

# Η ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

φοιτητές: Κανδηλώρου Φ.- Κοτσύφης Κ.  
επιβλέπων καθηγητής: Ουγγρίνης Κ.







# Η ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΤΗΝ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ

φοιτητές: Κανδηλώρου Φ.- Κοτσύφης Κ.  
επιβλέπων καθηγητής: Ουγγρίνης Κ.



Πολυτεχνείο Κρήτης  
Τμήμα Αρχιτεκτόνων Μηχανικών  
Ακαδημαϊκό Έτος 2017-2018

Ερευνητική Εργασία  
Θέμα:  
Η Θερμοδυναμική στην  
Αρχιτεκτονική

Φοιτητές:  
Κανδηλώρου Φ.  
Κοτσύφης Κ.

Επιβλέπων Καθηγητής:  
Ουγγρίνης Κ.



Ευχαριστούμε, τον κύριο Ουγγρίνη και  
τον κύριο Νικολό για την καθοδήγηση και  
τις συμβουλές τους καθώς και την κυρία  
Αλεξάνδρου και τον Αντώνη Πρόκο για την  
πολύτιμη βοήθειά τους.



# Περιεχόμενα

---

<b>Πρόλογος</b>	<b>8</b>
<b>Εισαγωγή</b>	<b>10</b>
<b>1. Η επιρροή της θερμοδυναμικής στην αρχιτεκτονική μέχρι τον μοντερνισμό</b>	
1.1 Η γέννηση του ζεστού και του κρύου αέρα	13
1.2 Τα πρώτα σχεδιασμένα παραδείγματα	16
1.3 Κτιριακές τυπολογίες με βάση το κλίμα	19
<b>2. Η σχέση θερμοδυναμικής και αρχιτεκτονικής στον 20ο αιώνα</b>	
2.1 Η θερμομόνωση και το κλιματιστικό, στην εργαλειοθήκη του μοντερνισμού	23
2.2 Η ενεργειακή κριτική του μοντερνισμού	26
2.3 Το αντιπαράδειγμα του Frank L. Wrigth	29
2.4 Ενεργειακή κριτική των βιώσιμων, Zero-Energy κτιρίων και η αξιολόγηση LEED	32

<b>3. Θερμοδυναμικές έννοιες για την αρχιτεκτονική</b>	
3.1 Συσχετίσεις της αρχιτεκτονικής με την θερμοδυναμική	37
3.2 Το κτίριο ως σύστημα	39
3.3 Από την απόδοση στην αίσθηση	49
3.4 Ο αέρας ως υλικό	50
3.5 Τρόποι μετάδοσης θερμότητας	53
3.6 Θερμικές ιδιότητες των υλικών	57
3.7 Το ανθρώπινο σώμα	60
3.8 Θερμικά ενεργές επιφάνειες	66
3.9 Breathing walls	71
<b>4. Μία σύγχρονη προσέγγιση</b>	
4.1 Το πλαίσιο	75
4.2 Η ιδέα του thermodynamic materialism	78
4.3 Πρόγραμμα	80
4.4 Δομές	84
4.5 THP - thermodynamic prototype	86
<b>5. Συμπεράσματα</b>	94
<b>Βιβλιογραφία</b>	98



## Πρόλογος

---

Η συζήτηση γύρω από το περιβαλλοντικό και ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη έχει πλέον εδραιωθεί. Η αρχιτεκτονική ως επιστήμη καλείται να συνεισφέρει στον περιορισμό του προβλήματος καθώς το κτισμένο περιβάλλον χρησιμοποιεί το 40% της ενέργειας που παράγεται Ευρώπη, αποτελώντας με διαφορά τον μεγαλύτερο καταναλωτή. Ακόμα ευθύνεται για το 35% των εκπομπών του CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Το 40% των πρώτων υλών που παράγονται χρησιμοποιούνται για την κατασκευή κτιρίων με ανάλογες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη διαχείρισή τους μετά το τέλος της ζωής τους, σύμφωνα με CIB Report, “Agenda 21 on sustainable construction” (1999).

Το περιβαλλοντικό και ενεργειακό πρόβλημα φυσικά δεν οφείλεται στην αρχιτεκτονική αλλά προκύπτει κατά κύριο λόγο από την συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού και των αναγκών του, σε συνδυασμό με το πεπερασμένο των δυνατοτήτων του πλανήτη σε ότι αφορά την κατανάλωση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων. Ωστόσο αυτό δεν αναιρεί την επείγουσα ανάγκη για αναθεώρηση εκ μέρους της αρχιτεκτονικής των σχεδιαστικών επιλογών, της επιλογής υλικών και των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων από τη χρήση τους. Τα τελευταία χρόνια η οικολογική συζήτηση έχει συσχετιστεί με τον τομέα της κατασκευής μέσω της θερμοδυναμικής συνδέοντας τους διαφορετικούς κλάδους που ασχολούνται με το πρόβλημα σε ένα κοινό λεξιλόγιο.

---

1. European Commission, (2018, 17 January), [https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction\\_en](https://ec.europa.eu/growth/sectors/construction_en),

Η οπτική της θερμοδυναμικής θα μπορούσε να είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα λαμβάνοντας υπόψη πως βασικός ρόλος των κτιρίων είναι να προστατεύουν τους χρήστες τους από τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες, διατηρώντας κατά το δυνατόν ένα περιβάλλον θερμικής άνεσης. Πιο συγκεκριμένα, θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

Σε ένα πιο ευρύ πλαίσιο θεωρούμε το κτίριο ως ένα θερμοδυναμικό σύστημα που περιγράφει τις θερμικές διαδικασίες που συμβαίνουν εντός του, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του κτιρίου με τη μάζα τους ως δεσμευμένη ενέργεια ανάλογα με το είδος και την επεξεργασία τους και την ενέργεια μεταφοράς τους στο οικόπεδο. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να κατανοήσουμε και να αξιολογήσουμε την ενεργειακή λειτουργία και τις αντίστοιχες διαδικασίες του κτιρίου. Θα μπορούσαμε επίσης να θεωρήσουμε το ίδιο το κτίριο ως μια θερμική μηχανή, καθώς με τη μάζα του και τη μορφή του θα μπορούσε να αποκτήσει τέτοια συμπεριφορά. Τέλος, σε πιο πρακτικό επίπεδο, η θερμοδυναμική στην αρχιτεκτονική αφορά στις θερμικές ιδιότητες των υλικών καθώς και τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας.

Μέσω όλων των παραπάνω, μας δίνεται η δυνατότητα να κατανοήσουμε και να σχεδιάσουμε τόσο το ίδιο το κτίριο και το εσωτερικό περιβάλλον του αντιλαμβανόμενοι σχέσεις μεταξύ των μερών του. Αυτό σε συνδυασμό με την κατανόηση των τρόπων με τους οποίους το ανθρώπινο σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του θα μπορούσε να ενισχύσει τις αρχιτεκτονικές δυνατότητες.





## Εισαγωγή

---

Στόχος αυτής της ερευνητικής εργασίας είναι να διερευνήσει τις σχέσεις αρχιτεκτονικής και θερμοδυναμικής στο πλαίσιο της καλύτερης ενεργειακής διαχείρισης των κτιρίων και του εμπλουτισμού των δυνατοτήτων του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού στο ζήτημα της συνολικής αρχιτεκτονικής εμπειρίας για το χρήστη.

Συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο μέσω μίας ιστορικής αναδρομής θα ερευνήσουμε τους τρόπους διαχείρισης της θερμότητας που εμπειρικά οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν για να βελτιώσουν την θερμική τους άνεση. Εξετάζονται παραδείγματα που σχεδιάστηκαν εξ αρχής σε αυτή την βάση και διαχωρίζονται μεταφορικά οι κτιριακές τυπολογίες σε δυο χαρακτηριστικές θερμοδυναμικές συμπεριφορές.

Στην συνέχεια, στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθούν οι ενεργειακές-θερμοδυναμικές πρακτικές των κτιρίων κατά τον μοντερνισμό και οι επιπτώσεις τους καθώς και η σύγχρονη τάση για κτίρια με μειωμένο ενεργειακό αποτύπωμα.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αρχικά παρουσιάζεται η συσχέτιση της θερμοδυναμικής με την αρχιτεκτονική στο σύγχρονο διάλογο σε θεωρητικό πλαίσιο καθώς και την προσέγγιση του κτιρίου ως σύστημα μέσω της οικολογίας. Στη συνέχεια αναλύονται επίσης συγκεκριμένες θερμοδυναμικές έννοιες που βοηθούν στην κατανόηση της θερμικής συμπεριφοράς του κτιρίου και των μερών του καθώς και του ανθρώπινου σώματος για την ενίσχυση της αρχιτεκτονικής εμπειρίας.

Στο τελευταίο κεφάλαιο θα αναλυθεί μια νέα πιο σφαιρική προσέγγιση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού από την οπτική της θερμοδυναμικής και οι πειραματικές διαδικασίες που τη συνοδεύουν.

# 1

---

Η επιρροή της θερμοδυναμικής  
στην αρχιτεκτονική μέχρι τον  
μοντερνισμό



## 1.1 Η γέννηση του ζεστού και του κρύου αέρα

---

Η φωτιά είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που συντέλεσαν στην επιβίωση και την εξέλιξη του ανθρώπου. Αποτελεί την πρώτη και κύρια μορφή διαχείρισης την θερμικής ενέργειας, με βασικό σκοπό την θερμική άνεση του. Ο κύριος τρόπος μετάδοσης θερμότητας από τη φωτιά είναι η ακτινοβολία. Ο συνδυασμός της με τα ρεύματα φυσικής συναγωγής για την επίτευξη θερμικής άνεσης είναι και αυτός τόσο παλιός όσο η φωτιά. Οι δύο αυτοί τρόποι μετάδοσης της θερμότητας αποτέλεσαν την βάση πάνω στην οποία το τζάκι εξελίχθηκε ιδιαίτερα κατά τον δέκατο όγδοο και δέκατο ένατο αιώνα, κάνοντας την συνεισφορά του στην θέρμανση του χώρου ιδιαίτερα σημαντική μέσω της συναγωγής. Ένα από τα συστήματα αξιοποίησης της θερμικής συναγωγής της φωτιάς ήταν μέσω του εξαερισμού. Η φωτιά στα αρχικά συστήματα φυσικού αερισμού, βασιζόνταν στον διαμπερή αερισμό, ενίσχυε τα ρεύματα αέρα (μέσω της συναγωγής) θερμαίνοντάς τα. Αυτός ο συνδυασμός στο μέλλον θα κυριαρχούσε στις θερμικές στρατηγικές ενώ σύντομα θα γινόταν αντιληπτό πως μηχανές θα μπορούσαν να εξαναγκάζουν τον αερισμό. Ωστόσο, ολοκληρωμένα συστήματα κεντρικής θέρμανσης εμφανίστηκαν μετά τα τέλη του δέκατου ένατου αιώνα.<sup>2</sup>

Η θερμική άνεση δεν αναφέρεται μόνο στην αύξηση της θερμοκρασίας μέσω της φωτιάς αλλά και την εξασφάλιση χαμηλότερων θερμοκρασιών σε θερμά και εύκρατα κλίματα. Κατά την διάρκεια της ιστορία υπήρχαν διάφορες παραδοσιακές τεχνικές που βασιζόνταν στην εξάτμιση και τον εξαερισμό, για να καταφέρουν να μειώσουν την θερμοκρασία. Ένα αξιόλογο παράδειγμα είναι τα Yakhchal στο Ιράν, μια τεχνική που άκμασε το 400 π.Χ. και κατάφερε να συντηρεί πάγο κατά την διάρκεια του καλοκαιριού στην έρημο. Για την επίτευξη αυτού ένας τοίχος με νοτιοδυτικό προσανατολισμό υπήρχε κοντά στα Yakhchal, όπου κατά την διάρκεια του χειμώνα διοχετευόταν το νερό από στη βόρεια πλευρά του ώστε με την βοήθεια της σκιάς να παράγεται όσο το δυνατόν περισσότερος πάγος ημερησίως. Ο πάγος αποθηκευόταν και συντηρούνταν με τη βοήθεια πρώιμων ανεμιστήρων σε μεγάλους υπόσκαφους χώρους μέχρι το καλοκαίρι οπότε και χρησιμοποιούταν για να δροσίσουν τον προνομιούχο πληθυσμό.<sup>3</sup> Πολύ αργότερα, υπήρξε η πρώτη μηχανική προσπάθεια ψύξης του αέρα με την χρήση παγωμένων κύβων στην παροχή του εξαερισμού

---

2. Moe, Kie Thermally Active Surfaces, p. 43 -44

3. Kaemena, W., (2015, 20 April), Retrieved from: <https://www.360cities.net/image/abarkuh-yazd-yakhchal-ice-house-iran>

προκειμένου να μειωθεί η θερμοκρασία του παρεχόμενου αέρα. Η τεχνολογία ψύξης του αέρα μέσω ψυγείων αναπτύχθηκε κατά τον δέκατο ένατο αιώνα, με την ανάπτυξη της θερμοδυναμικής και την εφεύρεση της ατμομηχανής.<sup>4</sup>

Τα πρώτα θερμικά συστήματα λοιπόν ξεκίνησαν από την ανάγκη του ανθρώπου να επιβιώσει και βασίστηκαν πάνω σε φυσικά φαινόμενα, που αργότερα θα μελετήσει η θερμοδυναμική. Σε αυτήν την κατεύθυνση έχει ενδιαφέρον να παρατηρήσουμε δύο ιστορικούς τύπους κτιρίων που σχεδιάστηκαν με βάση εμπειρικά συμπεράσματα για τη μετάδοση θερμότητας.

---

4. Moe, Kie Thermally Active Surfaces, p. 44



Εικόνα 1: Εσωτερικό ενός yakhchal



Εικόνα 2: Πρωτόγονοι γύρω από την φωτιά



## 1.2 Τα πρώτα σχεδιασμένα παραδείγματα

---

Δύο διάσημα κατά την αρχαιότητα θερμικά συστήματα, το υπόκαυστο στην αρχαία Ρώμη και τα Κορεάτικα Ondol, κατάφεραν να επηρεάσουν το σχεδιασμό της κάτοψης καθώς και τις συνήθειες των χρηστών τους.

Το σύστημα Ondol που αναπτύχθηκε στην Κορέα βασιζόταν στο τζάκι, το οποίο βρισκόταν έξω από τον ζωτικό χώρο του σπιτιού. Ο καπνός του τζακιού διοχετευόταν σε κανάλια κάτω από το πάτωμα, τα οποία θέρμαιναν τις πέτρινες πλάκες του δαπέδου. Έτσι το πάτωμα θερμαινόταν μέσω της συναγωγής, και ως αποτέλεσμα αυτού θερμαίνονταν και οι χρήστες του. Τα σημεία που βρίσκονταν πιο κοντά στο εξωτερικό τζάκι ήταν πιο θερμά και για αυτό οι μεγάλοι και πιο ευάλωτοι καταλάμβαναν τις πιο θερμές ζώνες του πατώματος. Η συνήθεια να μην φορούν παπούτσια εντός του σπιτιού και να κοιμούνται πάνω στο πάτωμα, έγινε μέρος της παράδοσης, κάτι το οποίο σχετίζεται άμεσα με τα θερμικά ενεργά πατώματα και τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας στο ανθρώπινο σώμα. Η τεχνική των Ondol επηρέασε ουσιαστικά τον τρόπο ζωής των κατοίκων και αποτέλεσε τη βάση των θερμικά ενεργών επιφανειών.<sup>5</sup>

Ένα ακόμη ιστορικό παράδειγμα αρχιτεκτονικού σχεδιασμού με βάση τη μετάδοση θερμότητας ήταν και τα ρωμαϊκά λουτρά. Οι Ρωμαίοι, μετά τους Κορεάτες ήταν από τους πρώτους πολιτισμούς που χρησιμοποιούσαν τις θερμικά ενεργές επιφάνειες. Το υπόκαυστο σύστημα διοχέτευε τη θερμότητα από την καύση στα καζάνια ζεσταίνοντας το νερό των λουτρών. Επιπρόσθετα, αξιοποιούσε τη θερμότητα του καπνού για τη θέρμανση των δαπέδων πριν χαθεί στην ατμόσφαιρα. Τα καζάνια, το υπόκαυστο και οι υδατο-δεξαμενές ήταν στενά συνδεδεμένες από ενεργειακής άποψης αν και η διάταξη δεν ήταν ιδιαίτερα αποδοτική.

Η οργάνωση της κάτοψης όπως και στα κορεάτικα Ondol βασιζόταν στις θερμικές απαιτήσεις κάθε χώρου. Έτσι, οι θερμές δεξαμενές (caldarium) βρίσκονταν πλησιέστερα στο υπόκαυστο, ενώ οι δροσερές (frigidarium) τοποθετούνταν σε απόσταση. Μετά την πτώση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας σταδιακά εξαλείφθηκε η χρήση αυτών των τεχνικών εκτός μεμονωμένων παραδειγμάτων κατά το μεσαίωνα.

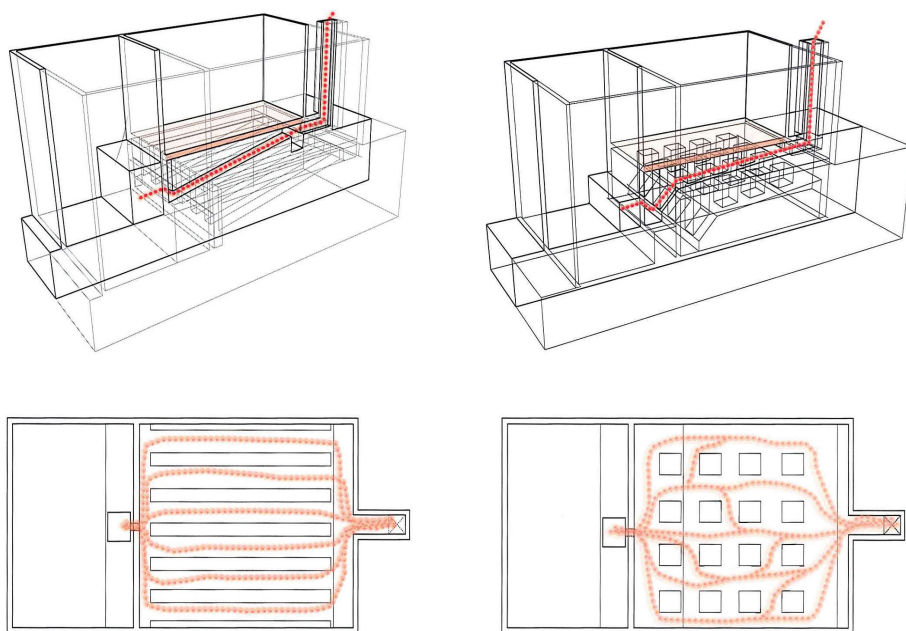
Τα ρωμαϊκά λουτρά δικαίως χαρακτηρίζονται λοιπόν από τον Kiel Moe ένα παράδειγμα αρχιτεκτονικής που είναι απόλυτα θερμοδυναμικό στη σύλληψη,

---

5. Moe, Kie Thermally Active Surfaces, p. 54-55

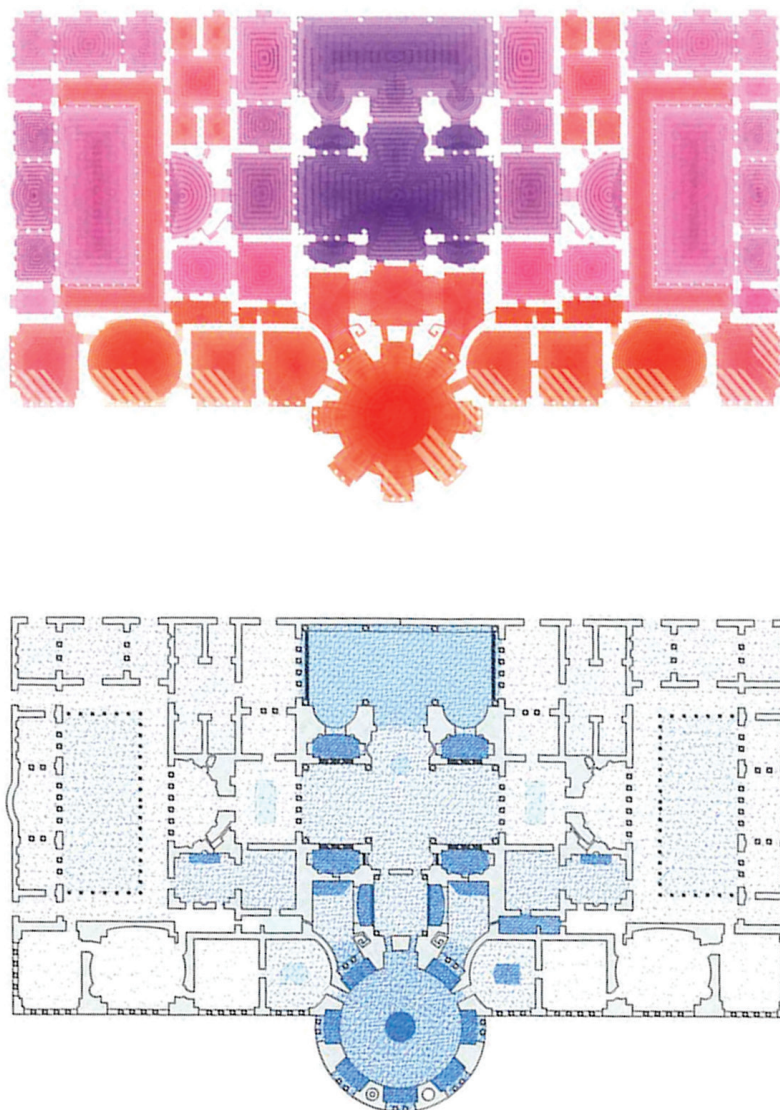


Εικόνα 3: Παράδειγμα παραδοσιακού Ondol



Εικόνα 4: Εκδοχές Ondol

το σχεδιασμό και τη χρήση, ενώ ταυτόχρονα θέτουν ως προτεραιότητα τις φυσιολογικές αντιδράσεις του κτιρίου πολύ καλύτερα από το κίνημα του μοντερνισμού (που θα αναλυθεί αργότερα).<sup>6</sup>



Εικόνα 5: Thermal - Humidity Plan των λουτρών Caracalla

6. Keil Moe, *Insulating Modernism*, p. 210

### 1.3 Κτιριακές τυπολογίες με βάση το κλίμα

---

Κατά την διάρκεια της ιστορίας θα παρατηρήσουμε πώς μεμονωμένοι, αυτοδίδακτοι, αρχιτέκτονες έχουν χτίσει με ιδιαίτερο σεβασμό στην ενέργεια. Παράλληλα ανακαλύπτουμε πως αρχιτέκτονες που δεν συσχέτιζαν το κτίριο με το περιβάλλον του όσο αφορά την ενέργεια, οδήγησαν κατά την εξέλιξη του μοντερνισμού στην δημιουργία απομονωτικών προτύπων στο σχεδιασμό.<sup>7</sup>

Με την σκοπιά των πρώτων, καθ' όλη τη διάρκεια της ιστορίας ο άνθρωπος κατασκευάζει τα εσωτερικά των κτιρίων του με βασικό κριτήριο το κλίμα. Με βάση αυτό έχουμε δύο βασικά κτιριακά πρότυπα, που αντιστοιχούν στις δύο κλιματικές ζώνες, κρύου και ζέστης, οι οποίες χρήζουν και διαφορετικής αντιμετώπισης. Στις κρύες κλιματικές ζώνες σχηματίζονται συμπαγή και τεχνητά περιβάλλοντα, τα οποία παρέχουν την θερμική άνεση με τεχνικές, που βασίζονται σε εποχιακούς κύκλους. Ενώ στα πιο θερμά και τροπικά κλίματα, όπως το Μεσογειακό, διαχειρίζονται θερμικούς πόρους κυρίως σε καθημερινό αντί σε εποχιακό κύκλο.<sup>8</sup>

Αυτά τα δύο πρότυπα διαμορφώνουν τη σχέση μεταξύ των υλικών και των ιδιοτήτων τους, των θερμικών πηγών και των απαγωγών θερμότητας. Στα ψυχρά κλίματα, η βασική πηγή θέρμανσης των κατοικιών είναι το παραδοσιακό τζάκι- φούρνος, που συνήθως εντοπίζεται κοντά στη σκάλα, κεντρικά της κατοικίας, έτσι ώστε η θερμική ενέργεια μέσω της συναγωγής να κινείται και να αποθηκεύεται στα πάνω δωμάτια για το βράδυ. Με αυτό τον τρόπο, η θερμική πηγή είναι στον πυρήνα του σπιτιού και αντισταθμίζει τις περιμετρικές απώλειες, ενώ το εσωτερικό ενεργοποιείται από αυτήν, εξασφαλίζοντας έτσι την θερμική άνεση.<sup>9</sup>

Τόσο στα ζεστά όσο και στα κρύα κλίματα το κέντρο του σπιτιού, ασχέτως μορφής, αποτελεί και το κέντρο της κοινωνικής ζωής. Παρά την παρόμοια κοινωνική τους διάστασης στα ζεστά και εύκρατα κλίματα, το εσωτερικό των κτηρίων δεν είναι πλήρες αλλά κενό και δεν αποτελεί μία θερμική πηγή, αλλά έναν απαγωγό θερμότητας. Η κύρια μορφή του είναι αυτή του αίθριου. Τα διάφορα αίθρια και αυλές είναι συνήθως σκιασμένα και συχνά συνδυάζονται με υδάτινες επιφάνειες. Η θέση τους στο εσωτερικό του κτιρίου βοηθάει στην δημιουργία διαμπερή αερισμού και ανοδικών ρευμάτων αέρα, ως αποτέλεσμα της μικρότερης πυκνότητας του ζεστού αέρα και διοχετεύει την θερμότητα στην

7. Keil Moe, *Insulating Modernism*, p. 12

8. Abalos I., Snetkiewicz, R., *Essays on thermodynamics*, p 236-239

9. Keil Moe, *Insulating Modernism*, p. 173



ατμόσφαιρα. Συγχρόνως, οι εξωτερικές τους πλευρές δεν αποτελούν ηλιακό συλλέκτη, αλλά, μέσω στεγάστρων, λειτουργούν ως ασπίδα από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Σε αυτό το σημείο παρατηρείται πως, για να αποφευχθεί η άμεση ακτινοβολία σε μεγάλες επιφάνειες του κτιρίου στα θερμά κλίματα, τα σπίτια είναι κολλημένα το ένα με το άλλο και έχουν στενούς δρόμους, ώστε να μπορούν να αλληλοσκιάζονται. Αντιθέτως, για τον ίδιο λόγο στα κρύα κλίματα τα σπίτια είναι διαχωρισμένα και μακριά το ένα από το άλλο, έτσι ώστε να δέχονται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη άμεση ηλιακή ακτινοβολία.<sup>10</sup> Ο Inaki Abalos με βάση τη θερμική τους συμπεριφορά χωρίζει τα κτίρια σε δύο κατηγορίες: το θερμοκήπιο (greenhouse) και το “σπίτι σκιά” (shadehouse).

