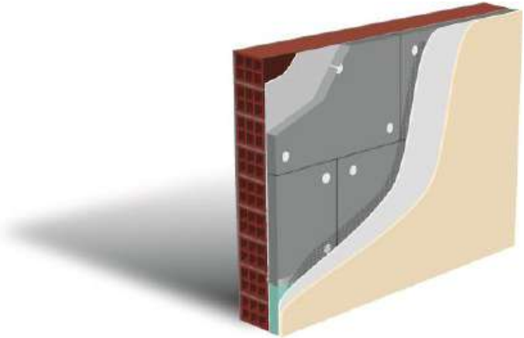
Εξηλασμένη Πολυστερίνη



x 2

α= 7,33 $(m^2/s)\ x10^{-7}$

Διογκωμένη Πολυστερίνη

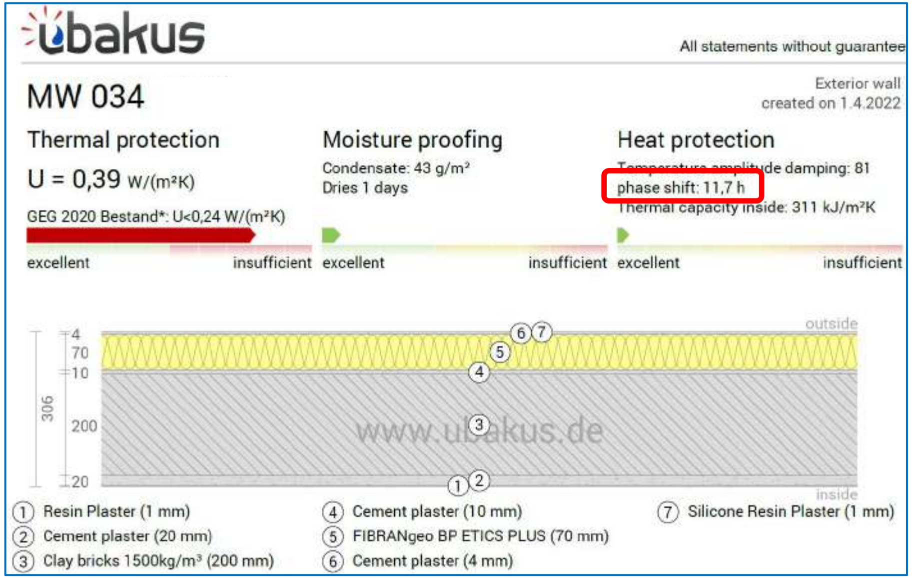


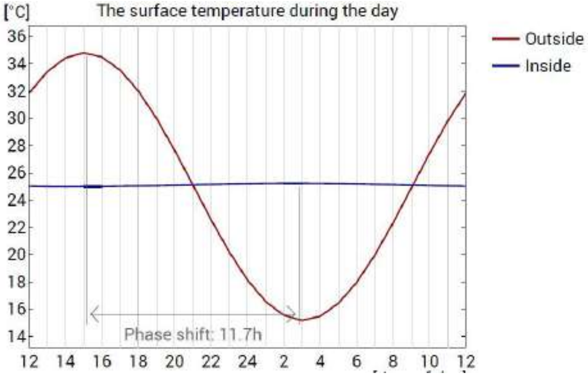
x 3,5

α= 12,93 $(m^2/s)\ x10^{-7}$

Phase Shift (PS) Μετατόπιση φάσης

PS: Περιγράφει το χρόνο που απαιτείται σε ώρες, μετά την μεσημεριανή θερμοκρασιακή αιχμή, στην οποία το κύμα θερμότητας φτάνει στο εσωτερικό κλιματιζόμενο χώρο.