Το πρώτο μοντέλο αναφέρεται στη θερμοδυναμική λογική ενός τεχνητού περιβάλλοντος που αναπτύχθηκε από Αγγλοσαξονικούς πολιτισμούς και επιτυγχάνει τη θερμική άνεση με μηχανικά μέσα. Το δεύτερο μοντέλο αναπτύχθηκε στην τροπική και εύκρατη ζώνη (συμπεριλαμβανομένης της μεσογειακής) και αναφέρεται σε μια πιο επιδέξια διαχείριση των θερμικών ανταλλαγών με το φυσικό περιβάλλον. Με μια σύγχρονη ματιά στο δοκίμιο “The Primitive Hut” του Marc-Antoine Laugier θα μπορούσαμε να περιγράψουμε τα δύο διαφορετικά αυτά μοντέλα με το γυάλινο θόλο του Buckminster Fuller και το beach bar, αναπαριστώντας τους δυο διαφορετικούς τρόπους συσχετισμού του φυσικού περιβάλλοντος και της αρχιτεκτονικής.<sup>11</sup>

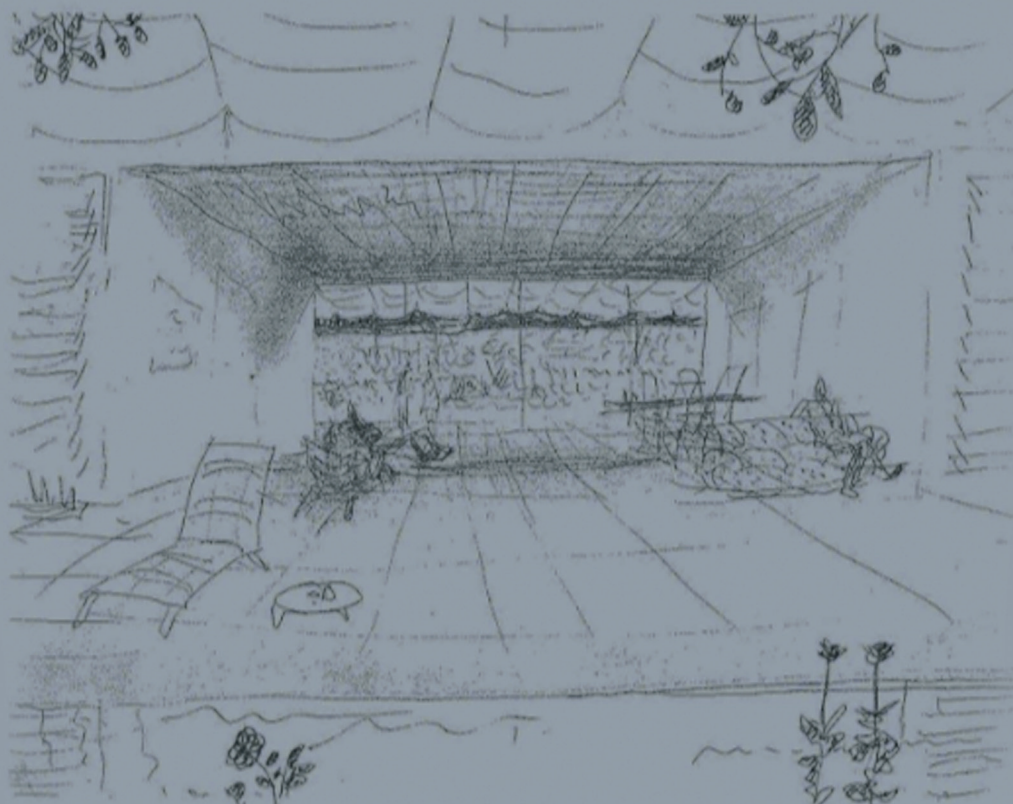


Εικόνα 6: Ghardaia, Algeria

10. Abalos I., Snetkiewicz, R., Essays on thermodynamics, p 236-239

11. Abalos I., Snetkiewicz, R., Essays on Thermodynamic and Beauty, p 25





Εικόνα 7: Ο θόλος του Jay Baldwin's. Jack Fulton (πάνω),  
Alejandro de la Sota, κατοικίες στην Alcudia, Mallorca. 1983-1984 (κάτω)

# 2

---

## Η σχέση θερμοδυναμικής και αρχιτεκτονικής στον 20ο αιώνα

## 2.1 Η θερμομόνωση και το κλιματιστικό, στην εργαλειοθήκη του μοντερνισμού

---

Η έλευση του μοντερνισμού κατά τις αρχές του εικοστού αιώνα άλλαξε την αρχιτεκτονική τόσο μορφολογικά όσο και κατασκευαστικά. Η προσπάθεια προσαρμογής στις καινούργιες συνθήκες και απαιτήσεις προωθούν μία διαδικασία απλοποίησης σε ό, τι αφορά τις έννοιες που είχαν σχέση με την μεταφορά θερμότητας στα κτίρια και οδηγούν σε μια οπτική λιγότερο περίπλοκη, αλλά αρκετά πιο περιορισμένη.

Η βιομηχανοποίηση των κατασκευαστικών υλικών, έφερε τον μετασχηματισμό των μονωτικών υλικών, που μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν ανά περιοχή ανάλογα με το κλίμα, σε τυποποιημένα μονωτικά προϊόντα. Οι βιομηχανίες καθοδηγούν με τις εκθέσεις τους τη γνώση των αρχιτεκτόνων σχετικά με τις ιδιότητες του καθενός. Για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά τους δημιουργείται το R-value (θερμική αντίσταση), μια τιμή που αξιολογεί την ικανότητα ενός υλικού να αντιστέκεται στη μεταφορά θερμότητας ανα συγκεκριμένο χρόνο και εμβαδό. Έτσι οι αρχιτέκτονες άρχισαν σταδιακά να καλούνται απλώς να επιλέγουν ανάμεσα σε προϊόντα και ο προβληματισμός τους για τη θερμική άνεση και συμπεριφορά του κτιρίου σταδιακά να περιορίζεται.

Την ίδια περίπου περίοδο ο Willis Carrier καταφέρνει να δημιουργήσει το πρώτο κλιματιστικό. Μετα από άκαρπες μεμονωμένες προσπάθειες εφευρετών ο Carrier δημιουργεί για τις ανάγκες ψύξης των μηχανημάτων ενός τυπογραφείου στη Νέα Υόρκη, την πρώτη λειτουργική συσκευή. Το μέγεθος και η απόδοσή της φυσικά δεν έχουν σχέση με τη σημερινή εικόνα των συσκευών κλιματισμού, ωστόσο ο συσχετισμός υγρασίας και θερμοκρασίας και ο τρόπος ελέγχου τους αποτελεί μέχρι σήμερα τη βάση λειτουργίας των air-conditioning. Διαφημίζοντας τη δυνατότητα δημιουργίας ενός τεχνητού κλίματος και την αδιαφορία για τις εξωτερικές συνθήκες, ο Carrier κατάφερε σύντομα να κάνει το air-conditioning ιδιαίτερα δημοφιλές.<sup>12</sup>

Η καταστροφή του Β' παγκοσμίου πολέμου δημιούργησε την ανάγκη για μαζική ανοικοδόμηση με επιρροή από τα νέα πρότυπα. Με την προσαρμογή των κλιματιστικών στο κτίριο για τη διαχείριση των θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον, επηρεάζεται και η μορφολογία του κτιρίου. Οι αρχιτέκτονες απελευθερώνονται από τους απαραίτητους ογκοπλαστικούς χειρισμούς που

---

12. Moe, Kie Thermally Active Surfaces, p. 45-47

έκαναν το κτίριο βιώσιμο.<sup>13</sup> Πλέον τα κτίρια μπορούν να αποκτούν μεγάλο βάθος χωρίς την ανάγκη ανοιγμάτων. Η νέα τεχνολογία του αέρα και η χρήση τεχνητού φωτισμού επιτρέπουν μεγαλύτερη ευελιξία στη μορφή. Η παγκοσμιοποίηση των νέων βορειο-αμερικανικών προτύπων δόμησης εκτόπισε τους τοπικούς τρόπους χειρισμού των θερμικών ανταλλαγών των κτιρίων με το περιβάλλον. Το κέλυφος πλέον αντί να ρυθμίσει τις θερμικές ανταλλαγές προσπαθεί να απομονώσει το εσωτερικό από το εξωτερικό εδραιώνοντας ένα νέο κτιριακό παράδειγμα αποτελούμενο από ένα ελαφρύ σφραγισμένο περίβλημα και ένα μηχανικά κλιματιζόμενο εσωτερικό.<sup>14</sup>

Συμπερασματικά θα λέγαμε πως ενώ ο 20ος αιώνας σηματοδοτείται σε οπτικό επίπεδο από την απελευθέρωση της μορφής, στο μη ορατό, δηλαδή το εσωτερικό περιβάλλον παρατηρείται τυποποίηση, ουδετερότητα και απλούστευση.<sup>15</sup>



Εικόνα 8: Air-condition, comfort model, 1950

---

13. Keil Moe, *Insulating Modernism*, p. 111

14. Rahm, Ph., "Climatic Construction. Thermal Assymetry in Construction", *Harvard Design Magazine*, vol. 30, p.34

15. Rahm, Ph., "Climatic Construction. Thermal Assymetry in Construction", *Harvard Design Magazine*, vol. 30, p.33





Εικόνα 9: Ο Ludwig Mies van der Rohe και τα Chicago's Lake Shore Drive Apartments, 1956

## 2.2 Η ενεργειακή κριτική του μοντερνισμού

---

Η ενεργειακή κριτική του μοντερνισμού δεν άργησε να έρθει. Το 1964 ο Bernard Rudofsky με την έκθεση στο Moma και ομώνυμο βιβλίο “Architecture without architects” υπενθυμίζει την ικανότητα των παραδοσιακών ή ακόμη και πρώιμων αρχιτεκτονικών παραδειγμάτων για τεκτονική και θερμοδυναμική προσαρμογή στο περιβάλλον. Μπορεί η συγκεκριμένη οπτική να χαρακτηρίστηκε ρομαντική και νοσταλγική αλλά παραμένει επίκαιρη ακόμα και σήμερα αν αναλογιστεί κανείς το πλήθος των επανεκδόσεών του. Ο Rudowski κατακρίνοντας το τεχνοκρατικό μοντέλο κατασκευής του μοντερνισμού συνεισφέρει στο να ανοίξει η συζήτηση για την κακή ενεργειακή αποδοτικότητα των μοντέρνων κτιρίων.<sup>16</sup>

Μια βασική κατηγορία που αποδίδεται στις πρακτικές αυτής της περιόδου είναι η μάταια προσπάθεια απομόνωσης του κτιρίου από το περιβάλλον. Η προσπάθεια να σφραγιστεί το κτίριο και να αντιμετωπιστεί η συμπεριφορά του γραμμικά ως απομονωμένο σύστημα ήταν μια απλούστευση της θερμοδυναμικής πραγματικότητας του κτιρίου, ειδικά όταν συστηματικά αγνοούνταν ακόμα μεγαλύτερες θερμικές απώλειες από διάφορα στοιχεία της κατασκευής.

Η προσπάθεια αυτή φυσικά δε θα ήταν εφικτή χωρίς το κλιματιστικό. Ένα σημαντικό στοιχείο όμως που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι το κλιματιστικό δημιουργήθηκε απευθυνόμενο σε μηχανήματα και όχι σε ανθρώπους. Οι συνέπειες αυτού σε συνδυασμό με το ερμητικά κλειστό εσωτερικό οδήγησε στο sick-building syndrome. Η κακή ποιότητα αέρα και οι αναθυμιάσεις από μερικά μονωτικά προϊόντα δημιούργησαν ένα επιζήμιο περιβάλλον για την υγεία των χρηστών του. Αποκορύφωμα αυτού του φαινομένου ο καρκινογενής ρόλος ορυκτών ινών όπως ο αμίαντος που χρησιμοποιούνταν μαζικά εκείνη την περίοδο στο εσωτερικό των κτιρίων. Ανάλογες συνέπειες αυτών των πρακτικών επηρέασαν και το εκτός κτιρίου περιβάλλον. Η λειτουργία του κτιρίου βασιζόμενη στην υποστήριξη από ενεργοβόρες μηχανικές συσκευές απαιτούσε τεράστιες ποσότητες ενέργειας με τις ανάλογες επιπτώσεις στο περιβάλλον.<sup>17</sup> Όπως χαρακτηρίστηκε η μοντέρνα περίοδος ήταν μία εποχή που οι άνθρωποι είχαν ‘προβλήματα’, απαιτούσαν ‘λύσεις’, και οι επιστήμονες αξιολογούσαν αυτούς τους αστάθμητους παράγοντες σαν ‘ευκαιρίες και δυνατότητες’.<sup>18</sup>

16. Abalos I., Snetkiewicz, R., Essays on thermodynamics, p 244

17. Moe, Kiel. Insulating modernism. Basel: BirkhauserVerlag, 2014, p.133-134

18. Ivan Illich, “Disabling Professions”, p.11

Κατά μια έννοια σταδιακά ανατρεπόταν ο κόσμος της παραδοσιακής εξειδικευμένης γνώσης, και αντικαθιστούνταν με την τεχνικοποίηση των υλικών συστημάτων. Αυτό γενικότερα σηματοδοτούσε την παγκοσμιοποίηση των Αμερικάνικων τεχνοτροπιών, ανεξάρτητα από τις τελικές χρήσεις, τα διαφορετικά κλίματα, υλικά και τοπικές τυπολογίες. Η διάδοση αυτού του μοντέλου συνέπεσε χρονικά με την περίοδο στην οποία η ανθρωπότητα βίωνε πρωτόγνωρες δημογραφικές μεταβολές και οι τροπικές και υποτροπικές ζώνες είχαν μεγάλη οικονομική ανάπτυξη. Αποτέλεσμα αυτής της οικονομικής ανάπτυξης ήταν η εφαρμογή αυτών των μοντέλων σε περιοχές που ο κλιματισμός δεν ήταν καθόλου αποδοτικός.<sup>19</sup>



Εικόνα 10: “Architecture without architects”, MoMa, New York, 1964, Bernard Rudowsky

---

19. Keil Moe, “Insulating Modernism”, p. 154



Οι αρχιτέκτονες ήταν σε μεγάλο βαθμό αποκομμένοι από την εξέλιξη αυτού του φαινομένου, κάτι που ο Inaki Abalos το αποδίδει στον κατακερματισμό των αρμοδιοτήτων της κατασκευής. Εκ των υστέρων θα παρατηρήσουμε πως ανώνυμα μεμονωμένα άρθρα αυτής της περιόδου την ώρα που άλλοι επικεντρώνονταν στη δημοσίευση των εκθέσεων των εργοστασίων, έδιναν έμφαση στην ανάγκη μιας προσέγγισης που αργότερα θα ονομάσουμε βιοκλιματική αρχιτεκτονική. Το εναλλακτικό μοντέλο εισήχθη στον αρχιτεκτονικό διάλογο από τους αδελφούς Olygyay το 1950, διατυπώνοντας την ιδέα πως η αρχιτεκτονική με τη χωρική και υλική της οργάνωση θα μπορούσε να μεσολαβεί ανάμεσα στο εξωτερικό κλίμα και την ανθρώπινη φυσιολογία. Στην ίδια γραμμή το 1970 η Lisa Heschlong με το *Thermal Delight in Architecture* κατακρίνοντας το μοντέλο του μοντερνισμού, υποστήριξε πως οι κάτοικοι των *passive solar* κτιρίων απολαμβάνουν μια πληθώρα θερμικών εμπειριών που δεν παρέχεται από τα κλιματιζόμενα κτίρια.<sup>20</sup>



Εικόνα 11: Bad-gir windscoops, West Pakistan, *Architecture without Architects*



Εικόνα 12: Το εσωτερικό ενός μοντέρνου κτιρίου γραφείων, 1955

---

20. Germán, Javier. "Thermodynamic interactions : an exploration into physiological, material and territorial atmospheres." p. 36-37

## 2.3 Το αντιπαράδειγμα του Frank L. Wright

Ένα μη μοντέρνο παράδειγμα.

---

Είναι χρήσιμο να λάβουμε υπόψη μας ένα κτίριο και έναν αρχιτέκτονα που διαφοροποιήθηκε από την επικρατούσα πρακτική στον ενεργειακό σχεδιασμό του κτιρίου. Ο Frank Lloyd Wright σχεδίασε το Jacob House το 1936. Ο αρχιτέκτονας σε αυτό το παράδειγμα αποφάσισε να διαχειριστεί όλη την ενέργεια για την λειτουργία του κτιρίου και την θερμική άνεση του χρήστη με αρκετά διαφορετικό τρόπο.

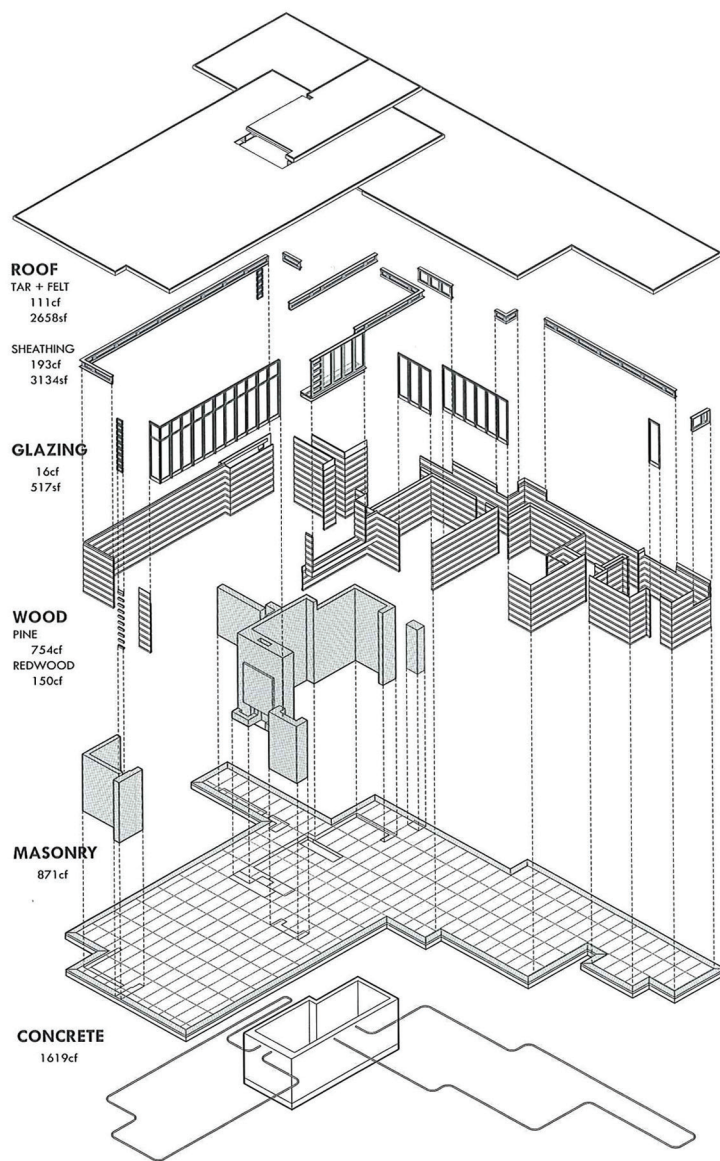
Το βασικό στοιχείο του Jacob House είναι το τζάκι, το οποίο χάρη στη μεγάλη μάζα του σε σχέση με το μέγεθος του σπιτιού λειτουργεί σαν πέτρινο καλοριφέρ. Ενεργοποιείται από τη φωτιά το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι απορροφά τη θερμότητα. Ακόμα, το ξύλο, το σκυρόδεμα και η τοιχοποιία λειτουργούν στρατηγικά ανάλογα με τις θερμικές τους ιδιότητες όλες τις εποχές, ενεργοποιούμενα είτε από τεχνικά είτε φυσικά συστήματα. Ο Luis Fernandez Galiano μελέτησε τη θερμοδυναμική λογική της κατοικίας και περιέγραψε την απόπειρα του Wright να χρησιμοποιήσει θερμικά ενεργή πλάκα ως βασικό μέσο θέρμανσης σε μία προσπάθεια να εξαλείψει την παρουσία των καλοριφέρ από το χώρο.

Η μάζα του τζακιού και του δαπέδου είναι θερμικά ενεργή τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι, με ή και χωρίς τα λειτουργικά συστήματα. Σε συνδυασμό με τον ήλιο, τη φωτιά και τα ανθρώπινα σώματα διαμορφώνουν μία νέα ισορροπία και οπτική για το θερμικό περιβάλλον ενός σπιτιού.

Παρόλο που το Jacob House είναι ένα μικρό δείγμα αντιπροσωπεύει έναν αρχιτέκτονα που σκέφτεται πιο βαθιά για τις ροές της ενέργειας από την επικρατούσα πρακτική στη Βόρεια Αμερική. Ωστόσο, ο ίδιο ο αρχιτέκτονας κρίνοντας το επίτευγμα του τόνισε πως τελικά το κόστος για την απόλαυση του ματιού μέσα από τα μεγάλα ανοίγματα του καθιστικού και του υπνοδωματίου είναι η ανάγκη για ένα πουλόβερ και μίας ζωηρής μόνιμης φωτιάς.<sup>21</sup>

---

21. Moe, Kiel. *Insulating modernism*. Basel: BirkhauserVerlag, 2014, p.172-182



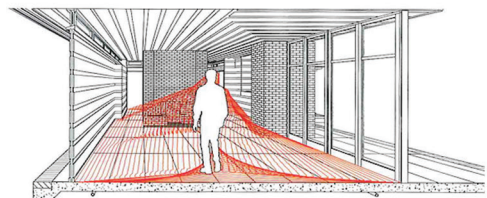
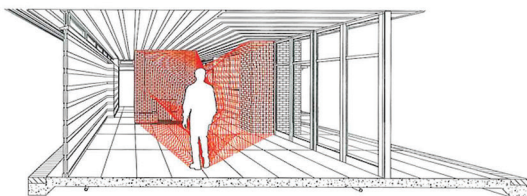
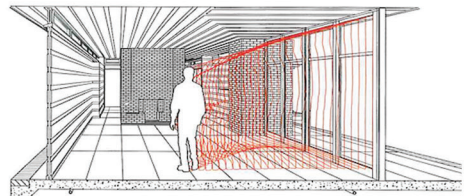
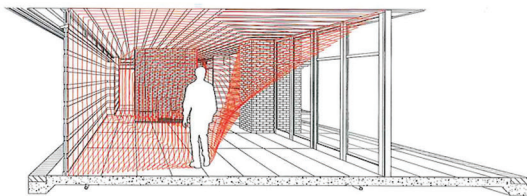
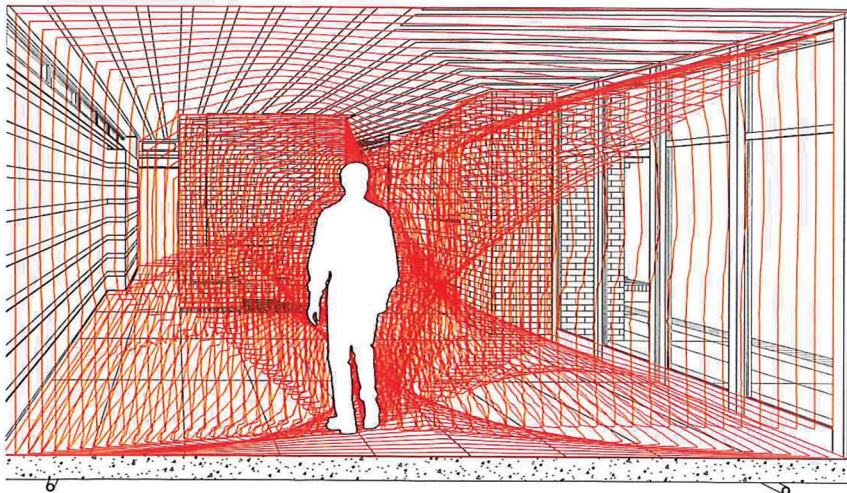
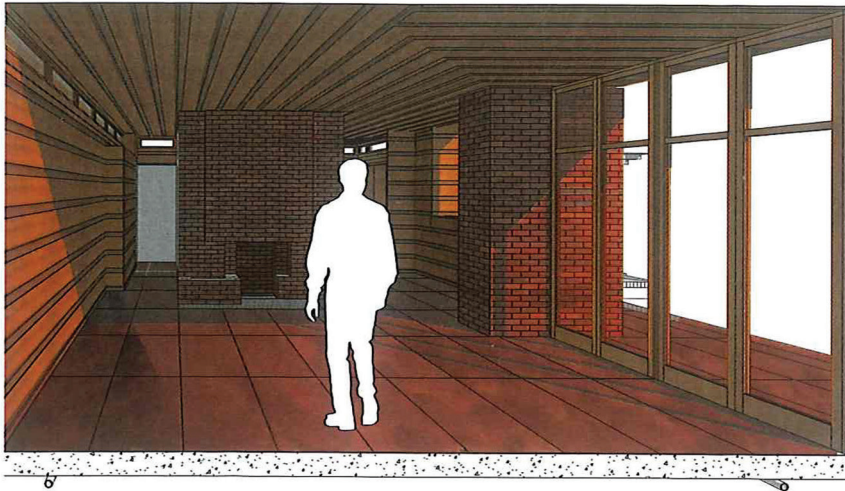
Jacobs House  
Elevations

Εικόνα 13: Τα υλικά του Jacobs House σε έκρηξη αξονομετρικού



Εικόνα 14: Το τζάκι της κατοικίας





Εικόνα 15: Thermodynamic figuration

## 2.4 Ενεργειακή κριτική των βιώσιμων, Zero-Energy κτιρίων και η αξιολόγηση LEED

---

Η αναπτυγμένη γνώση των αρνητικών πτυχών του μοντέλου της βιομηχανικής ανάπτυξης και η απεριόριστη εκμετάλλευση των φυσικών πόρων οδήγησαν σε μία προσπάθεια αντιμετώπισης τους στο επίπεδο της κατασκευής, η οποία αποτελεί και των κύριο καταναλωτή των φυσικών πόρων. Με αυτή την προοπτική αναπτύχθηκε και μία διαφορετική αντιμετώπιση της πόλης και του κτιρίου που έδινε έμφαση στην προσαρμογή τους στο περιβάλλον και στην ελαχιστοποίηση του οικολογικού αποτυπώματος τους.