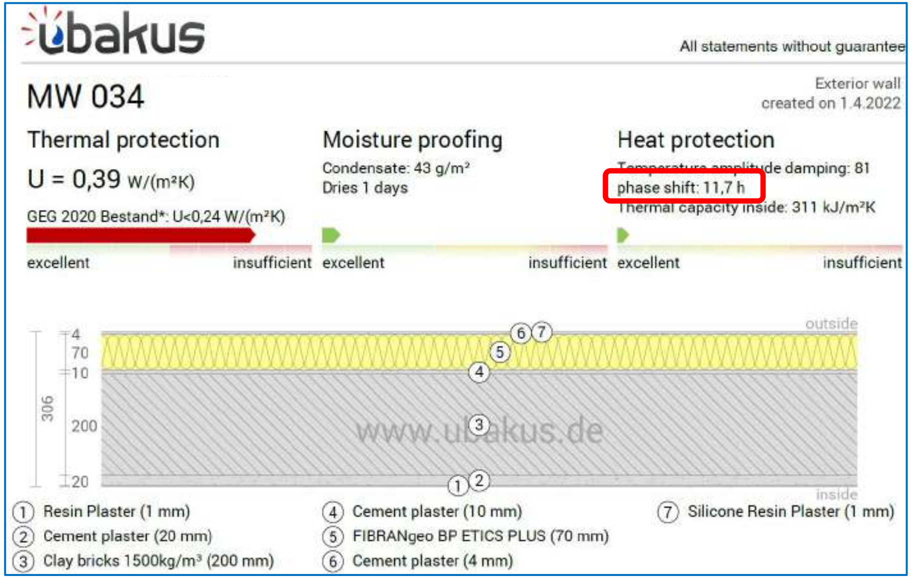


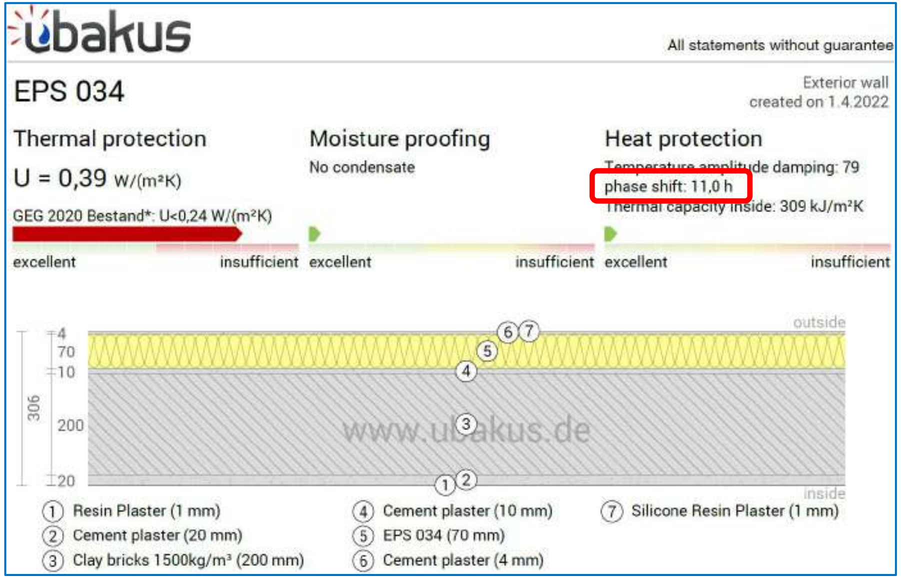
Προσοχή: Στην περίπτωση δομικών στοιχείων με ιδιαίτερα καλή θερμική προστασία, η μετατόπιση φάσης θα φτάσει σημαντικά υψηλότερες τιμές από 12 ώρες. Αυτό είναι θεμιτό γιατί ούτως ή άλλως δεν έχει υπολογιστεί η επίδραση των θερμικών κερδών π.χ. από δραστηριότητες και τον ηλιασμό από τα κουφώματα.

Στην ιδανική περίπτωση, το κύμα θερμότητας φτάνει στο εσωτερικό κλιματιζόμενο χώρο κατά τις κρύες ώρες της νύχτας. Από το λογισμικό απαιτείται μετατόπιση φάσης τουλάχιστον **12 ωρών**.

Επίλυση ETICS για MW 034 vs EPS 034

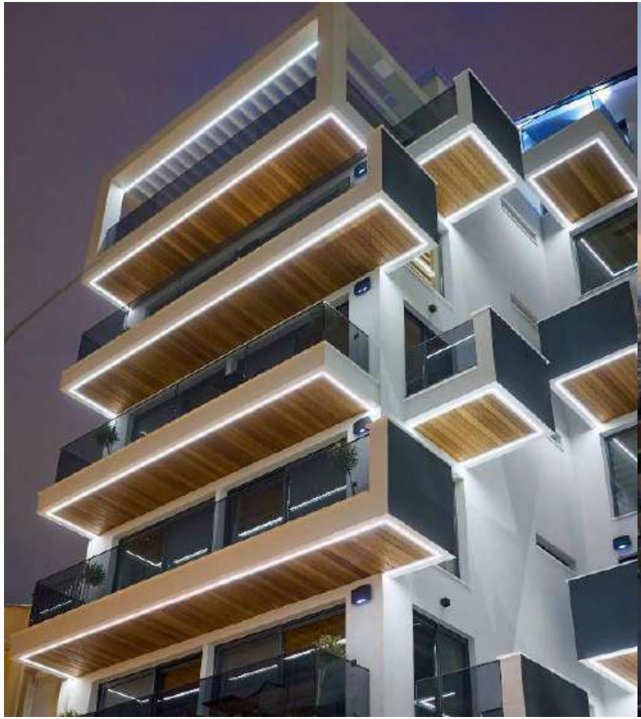
Το θερμοκρασιακό κύμα στην περίπτωση του πετροβάμβακα θα εισέλθει **42 λεπτά αργότερα** συγκριτικά με την διογκωμένη πολυστερίνη.





Με δεδομένο το γεγονός ότι συνήθως έχουμε διακοπτόμενη λειτουργία ψύξης προκύπτει ένα όφελος αναφορικά με τις ανάγκες ψυκτικών φορτίων από την καθημερινή διαφορά φάσης.

Τοίχος ξενοδοχείου: Ξηρά Δόμηση + ETICS



Τοίχος ξενοδοχείου: Ξηρά Δόμηση + ETICS

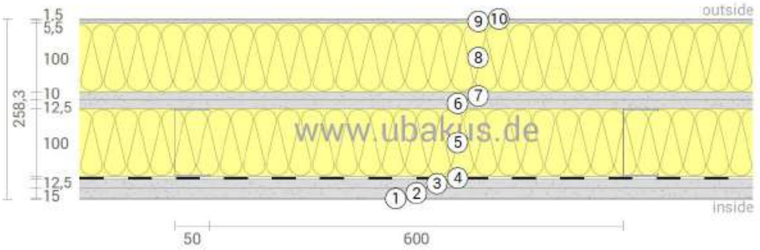
Σε τοίχο ξηράς δόμησης με **πετροβάμβακα + θερμοπρόσοψη με πετροβάμβακα**
το θερμοκρασιακό κύμα θα εισέλθει 1,5 ώρα αργότερα
από τον τοίχο ξηράς δόμησης με **υαλοβάμβακα + θερμοπρόσοψη με διογκωμένη πολυστερίνη**!!!

ubakus — All statements without guarantee

SW 034 50 kg/m3 (100 mm) + SW 034 90 kg/m3 (100 mm)

Exterior wall
created on 30.3.2022

Thermal protection	Moisture proofing	Heat protection
U = 0,19 W/(m²K)	No condensate	Temperature amplitude damping: 35 phase shift: 12,0 h Thermal capacity inside: 42 kJ/m²K
GEG 2020 Bestand*: U<0,24 W/(m²K)		
excellent — insufficient	excellent — insufficient	excellent — insufficient



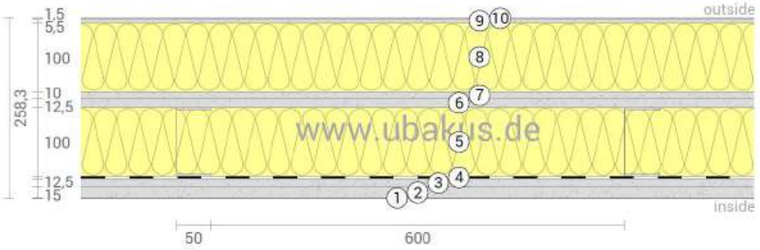
1. Resin Plaster (1 mm)
2. Gypsum board (15 mm)
3. Gypsum board (12,5 mm)
4. AirGuard® Sd5
5. FIBRANgeo B-050 (100 mm)
6. Gypsum board (12,5 mm)
7. Cement plaster (10 mm)
8. FIBRANgeo BP ETICS PLUS (100 mm)
9. Cement plaster (5,5 mm)
10. Resin Plaster (1,5 mm)

ubakus — All statements without guarantee

EPS 031 17 kg/m3 (100 mm) + GW 037 15 kg/m3 (100 mm)