Τα 'έξυπνα' και 'βιώσιμα' κτίρια και αργότερα τα Zero-Energy-Buildings και η αξιολόγηση LEED κέρδισαν γρήγορα την αποδοχή και εξαπλώθηκαν ως ένα νέο κατασκευαστικό μοντέλο φιλικό προς το περιβάλλον. Στην πραγματικότητα όμως αυτή η καινούργια οπτική ήταν και είναι εξαρτημένη σε πολλούς βαθμούς από την βασική ιδέα του Carrier, δηλαδή μέγιστη απομόνωση από το περιβάλλον και ελάχιστη κατανάλωση στο εσωτερικό.<sup>22</sup>

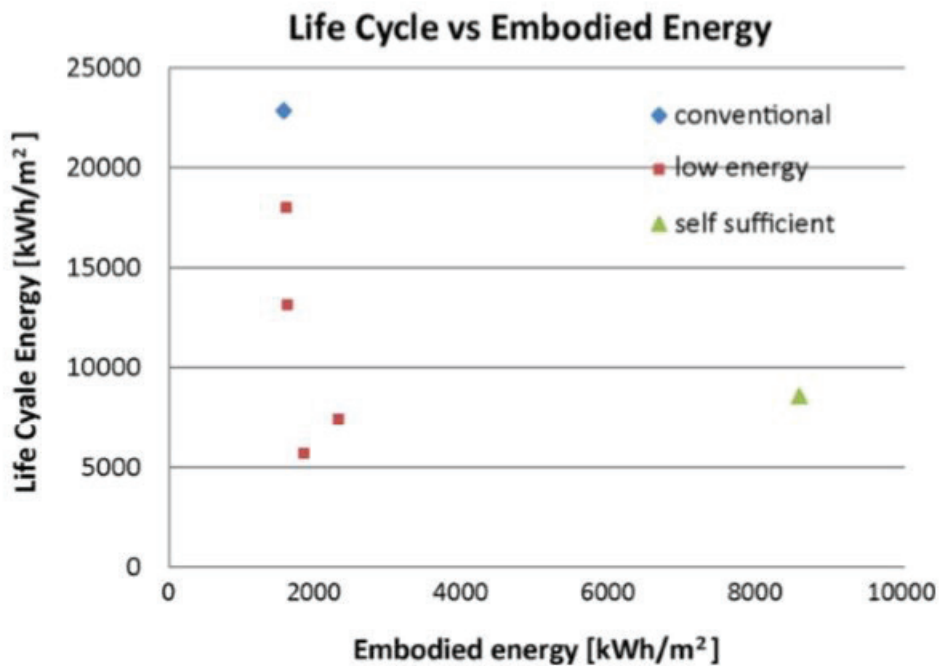
Τα μοντέλα που υιοθετήθηκαν από τον μοντερνισμό και αργότερα μετατράπηκαν στην αρχιτεκτονική της βιωσιμότητας και zero-energy θα μπορούσαν να επιτύχουν το σκοπό τους μόνο αν μεγάλες ποσότητες της ενεργειακής ιεραρχίας του κτιρίου είναι απομονωμένες και εξαιρούνταν από το βασικό, κύριο σύστημα του κτιρίου. Εάν αναλογιστούμε την ολική ενεργειακή ιεραρχία ενός κτιρίου, πώς θα μπορούσε ένα κτίριο και γενικότερα οτιδήποτε να αποτελείται από μηδενική ενέργεια; Μία τέτοια οπτική απαιτεί ένα διαστρεβλωμένο και ευκαιριακό σύστημα ορίων.<sup>23</sup> Ο λόγος που οι θεωρίες και οι πρακτικές των προηγούμενων αιώνων για την ενέργεια στην αρχιτεκτονική περιόριζαν και έθεταν στενά όρια, ήταν για να μπορούν να τα κατανοήσουν και να τα αντιμετωπίσουν. Στην πραγματικότητα όμως τα κτίρια ποτέ δεν ήταν απομονωμένα, αυτοσυντηρούμενα, αυτόνομα, ενεργειακά- ανεξάρτητα αντιθέτως τα κτίρια πάντα ήταν μη- αποκομμένα, ανοικτά συστήματα, και κατασκευές με μεγάλες ενεργειακές σπατάλες.

Μιλώντας για περιορισμένα όρια αναφερόμαστε κυρίως στην υπέρμετρη προσοχή που έχει δοθεί στην ενέργεια που καταναλώνει ένα κτίριο κατά την διάρκεια της ζωής του και στην παράλειψη της ενέργειας που δαπανάται κατά την κατασκευή του (embodied energy). Η επιλογή του ορίου είναι αυτή που καθορίζει αν το κτίριο πραγματικά συναντά τις προσδοκίες που θέτει σε σχέση

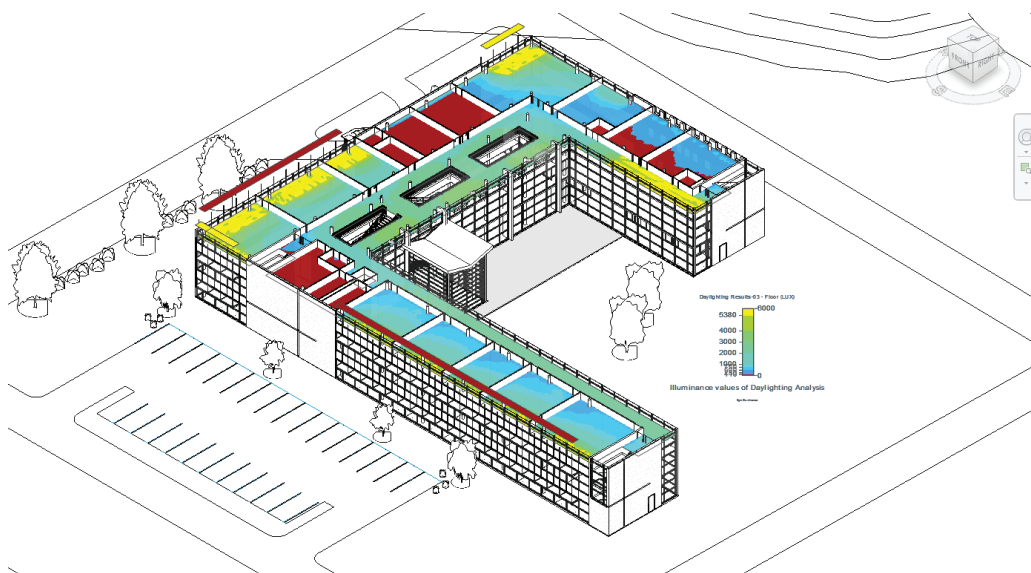
---

22 Moe, Kiel. "Insulating modernism.", p.172-182

23 Moe, Kiel. "Insulating modernism.", p. 18



Εικόνα 16: Σύγκριση μεταξύ Embodied energy και Operational Energy σε διαφορετικούς τύπους κατασκευής



Εικόνα 17: Light Analysis for LEED , από το πρόγραμμα Revit της Autodesk

με την βιωσιμότητα και το αποτύπωμα του. Αυτό σημαίνει πως τα κτίρια μπορούν με την ανάλογη επιλογή ορίου να θεωρηθούν ή όχι μηδενικής ενέργειας. Όπως για παράδειγμα τα αυτάρκη κτίρια εάν συνυπολογιστεί το ενεργειακό κόστος κατασκευής μπορεί να είναι πολύ πιο δαπανηρά από αντίστοιχα low-energy κτίρια.<sup>24</sup>

Πάνω σε αυτή την δυσκολία καθορισμού των ορίων και τι είναι πραγματικά είναι βιώσιμο ο Olgyay και ο Herdt το 2004 προσπάθησαν να δημιουργήσουν μία απόλυτη μέθοδο αξιολόγησης η οποία να καθορίζει την προσφορά του οικοσυστήματος σε ένα κτίριο. Για αυτή την αξιολόγηση βρίσκουν την οριακή ενέργεια που μπορεί να δαπανηθεί χωρίς να αποβεί επιβλαβής για το περιβάλλον (carrying capacity). Παίρνοντας ως δεδομένο πως η παραγωγικότητα του οικοσυστήματος είναι 100GJ ανά εκτάριο ετησίως, τότε η ενέργεια που μπορεί να δαπανηθεί είναι ανάλογη του οικοπέδου του κτιρίου. Με αυτή την μέθοδο αν η ενέργεια που απαιτείται για την κατασκευή (embodied energy) και την λειτουργία (operational energy) του κτιρίου είναι περισσότερη από αυτή που μπορεί να πατάξει το οικόπεδο (carrying capacity) τότε το κτίριο δεν είναι βιώσιμο. Αυτή η αξιολόγηση δείχνει πως και στα Zero energy και μη κτίρια όταν προσμετράτε η ενέργεια που δαπανάται κατά την κατασκευή τότε την οριακή ενέργεια ξεπερνιέται. Αυτή η αξιολόγηση δεν αποτελεί μία ευρέως αποδεκτή μέθοδο καθώς δεν υπολογίζει πως με διαφορές διαδικασίες μπορεί να μπορεί να προσφερθεί με άλλους τρόπους πίσω στο περιβάλλον αυτό που χάνεται αλλά δεν αποτελεί μία πιο «ειλικρινή» αξιολόγηση της ενεργειακής κατανάλωσης. Ενώ ακόμα δείχνει μία προσπάθεια ορισμού τι είναι πραγματικά ωφέλιμο ενεργειακά ανοίγοντας το όριο μελέτης.<sup>25</sup>

Σε μία λοιπόν εποχή που η αρχιτεκτονική προσπαθεί να στραφεί σε μία πιο βιώσιμη και οικολογική πορεία, στην Αμερική δημιουργήθηκε ένα άλλο πρόγραμμα αξιολόγησης. Η αξιολόγηση LEED<sup>26</sup> (Leadership in Energy and Environmental Design) προσπάθησε να ενθαρρύνει, μέσω ενός συστήματος

---

24. Mancini, S., Birt, B., "Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but...", p 2-4

25. Bendewald M., Using carrying capacity as a baseline for building sustainability assesment p2-3

26. "Η LEED (Ηγεσία στον τομέα της ενέργειας και του περιβαλλοντικού σχεδιασμού) αντιπροσωπεύει τις προσπάθειες ενός συνασπισμού, συμπεριλαμβανομένου του αμερικανικού συμβουλίου οικολογικών κτιρίων (GBC), για τη θέσπιση ενός εθνικού προτύπου για την κατασκευή των λεγόμενων «πράσινων» κτιρίων. Η απόκτηση της πιστοποίησης LEED απαιτεί τη συμμόρφωση με έναν ελάχιστο αριθμό κριτηρίων που επηρεάζουν πολλές πτυχές ενός έργου, από την επιλογή χώρου μέχρι το ανακυκλωμένο περιεχόμενο δομικών υλικών. Ενώ η συμμετοχή στο πρόγραμμα LEED ήταν ως επί το πλείστον εθελοντική, ορισμένες κυβερνητικές οντότητες απαιτούν τα έργα που χρηματοδοτούνται από το δημόσιο να υποβάλλονται σε πιστοποίηση LEED και άλλα κράτη και κοινότητες εξετάζουν το ενδεχόμενο αυτό."(<https://greenbuildingsolutions.org/resources/leed-cost-analysis-summary/>)



πόντων, συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σχεδιασμού που μειώνουν την χρήση ενέργειας ή βελτιώνουν την ποιότητα του αέρα στο εσωτερικό των κτιρίων. Σε μεγάλο βαθμό η στρατηγική αυτή που προωθήθηκε μέσω της αξιολόγησης-πιστοποίησης δεν επικεντρώθηκε στην ενσωματωμένη ενέργεια (embodied energy). Μερικές μόνο από αυτές τις πιστοποιήσεις την συνυπολογίζουν την ενέργεια που δαπανάται κατά την κατασκευή αλλά κυρίως συσχετίζοντάς την με το χρηματικό κόστος της.. Παρ' όλα αυτά η δημιουργία αυτής της αξιολόγησης λειτούργησε παρακινητικά για την αγορά ώστε να αρχίσει να απαιτεί τέτοιου είδους σχεδίαση. Με αυτό τον τρόπο πλέον μεγάλο μέρος των κτηρίων που κατασκευάζονται με τις προδιαγραφές της αξιολόγησης LEED και κατάφεραν να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας και να φέρουν περισσότερο στο επίκεντρο του σχεδιασμού τον βιώσιμο σχεδιασμό.

Παρά τις καλές προθέσεις αυτής της αξιολόγησης έχει αποδειχθεί πως αν και 18-39% των κτιρίων LEED καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από τα συμβατικά το 28-35% καταναλώνει περισσότερη.<sup>27</sup> Ακόμα κατά την εφαρμογή η αποδοτικότητα των LEED κτιρίων δεν έχει σχέση με την αξιολόγηση που έγινε κατά την διάρκεια του σχεδιασμού τους και αντίστοιχα των προβλέψεων της αποδοτικότητας τους. Συνεπώς μπορούμε με ασφάλεια να πούμε πως παρά την σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας που εν μέρει επιτυγχάνετε, η αξιολόγηση και οι πιστοποιήσεις (διαφόρων επιπέδων: ασημένια, αργυρή, κλπ.) χρειάζονται πολύ ακόμα μελέτη για να μπορούν μπορέσουν πραγματικά να κατευθύνουν την αρχιτεκτονική σε ένα πιο ουσιαστικό και φιλικό προς το περιβάλλον σχεδιασμό.<sup>28</sup>

Όλες αυτές οι προσπάθειες κατασκευής και αξιολόγησης κατά τον 20<sup>ο</sup> και 21<sup>ο</sup> αιώνα αποτελούν μία συστηματική προσπάθεια βελτίωσης τόσο των συνθηκών του εσωτερικού του κτιρίου όσο και της μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος του κτισμένου περιβάλλοντος. Οι μέχρι τώρα πρακτικές όμως, βασισμένες στην λογική του μοντερνισμού και την σύγχρονη τεχνολογία δεν έχουν ακόμα καταφέρει να επιτύχουν τους στόχους τους και αυτό γίνεται αντιληπτό μέσω την διεύρυνση των ορίων αξιολόγησης. Παρατηρούμε λοιπόν πως ακόμα η απάντηση στην ενεργειακή κρίση βασίζεται στην λογική της διατήρησης, δηλαδή θεωρείται καλό αυτό που προξενεί λιγότερο κακό. Παρόλο όμως που αυτή η λογική έχει καλές προθέσεις αποδεικνύεται αρκετά περιορισμένη.<sup>29</sup>

---

27. Mancini, S., Birt, B., (2009), "Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but..." p. 2,

28. Mancini, S., Birt, B., (2009), "Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but..." p. 16-17

29. Moe, Kiel."Compelling yet Unreliable Theories of Sustainability", Journal of Architectural Education Vol. 60 No.4, 2007

# 3

---

## Θερμοδυναμικές έννοιες για την Αρχιτεκτονική

### 3.1 Συσχετίσεις της αρχιτεκτονικής με την θερμοδυναμική

---

Architectural thermodynamics είναι ένας κλάδος των human thermodynamics όπου χρησιμοποιούνται έννοιες όπως η ενέργεια, η εντροπία και οι νόμοι της θερμοδυναμικής στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και θεωρία. Στο τέλος της δεκαετίας του 1970 στο Georgia Institute of Technology διδάχτηκε και ένα από τα πρώτα σχετικά μαθήματα με τίτλο “Architectural Thermodynamics”. Το όνομα του μαθήματος όμως τροποποιήθηκε σε “thermal principles of architecture” καθώς ο προηγούμενος τίτλος απωθούσε τους μαθητές.

Πρωτοπόροι της αρχιτεκτονικής σε αυτό το πεδίο ήταν ο αστικός σχεδιαστής Alan Wilson (1970) και ο Ιταλός αρχιτέκτονας Luis Fernández-Galiano(1980). Από το 1995 ο μαθηματικός και αρχιτέκτονας Νίκος Σαλίγκaros συνέταξε θεωρίες πάνω σε αυτό το πεδίο χρησιμοποιώντας μη μετρήσιμες θερμοδυναμικές μεταβλητές όπως η αρχιτεκτονική εντροπία, αρχιτεκτονική θερμοκρασία και την θεωρία του χάους και της πολυπλοκότητας με στόχο να συσχετίσει το σχεδιασμό του κτιρίου με την συναισθηματική ευεξία και ομορφιά.

Το 1984 με 1992 ο Sanford Kwinter προτείνει σε μία άλλη διατύπωση την ανάγκη να εισαχθούν οι αρχές της θερμοδυναμικής μη-ισσοροπίας (far from equilibrium thermodynamics) και το βέλος του χρόνου στην αρχιτεκτονική. Αυτές οι ιδέες εκφράστηκαν μέσω διαφόρων άρθρων( “Landscapes of Change: Boccioni’s “Stati d’animo” as a General Theory of Models” in *Assemblage*, No. 19, Dec., 1992, pp. 50-65).

Το 2007 ο Javier Garcia-German, βασισμένος στις ιδέες του Fernández-Galliano, επιμελείται το *From the mechanical to the thermodynamics. For a Definition Power Architecture and Planning* (De lo Mecánico a lo Termodinámico. Por una Definición Energética de la Arquitectura y del Territorio), το οποίο εκδόθηκε στα Αγγλικά το 2017 με τίτλο *Thermodynamic Interactions: an Exploration into Material, Physiological, and Territorial Atmospheres*.

Καθώς η συσχέτιση αρχιτεκτονικής και θερμοδυναμικής αναπτύσσεται και άλλοι ερευνητές όπως ο καθηγητής αστικού σχεδιασμού Seda Bostanci χρησιμοποιεί το θερμοδυναμικό όρο της εντροπίας για να περιγράψει μια αισθητική θεωρία του αστικού τοπίου στη διδακτορική του διατριβή με τίτλο “Evaluation of Urban Skylines by the Entropy Approach”(2008).

Το 2013 ο Inaki Abalos και Matthias Schuler κάνουν ένα σεμινάριο στο Harvard Graduate School of Design με τίτλο “Air in Motion / Thermodynamic Materialism”, στο οποίο μελετάται ο αέρας και ο χώρος θερμοδυναμικά αντί για τη συνήθη μεταφορική ή ποιητική προσέγγιση. Αργότερα, το 2015 εκδίδεται και το βιβλίο των Inaki Abalos+Sentkiewicz με τίτλο «Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty» στο οποίο βασίζεται μέρος αυτής της εργασίας.<sup>30</sup>

---

30. Carnot, S., (2017, 28 February), Retrieved from: <http://www.eoht.info/page/Architectural+thermodynamics>

### 3.2 Θερμοδυναμικές αρχές για την οργάνωση των κτιρίων/ το κτίριο ως σύστημα

---

Ένας ακόμα κλάδος που συνέβαλε στη συσχέτιση αρχιτεκτονικής και θερμοδυναμικής είναι η οικολογία. Μία προσέγγιση της οικολογίας που αναπτύχθηκε τις τελευταίες δεκαετίες η οποία χρησιμοποιεί την ενέργεια των συστημάτων για να περιγράψει την οργάνωσή τους. Η γνώση αυτή αξιοποιήθηκε στη συζήτηση στην ενέργεια στην αρχιτεκτονική περιγράφοντας το κτίριο ως σύστημα.

Η ενέργεια συσχετίζεται με την οικολογία το 1950 από τους αδελφούς Odum. Μία ριζικά ολιστική προσέγγιση παρουσιάστηκε αρχικά από τον E. Odum με το βιβλίο "Fundamental Ecology" και αργότερα από τον H. Odum με τα energy flows και το system ecology το 1983. Μέσα από τα βιβλία αυτά εξερεύνησαν όχι μόνο τις πηγές, τις δεξαμενές και τις ροές της ύλης, μεταξύ των μερών του συστήματος, αλλά προσπάθησαν να εξερευνήσουν τα επίπεδα διαδικασιών και μεθοδολογιών. Αρκετή από την ορολογία που χρησιμοποίησαν προήλθε από την θερμοδυναμική, όπως η εξέργεια, η εντροπία και το έργο(θα αναλυθούν αργότερα). Η συστημική προσέγγιση λειτούργησε ως εργαλείο για την επίτευξη της ταυτοποίησης των διαδικασιών ενός συστήματος, οι οποίες μπορούν να επιτευχθούν μέσα από μία ποικιλία εφαρμογών.<sup>31</sup>

Οι αναλογίες της βιολογικής οργάνωσης και των κτιρίων είναι πολλές και πιθανότατα μία τέτοια προσέγγιση, εάν εφαρμοζόταν στα κτίρια, να μπορούσε να οδηγήσει σε ένα καινούργιο πιο αποδοτικό τρόπο οργάνωσης.

Μέχρι και σήμερα η λογική διαχείρισης της ενέργειας, όσο και του μοντερνισμού, χρησιμοποιούσε γραμμικές λογικές, βασισμένες στον Πρώτο Θερμοδυναμικό Νόμο. Υλικά και ενέργεια τροφοδοτούνται στο κτίριο με σκοπό την μείωση των απωλειών στο περιβάλλον. Με αυτό τον τρόπο θεωρητικά χρειάζεται λιγότερη ενέργεια να τοποθετηθεί στο κτίριο για να διατηρείται το επιθυμητό εσωτερικό περιβάλλον σε ικανοποιητικό βαθμό. Οι συνθήκες, που δημιουργούνται κατά την προσπάθεια εξασφάλισης των παραπάνω παραμέτρων, οδηγούν σε απομονωτικές λογικές. Η απομόνωση των κτιρίων από το περιβάλλον συσχετίζεται άμεσα με τον περιορισμό των θερμοδυναμικών δυνατοτήτων, οι οποίες εάν αξιοποιηθούν σωστά, θα μπορούσαν να κάνουν τα κτίρια πολύ πιο αποδοτικά.<sup>32</sup>

31. David G. Raffaelli, Christopher L. J. Frid, Ecosystems Ecology: A new synthesis, Cambridge University Press, 2010, p. 9-10

32. Timothy F.H. Allen, Construction ecology : nature as the basis for green buildings, Applying the principles of ecological emergence, 2001, p. 108-126

Όλα τα ενεργειακά συστήματα έχουν την ακόλουθη δομή: το σύστημα, το όριο, και το περιβάλλον του. **Το όριο**, το οποίο διαχωρίζει το σύστημα από το περιβάλλον, πρέπει να διαμορφώνεται ανάλογα με την περίπτωση. Στην οπτική αυτή, το όριο δεν αποτελεί ουσιαστικά ένα αντικειμενικό αλλά κυρίως μία καθορισμένη από τον μελετητή μορφή ανταλλαγής, μία αλλαγή συμπεριφοράς ή μία αύξηση της ενεργειακής δραστηριότητας. Για αυτό είναι βασικό να επιλεγεί ένα σχετικό όριο του συστήματος που απλοποιεί (χωρίς να καθιστά το σύστημα απλοϊκό) και τις σχέσεις αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Η επιλογή του έχει πολλές επιπτώσεις από άποψη σχεδιασμού του κτιρίου (και απαιτεί σχετική σημαντική εμπειρία).<sup>33</sup> Η επιλογή ορίου ορίζει και τη μορφή του συστήματος, κλειστό, ανοικτό, ή απομονωμένο. Αυτή η κατηγοριοποίηση είναι και αυτή που ορίζει τους τύπους αλληλεπίδρασης του κτιρίου με το περιβάλλον.<sup>34</sup> Τα κτίρια με λανθασμένες επιλογές ορίου που έγιναν κατά τους τελευταίους αιώνες, προσπάθησαν να δημιουργήσουν κλειστά συστήματα, τα οποία θα αντήλλασαν ενέργεια αλλά όχι ύλη.

Η Ilya Prigogine και η Isabella Stengers αντιτάσσονται σε αυτή την τάση, αναγνώριζοντας πως «Όχι μόνο είναι ανοικτά συστήματα αλλά υπάρχουν επειδή ακριβώς είναι ανοικτά συστήματα. Τρέφονται από τη ροή μάζας και ενέργειας, που εισέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον. Αποτελούν ένα ενιαίο τμήμα του κόσμου, από τον οποίο αντλούν τροφή και δεν μπορούν να διαχωριστούν από τις ροές τις οποίες συνεχώς τροποποιούν»<sup>35</sup>.

Στο πλαίσιο πως ένα ενεργό όριο μπορεί να αξιοποιήσει το περιβάλλον με την ανταλλαγή ύλης και θερμότητας ο Hadan Fathy ανέλυσε τα ισλαμικά Mashrabiya. Αυτοί οι παραδοσιακοί τοίχοι είναι ένα ξύλινο πλέγμα και έχουν πολλές λειτουργίες όπως η ρύθμιση του φωτός, της ροής του αέρα, της θερμοκρασίας, της υγρασίας όσο και των οπτικών φυγών. Πίο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια της νύχτας, όταν ο τοίχος είναι κρύος, μέρος της υγρασίας του αέρα που περνά μέσα από τα κενά του θα μείνει πάνω στο ξύλο. Έτσι το πρωί, που ο τοίχος θερμαίνεται άμεσα από τον ήλιο, η υγρασία αυτή απελευθερώνεται στον αέρα που περνάει. Ανάλογα με την επιφάνεια και το πόσο εκτεθειμένη είναι στον αέρα και την άμεση ακτινοβολία τα κενά είναι διαφορετικού μεγέθους για να απορροφάται με διαφορετική ταχύτητα η υγρασία.<sup>36</sup>

Πέραν των παραδοσιακών αυτών τοίχων πολλές προσπάθειες έγιναν στην σύγχρονη εποχή για να δημιουργήσουν ενεργά όρια τα οποία να αξιοποιούν

33. Srinivasan, Ravi; Moe, Kiel. The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis, p. 5.

34. Srinivasan, Ravi; Moe, Kiel. The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis, p. 6.

35. wOrder out of chaos: Man's new dialogue with Nature p. 127

36. Hensel, Micheal. "Performance-Oriented Architecture: Rethinking Architectural Design", p. 1978



the "world's tallest building," but the adjectives *green* and *sustainable* add a responsibility to these signature buildings far beyond the agenda of establishing a special identity that drove the pursuit of height. Indeed, rather than isolating itself as the winner of a dimensional contest, a high-profile "green" skyscraper positions itself as a model to be emulated, whether directly in the construction of other towers or through the proliferation of its strategies. As such, the adjective *green* begets consequences, not only for the future practice of architecture but for the very welfare of the global environment.

Today only the ill-informed question the central role played by fossil-fuel energy use in global warming and climate change, even if the general public may not be aware that the biggest single consumer of fossil fuel in the United States and the rest of the developed world is buildings. The most recent data released by the Department of Energy attributes 40% of energy used in the U.S. to the building sector, including the energy used for electricity generation, of which more than 70% is consumed by buildings.<sup>1</sup> Furthermore, the use of

database, approximately half reported having at least one energy conservation feature.<sup>1</sup> Buildings with daylight sensors used 40% more electricity than those without sensors; buildings with Energy Management and Control Systems (EMCS) used 25% more energy than buildings without these systems. Indeed, in every category of building size, buildings reporting any energy conservation feature, from advanced glazing to economizer cycles, consistently used more total energy per square foot than the average building of comparable size. Have we stepped through the looking glass into a world in which everything we thought was true regarding energy consumption is instead the opposite? The simple answer is of course "No," and the more complex answer is that the incongruous data result from the context through which we frame our understanding and analyses of energy. The fundamental question that now emerges is not one of motivation, nor of practice, but of the determination of the domain of the problem.

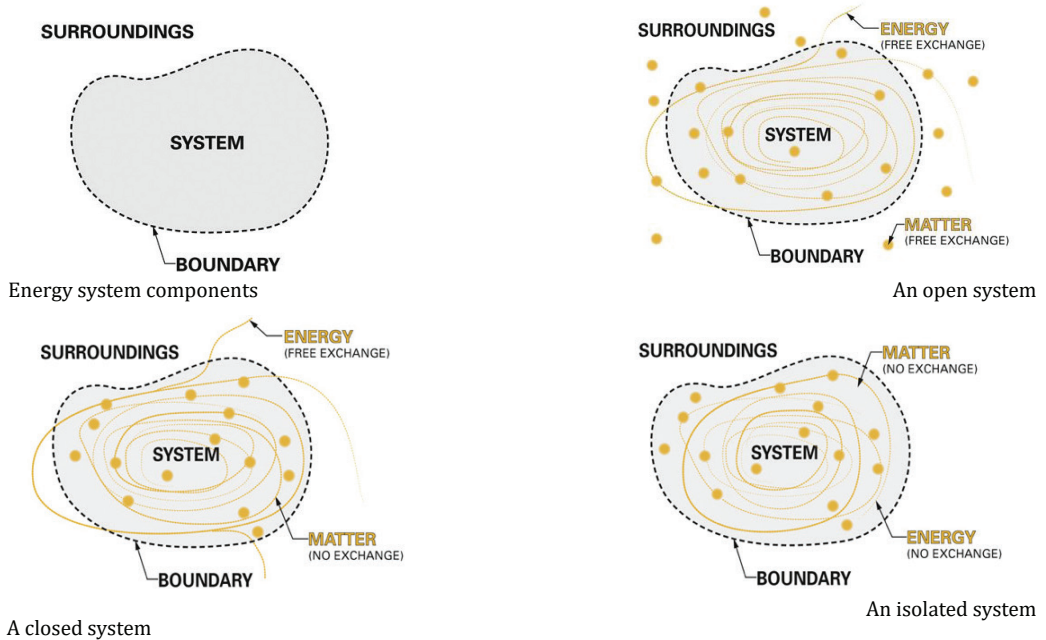
The high-rise building, as a type and an icon, foregrounds the problematic of framing the energy domain through the

## NO BUILDING IS AN ISLAND

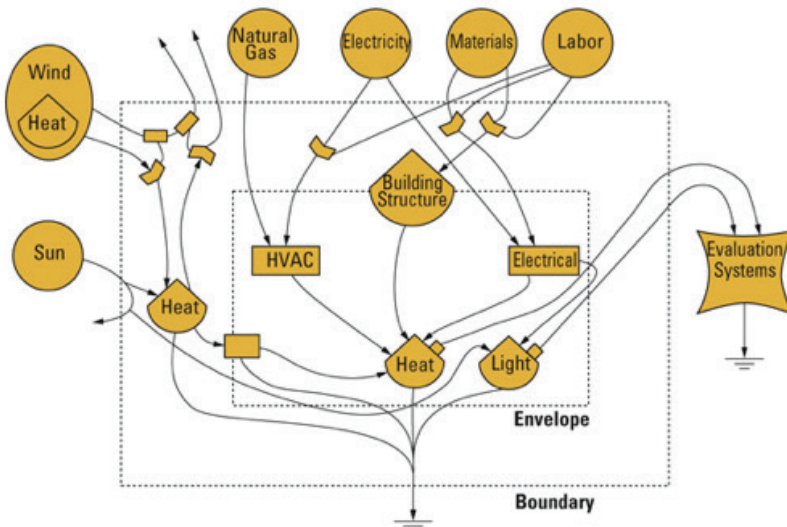
### A LOOK AT THE DIFFERENT SCALES OF ENERGY

by MICHELLE ADDINGTON

Εικόνα 18: Άρθρο της Michelle Addington σχετικά με το όριο και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό

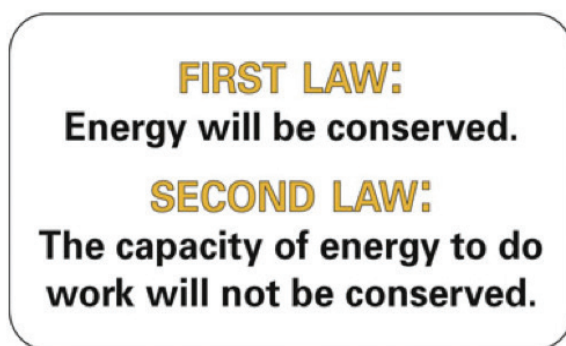


Εικόνα 19: Τα είδη των συστημάτων ανάλογα με το όριο τους



όσο γίνεται περισσότερο τις δυνατότητες του.

Το όριο μπορεί να αλλάζει κατά την διάρκεια του χρόνου και να διαφοροποιείται. Στα κτίρια, ανάλογα με το πόσο ευρύ είναι το όριο που θέτουμε, μπορούμε να αναγνωρίζουμε διαφορετικούς ενεργειακούς κύκλους. Ο μικρός κύκλος είναι αυτός που συμπεριλαμβάνει τον ήλιο που λάμπει, τους ανθρώπους που χρησιμοποιούν τους χώρους του, τους υπολογιστές και τους φούρνους, που χρησιμοποιούνται και παράγουν ζέστη, τα συστήματα θέρμανσης, που ανοίγουν περιοδικά. Υπάρχουν όμως και οι μεγάλοι κύκλοι που αναφέρονται σπάνια και απασχολούν λιγότερο τους αρχιτέκτονες κατά την προσπάθεια βελτίωσης της αποδοτικότητας. Αυτοί οι κύκλοι περιλαμβάνουν όλες αυτές τις τεράστιες ποσότητες και ποιότητες ενέργειας, που έχουν χρησιμοποιηθεί για να πάρει μορφή το κτίριο.<sup>37</sup>



Εικόνα 21: Απλουστευμένη διατύπωση θερμοδυναμικών νόμων

Οι αρχιτέκτονες χρειάζονται ένα πολύ πιο ευρύ όριο για να μπορούν να κάνουν ακριβείς προβλέψεις για την αποδοτικότητα του κτιρίου. Αντί ενός συνόλου γνώσης κτισμένου γύρω από θερμοδυναμικές υποθέσεων θερμικής απομόνωσης και ποσοτικής ουδετερότητας, (σκέψεις βασιζόμενες σε απλοϊκή εφαρμογή του Πρώτου Θερμοδυναμικού Νόμου), ίσως δομές απορρόφησης ενέργειας (συμβατές με τον χαρακτήρα της ροής της ενέργειας) θα μπορούσαν να τροποποιήσουν τις πεποιθήσεις των αρχιτεκτόνων για την διάχυση και τις ποιοτικές ροές(ενέργειας και μάζας).

**Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος** δηλώνει πως η ενέργεια ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται. Έτσι ονομάζεται και αρχή διατήρησης της ενέργειας. Συνεπώς είναι ανώφελο να επιδιώκουμε μέσω του σχεδιασμού να «παράξουμε ή να διατηρήσουμε την ενέργεια» καθώς η ενέργεια απλώς μετατρέπεται σε άλλες μορφές.

---

37. Srinivasan, Ravi; Moe, Kiel. The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis, p. 8.

Ο **Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος** αναφέρει πως στα μονωμένα συστήματα η συνολική εντροπία αυξάνεται με το πέρασμα του χρόνου. Όσο η εντροπία ενός συστήματος αυξάνεται, η ενέργεια που είναι ικανή να παράξει έργο μειώνεται. Με άλλα λόγια, όσο η ενέργεια καταναλώνεται μέσα στο κτίριο, η ποσότητά της μένει σταθερή αλλά η ποιότητα της μειώνεται. Τα κτίρια όμως δεν είναι κλειστά συστήματα και αντί να φτάσουν στο επίπεδο της μηδενικής δυνατότητας, η αλλιώς της μέγιστης εντροπίας, μπορούν να διατηρούνται.<sup>38</sup>

Ο Nicholas Georgescu-Roegen όρισε την **εντροπία** ως ένα δείκτη της σχετικής ποσότητας δεσμευμένης ενέργειας σε μια απομονωμένη δομή ή, ακριβέστερα, της ομοιόμορφης κατανομής της ενέργειας σε μια τέτοια δομή. Δηλαδή η υψηλή εντροπία σε μία δομή σημαίνει πως μεγάλο μέρος της ενέργειας της είναι δεσμευμένο και δεν μπορεί να παράξει έργο. Αντίστοιχα χαμηλή εντροπία, μια δομή στην οποία η ποιότητα της ενέργειας που υπάρχει μπορεί να είναι αποδοτική. Η μείωση της ικανότητας της ενέργειας να παράξει έργο άρα και η αύξηση της εντροπίας, συμβαίνει λόγω των μη αντιστρεπτών μεταβολών που συμβαίνουν στη φύση (κυρίως λόγω τριβής, αλλά και επειδή οι θερμοδυναμικές μεταβολές πραγματοποιούνται γρήγορα, χωρίς να περνούν από διαδοχικές καταστάσεις ισορροπίας). Με βάση τον Δεύτερο Θερμοδυναμικό Νόμο, η εντροπία ενός μονωμένου συστήματος (χωρίς δηλαδή συναλλαγή μάζας, έργου και θερμότητας με το περιβάλλον) πάντα αυξάνεται.<sup>39</sup>

Ακόμη, ενδιαφέρον είναι το γεγονός πως η εντροπία ενός συστήματος μπορεί να είναι η εξέργεια ενός άλλου. Για παράδειγμα σχεδόν όλη η διαθέσιμη ενέργεια μας είναι ηλιακή. Για τον ήλιο αυτή η ενέργεια είναι χρησιμοποιημένη και ανίκανη να παράξει έργο ενώ για εμάς η εντροπία του ήλιου είναι η βασική πηγή ενέργειας.<sup>40</sup>

Ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός κατά τον Kiel Moe, πρέπει να βασιστεί στην θεωρία της μέγιστης ισχύος, δηλαδή να μπορεί να σχεδιάσει συστήματα που μεγιστοποιούν την διαθέσιμη ενέργεια που προσλαμβάνεται και στην συνέχεια να μεγιστοποιούν το έργο και τις αντιδράσεις που αυτή παράγει. Για να μπορέσει να επιτευχθεί μία τέτοια οργάνωση συστήματος πρέπει το κτίριο να μπορεί να σχεδιαστεί βασισμένο σε δυναμικές ενεργειακές ιεραρχίες, όπως αυτές τις οικολογίας και των βιολογικών συστημάτων.<sup>41</sup> Έτσι μπορούμε να αντιληφθούμε το κτίριο ως ένα σχεδιασμένο κομμάτι ενός μεταβολικού και θερμοδυναμικού συστήματος, μακριά από θερμοδυναμική ισορροπία καθώς

---

38. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamic and Beauty", p. 253

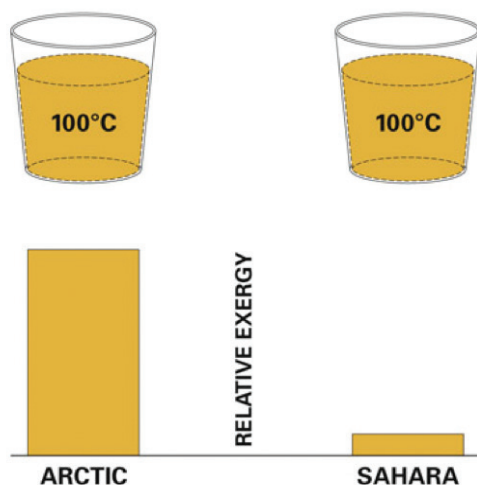
39. Srinivasan, Ravi; Moe, Kiel. "The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis", p. 11.

40. Moe, K., "Convergence: An Architectural Agenda for Energy", loc. 741 (Kindle Edition)

41. Moe, K., "Convergence: An Architectural Agenda for Energy", loc. 168 (Kindle Edition)

ανταλλάσσει μόνιμα ύλη και ενέργεια με το περιβάλλον, τα οποία και το συντηρούν.<sup>42</sup> Διαμορφώνεται έτσι μια διαλεκτική μεταξύ ενός ενεργού εσωτερικού πυρήνα και μια ενεργής περιμέτρου που πρέπει να οργανώσει κυμαινόμενες ανταλλαγές μέσω της μορφής, των υλικών, των παθητικών συστημάτων και της τυπολογικής οργάνωσης.

Με αυτές τις αρχές ο οικολόγος Odum, που αναφέρθηκε και νωρίτερα, διατύπωσε ότι ναι μεν η ενέργεια μπορεί να διατηρείται αλλά η ικανότητα της να παράγει έργο αλλάζει. Αυτή η μεταβολή της ποιότητας της ενέργειας είναι και αυτή που έχει τις περισσότερες επιπτώσεις και επιπλοκές στον σχεδιασμό και την ενέργεια των κτιρίων. Τα κτίρια και τα ενεργειακά συστήματα αποτελούνται από διάφορες δυνάμεις με διάφορες ποσότητες και ποιότητες ενέργειας. Τόσο οι ποσότητες όσο και οι ποιότητες θα έπρεπε να λαμβάνονται υπόψη κατά την διαδικασία του σχεδιασμού.<sup>43</sup>

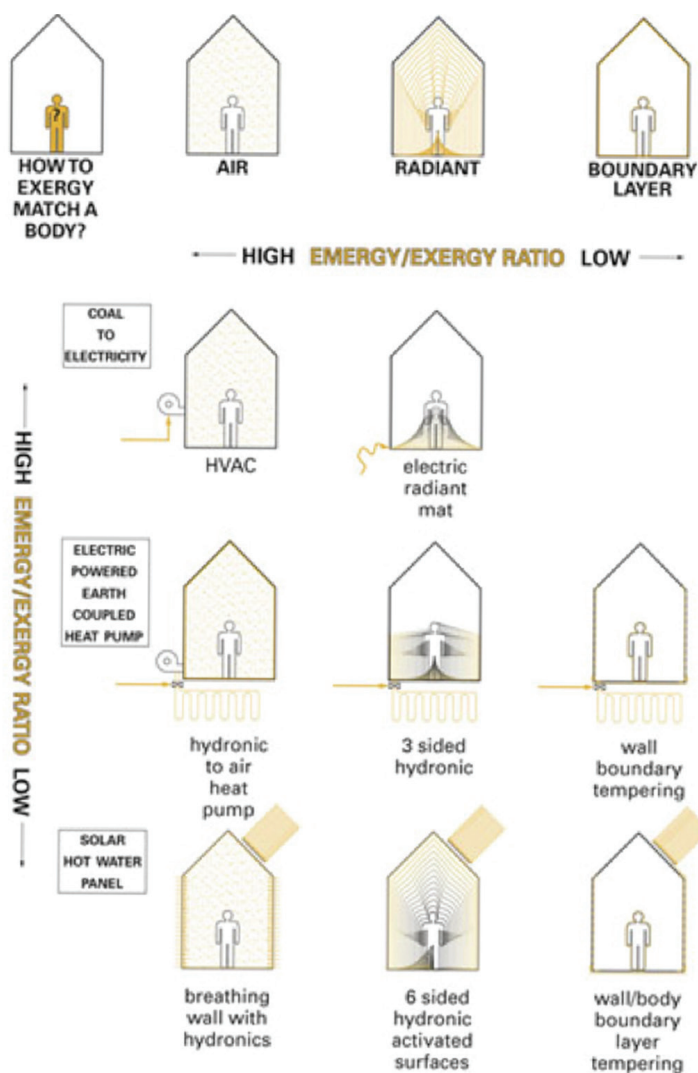


Εικόνα 22: Σχετική εξέργεια

Η **εξέργεια (exergy)** ενός συστήματος ορίζεται στη θερμοδυναμική ως το μέγιστο έργο που μπορεί να παράξει κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας, η οποία φέρνει το σύστημα σε ισορροπία με ένα θερμοδοχείο. Ουσιαστικά αποτελεί το τμήμα της ενέργειας του συστήματος που είναι διαθέσιμο για παραγωγή έργου. Όταν ως θερμοδοχείο χρησιμοποιείται το περιβάλλον, τότε η εξέργεια εκφράζει τη δυνατότητα του συστήματος να παράξει μια μεταβολή καθώς έρχεται σε ισορροπία με το περιβάλλον. Όταν το σύστημα έλθει σε ισορροπία

42. Moe, K., "Convergence: An Architectural Agenda for Energy", loc. 1432 (Kindle Edition)

43. Raham, W., Architecture and Systems Ecology: Thermodynamic Principles of Environmental Building Design, in three parts, p 44



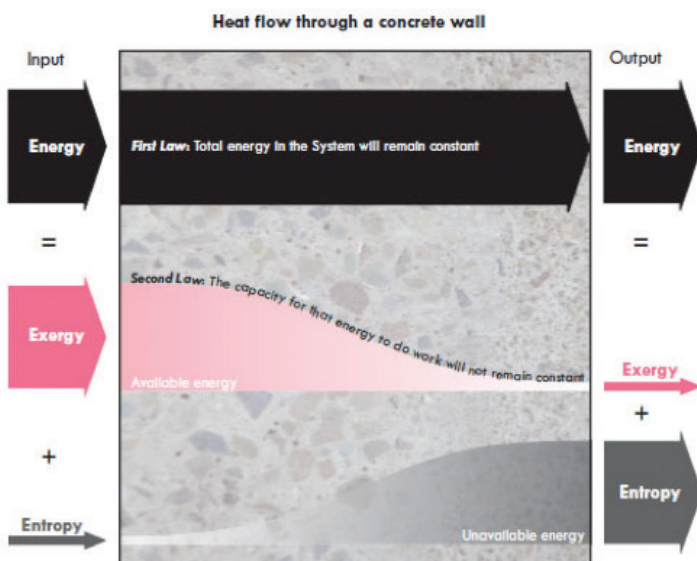
Εικόνα 23: Exergy Matching diagram - "Heat a Body"

με το περιβάλλον, η εξέργεια του συστήματος μηδενίζεται. Συνεπώς, η εξέργεια είναι ένα συνδυαστικό χαρακτηριστικό του συστήματος σε σχέση με το περιβάλλον του (επομένως δεν αποτελεί καταστατικό μέγεθος του συστήματος, όπως είναι η ενέργεια). Η συνολική ενέργεια ενός συστήματος δεν μεταβάλλεται, απλώς αλλάζει μορφές (Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος). Η εξέργεια όμως ενός συστήματος συνεχώς μειώνεται, λόγω των μη αντιστρεπτών μεταβολών και της συνεπαγόμενης αύξησης της εντροπίας. Οι μηχανικοί χρησιμοποιούν την εξεργειακή ανάλυση για τη βελτιστοποίηση διεργασιών με φυσικούς περιορισμούς, ώστε να γίνεται η καλύτερη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας. Η αξία αυτής της ανάλυσης για την περίπτωση ενός συστήματος (κτιρίου) βρίσκεται στο ότι μπορεί να φανερώσει τον τρόπο με τον



οποίο διαφορετικοί τύποι ενέργειας χρησιμοποιούνται, με το να υπολογιστεί η ροή της εξέργειας και η κατανάλωσή της στα διαφορετικά τμήματα του συστήματος.

Για να φανεί η σημασία της εξεργειακής ανάλυσης σε ένα κτίριο θα παρατεθεί το ακόλουθο παράδειγμα. Η περισσότερη ενέργεια που καταναλώνεται στα κτίρια χρησιμοποιείται για να συντηρηθεί μία σταθερή θερμοκρασία δωματίου περί τους 20 °C. Εξ' αιτίας της χαμηλής σχετικά θερμοκρασίας αυτής, η αντίστοιχη απαιτούμενη εξέργεια (για θέρμανση ή ψύξη) είναι επίσης χαμηλή. Όμως, για την επίτευξη αυτού του (απλού) σκοπού χρησιμοποιούνται συνήθως ορυκτά καύσιμα ή ηλεκτρισμός, δηλαδή μορφές ενέργειας υψηλής ποιότητας (δηλαδή υψηλής εξέργειας). Αντί η υψηλή εξέργεια των καυσίμων και του ηλεκτρισμού να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν επίσης υψηλή εξέργεια (π.χ. παραγωγή προϊόντων με μεγάλες απαιτήσεις σε εξέργεια), χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαμηλής εξέργειας (ψύξη-θέρμανση), το οποίο αποτελεί κατασπατάληση πόρων.



#### Energy, Exergy, Entropy

Energy cannot be made more efficient, it is constant. Exergy and entropy are variable, however.

Εικόνα 24: Σχέση μεταξύ ενέργειας, εξέργειας, εντροπίας

Τέλος, υπάρχει η **εμέργεια (emergy)** του συστήματος και αντιστοίχως των κτιρίων, που αναφέρεται στην διαθέσιμη ενέργεια μίας μορφής η οποία απαιτείται άμεσα ή έμμεσα ως τροφοδοσία για την παραγωγή ενός προϊόντος ή υπηρεσίας. Η εμέργεια αποτελεί την πιο συνολική μορφή ενεργειακής αξιολόγησης στα κτίρια γιατί έχει τα πιο ευρεία όρια. Η εμεργειακή ανάλυση συμπεριλαμβάνει τόσο την ενεργειακή ανάλυση, την ανάλυση για την διάρκεια της ζωής του κτιρίου όσο και τα ενεργειακά αποτυπώματα της παραγωγής και της μεταφοράς των υλικών, που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή και στη λειτουργία του. Μέσω ενός μόνο δείκτη, της ισοδύναμης ηλιακής ενέργειας, υπολογίζει και συγκρίνει την συνολική ενέργεια που χρησιμοποιείται τόσο στους μικρούς κύκλους, δηλαδή την καθημερινή λειτουργία του συστήματος, αλλά και στους μεγάλους κύκλους, που περιλαμβάνουν την κατασκευή του κτιρίου. Ανοίγοντας λοιπόν τα όρια αξιολόγησης, ο σχεδιαστής αποκτά καλύτερη εικόνα των επιπτώσεων των επιλογών του. Αξίζει να σημειωθεί εδώ, πως η εμεργειακή ανάλυση (που ξεκίνησε από την οικολογία) εμπεριέχει σημαντική υποκειμενικότητα, όσον αφορά στον υπολογισμό της ισοδύναμης ηλιακής ενέργειας, που είναι αποθηκευμένη σε κάποιο υλικό ή αντιστοιχεί σε κάποια διεργασία. Για το λόγο αυτό έχει δεχθεί έντονη κριτική από την επιστημονική κοινότητα. Επιπλέον, συχνά έρχεται σε σύγκρουση με την (πιο πραγματιστική) ανάλυση κόστους, που βασίζεται στα πραγματικά χρηματικά κόστη υλικών, διεργασιών και υπηρεσιών. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί μια εναλλακτική θεώρηση, που μπορεί να δώσει μία επιπλέον διάσταση στην ανάλυση της κατασκευής και της λειτουργίας ενός κτιρίου από ενεργειακής άποψης, με έντονο χαρακτήρα οικολογικής συνείδησης.<sup>44</sup>

Ο Fernández-Galiano αναφέρει πως η αρχιτεκτονική μπορεί να μεταφραστεί, ως μία οργάνωση των υλικών η οποία ρυθμίζει και βάζει σε τάξη τις ροές ενέργειας, και ταυτόχρονα ως μία ενεργητική οργάνωση που σταθεροποιεί και διατηρεί υλικές μορφές. Στο ίδιο πλαίσιο ο Kiel Moe αναφέρει πως εφόσον η ύλη είναι δεσμευμένη ενέργεια τότε η αρχιτεκτονική δεν είναι παρά η μορφοποίηση της ενέργειας.<sup>45</sup> Οι θερμοδυναμικές αρχές λοιπόν, με τις ποικίλες συνέπειες στον σχεδιασμό, είναι η βάση κάθε ζωτικής αρχιτεκτονικής ατζέντας για την ενέργεια. Κάθε θεωρία για μεταφορά θερμότητας στα κτίρια πρέπει να αναγνωρίζει όλη την πραγματικότητα γύρω από την μεταφορά και διάχυση ενέργειας στη θερμοδυναμική των κτιρίων· από την κατασκευή μέχρι και την λειτουργία, την εμέργεια και κάθε συσχετισμένη ενέργεια με το κτίριο. Με αυτόν τον τρόπο, το θέμα της μεταφοράς θερμότητας γίνεται θέμα της διαχείρισης της θερμικής ροής (η γενικότερα της ενεργειακής ροής). Έτσι μεταφέρεται το

44. Srinivasan, Ravi; Moe, Kiel. The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis, p. 18-20

45. Moe Kiel, The formations of Enegy in Architecture, Braham, William W., and Daniel Willis. Architecture and energy : performance and style. London New York: Routledge, 2013

πρόβλημα στο σχεδιασμό κατάλληλων ρυθμών μεταφοράς ενέργειας και μάζας και προ μελετημένης διάχυσης διαφόρων ποσοτήτων και ποιοτήτων ενέργειας, αντί απλών τιμών θερμικής αντίστασης (που καθορίζουν μόνο την ικανότητα θερμικής μόνωσης του κτιρίου). Η συγκεκριμένη θεώρηση απαιτεί μια πιο ολιστική θεώρηση της λειτουργίας ενός κτιρίου, όπου θα χρησιμοποιούμε τους Νόμους της Θερμοδυναμικής και της Μηχανικής των Ρευστών στη δυναμική τους διατύπωση (χρονικά μεταβαλλόμενη) και για την περίπτωση ανοικτών συστημάτων (όπου έχουμε δηλαδή καιροή μάζας μεταξύ του συστήματος και του περιβάλλοντος) και όχι στην στατική τους διατύπωση για κλειστά συστήματα, όπου αμελούμε την συναλλαγή μάζας με το περιβάλλον την δυναμική φύση της λειτουργίας ενός κτιρίου (στο οποίο έχουμε για παράδειγμα αποθήκευση και απόδοση της αποθηκευμένης ενέργειας σε διαφορετικούς χρόνους, ενώ η εισερχόμενη ροή μάζας μεταφέρει επίσης ενέργεια, η οποία, υπό προϋποθέσεις, μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμη). Η παραπάνω όμως θεώρηση απαιτεί πολύ βαθύτερη γνώση της θερμοδυναμικής συμπεριφοράς, εξελιγμένα υπολογιστικά εργαλεία προσομοίωσης, συνεργασία με ειδικούς στην μεταφορά θερμότητας και μάζας, καθώς και μεγαλύτερο κόστος σχεδιασμού (σε χρόνο και χρήμα), το οποίο ιδανικά θα αποσβεστεί σύντομα από την ορθότερη και αποδοτικότερη λειτουργία του κτιρίου.<sup>46</sup>

Κατά τον James Kay υπάρχουν τρεις τρόποι για να αντιμετωπίσει κανείς ένα μεταβαλλόμενο (δυναμικό) περιβάλλον:

1. Να πάρεις τον έλεγχο του περιβάλλοντος.
2. Να απομονώσεις το σύστημα από το περιβάλλον.
3. Να προσαρμόσεις το σύστημα στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον,
  - α. Αλλάζοντας τη συμπεριφορά και το ρόλο των μελών του συστήματος.
  - β. Αλλάζοντας τα στοιχεία του συστήματος.
  - γ. Αλλάζοντας τις συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του συστήματος.<sup>47</sup>

Μονώνοντας το κτίριο, σύμφωνα με το κίνημα του μοντερνισμού, οι αρχιτέκτονες υιοθέτησαν τη δεύτερη επιλογή σε μια προσπάθεια να επιτευχθεί η πρώτη. Αντιθέτως, στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε μερικές από τις δυνατότητες της αρχιτεκτονικής, που είναι συνυφασμένες με την τρίτη επιλογή, όταν δηλαδή τα κτίρια και οι πόλεις ερμηνεύονται ως υποσυστήματα ενός συστήματος που βρίσκεται σε θερμοδυναμική μη-ισορροπίας, που ενώ τείνουν να προσεγγίζουν σταθερές καταστάσεις, είναι προσανατολισμένες σε δομές συναλλαγών (ενέργειας και μάζας).