Exterior wall
created on 30.3.2022

Thermal protection	Moisture proofing	Heat protection
U = 0,19 W/(m²K)	No condensate	Temperature amplitude damping: 30 phase shift: 10,5 h Thermal capacity inside: 38 kJ/m²K
GEG 2020 Bestand*: U<0,24 W/(m²K)		
excellent — insufficient	excellent — insufficient	excellent — insufficient



1. Resin Plaster (1 mm)
2. Gypsum board (15 mm)
3. Gypsum board (12,5 mm)
4. AirGuard® Sd5
5. Υαλοβάμβακας (100 mm)
6. Gypsum board (12,5 mm)
7. Cement plaster (10 mm)
8. EPS 031 (100 mm)
9. Cement plaster (5,5 mm)
10. Resin Plaster (1,5 mm)

Προσδόκιμο ζωής των ΣΣΕΘ

Fraunhofer

Το ενδιαφέρον είναι ότι η θερμική διαχυτότητα δεν επιδρά μόνο στη θερμική άνεση αλλά και στο **προσδόκιμο ζωής**.

Σε μεγάλο βαθμό αυτό είναι απόρροια της **μικρότερης καταπόνησης των επιχρισμάτων** (ρυθμός συστολής - διαστολής).

Τα ΣΣΕΘ με **πετροβάμβακα** έχουν **προσδόκιμο ζωής 60 χρόνια** διπλάσιο από το EPS.

Θερμική Προστασία και Ψυκτικά Φορτία

Backend – Μοντέλο επίλυσης υγροθερμικού προβλήματος

Επίλυση συστήματος διαφορικών εξισώσεων θερμοκρασίας-υγρασίας-θερμοχωρητικότητας…

$$(\rho \cdot c + w \cdot 4187)\frac{\partial \boldsymbol{T}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial \boldsymbol{T}}{\partial x}\right) + S_h \qquad (1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi}\frac{\partial \boldsymbol{\varphi}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_w \frac{\partial w}{\partial \varphi}\frac{\partial \boldsymbol{\varphi}}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\delta_0}{\mu}\frac{\partial(\boldsymbol{\varphi} \cdot p_{sat})}{\partial x}\right) \qquad (2)$$

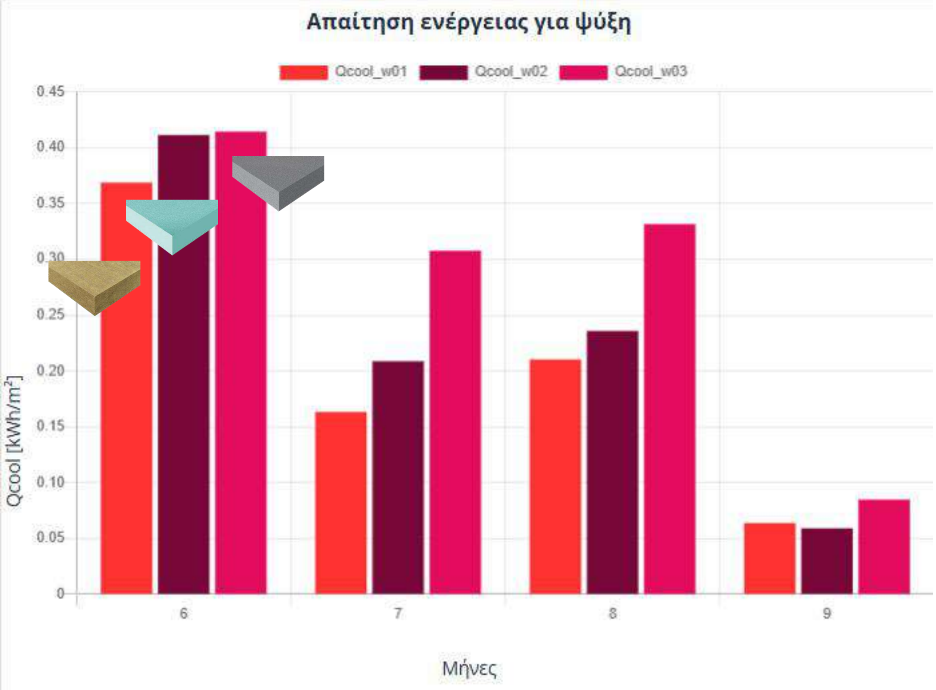
$$S_h = h_{lv} \cdot \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\delta_0}{\mu}\frac{\partial(\varphi \cdot p_{sat})}{\partial x}\right)$$