---

46. Srinivasan, Ravi; Moe, Kiel. The Hierarchy of Energy in Architecture: Emergy Analysis (PocketArchitecture), p. 9

47. D. Schneider, E., "Complexity and Thermodynamics: Towards a New Ecology", vol.188, p. 637-639

### 3.3 Από την απόδοση στην αίσθηση

---

Η θερμοδυναμική στην αρχιτεκτονική μπορεί να προσφέρει πέραν ενός καλύτερου ενεργειακού σχεδιασμού, ενίσχυση της αρχιτεκτονικής εμπειρίας για τους χρήστες.

Παραπάνω αναλύθηκαν συνοπτικά κάποιες θεωρίες που περιγράφουν την ενεργειακή λειτουργία του κτιρίου μέσω της θερμοδυναμικής καθώς και οι σχετικές θερμοδυναμικές έννοιες που απαιτούνται για την κατανόηση τους. Στόχος αυτών των συσχετισμών είναι η καλύτερη ενεργειακή απόδοση του κτιρίου. Ωστόσο η θερμοδυναμική μπορεί με πιο απτές εφαρμογές να ενισχύσει την αρχιτεκτονικές δυνατότητες μέσω της αίσθησης άνεσης η δυσφορίας του ανθρώπινου σώματος.

Ο άνθρωπος ως χρήστης του κτιρίου αντιλαμβάνεται τη θερμική άνεση ή μή και τους ενδιάμεσους βαθμούς της μέσω ενός εξαιρετικού αισθητήριου οργάνου, του δέρματος. Το ανθρώπινο δέρμα στην πραγματικότητα αντιλαμβάνεται το ρυθμό ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον του.<sup>48</sup>

Το αρχιτεκτονικό εσωτερικό δεν είναι κενό αλλά είναι ένα ανοιχτό δοχείο με ένα υλικό, τον αέρα, που έχει ιδιότητες τις οποίες μελετάει η θερμοδυναμική. Ο αέρα όμως δεν είναι αυτόνομος.

Για να δώσει κανείς μορφή στον αέρα πάντα συμπεριλαμβάνεται η ύλη που τον περιβάλλει και η μορφή της καθώς και οι θερμικές ιδιότητές της.<sup>49</sup>

Για παράδειγμα η αίσθηση που αποκομίζει κανείς μπαίνοντας μέσα σε ένα εκκλησάκι σκαμμένο σε βράχο το καλοκαίρι ή το δροσερό ρεύμα σε ένα ευάερο σπίτι δεν μπορεί να περιγραφεί ή να σχεδιαστεί με κατόψεις και τομές.

Για την κατανόηση και κατά συνέπεια το σχεδιασμό αυτών των ποιοτήτων είναι χρήσιμη η εξοικείωση με πιο πρακτικές θερμοδυναμικές έννοιες από αυτές που αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 3.2. Παρακάτω θα αναφερθούμε στον αέρα ως υλικό, τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας, τους τρόπους με τους οποίους το σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του και τις θερμικές ιδιότητες των υλικών. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν δύο εργαλεία που μπορούν να είναι πολύ χρήσιμα σε αυτήν την κατεύθυνση.

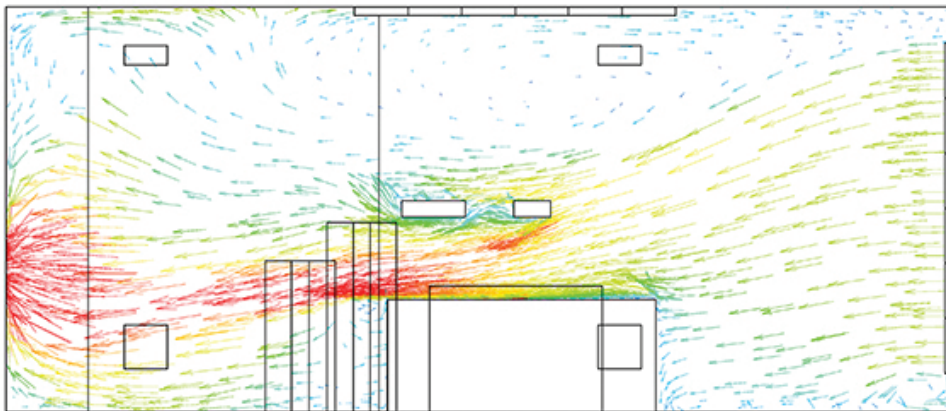
---

48. Craig S., Essay: Beyond Thermal Monotony for Abalos I., Snetkiewicz, R." Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 15

49. Mateo, J., "Earth, water, air, fire : the four elements and architecture.", p.176

### 3.4 Ο αέρας ως υλικό

Ο αέρας έχει αντιμετωπιστεί στην αρχιτεκτονική και την ιστοριογραφία της ως ένα στοιχείο που αναγνωρίζεται μεν αλλά μπορούμε να μιλήσουμε για αυτό μόνο μεταφορικά, ποιητικά ή φαινομενολογικά. Ακόμα και ο πολυγραφότατος Le Corbusier αποφάσισε να μη γράψει για αυτό, εκτός από ένα μικρό άρθρο με τίτλο «L'espace indicible». Ενώ ο χώρος είναι το μεγάλο ζήτημα στο μοντέρνο λόγο (Giedion'sspace, time and Architecture), ακόμα παραμένει στην περιοχή του άπιαστου, του υποκειμενικού όπως η μούσα του ρομαντικού καλλιτέχνη. Η επιστήμη ωστόσο κατά τη διάρκεια του 19ου και 20ου αιώνα άρχισε να αποδομεί το κενό χρησιμοποιώντας κλάδους, όπως η θερμοδυναμική, γεμίζοντας αυτό που συνηθίζαμε να θεωρούμε κενό με μικροσκοπική και μακροσκοπική θεώρηση. Η νέα προσέγγιση που εισήχθη από τη θερμοδυναμική τον 19ο αιώνα είναι αποφασιστικής σημασίας σε ότι αφορά την αρχιτεκτονική αντίληψη αυτού του στοιχείου ως οικοδομικό υλικό. Αυτό ενισχύθηκε από την έλευση των παραμετρικών ψηφιακών μέσων προσομοίωσης, που χρησιμεύουν όχι μόνο για να αποκρυπτογραφήσουμε μια φύση που αλλάζει στο χρόνο αλλά και για να σχεδιάσουμε στρατηγικές για την κατασκευή τεχνητών περιβαλλόντων με τη δημιουργία νέων διαφοροποιημένων περιοχών στην κλίμακα του κτιρίου, του δημοσίου χώρου και του τοπίου.<sup>50</sup>



Εικόνα 25: Velocity-vector plot με τη χρήση Computational Fluid Dynamics (CFD)

50. Abalos I., Snetkiewicz, R." Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 220-221

Ο Inaki Abalos αναφερόμενος στο αρχιτεκτονικό εσωτερικό υποστηρίζει πως ο αέρας ως υλικό που “αφέθηκε” από τους μοντέρνους στα χέρια ειδικών στην (τεχνοκρατική) άνεση είναι ένα από τα πιο πολύτιμα υλικά της σύγχρονης αρχιτεκτονικής, ίσως το μόνο που δε θα έπρεπε να αφεθεί. Είναι το κεντρικό σημείο των απλών απολαύσεων που ανέκαθεν έκανε την αρχιτεκτονική εφικτή μέσω της συνετής οργάνωσης των υλικών, των μορφών και της χωρικής διάταξης. Η μαεστρία που χρειάζεται για την εξισορρόπηση των διαφορετικών θερμοδυναμικών παραγόντων (ακτινοβολία, σκιά, φως, ύλη και αέρας) είναι από μόνη της ένα σημαντικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής, που ο Alejandro de la Sota όρισε: Η αρχιτεκτονική είναι ο αέρας που αναπνέουμε, ένας αέρας φορτισμένος ακριβώς με αυτό: αρχιτεκτονική.

Ο Philippe Rahm υποστηρίζει πως παρόλο που η αρχιτεκτονική είναι ο σχεδιασμός του χώρου οι αρχιτέκτονες περιορίζονται στο να σχεδιάζουν το σχήμα του στερεού που τον περικλύει. Ο ίδιος ορίζοντας την αρχιτεκτονική ως την τέχνη να χτίζεις ατμόσφαιρες επικεντρώνει το έργο του στο σχεδιασμό του αέρα και των ποιοτήτων του.<sup>51</sup> Στο παράδειγμα του Gulf Stream ο αέρας και η ατμόσφαιρα αποτέλεσαν την αφετηρία του σχεδιασμού. Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιούνται δύο ενεργές πλάκες σε διαφορετικά ύψη, οι οποίες θερμαίνονται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση του αέρα στο εσωτερικό της κατοικίας. Με το διάγραμμα κίνησης του αέρα παρατηρούμε πως σχηματίζονται ζώνες διαφορετικών θερμοκρασιών. Στην συνέχεια λαμβάνοντας υπόψιν πως κάθε χώρος μια κατοικίας δεν χρειάζεται την ίδια θερμοκρασία λόγω του απαιτούμενου ρουχισμού, της δραστηριότητας αλλά και της διαφοροποίησης των απαιτήσεων κατά τους εποχιακούς κύκλους γίνεται η κατανομή των λειτουργιών. Αποτέλεσμα αυτού η κατοικία που υπό άλλες συνθήκες θα θερμαινόταν ομοιόμορφα στους 20 βαθμούς, προσφέρει την ίδια θερμική άνεση στον χρήστη με μέση θερμοκρασία μικρότερη των 18 βαθμών Κελσίου.<sup>52</sup>

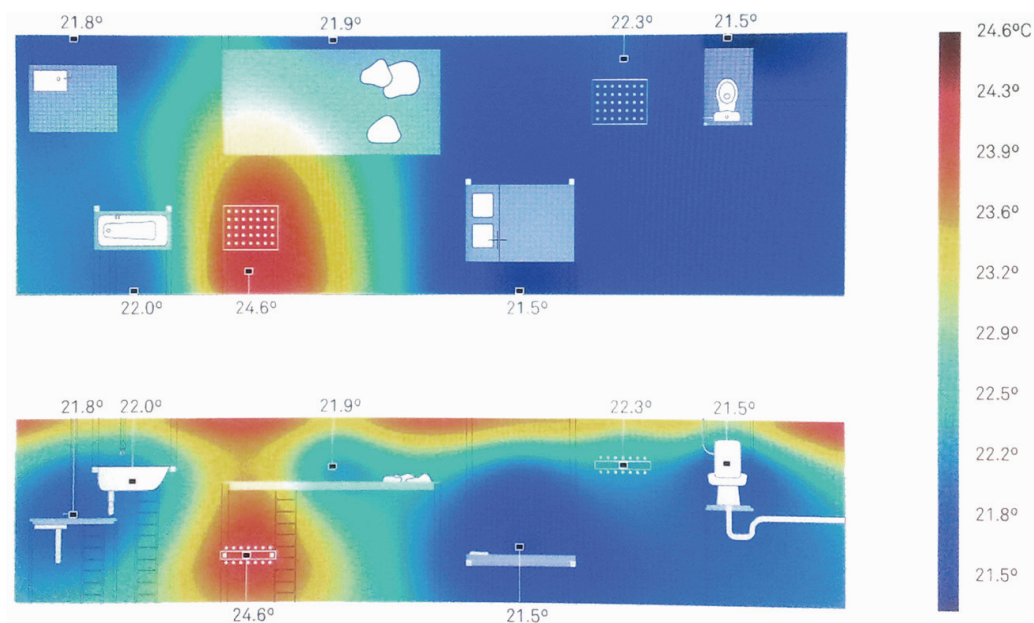
Έτσι αυτό που ορίζουμε ως εσωτερικό δεν είναι μόνο ένας χώρος λίγο ή περισσότερο διαπερατός από τις εξωτερικές συνθήκες αλλά και κάποιοι τρόποι χωρικής οργάνωσης. Οι τρόποι αυτοί, μέσω της μορφής και της υλικότητας διευκολύνουν τη ρύθμιση των περιβαλλοντικών συνθηκών, τη σχέση με τον αέρα και τον αερισμό, ορίζοντας τις κάθε είδους αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ανοικτού εξωτερικού και του κλειστού εσωτερικού.<sup>53</sup>

51. Germán, Javier. *Thermodynamic interactions : an exploration into physiological, material and territorial atmospheres*. New York: Actar Publishers, 2017, p.59

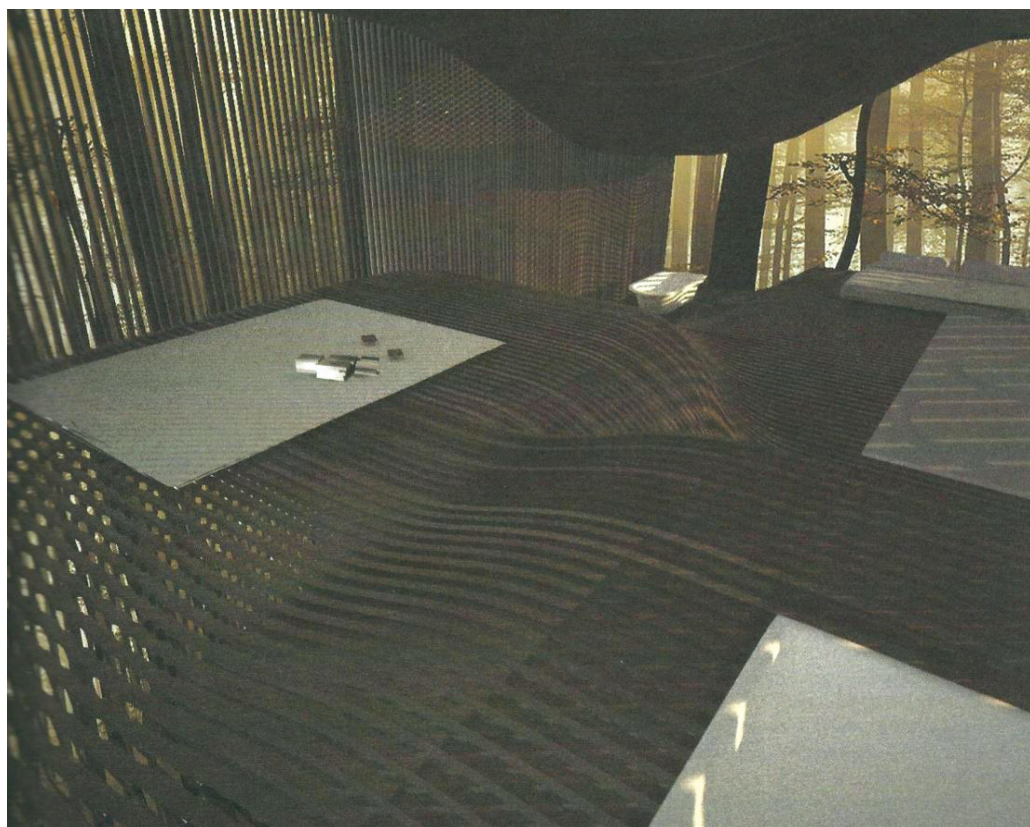
52. Rahm, Ph., “Climatic Construction. Thermal Assymetry in Construction”, *Harvard Design Magazine*, vol. 30, (2009), p.36-38

53. Abalos I., Sentkiewicz, R., “Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty”, p. 236-239





Εικόνα 26: Κάτοψη και τομή του Gulf Stream project, Philippe Rahm



Εικόνα 27: Φωτορεαλιστικό εσωτερικού, Gulf Stream project, Philippe Rahm

### 3.5 Τρόποι μετάδοσης θερμότητας

---

Το φαινόμενο της μετάδοσης θερμότητας εμφανίζεται όταν παρουσιαστεί μεταβολή της θερμοκρασίας (θερμοκρασιακή κλίση) μέσα σε ένα σύστημα (περιβάλλον, κτίριο, σώμα). Οι συνέπειες αυτών των φαινομένων στα κτίρια είναι σημαντικές ακόμα και στην περίπτωση μικρών θερμοκρασιακών διαφορών.<sup>54</sup>

Η θερμική ανταλλαγή ή μεταφορά θερμότητας πραγματοποιείται με τρεις διακριτούς τρόπους:

Η αγωγή (ή αγωγιμότητα) (**conduction**) είναι η μεταφορά θερμικής ενέργειας μέσω της αλληλεπίδρασης των μορίων άμεσα συνδεδεμένων αντικειμένων πχ ένα γυμνό πόδι σε ένα κρύο πάτωμα. Ενώ η μεταφορά θερμότητας μέσω αγωγής μεταξύ του σώματος και του κτιρίου είναι σημαντική όταν συμβαίνει, δεν είναι τόσο κοινή όσο τα άλλα δύο μοντέλα μεταφοράς.

Η συναγωγή (**convection**) είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω της κίνησης ενός ρευστού (υγρού ή αερίου), που έχει ως αποτέλεσμα η ροή της μάζας του ρευστού να δημιουργεί και μία αντίστοιχη ροή ενέργειας. Σε ένα κτίριο η συναγωγή εμφανίζεται όπου έχουμε κίνηση ρευστού σε σχέση με το κτίριο (είτε στο εσωτερικό είτε στο εξωτερικό του κτιρίου). Για παράδειγμα, η κίνηση του κρύου αέρα γύρω από το κτίριο με μεγάλη ταχύτητα εντείνει την απώλεια θερμότητας από το κτίριο προς τον περιβάλλοντα αέρα.

Η μεταφορά θερμότητας μέσω ακτινοβολίας (**radiation**) είναι η μεταφορά ενέργειας μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκλύονται από ένα αντικείμενο με υψηλότερη θερμοκρασία προς ένα άλλο αντικείμενο με χαμηλότερη θερμοκρασία. Όλα τα αντικείμενα εκπέμπουν και απορροφούν ακτινοβολία.

Η μεταφορά μέσω της ακτινοβολίας είναι πρακτικά άμεση και ακαριαία και έχει τη δυνατότητα για πολύ γρήγορες θερμικές διαμορφώσεις. Οι θερμικά ενεργές επιφάνειες χρησιμοποιούν την ακτινοβολία κατά κύριο λόγο αλλά επηρεάζουν επίσης τη μετάδοση θερμότητας και με ρεύματα συναγωγής.

---

54. Σημειώσεις Αρχιτεκτονικής τεχνολογίας 2, Ν. Μπάρκας, Πολυτεχνείο Θράκης

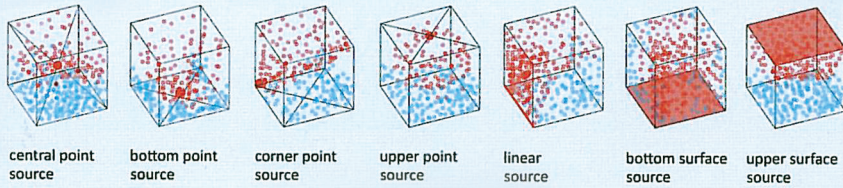


# CONVECTION

Convection is the transfer of heat energy through the contact of molecules of the fluid between zones with different temperatures.

$$q = hc \times A \times \Delta T \quad (W)$$

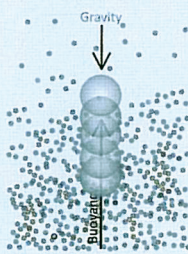
hc (W/m²K) air (f.c.)	5 - 25
water (f.c.)	20 - 100
air (forced c.)	10 - 200
water (f. c.)	50 - 10 000



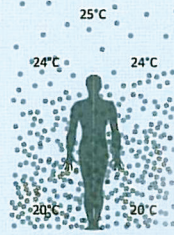
$$\Phi = \rho \times C_p \times q \times \Delta t \quad (W)$$

The interchange of heat energy is vertical and happens as a result of enlarging the volume of hot fluid - which leads to decreasing its density, so that hotter fluid goes up, changing the position with the fluid less hot. This process repeats and creates one continual interchange of energy - convective cycle.

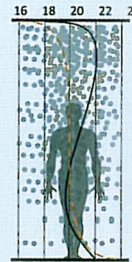
Free/natural convection - by wind or density differences; Forced/assisted c.-by external mechanics.



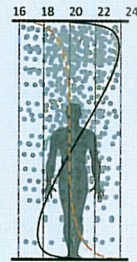
Free convection



Vertical stratification of Temperature



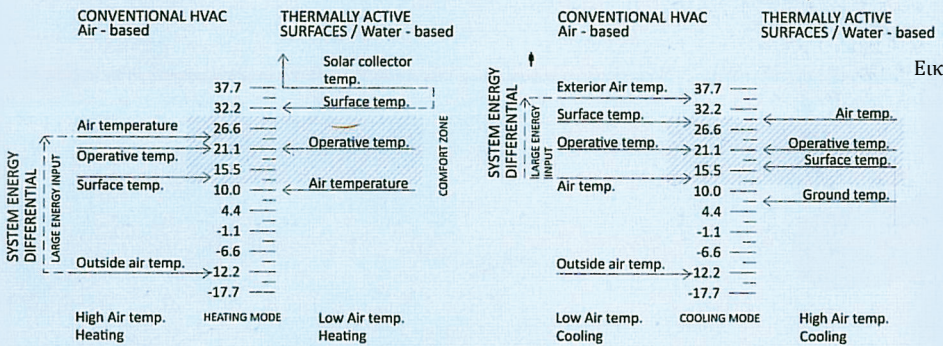
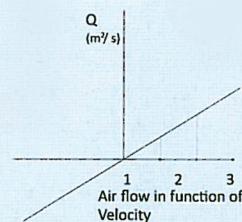
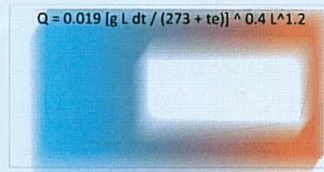
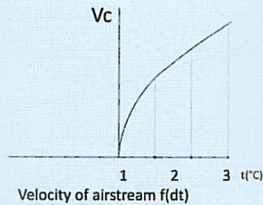
Baseboard



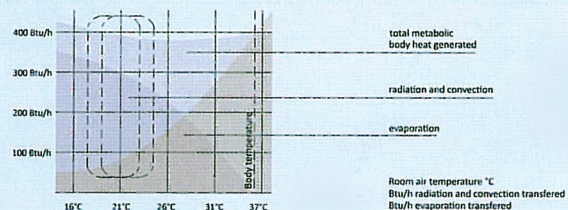
Forced air

$$Q = A \times V$$

$$V_c = 0.65 [g L \Delta t / (273 + t_e)]^{1/2}$$



Εικόνα 27:



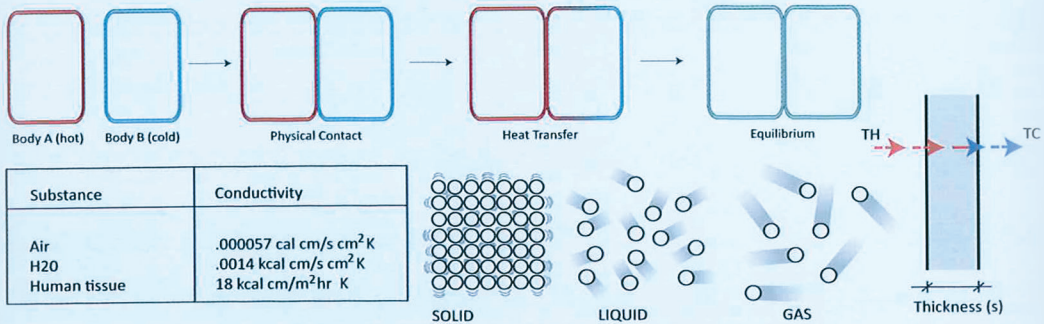


# CONDUCTION

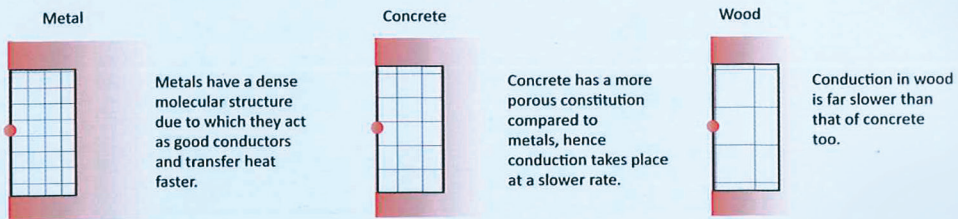
Conduction is a mechanism for transferring thermal energy between two systems based on direct contact of it's part net flow of matter and that tends to equalize temperature within a body and between bodies in contact by means of waves.

According to Fourier's Law for Conductivity, for a body to rapidly attain thermal equilibrium is directly proportional to the thermal conductivity of a material (k), the area of influence (A), the difference in the temperature between thetwo extremes (dT) and inversely proportional to the distance between the ends (s)

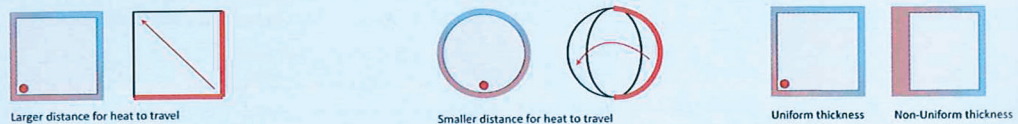
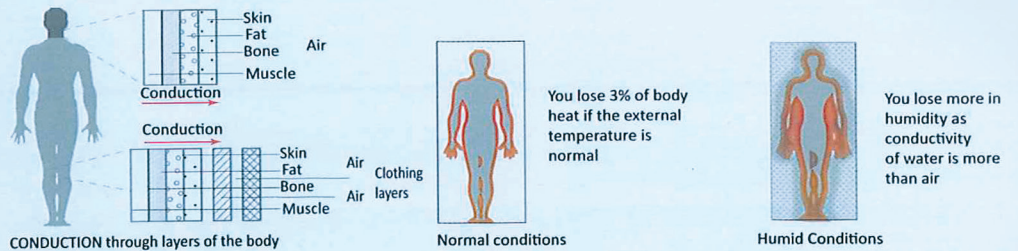
$$q = k A \frac{dT}{s}$$



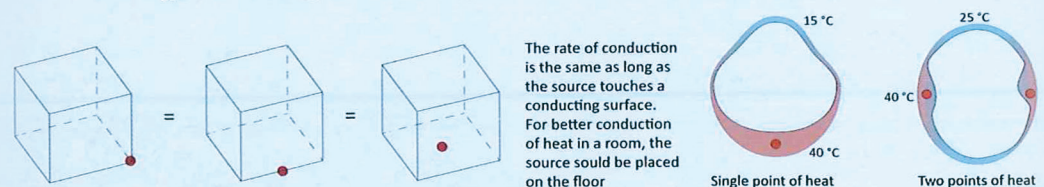
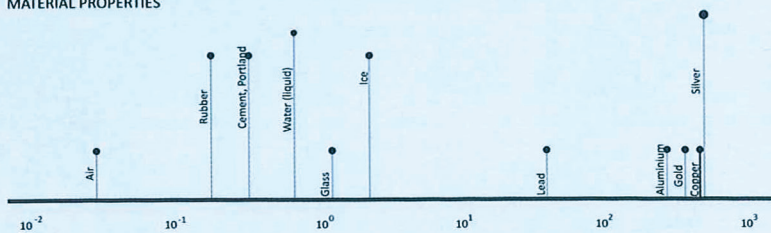
The speed of transmission of heat through a body is directly related to the microscopic composition of the body. The denser the composition, the faster the heat transfer, hence solids are better at conducting heat.



Conduction along with the materiality can be controlled by the thickness of the material.



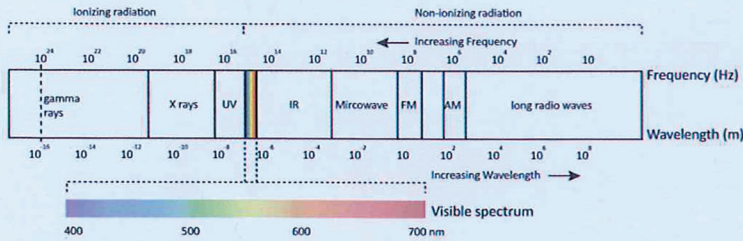
## MATERIAL PROPERTIES



# RADIATION

In physics, radiation is a process in which energetic particles or energetic waves travel through a medium or space. Two types of radiation are commonly differentiated in the way they interact with normal chemical matter: ionizing and non-ionizing radiation

THERMAL ENERGY → ELECTROMAGNETIC ENERGY

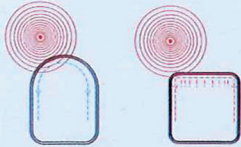


## SOLAR RADIATION & SPEED

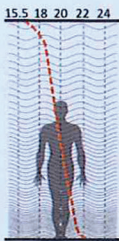
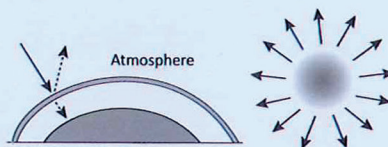
EM travels at  $c$  = speed of light in vacuum  
In a medium the refractive index of the material is considered:  
 $n = c / \text{speed of light in medium}$



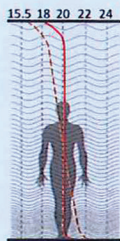
## SOLAR RADIATION & ROOF GEOMETRY



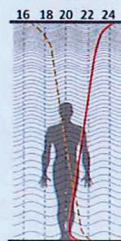
## RADIATION TRANSFER



Ideal



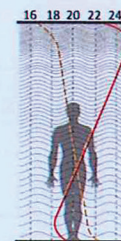
Floor



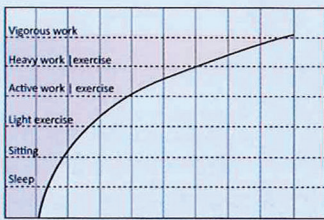
Ceiling



Skirting

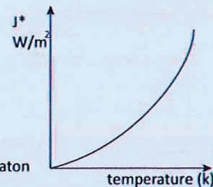


Forced air

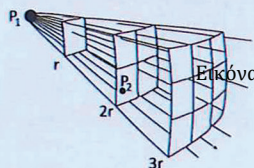


47.5 % emission by radiation

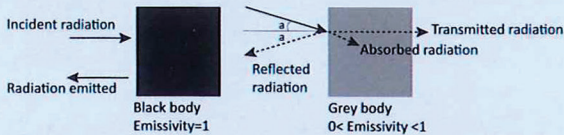
Stefan - Boltzmann Law  
 $J^* = \epsilon \sigma T^4$   $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$   
 $P = A \epsilon \sigma T^4$  (total power)



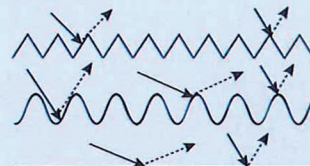
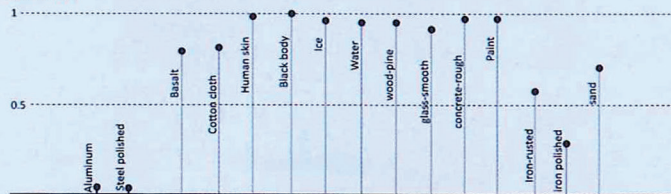
INVERSE SQUARE LAW  
 $P_1/d^2 = P_2$



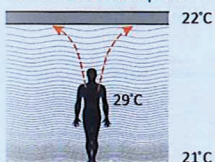
Εικόνα 27:



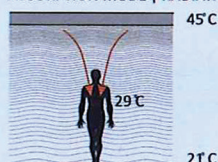
## EMISSION



## ABSORPTION MODE | RADIATIVE COOLING



## ABSORPTION MODE | RADIATIVE HEATING



When rays are reflected many times from a larger surface area a bigger part of the energy is absorbed.



### 3.6 Θερμικές ιδιότητες των υλικών

---

Σε οποιοδήποτε θερμικό περιβάλλον, η θερμότητα μεταφέρεται πάντοτε από ένα σώμα με μεγαλύτερη θερμοκρασία προς ένα σώμα με χαμηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας (θερμικής εσωτερικής ενέργειας). Καθένας από τους μηχανισμούς μετάδοσης θερμότητας παίζει ένα ρόλο στη ρύθμιση της θερμικής άνεσης αλλά όχι εξίσου στο πλαίσιο του σώματος και των κτιρίων. Για τον πλήρη υπολογισμό της θερμικής άνεσης, θα πρέπει να συνυπολογίζεται και η θερμοκρασία των επιφανειών του χώρου, κάτι που δεν συνέβαινε για μεγάλο μέρος του 20ου αιώνα. Αυτό απαιτείται διότι στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία υπεισέρχεται η τέταρτη δύναμη της θερμοκρασίας της κάθε επιφάνειας που ακτινοβολεί. Επομένως, η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία στο εσωτερικό ενός κτιρίου είναι ευαίσθητη ακόμα και σε μικρές διαφορές της θερμοκρασίας μεταξύ του τοίχου και του ανθρώπινου σώματος. Επιπλέον, το αίσθημα της ζέστης ή του κρύου στο ανθρώπινο σώμα δεν σχετίζεται με την πραγματική θερμοκρασία στην επιφάνεια του ανθρώπινου σώματος, αλλά με την πυκνότητα θερμοροής από ή προς την επιφάνεια του σώματος.<sup>55</sup>

Η **πυκνότητα θερμοροής** ορίζεται ως η θερμική ισχύς που συναλλάσσεται, ανά μονάδα επιφάνειας ( $W/m^2$ ). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ακόλουθο φαινομενικά παράδοξο: σε ένα δωμάτιο με σταθερή θερμοκρασία αέρα (π.χ.  $20^{\circ}C$ ) και τον χειμώνα και το καλοκαίρι, εμφανίζεται έντονο αίσθημα κρύου τον χειμώνα για τον άνθρωπο, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας των τοίχων, που δημιουργούν αυξημένη απώλεια θερμότητας με ακτινοβολία από το ανθρώπινο σώμα προς το περιβάλλον του.

Ένα σημαντικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για να χαρακτηρίσει τη μετάδοση θερμότητας μεταξύ δύο αντικειμένων, όταν αυτά έρχονται σε επαφή, είναι η **θερμική διείσδυση (thermal effusivity)**. Αν τα δύο αντικείμενα έχουν την ίδια τιμή του μεγέθους αυτού, κατά την επαφή τους συμπεριφέρονται ως ενιαίο σώμα.<sup>56</sup> Τυπικό παράδειγμα εφαρμογής είναι το ανθρώπινο δέρμα. Όταν ακουμπάμε διαφορετικά υλικά για μία χρονική περίοδο έχουμε διαφορετική αίσθηση. Όταν ακουμπάμε ένα μεταλλικό υλικό αισθανόμαστε δροσιά ενώ όταν ακουμπάμε ένα βαμβακερό ύφασμα αισθανόμαστε ζέστη. Η διαφορά στην αίσθηση οφείλεται στο ότι το μεταλλικό υλικό έχει υψηλότερη τιμή θερμικής διείσδυσης, ενώ το ύφασμα χαμηλότερη. Οπότε η θερμική αίσθηση για το ανθρώπινο σώμα σχετίζεται όχι τόσο με την απόλυτη θερμοκρασία

---

55. Moe, K., "Thermally Active Surfaces", p. 72-75

56. Σημειώσεις Θερμοδυναμικής Νικολός Ι., Πολυτεχνείο Κρήτης

του περιβάλλοντος χώρου όσο με μεγέθη όπως της θερμικής διείσδυσης και η πυκνότητα θερμοροής πάνω στην επιφάνεια του σώματος. Δεδομένης αυτής της θεώρησης, αυτό που διακυβεύεται στο σχεδιασμό είναι η αντίληψη της θερμικής άνεσης, που επιτυγχάνεται μέσω της διαφοροποίησης της αντίληψης της ροής θερμότητας, παρά μέσω της διαφοροποίησης μόνο της θερμοκρασίας.<sup>57</sup> Τα υλικά με υψηλή τιμή της θερμικής διείσδυσης όπως τα μέταλλα, γίνονται αντιληπτά ως ψυχρότερα από υλικά με χαμηλή τιμή όπως το ξύλο. Η ροή της θερμότητας λοιπόν, δεν είναι ανάλογη της θερμικής αγωγιμότητας, όπως σε συνθήκες σταθερής κατάστασης, αλλά της θερμικής διείσδυσης.

Η αγωγή θερμότητας και η αποθήκευση θερμικής εσωτερικής ενέργειας δρουν ανταγωνιστικά στο εσωτερικό ενός σώματος. Το μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα ενός σώματος να άγει θερμότητα σε σχέση με την ικανότητά του να την αποθηκεύει, ονομάζεται **θερμική διαχυτότητα (thermal-diffusivity)** και δίδεται ως ο λόγος του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας  $k$  του υλικού προς το γινόμενο της πυκνότητας και της ειδικής θερμοχωρητικότητας του υλικού. Τα υλικά με μεγάλη τιμή της θερμικής διαχυτότητας 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.

Παρατηρούμε ότι τα δύο μεγέθη θερμική διείσδυση (thermal effusivity) και θερμική διαχυτότητα (thermal diffusivity) ορίζονται με την χρήση των ίδιων βασικών ιδιοτήτων της ύλης, εκφράζουν όμως τελείως διαφορετικές ιδιότητες και συμπεριφορές, οι οποίες όμως είναι ιδιαίτερα σημαντικές στην περίπτωση της επιλογής των υλικών των κτιρίων, ειδικά όταν αναφερόμαστε σε δυναμικά (χρονικά μεταβαλλόμενα) φαινόμενα μετάδοσης θερμότητας.<sup>58</sup>

Αντίθετα η θερμική διείσδυση επηρεάζει την ικανότητα του υλικού να ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του. Σε υλικά με υψηλή θερμική διείσδυση θα υπάρχει αντίστοιχα υψηλός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας για δεδομένη θερμοκρασιακή διαφορά.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι, για χρονικά μεταβαλλόμενες θερμοκρασιακές συνθήκες, η συμπεριφορά ενός υλικού παύει να χαρακτηρίζεται αποκλειστικά από την τιμή της θερμικής του αγωγιμότητας (και αντίστοιχα

57. Marin, E., "The role of thermal properties in periodic time-varying phenomena", European Journal, 2007, vol28, p. 433

58. Lisa Watiels, Hendrik N. J. Schifferstein, Ann Heylighen and Ine Wouters, "Relating material experience to technical parameters: A case study on visual and tactile warmth perception in indoor wall materials" Building and Environment, vol 49, 2012 P.360

της θερμικής του αντίστασης) και η απόκρισή του είναι πολύ πιο σύνθετη.<sup>59</sup>

Η θερμική διαχυτότητα ενός κατασκευαστικού υλικού που υπόκειται σε μεταβαλλόμενο θερμοκρασιακό πεδίο επηρεάζει το βάθος του υλικού στο οποίο επιδρά η μεταβαλλόμενη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την ταχύτητα με την οποία το υλικό προσαρμόζεται στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Δεν δίνει καμία όμως πληροφορία όσον αφορά τη ροή θερμότητας.<sup>60</sup>

---

59. Marin, E., "The role of thermal properties in periodic time-varying phenomena", *European Journal*, 2007, vol28, p. 433

60. Moe, Kiel." *Insulating modernism*". p. 234

### 3.7 Το ανθρώπινο σώμα

---

Ο Javier Garcia-German, τμηματοποιεί την προσέγγιση της θερμοδυναμικής στην αρχιτεκτονική, στην αλληλεπίδραση μεταξύ

- του εξωτερικού περιβάλλοντος και του κτιριακού κελύφους,
- του κελύφους και του εσωτερικού περιβάλλοντος
- και την αλληλεπίδραση μεταξύ του εσωτερικού και του ανθρώπινου σώματος.

Για ορισμένους αρχιτέκτονες όπως ο Le Corbusier ο ρόλος της φυσιολογίας ήταν κυρίως θεωρητικός. Για άλλους όμως, όπως ο Frank Lloyd Wright οι φυσιολογικές αντιδράσεις στα οικοδομικά υλικά και τα ενεργειακά συστήματα επηρέασαν άμεσα το έργο τους, αν και τις περισσότερες φορές με επιφανειακό τρόπο. Ωστόσο, η κατανόηση της φυσιολογικής συμπεριφοράς και της λειτουργίας των νευρώνων στο δέρμα του ανθρώπινου σώματος μας επιτρέπει να αντιληφθούμε την αρχιτεκτονική ως προέκτασή του, που ρυθμίζει τις ανταλλαγές με το περιβάλλον, δημιουργώντας ένα τεχνητό περιβάλλον, το αρχιτεκτονικό εσωτερικό, στο οποίο ζει το μεγαλύτερο μέρος της ζωής του.<sup>61</sup>

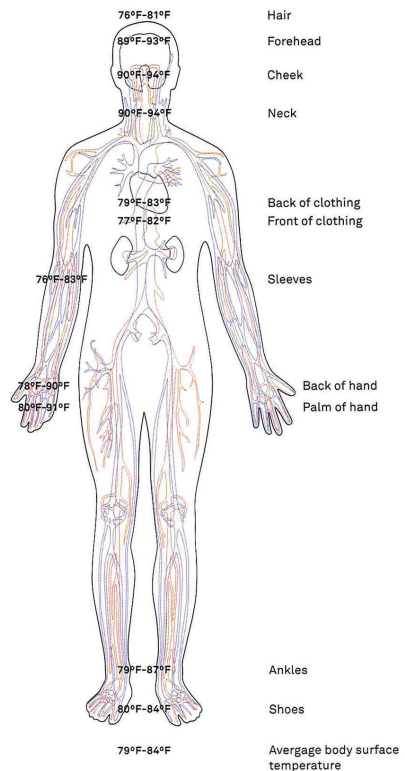
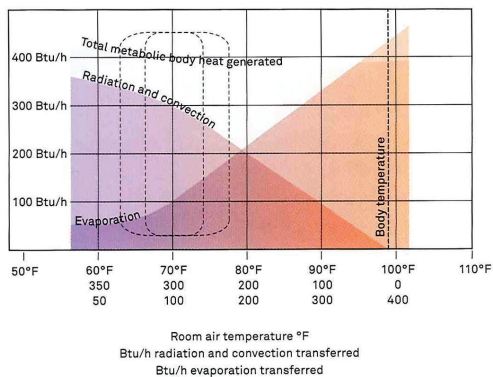
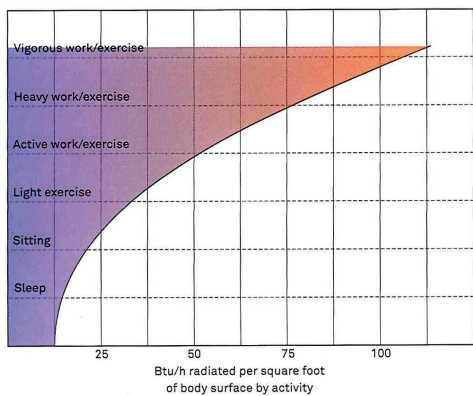
Στο δοκίμιο “Beyond Thermal Monotony”, ο Salmaan Craig , αναφέρεται στις μαϊμούδες Macuaques της Ιαπωνίας ως ξαδέρφια μας και περιγράφει τη σχέση τους με τα θερμά λουτρά και τη θερμική απόλαυση. Κατά αυτόν τον τρόπο υπενθυμίζει πως είμαστε ζωντανοί οργανισμοί και καλεί τους αρχιτέκτονες να σχεδιάσουν χώρους που διεγείρουν τις αισθήσεις ενάντια στη θερμική μονοτονία.<sup>62</sup> Στο ίδιο πλαίσιο ο Christopher Hight υποστηρίζει πως το ανθρώπινο δέρμα δεν είναι μόνο ένα συμβολικό όριο μεταξύ του μικρόκοσμου και του μακρόκοσμου, αλλά το σημείο στο οποίο γίνονται οι περισσότερες ανταλλαγές που παράγουν πληθώρα αισθήσεων, επιπλέον ή και αντί των οπτικών.<sup>63</sup> Για να γίνουν όμως αυτές οι ποιότητες μια διαχειρίσιμη αρχιτεκτονική γλώσσα απαιτείται η κατανόηση τόσο των τρόπων με τους οποίους το σώμα ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του όσο και των τρόπων με τους οποίους αντιλαμβάνεται τη θερμική άνεση ή μη και τους ενδιάμεσους βαθμούς της.

---

61. Abalos I., Snetkiewicz, R., “Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty”, p. 251

62. Abalos I., Snetkiewicz, R., “Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty”, p. 15

63. Harvard Design Magazine 30 – (Sustainability) + Pleasure, Vol. I: Culture and Architecture (Spring/Summer 2009), p. 30

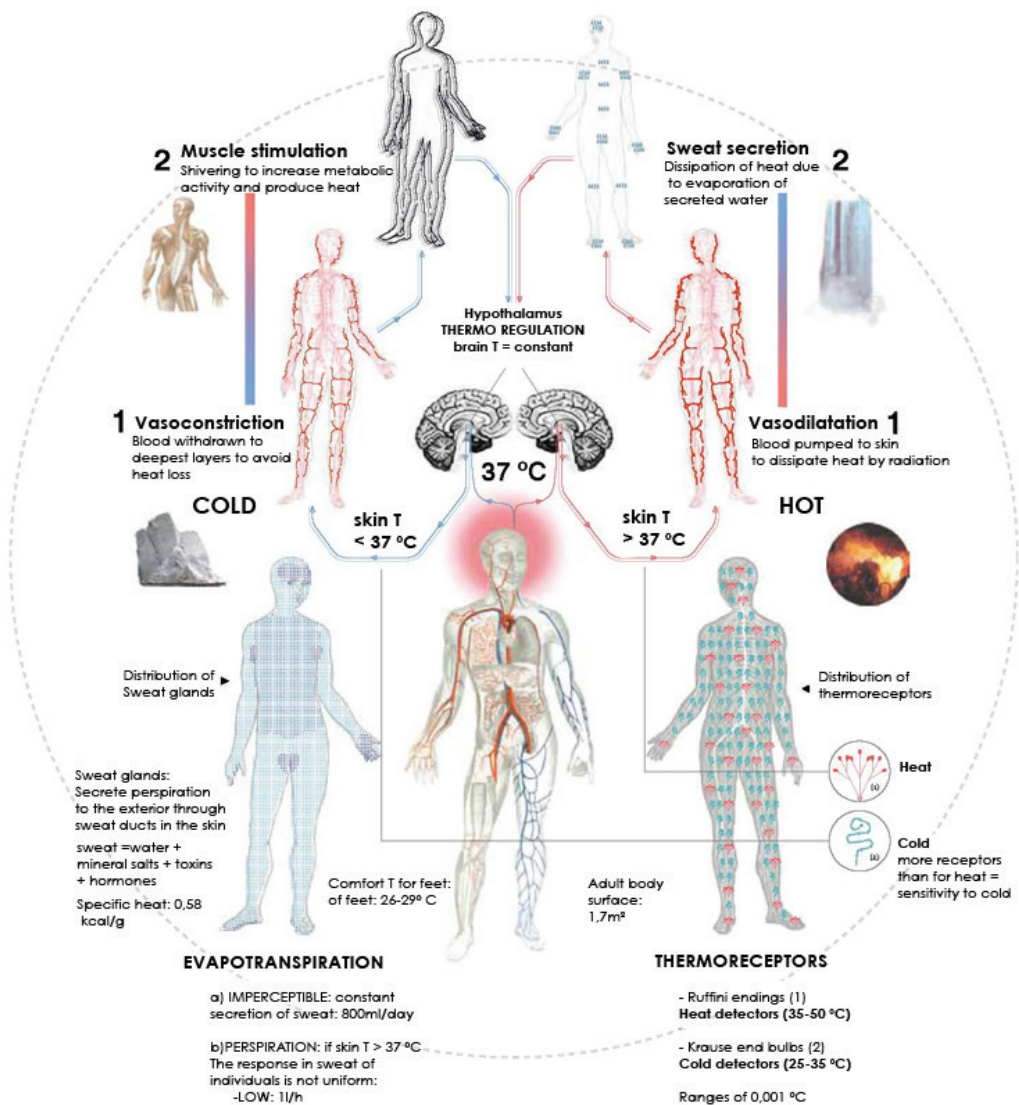


Εικόνα 31: human body thermal production



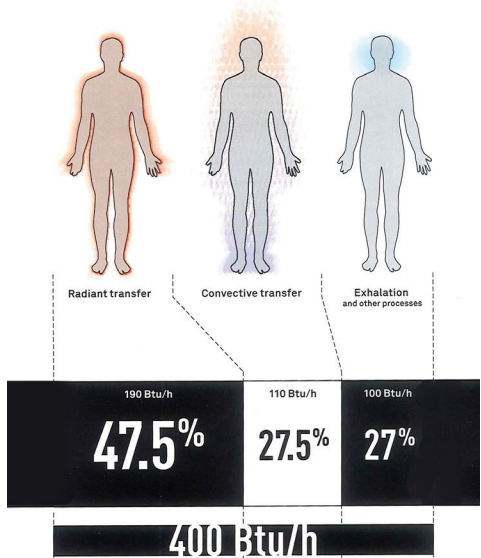
Εικόνα 32: Οι μαϊμούδες Macuaques απολαμβάνουν θερμές πηγές





Εικόνα 33: INAKI ABALOS on HUMAN BODY

Στην πραγματικότητα αυτό που αντιλαμβάνεται ο άνθρωπος δεν είναι η θερμοκρασία αλλά η ταχύτητα ανταλλαγής θερμότητας που εκφράζεται από το μέγεθος πυκνότητα θερμορροής που εξηγήθηκε παραπάνω. Το μεγαλύτερο μέρος της θερμότητας που ανταλλάσσει ο άνθρωπος γίνεται μέσω ακτινοβολίας (47,5%) σε σύγκριση με τη συναγωγή (27,5%). Συνεπώς η ίδια η θερμοκρασία του αέρα που τον περιβάλλει δεν είναι καθοριστική στην αίσθηση θερμικής άνεσης.



### Θερμικές ανταλλαγές του ανθρώπινου σώματος

Μηχανισμός	Κέρδη	Απώλειες
<b>Μεταβολισμός</b> (Metabolism)	Βασική παραγωγή θερμότητας Πέψη Άσκηση Μυϊκή διέγερση ως αντίδραση στο κρύο	
<b>Ακτινοβολία</b> (Radiation) Από θερμοπομπούς	Από ηλιακή ακτινοβολία (άμεση και ανακλώμενη)	Στον περιβάλλοντα αέρα
<b>Αγωγή</b> (Conduction)	Από θερμότερο αέρα Από θερμότερα σώματα (σε επαφή)	Σε ψυχρότερο αέρα Σε ψυχρότερα σώματα (σε επαφή)
<b>Εξάτμιση</b>	Μέσω δέρματος (καλυμμένου με ιδρώτα ή νερό)	Μέσω αναπνοής

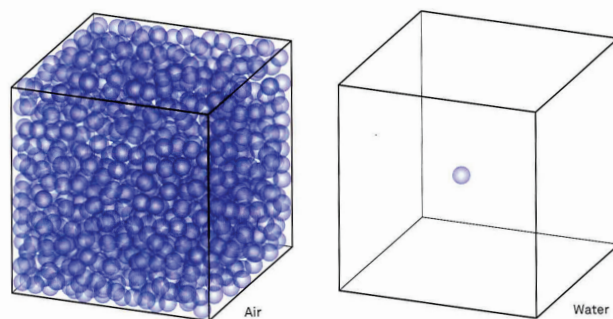
Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στο ανθρώπινο σώμα το σύστημα θερμικού κλιματισμού είναι ανεξάρτητο από το σύστημα αερισμού (κυκλοφορικό-αναπνευστικό). Ο λόγος που το ανθρώπινο σώμα εξελίχθηκε σε αυτήν την κατεύθυνση είναι ότι το νερό είναι 832 φορές πιο πυκνό από τον αέρα και έτσι έχει και υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα. Η ενεργειακή πυκνότητα είναι το ποσό της ενέργειας που μπορεί να αποθηκευτεί σε μια μονάδα μάζας. Έτσι το νερό λόγω της πυκνότητάς του μπορεί να απορροφήσει και να μεταφέρει περισσότερη ενέργεια. Είναι λοιπόν δύσκολο να φανταστεί κανείς το πώς και γιατί το ανθρώπινο σώμα θα χρησιμοποιούσε τον αέρα για μεταφορά θερμότητας εντός του. Το μέγεθος του αναπνευστικού συστήματος, η διάμετρος των φλεβών και των αρτηριών καθώς και η θερμιδική πρόσληψη που θα απαιτούνταν για τη διατήρηση της θερμικής μας κατάστασης θα ήταν εντελώς παράλογη και αναποτελεσματική. Είναι συνεπώς δύσκολο να φανταστούμε γιατί σχεδιάζουμε και κλιματίζουμε τα κτίρια με αυτόν τον τρόπο.<sup>64</sup>

Η σύγκριση μεταξύ των φυσικών ιδιοτήτων του αέρα και του νερού αποκαλύπτουν πως η χρήση του αέρα για τη μεταφορά θερμότητας σε ένα κτίριο δεν αποτελεί σοφή επιλογή. Ο αέρας είναι ένα αδύναμο μέσο για τη συλλογή και μεταφορά θερμικής ενέργειας ενώ αντίθετα λειτουργεί καλύτερα ως μονωτής. Η **ειδική θερμοχωρητικότητα (heat capacity)** ενός υλικού είναι το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να αυξήσεις τη θερμοκρασία μιας μονάδας μάζας του υλικού (1 kg) κατά ένα βαθμό (1 K) και συνεπώς δείκτης της ικανότητας του υλικού να απορροφά και να μεταφέρει ενέργεια. Η διαφορά της ειδικής θερμοχωρητικότητας μεταξύ νερού και αέρα είναι εντυπωσιακή: στην ίδια θερμοκρασία το νερό έχει μια ειδική θερμοχωρητικότητα 4186 Joule/KgK ενώ ο αέρας 1005 Joule/KgK. Η ενεργοποίηση των επιφανειών των κτιρίων με βάση το νερό, κυρίως του πατώματος είναι γνωστή και έχει χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον από τη δεκαετία του 1950 με αναφορές όπως το Crown Hall του Miedvander Rohe στην πανεπιστημιούπολη του Chicago. Τα συστήματα αυτά είναι γνωστά για το υψηλό επίπεδο άνεσης μέσα από τις μεγάλες επιφάνειες ακτινοβολίας αλλά και για την αργή απόκρισή τους. (Η υψηλή θερμοχωρητικότητα του νερού έχει ως αποτέλεσμα να απαιτούνται μεγαλύτεροι χρόνοι και μεγαλύτερα ποσά θερμότητας για συγκεκριμένες επιθυμητές μεταβολές της θερμοκρασίας.)<sup>65</sup>

---

64. Moe, K. "Thermally Active Surfaces", p. 72

65. Schuler, M., (Founder, Transsolar KlimaEngineering) for Moe, Kie "Thermally Active Surfaces", p. 24-25



Substance	Conductivity
Air (0 C)	.000057 cal cm/s cm <sup>2</sup> K
H <sub>2</sub> O (20 C)	.0014 kcal cm/s cm <sup>2</sup> K
Human tissue	18 kcal cm/m <sup>2</sup> hr K

Εικόνα 35: Η ειδική θερμοχωρητικότητα αέρα - νερού

Η κατανόηση των τρόπων και των ποσοτήτων μεταφοράς θερμότητας στο σώμα μας επιτρέπει να αντιληφθούμε διαφορετικά μοντέλα αλληλεπίδρασης του ανθρώπου με το κτίριο, απομακρυσμένα από μηχανικές αντιμετωπίσεις που αναπτύχθηκαν κατά τον 20<sup>ο</sup> αιώνα. Η αντιμετώπιση της μεταφοράς θερμότητας μέσω της φυσιολογίας προσφέρεται στο σχεδιασμό περιβαλλόντων και πρακτικών παρόμοιων με την ανταλλαγή θερμότητας στα βιολογικά συστήματα, σχηματίζοντας έτσι μία πιο ολοκληρωμένη εμπειρία του χώρου και επαναπροσδιορίζοντας τις πρακτικές του κλιματιστικού.