isZEB HygroThermal

Σύμβολο	Μονάδες	Περιγραφή	Description
T	K	Θερμοκρασία	temperature
w	kg/m^3	Απόλυτη υγρασία	moisture content
ρ	kg/m^3	Πυκνότητα ξηρού υλικού	density
c	j/kgK	Θερμοχωρητικότητα υλικού	heat capacity
t	sec	χρόνος	time
λ ή k	W/mK	Θερμική αγωγιμότητα	thermal conductivity
h_{lv}	j/kgK	Λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης	latent heat of vaporization
φ	-	Σχετική υγρασία	relative humidity
p_v	Pa	Τάση ατμών	vapor pressure
p_{sat}	Pa	Πίεση κορεσμού	saturation vapor pressure
δ_p	kg/msPa	Διαπερατότητα ατμού στο υλικό	vapor permeability in material
δ_0	kg/msPa	Διαπερατότητα ατμού στον αέρα	vapor permeability in air
μ	-	Συντ. αντίστασης στη διάχυση υδρατμών	vapor diffusion resistance factor

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΛΟΚΑΙΡΙ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ 4 ΜΗΝΕΣ

isZEB HygroThermal



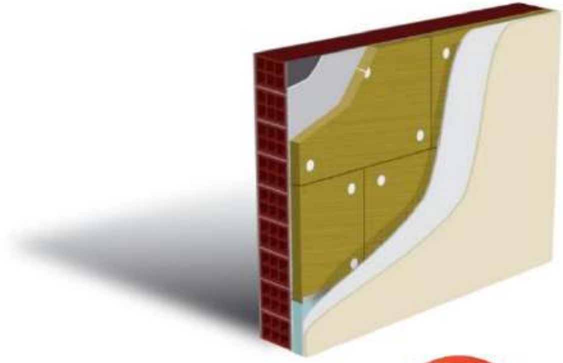
Χρονικά μεταβαλλόμενο: Ημερομηνία έναρξης: 01/06, διάρκεια: 2940 ώρες)
Αρχική κατάσταση θερμοκρασίας (°C): 30
Αρχική κατάσταση Σχετικής υγρασίας: 0.70
Συνθήκες θερμοκρασίας εσωτερικού χώρου (°C): 26
Σχετική υγρασία εσωτερικού χώρου: 0.50
Κλιματικά δεδομένα: Αθήνα 2024
W01: MW (0.034) **/ W02:** XPS (0.034) **/ W03:** EPS (0.030)
Πάχος μονωτικού: 10cm

Απαίτηση ενέργειας για ψύξη (kWh/m²)						
	Jun	Jul	Aug	Sep	Total	extra consumptions
Πετροβάμβακας	0,369	0,163	0,21	0,064	0,806	-
Εξηλασμένη Πολυστερίνη	0,412	0,209	0,236	0,059	0,916	**13,65%**
Διογκωμένη Γραφιτούχα	0,415	0,308	0,332	0,085	1,14	**41,44%**

ΣΣΕΘ ξενοδοχείου στην Κρήτη

Συμπεράσματα

Premium επιλογή



Η υψηλή διαπνοή και η μικρή θερμική διαχυτότητα σε συνδυασμό με τις υπόλοιπες ιδιότητες του προϊόντος, καθιστούν τον πετροβάμβακα την premium επιλογή εξωτερικής θερμομόνωσης εξασφαλίζοντας

1. **βέλτιστη θερμική άνεση** και
2. **περιορισμό των προβλημάτων κτηριακής παθολογίας**.

Φωτιά
MW
Class A1

Θόρυβος
MW
a_w=0,95

Κυκλική οικονομία
MW
50-90 %

Διαχείριση υγρασίας
MW
μ=1

Θερμική διαχυτότητα
MW
α=3 (m²/s)10^{-7}

Προσδόκιμο ζωής
MW
60 Χρόνια

fibran®

Σας ευχαριστώ!