Τα συστήματα θερμικής αλληλεπίδρασης μέσω ακτινοβολίας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και των οικοδομικών υλικών είναι ένα πρώτο βήμα προς την κατανόηση των φαινομένων που σχετίζονται με την ακτινοβολία, η οποία βελτιώνει την ποιότητα του αέρα, μειώνει την ηχορύπανση στον εσωτερικό χώρο, επαναπροσδιορίζει την έννοια της άνεσης και μειώνει τα περιττά υλικά, ενώ χρησιμοποιεί τα υλικά ως συνολικό θερμοδυναμικό ρυθμιστή. Συνοπτικά δηλαδή καθιερώνει ένα συμβιωτικό διάλογο ανάμεσα στο σώμα και την αρχιτεκτονική με αισθητηριακές, σωματικές επιπτώσεις, πέραν των παραδοσιακών καθαρά οπτικών ή φαινομενολογικών σχέσεων. Υπερβαίνει επίσης το πρόγραμμα κλιματισμού, που έχει στόχο μια στατική, στατιστική ιδέα της άνεσης. Η άνεση ή η δυσφορία και οι διαβαθμίσεις τους γίνονται το θέμα και όχι τα αντικείμενα του σχεδιασμού. Η επίτευξη της θερμικής άνεσης άλλωστε δεν περιορίζεται σε μία απόλυτη τιμή θερμοκρασίας.<sup>66</sup>

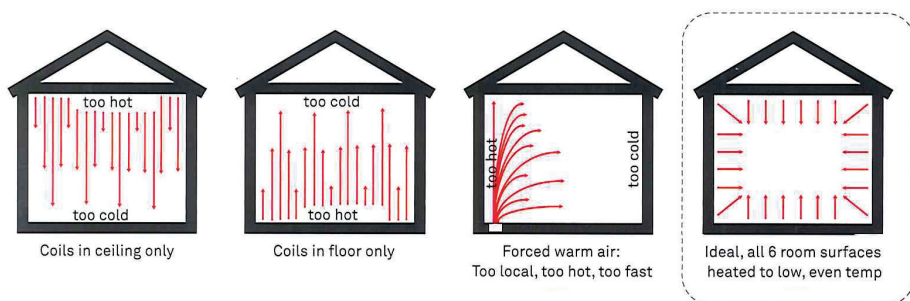
66. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 251- 253

### 3.8 Θερμικά ενεργές επιφάνειες

Τα θερμικά συστήματα ενεργούς επιφάνειας χαρακτηρίζονται από τον Kiehl Moe ως μια είναι μια πιο ‘sensible’ επιλογή και με τις δύο ερμηνείες της λέξης. Αφενώς είναι πιο ευαίσθητα και συμβατά με τις φυσιολογικές διαδικασίες του ανθρωπίνου σώματος συνδέοντας έτσι το σώμα πιο δυναμικά στην αρχιτεκτονική, και αφετέρου αποτελούν μια ορθολογικά πιο αποδοτική επιλογή για τις κατασκευές του 21ου αιώνα. Με τις θερμικά ενεργές επιφάνειες, ο κλιματισμός του κτιρίου αποσυνδέεται από τον εξαιρισμό του, χρησιμοποιώντας νερό και τη θερμική μάζα του κτιρίου αντί για αέρα. Αυτή η μέθοδος μεταφοράς θερμότητας είναι η βέλτιστη τόσο από πλευράς φυσιολογίας όσο και θερμοδυναμικής. Έτσι, η δομή και η μάζα του κτιρίου γίνεται επίσης και το κύριο μηχανολογικό σύστημα.<sup>67</sup>

Οι θερμικά ενεργές επιφάνειες δεν είναι κάτι νέο. Η ιστορία τους στην αρχιτεκτονική εκτείνεται χιλιάδες χρόνια πίσω, όπως είδαμε και στο κεφάλαιο ένα. Ωστόσο πρόσφατα έχουμε πλήρως κατανοήσει τις θερμοδυναμικές και τις φυσιολογικές τους δυνατότητες. Τα πρώτα συστήματα θερμικά ενεργών επιφανειών ήταν αρχαϊκά συστήματα ανάκτησης θερμότητας που συνέλεγαν τη θερμότητα στη μάζα μιας επιφάνειας διοχετεύοντας ρεύματα συναγωγής του αέρα από την καύση μιας εστίας κάτω από τις επιφάνειες των δαπέδων πριν διοχετευτεί στην καμινάδα και τελικά στην ατμόσφαιρα.

Ο James Martson Fitch, συγγραφέας του “American Building: The Environmental Forces that Shape It”, επεσήμανε πως η βέλτιστη λύση είναι να ενεργοποιηθούν θερμικά και οι 6 επιφάνειες που περιστοιχίζουν ένα χώρο. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει συμμετρία στην θερμική ακτινοβολία και συνεπώς απαιτείται μικρότερη παροχή ενέργειας για θέρμανση και ψύξη, επίσης εξαλείφονται οι ασυμμετρίες που λειτουργούν αρνητικά στην ανθρώπινη άνεση.<sup>68</sup>



Εικόνα 36: Θερμική συμμετρία και ασυμμετρία κατά τον Fitch

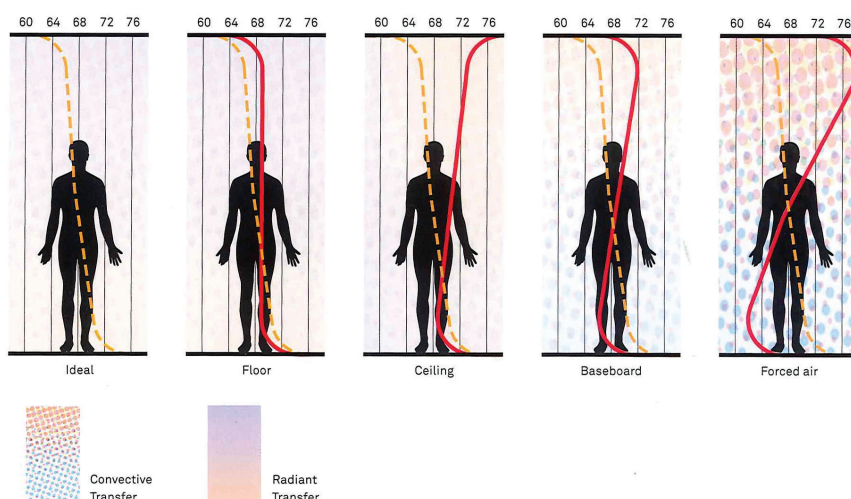
67. Moe, Kie “Thermally Active Surfaces”, p.126

68. Fitch, J, M., Bobenhausen, W., “American Building: The Environmental Forces That Shape It”, p. 51



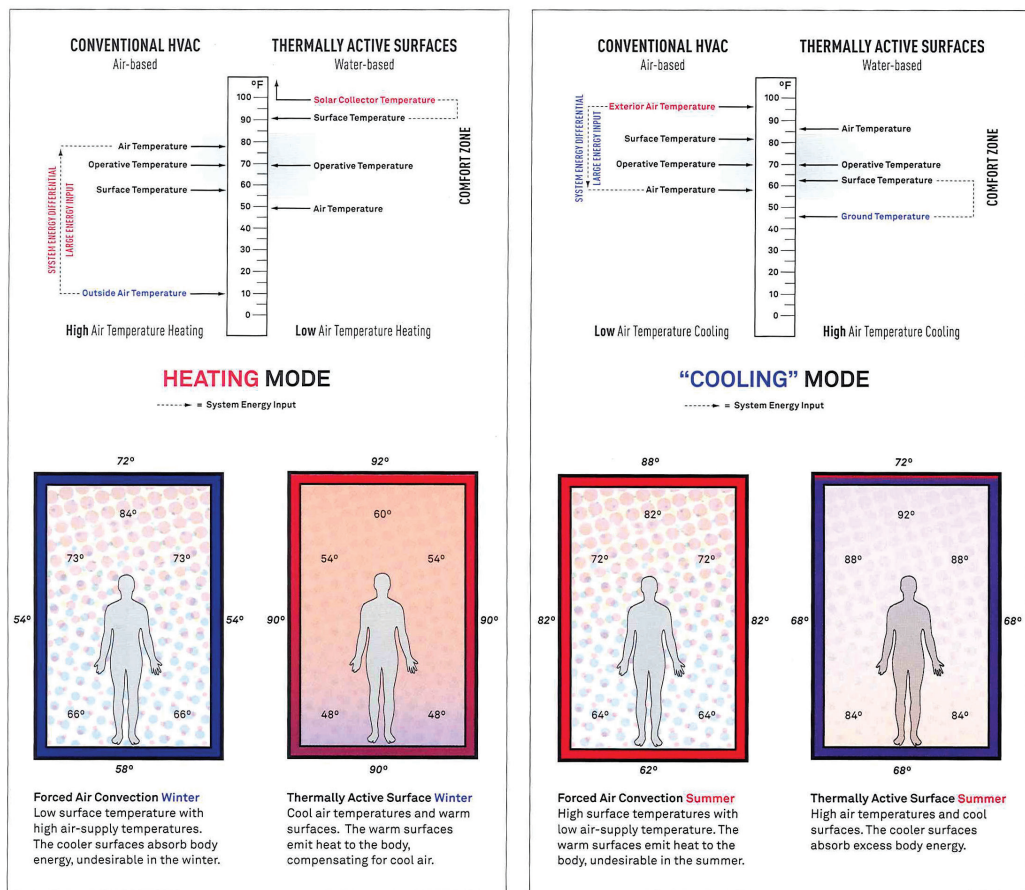
Η εξάπλευρη θερμική συμμετρία παρέχει ίση μεταφορά θερμότητας σε όλα το ανθρώπινο σώμα. Ξεπερασμένα μέσα όπως το καλοριφέρ (ή το κλιματιστικό ως συσκευή) δημιουργούν ζεστά και κρύα σημεία με αποτέλεσμα να χρειάζεται ακόμη μεγαλύτερη ή μικρότερη θερμοκρασία παροχής από το καλοριφέρ ή το κλιματιστικό για να διατηρήσουν την άνεση σε ένα χώρο. Αντίθετα οι θερμικά ενεργές επιφάνειες χρησιμοποιούν ολόκληρο το διαθέσιμο εμβαδόν επιφανειών για να διαμορφώσουν το θερμικό περιβάλλον. Έτσι οι ασυμμετρίες της θερμικής ακτινοβολίας ελαχιστοποιούνται με θετικό αντίκτυπο τόσο στο αίσθημα της άνεσης όσο και στην μείωση της ενέργειας που απαιτείται καθώς το σύστημα δεν λειτουργεί επιπλέον για να καλύψει τις θερμικές διαφορές εντός του χώρου. Επίσης λειτουργεί, με χαμηλότερες θερμοκρασίες θέρμανσης και υψηλότερες θερμοκρασίες ψύξης λόγω του ότι χρησιμοποιεί την ακτινοβολία ως κύριο μέσο μετάδοσης. Επίσης είναι αθόρυβα στη λειτουργία και προσφέρουν καλύτερη ποιότητα αέρα στο εσωτερικό καθώς δεν τον επιβαρύνουν με τη συναγωγική μεταφορά θερμότητας.<sup>69</sup>

Πέρα από την ποιότητα της θερμικής άνεσης που προσφέρουν, τα θετικά αποτελέσματα των θερμικά ενεργών επιφανειών εκτείνονται πέραν των φυσιολογικών. Η θερμοκρασία της παροχής για το υδρονικό σύστημα είναι συχνά κοντά στη θερμοκρασία του εδάφους σε οποιαδήποτε περιοχή απαιτώντας έτσι ελάχιστη ποσότητα ενέργειας εάν χρησιμοποιηθούν ground - coupled συστήματα.

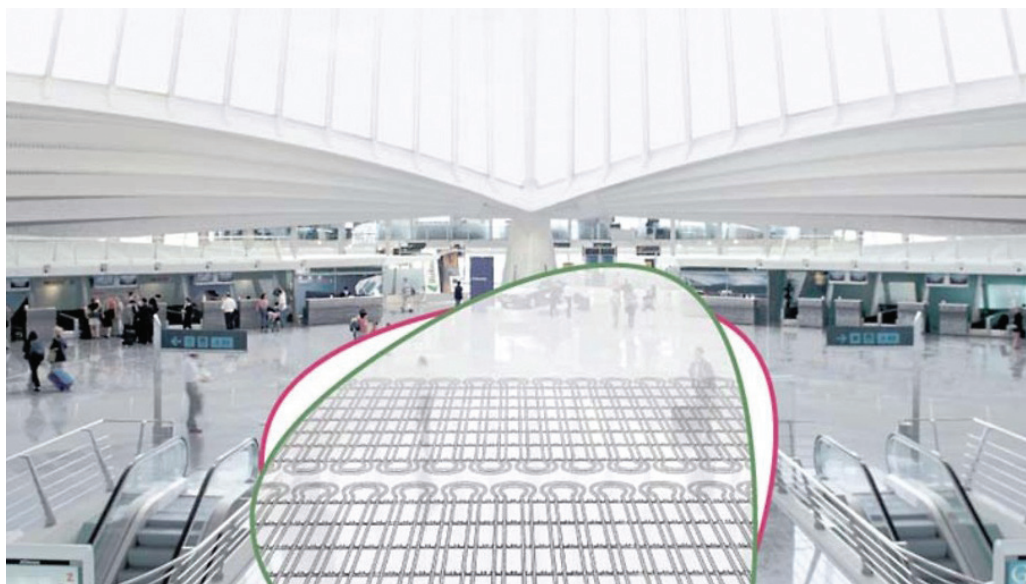


Εικόνα 37: Συγκριτικές θερμοκρασίες ανά μέσο μετάδοσης

69. Moe, Kie "Thermally Active Surfaces", p. 73-75



Εικόνα 38: Θερμοκρασίες λειτουργίας αέρα - νερού



Σε αυτή τη λειτουργία, οι επιφάνειες απορροφούν τη θερμική ενέργεια. Δεν

δροσίζουν όμως το χώρο όπως πολλοί σχεδιαστές και μηχανικοί θεωρούν, αλλά δεν του επιτρέπουν ποτέ να ζεσταθεί. Εάν λοιπόν ένα κτίριο δεν υπερθερμαίνεται, δεν υπάρχει και ανάγκη για ψύξη.<sup>70</sup>

Επιπλέον, η θερμική ακτινοβολία από ζεστά σώματα όπως οι υπολογιστές, και οι άνθρωποι εντός του κτιρίου, μεταφέρεται στην ενεργή επιφάνεια της οροφής λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας της. Το νερό συλλέγει αυτή τη θερμική ενέργεια και την οδηγεί εκτός του κτιρίου. Ένα σχετικό παράδειγμα είναι το αεροδρόμιο της Bangkok του Murphy Jack με την Transsolar Klima Engineering. Σε αυτήν την περίπτωση, το πάτωμα διατρέχεται από κρύο νερό έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν τα θερμικά κέρδη από το ηλιόλουστο κτίριο. Έτσι, όπως και σε όλες της στρατηγικές ψύξης με ακτινοβολία, ο σκοπός είναι να αφαιρεθεί η συσσωρευμένη ζέστη.<sup>71</sup>

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ταξιδεύει σε κάθε κατεύθυνση μέχρι να συναντήσει ένα αντικείμενο. Αυτός είναι και τρόπος που μεταφέρεται η ηλιακή ενέργεια αλλά και ο τρόπος που λειτουργούν οι θερμικά ενεργές επιφάνειες. Στα περισσότερα κτίρια, η οροφή είναι η λιγότερη κατειλημμένη επιφάνεια καθώς συνήθως δεν έχει αντικείμενα και επικαλύψεις. Αντίθετα, τα πατώματα είναι συνήθως καλυμμένα. Παρόλα αυτά, τα θερμικά ενεργά πατώματα συναντώνται συχνότερα στην ιστορία λόγω της σχετικής ευκολίας τους στην εγκατάσταση παρά τη μικρότερη απόδοσή τους.

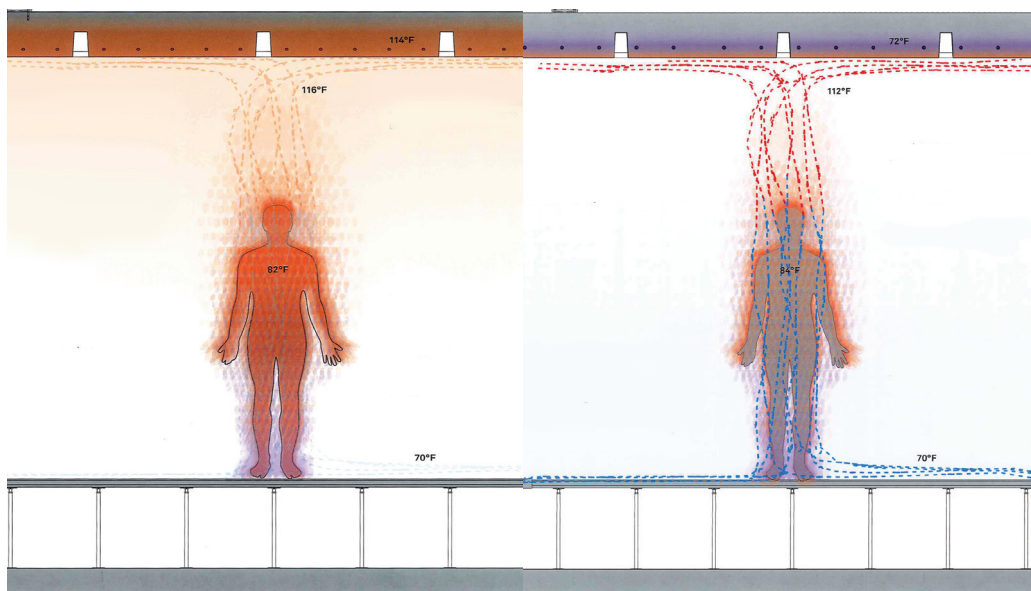
Υπάρχει ένας διάλογος που εξαπλώνεται στην κατασκευαστική βιομηχανία σχετικά με τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό. Ο σκοπός της ολοκλήρωσης είναι να συντονίζονται πιο αποτελεσματικά οι πολύπλοκοι παράγοντες και διαδικασίες της παραγωγής ενός κτιρίου για να έχουμε πιο αποδοτικά κτίρια. Οι θερμικά ενεργές επιφάνειες αποτελούν μια ολοκληρωμένη λύση καθώς η δομή, η πλήρωση και τα συστήματα που αφορούν την ανθρώπινη άνεση συγχωνεύονται στο ίδιο σύστημα. Ενώ τα σύγχρονα συστήματα HVAC μπορεί να απορροφήσουν το ένα τρίτο ή και το μισό του προϋπολογισμού ενός κτιρίου, ανακατευθύνοντας τα χρήματα, το χρόνο, το συντονισμό και την εργασία μακριά από τις αρνητικές συνέπειες και την πολυστρωματική οργάνωση του κτιρίου (με επιμέρους ανεξάρτητο μηχανολογικό εξοπλισμό), στο ίδιο το κτίριο.<sup>72</sup>

---

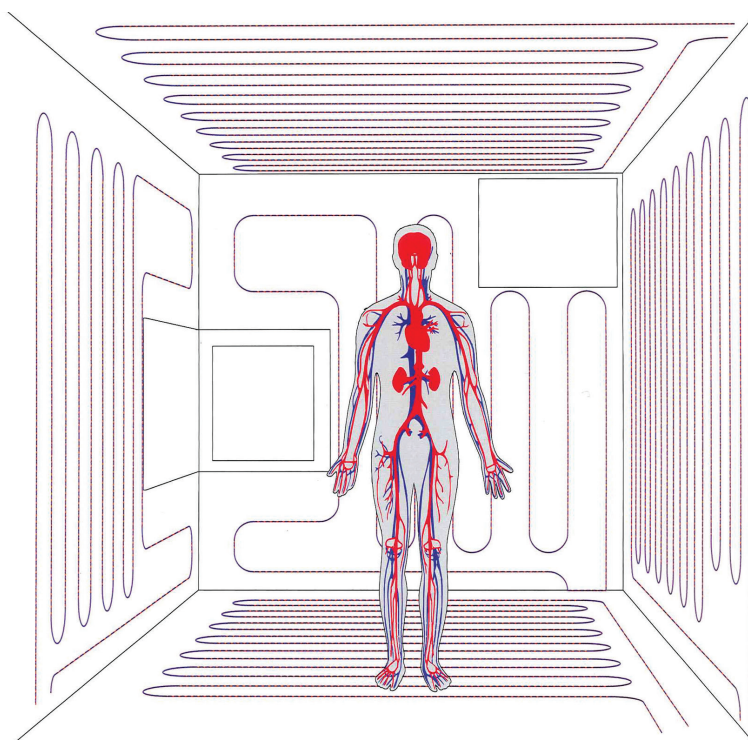
70. Moe, Kie "Thermally Active Surfaces", p. 94-95

71. Moe, Kie "Thermally Active Surfaces", p. 77

72. Moe, K., "Thermally Active Surfaces", p. 96-97



Εικόνα 40



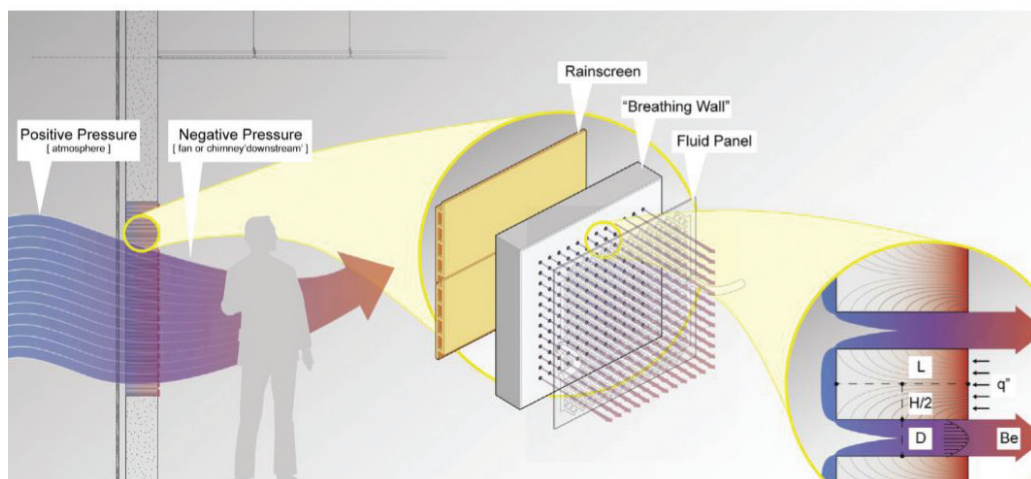
Εικόνα 41



### 3.9 Breathing walls

Το 1960 άρχισε μία προσπάθεια δημιουργίας ενός νέου συστήματος αερισμού πάνω σε μία πρωτοπόρα ιδέα, αυτή της ανάκτησης θερμότητας μέσω της δυναμικής μόνωσης. Οι προσπάθειες αυτές απέτυχαν αλλά το 2015 ερευνητές έδωσαν μία νέα οπτική σε αυτή την ιδέα, μελετώντας τη στη μικροκλίμακα και δημιουργώντας παράλληλα κανάλια ροών στο ίδιο υλικό.<sup>73</sup>

Η λογική στην οποία αναπτύσσεται ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας είναι η εξής: σε ένα ψυχρό κλίμα όπου ο εξωτερικός αέρας είναι κρύος πρέπει να προθερμανθεί πριν εισέλθει στο εσωτερικό του κτιρίου. Οποιαδήποτε ενεργειακή πηγή θα μπορούσε να το κάνει αυτό, αλλά μέσω των breathing walls εστιάζουμε στην θερμότητα που διαφεύγει μέσω των περιμετρικών τοίχων. Αν ο κρύος αέρας εισέλθει μέσα από του πόρους του τοίχου κατά την πορεία του προς το εσωτερικό η θερμοκρασία του ανεβαίνει από τον αέρα που ταξιδεύει προς την αντίθετη πλευρά- η θερμότητα που αλλιώς θα χανόταν μέσω της αγωγής στο περιβάλλοντα αέρα. Με αυτό τον τρόπο ο τοίχος μετατρέπεται σε μία συσκευή ανάκτησης θερμότητας. Η δυναμική μόνωση θα μπορούσε να λειτουργεί ακόμα και σε πολύ θερμά κλίματα λειτουργώντας ακριβώς αντίθετα, προψύχοντας δηλαδή τον εισερχόμενο θερμό αέρα.



Εικόνα 42: Η λειτουργία των Breathing Walls

73. Craig, Salmaan, Grinham, Jonathan, Breathing walls: The design of porous materials for heat exchange and decentralized ventilation, p. 1-2



Η βασική ιδέα είναι η μετατροπή του κελύφους του κτιρίου από μία επένδυση μόνωσης σε ένα σύστημα ανάκτησης θερμότητας και αερισμού. Η τεχνολογία αυτή βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, ωστόσο εάν γίνει λειτουργική θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στον κλάδο της κατασκευής.

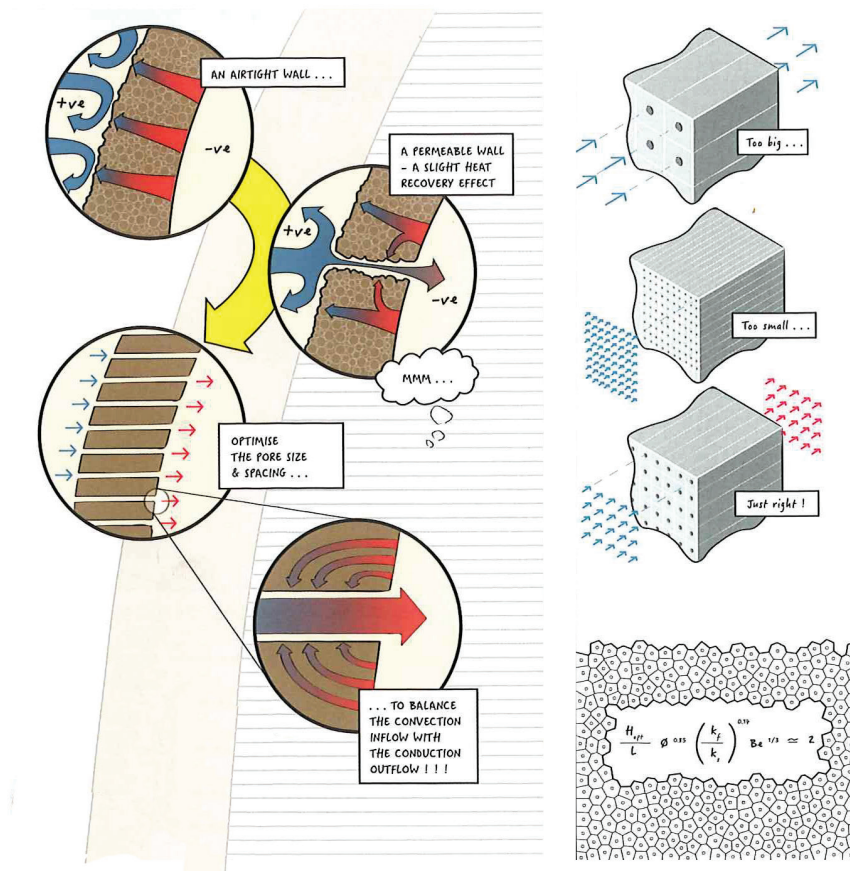
Στα κτίρια με 'breathing walls', η ενέργεια που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι μικρή εφόσον πληρούνται τρεις προϋποθέσεις. Αρχικά το κόστος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για να αντλήσει τον αέρα μέσα από το πορώδες υλικό πρέπει να είναι μικρό. Η απλούστερη και πιο αξιόπιστη λύση είναι η χρήση ανεμιστήρων για να ωθούν τον συμπιεζόμενο εσωτερικό αέρα. Αυτό φυσικά συνεπάγεται ένα αρχικό ενεργειακό κόστος. Δεύτερον, η ενέργεια που χρησιμοποιήθηκε για την προθέρμανση του εισερχόμενου αέρα πρέπει αργότερα να ανακτάται προτού διαφύγει από το κτίριο. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο ανταλλαγής θερμότητας αέρα-αέρα ή νερού -νερού. Ο τρίτος όρος δεν σχετίζεται με το σχεδιασμό των υπηρεσιών, αλλά με την αρχιτεκτονική μορφή. Στα πρότυπα ενεργειακής αποδοτικότητας, η έμφαση δίνεται στην ελαχιστοποίηση των απωλειών αγωγιμότητας. Έτσι τα μικρότερα κτίρια τείνουν να είναι πιο αποδοτικά. Αυτή η τεχνολογία, μπορεί να εφαρμοστεί σε κτίρια με υψηλή αναλογία εμβαδού επιφάνειας προς όγκου. Η αγωγή ροή δεν είναι κάτι που πρέπει να μειωθεί αλλά να ανακτηθεί και να ξαναχρησιμοποιηθεί.

Μελέτες έχουν δείξει πως οι τεχνολογία αυτή μπορεί να βελτιώσει το περιβάλλον του ανθρώπου καθώς ενισχύει τον εξαερισμό ενώ οι πορώδεις τοίχοι λειτουργούν σαν φίλτρο. Επιλέγον η χρήση τους και ως φίλτρο συνεισφέρει και στον έλεγχο της υγρασίας.

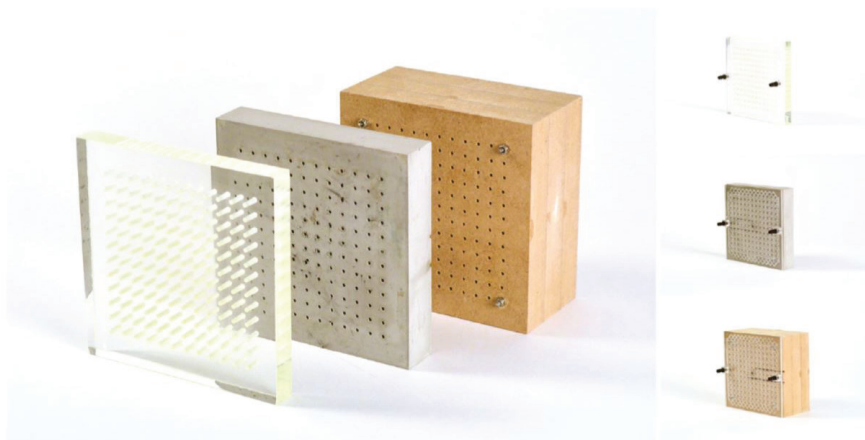
Ωστόσο η τεχνολογία των Breathing-walls στην σημερινή μορφή της αντιμετωπίζει ακόμα διάφορα προβλήματα όπως για παράδειγμα την κακή λειτουργία της σε συνθήκες έντονου εξωτερικού ανέμου καθώς και την ανάγκη συνεργασίας με θερμικά ενεργές επιφάνειες ή άλλους θερμοπομπούς σε αρκετές περιπτώσεις.<sup>74</sup> Σε κάθε περίπτωση δημιουργεί μια ενδιαφέρουσα προοπτική για την αρχιτεκτονική η οποία σε συνεργασία με το εργαλείο των θερμικά ενεργών επιφανειών μπορεί να αλλάξει τελείως την αίσθηση στο αρχιτεκτονικό εσωτερικό.

---

74. Moe, Kiel." Insulating modernism", p.272-283



Εικόνα 43: η λειτουργία των breathing walls



Εικόνα 44: Breathing Walls test panels από τον S.Craig και J.Grinham

# 4

---

## Μία σύγχρονη προσέγγιση

## 4.1 Το πλαίσιο

---

Οι πρακτικές του μοντερνισμού είχαν ως αποτέλεσμα τη ραγδαία εξέλιξη και εφαρμογή των τεχνολογιών της βιομηχανίας στα κτίρια, και παράλληλα τον περιορισμό του ρόλου του αρχιτέκτονα. Ο κατακερματισμός των αρμοδιοτήτων και η τεχνικοποίηση του κτισμένου περιβάλλοντος οδήγησαν στη δημιουργία προβληματικών και περίπλοκων ενεργειακών επιλύσεων μέσω της πολυστρωματικής οργάνωσης. Σε αυτό το πλαίσιο, διάφορα πεδία εντόπισαν την ανάγκη για επαναπροσδιορισμό του προβλήματος που δημιουργείται από την τεχνικοποίηση του κτισμένου περιβάλλοντος και τα επακόλουθά του στους επιμέρους κλάδους. Το πρόβλημα της πρόωρης μηχανοποίησης του αέρα και του τεχνοκρατικού μοντέλου της βιωσιμότητας, έγινε κατανοητό σε μια διαδικασία πολιτιστικών και τεχνολογικών αλλαγών τα οποία απαιτήσαν μια ολιστική προσέγγιση για την επανεξέταση του ρόλου της θερμοδυναμικής στην αρχιτεκτονική.<sup>75</sup>

Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη επαναπροσδιορισμού του πολιτιστικού και επιστημονικού πεδίου στο οποίο το πρόβλημα συζητείται. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται μια προσπάθεια ένωσης των επιμέρους φυσικών και κοινωνικών επιστημών σε ένα κοινό λεξιλόγιο μέσω της θερμοδυναμικής. Η ιδέα αυτή αναπτύχθηκε αρχικά στη διατύπωσή του για την αρχιτεκτονική από τον Sanford Kwinter και τα τελευταία χρόνια ένας αυξανόμενος αριθμός ακαδημαϊκών και επαγγελματιών εργάζονται σε αυτήν την κατεύθυνση.<sup>76</sup>

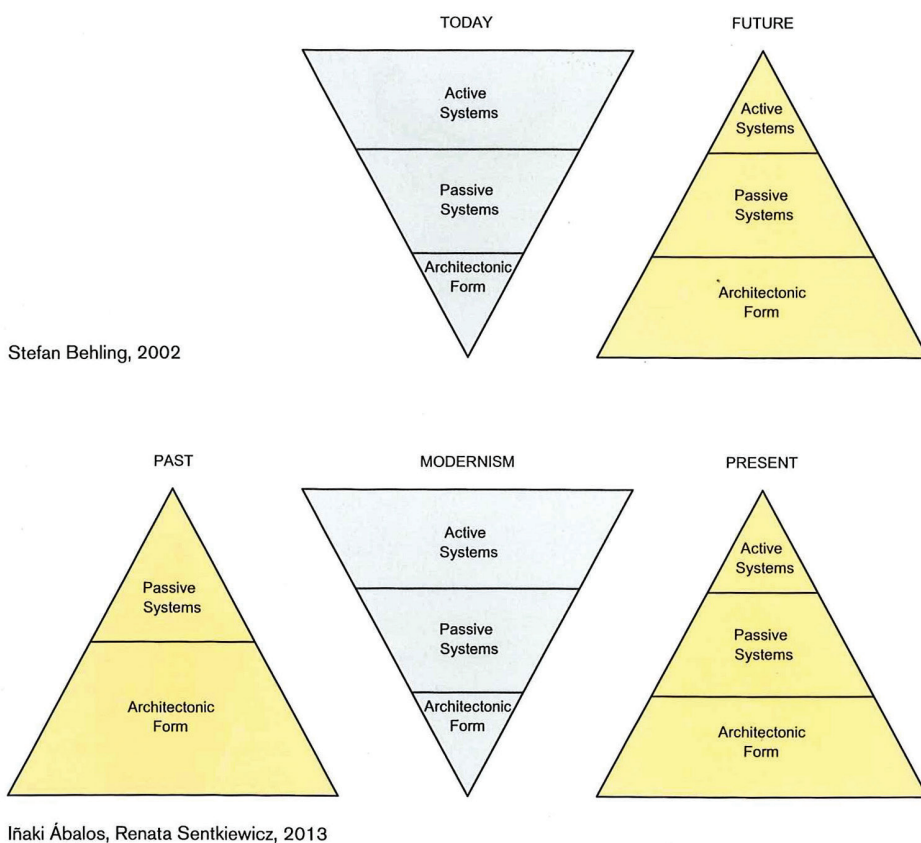
Το διάγραμμα πυραμίδας του Stephan Behling (2002), υποδεικνύει την ενδεχόμενη αρμοδιότητα των αρχιτεκτόνων σε ότι αφορά στο θερμοδυναμικό σχεδιασμό, από τη στιγμή που οι δύο πιο σημαντικές κατηγορίες εμπίπτουν στη δική τους δικαιοδοσία. Δική τους αρμοδιότητα είναι ίσως και η αίσθηση των ενεργών συστημάτων, υποβαθμισμένα στο να επιλύουν οριακές ή κακώς ορισμένες καταστάσεις δηλαδή κτιρίων σχεδιασμένα ως σφραγισμένα και χωρικά απομονωμένα από το περιβάλλον τους. Περιγράφοντας τη σχέση μεταξύ της αρχιτεκτονικής μορφής και των ενεργών και των παθητικών συστημάτων, σχολιάζει την αντιστροφή της βαρύτητας ανάμεσα στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική και το μοντερνισμό με την εισαγωγή των ενεργητικών συστημάτων. Για το μέλλον δεν οραματίζεται την επιστροφή σε πρακτικές του παρελθόντος, αλλά μια πιο συνετή και κατά περίπτωση χρήση των ενεργών συστημάτων, καθώς δεν μπορούν όλες οι τυπολογίες και οι

---

75. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 245

76. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 246

τοποθεσίες να αντιμετωπίζονται αποκλειστικά με παθητικές στρατηγικές. Η παραμετροποίηση του φυσικού περιβάλλοντος είναι καθοριστική για τον προσδιορισμό των ορίων της κάθε περίπτωσης. Ο Inaki Abalos και η Renata Sentkiewitz συνδέουν την αντιστροφή της πυραμίδας με τον μοντερνισμό και φέρνουν στο παρόν το όραμα του Behling.<sup>77</sup>



Εικόνα 45: Το διάγραμμα του Stephan Behling

Για τη βελτίωση της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων δεν αρκεί η βελτίωση της αποδοτικότητας των συσκευών ή συστημάτων. Ζητούμενο για την καλύτερη ενεργειακή διαχείριση των κτιρίων είναι η κατανόηση της συνολικής ενεργειακής συμπεριφοράς και λειτουργίας του κτιρίου από τον

77. Fernanndes, J., M., Ricardo, "Energy efficiency principles in Portuguese vernacular architecture" (Conference paper), p. 8



ίδιο το σχεδιαστή. Η ικανότητα όμως του αρχιτέκτονα να διαχειρίζεται το περιβάλλον περιορίζεται από τα ίδια τα εργαλεία που διαθέτει (δυσκίνητες τεχνικές προσομοίωσης ρευστών δυνάμεων και φυσικών νόμων). Για να μπορεί ο αρχιτέκτονας να σχεδιάσει με βάση την ενεργειακή συμπεριφορά του κτιρίου πρέπει να δημιουργηθούν εργαλεία που να δείχνουν τις θερμικές ροές, τις ροές του φωτός κλπ. Η Michelle Addington αναφέρει πως οι ιδιότητες της μεταφοράς θερμότητας δεν λειτουργούν στην κλίμακα της τομής του αρχιτεκτονικού τοίχου αλλά ως θερμοδυναμικές διαδικασίες σε πολύ μεγαλύτερη ή πολύ μικρότερη κλίμακα από αυτή του αρχιτεκτονικού σχεδίου. Για να καταφέρουμε να αποτυπώσουμε αυτές τις διαδικασίες ώστε να μπορέσουμε να σχεδιάσουμε με βάση αυτές πρέπει να διευρύνουμε τους ορίζοντες και να εξοικειωθούμε με όλες αυτές τις “αόρατες” διαδικασίες.<sup>78</sup>

Στην προσπάθεια για την επίτευξη ενός πιο αειφόρου σχεδιασμού, η λύση δε θα πρέπει να αναζητηθεί σε νέες και εξεζητημένες τεχνολογικά λύσεις αλλά στην καλύτερη εφαρμογή των ήδη υπαρχόντων. Η ιδέα της ενδιάμεσης τεχνολογίας από τον F. Schumacher, δεν αφορά ένα πισωγύρισμα σε ξεπερασμένες μεθόδους αλλά στην καλύτερη ρύθμιση πιο απλών τεχνολογιών που να μπορούν να εφαρμοστούν τόσο στις ανεπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες. Οι περίπλοκες λύσεις όπως οι ψευδοροφές και οι πολυστρωματικές συναρμολογήσεις μειώνουν τη διάρκεια ζωής των κτιρίων ή των μερών τους, τη στιγμή που η ανθεκτικότητα παραμένει το πιο σημαντικό εμπόδιο στην αειφορία.<sup>79</sup>

Ο Kiel Moe χαρακτηρίζει τα κτίρια του μοντερνισμού ως στερούμενα θερμοδυναμικού βάθους. Με τον όρο αυτό μετρά την πολυπλοκότητα σε ένα σύστημα. Μέσω της θερμοδυναμικής αναφέρει πως πρέπει επιδιώκουμε τη δημιουργία πολύπλοκων και όχι περίπλοκων σχέσεων. Τόσο η ανούσια περιπλοκότητα (που περιορίζει τις δυνατότητες) όσο η ζωτική πολυπλοκότητα (που βοηθάει στην ανάπτυξη του συστήματος), επηρεάζουν το θερμοδυναμικό βάθος. Ο χαρακτηρισμός των σχέσεων βασίζεται στην ενέργεια που ανταλλάσσεται τόσο σε μικρή όσο και μεγάλη χρονική και χωρική κλίμακα.<sup>80</sup>

Το κεφάλαιο 4 αποτελείται από αποσπάσματα του βιβλίου των Inaki Abalos και Renata Sentkiewitz, *Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty*, στο οποίο ο ίδιος εξηγεί την προσέγγισή του για μια νέα οπτική στην Αρχιτεκτονική μέσα από τη Θερμοδυναμική.

---

78. Harvard Design Magazine 30, (Sustainability) + Pleasure, Vol. I: Culture and Architecture, p.26

79. E.F.Schumacher, “Small is Beautiful: Economics as if people Mattered”, p. 198

80. Moe, Kiel. *Insulating modernism*. Basel: BirkhauserVerlag, 2014, p.17-18

## 4.2 Η ιδέα του **thermodynamic materialism** από τον Inaki Abalos

---

Ο Inaki Abalos υποστηρίζει πως ο κινούμενος αέρας χρειάζεται πλέον να μελετηθεί στις διαφορετικές εκφάνσεις του για να ανακαλύψουμε τις διαφορετικές του δυνατότητες και να οδηγήσει στην κατασκευή αυτού που έχουμε ορίσει ως μια νέα ιδέα θερμοδυναμικής ομορφιάς, η οποία χωρίς να απορρίπτει την τεκτονική παράδοση, τη συμπληρώνει ,προσφέροντας νέες κατευθύνσεις για το έργο του αρχιτέκτονα.<sup>81</sup>

Τα κτίρια και οι πόλεις είναι συσσωρευμένα υλικά και ενέργεια. Τα υλικά που αποτελούν το κτιριακό σύστημα συνεχώς αλληλεπιδρούν με το φυσικό περιβάλλον μέσω των ροών ενέργειας που υιοθετούν διαφορετικές μορφές ανάλογα με την πηγή (ηλεκτρομαγνητικά κύματα, κίνηση αέρα κλπ.). Η ύλη ρυθμίζει αυτές τις ροές ταυτόχρονα με την ενέργεια που ευθύνεται για το στατικό έργο (διοχετεύοντας βαρυτικά, σεισμικά και φορτία ανέμου στο έδαφος). Ιδανικά η ύλη και η γεωμετρία του οικοδομήματος συνεργάζονται συνδυαστικά σε τρία υποσυστήματα: χωρική οργάνωση, τεκτονική οργάνωση, θερμοδυναμική οργάνωση, αναφερόμενοι στα δωμάτια που συγκροτούν το χωρικό σύστημα, τα πλήρη και τα κενά στοιχεία του σκελετού που μεταφέρουν τις τάσεις στο έδαφος και το πορώδες εσωτερικό των υλικό που ορίζει τις διαφορετικές τιμές αγωγιμότητας και διαχυτικότητας.

Το **thermodynamic materialism** τείνει προς μια νέα παθητικότητα (αφαιρώντας την ανάγκη για μηχανικές συσκευές και μηχανές θερμότητας) και την εξαφάνιση των εξειδικευμένων συστημάτων πολλαπλών στρώσεων και εμπορικών προϊόντων (μόνωση, ίνες, ηχομόνωση, στεγανοποίηση, αγωγοί, ψευδοροφές κλπ) αντικαθιστώντας τα με ένα οργανικό, εξειδικευμένο σύνολο με λίγα στοιχεία, σχηματίζοντας ένα σύστημα που συνδυάζει ροές και υλικό σύμφωνα με τον οργανωτικό σχεδιασμό του.

Η έννοια αυτή αν και αντλεί την ομορφιά και τη λειτουργία της από κάποια ιστορικά και λαϊκά στοιχεία, δεν αποτελεί μια νοσταλγική επιστροφή στη μαζική κατασκευή παλαιότερων προτύπων. Αντίθετα, επιδιώκει την καλύτερη γνώση των ιδιοτήτων των υλικών, την επιστημονική πρόοδο και την καινοτομία προς μια καλύτερα ρυθμισμένη χρήση των φυσικών και τεχνικών υλικών σύμφωνα με τις ιδιότητές τους για να επιτευχθεί η επιθυμητή μόνωση, αγωγιμότητα, ακτινοβολία, ή διαχυτικότητα ενσωματώνοντάς στο σχεδιασμό τις δομικές τους ιδιότητες.

---

81. Moe, Kiel. *Insulating modernism*. Basel: BirkhauserVerlag, 2014, p.17-18

Η κατασκευή ενός νέου *thermodynamic materialism* επικεντρώνεται στον τομέα των διαδικασιών σχεδιασμού και την επιστροφή σε μια ολοκληρωμένη άποψη της αρχιτεκτονικής που συνδυάζει με τον μέγιστο συγκρητισμό όλα τα ορατά και τα αόρατα υλικά που συγκροτούν την εμπειρία της αρχιτεκτονικής και της πόλης. Η μορφή, το σώμα, τα φυσικά στοιχεία, τα υλικά, το πρόγραμμα, ο χρόνος και η ομορφιά είναι κάποιες από τις βασικές κατηγορίες ενός συστήματος γύρω από τη λέξη *materialism*. Αυτή η λέξη δέχεται διαφορετικές ερμηνείες ανάλογα με το αν είναι φιλοσοφική, πολιτική ή καθομιλουμένη. Σε σχέση με την αρχιτεκτονική αυτή η λέξη υποδηλώνει τον υλικό πολιτισμό μιας εποχής, λαμβάνοντας υπόψη τα υλικά και τις μορφές ως από κοινού καθοριστικούς παράγοντες της εμπειρίας της αρχιτεκτονικής.<sup>82</sup>

Αυτό που ορίζεται λοιπόν ως ***thermodynamic materiality*** λειτουργεί υβριδικά περιλαμβάνοντας τον κενό χώρο και τη μάζα. Χρησιμοποιεί αφενώς τα αδρανή υλικά για να αποθηκεύουν ενέργεια και να ρυθμίζουν τα θερμικά οφέλη και αφετέρου τα ενεργά υλικά για να προσλαμβάνουν ενέργεια και να ανταποκρίνονται άμεσα στις εξωτερικές αλλαγές. Έτσι με τη σειρά της, η οργάνωση των κενών χώρων μετατρέπει τον αέρα και την οργάνωση των συναγωγικών ροών σε βασικό στοιχείο αυτής της υβριδικής υλικότητας. Ο όρος *thermodynamic materiality* δεν εστιάζει σε συγκεκριμένες στιγμές της κατασκευής αλλά αναφέρεται σε ένα τρισδιάστατο σύνολο αποτελούμενο από το φυσικό και τεχνητό περιβάλλον και τα ορατά και αόρατα υλικά συνδιασμένα σε ένα σύστημα.<sup>83</sup>

Ως ***thermodynamic material*** περιγράφεται όλη η ύλη που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή ως ένα ενιαίο ενεργειακό σύστημα. Ο διαχωρισμός σε ευδιάκριτες στιγμές και αρμοδιότητες είναι κατάλοιπο του παραδείγματος της εξειδίκευσης του μοντερνισμού που οδήγησε στην ανεπάρκεια του μοντέρνου κτιρίου από ενεργειακής άποψης καθώς βασιζόταν στον άσκοπο πολλαπλασιασμό μονολειτουργικών *layer*.<sup>84</sup>

---

82. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 249

83. Ibid

84. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 255

## 4.3 Πρόγραμμα

---

Η θερμοδυναμική οργάνωση των μεικτών χρήσεων αποτελεί μια εναλλακτική στην σημερινή εμπορική λογική των μεικτών χρήσεων ισοδύναμη με τη βιολογική σχέση μεταξύ των μορφών συμβίωσης και παρασιτισμού στην οργανική ζωή.

Σε αντίθεση με την επικρατούσα λειτουργική οργάνωση που βασίζεται στις αρχές του Taylor η θερμοδυναμική αντίληψη της ζωής που στεγάζεται στα κτίρια και τις πόλεις βασίζεται στην ιδέα ότι η εσωτερική μεταβολική δραστηριότητα δημιουργείται τόσο από τις συσκευές όσο και τους χρήστες που αλληλεπιδρούν με αυτό. Αυτή η δραστηριότητα σε συνδιασμό με τη διαχείριση των θερμικών κερδών από το εξωτερικό περιβάλλον συνθέτουν ένα σύστημα του οποίου η ημερίσια και εποχιακή οργάνωση γίνεται με βάση τη μέτρηση σε joule ή watt και των δύο πηγών (εσωτερικών και εξωτερικών) δημιουργώντας αλυσίδες ανταλλαγής συνδεδεμένες με περιοχές αποθήκευσης ή τράπεζες θερμότητας. Αυτές με τη σειρά τους μπορούν να αξιοποιήσουν την αδράνεια των υλικών και των συσκευών. Οι θερμικές αποθήκες συνδεδεμένες με διαφορετικές περιοχές μπορούν να μεταφέρουν και να διαχέουν τα θερμικά κέρδη στην ύλη και τον αέρα είτε μέσω αγωγής (νερό) ή συναγωγής (αέρα). Στη διαδικασία αυτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο οι παραδοσιακοί εναλλάκτες θερμότητας (plate heat exchangers) όσο και προηγμένα υλικά PCM (phase-changing materials). Είναι επίσης σημαντικό να χρησιμοποιούνται αποδοτικά κανάλια μεταφοράς για να υπάρξει μια αποτελεσματική μετάδοση. Το πρόγραμμα συνεπώς μπορεί να αντιμετωπιστεί ως καθοριστικός παράγοντας για την οργάνωση της δομής και των ανταλλαγών θερμότητας. Η θερμοδυναμική αντίληψη του προγράμματος αντιπαραθέτει τα κτίρια μεικτών χρήσεων και συνεχούς λειτουργίας στο λειτουργικό διαχωρισμό του μοντέρνου κτιρίου. Χωρίζοντας χώρους και λειτουργίες ως source or sink activities (με θερμικό πλεόνασμα ή έλλειμμα) και συνδέοντάς τους σε αλυσίδες ανταλλαγής δημιουργείται ένα σύστημα συνεχούς ανταλλαγής θερμότητας με αγωγή ή συναγωγή και τη συνεισφορά θερμικών συσκευών (τοίχος Trombe, stirling engine, μονάδα ψύξης, τοίχος νερού κλπ).

Επίσης, η συγκεκριμένη οπτική συνεπάγεται νέους τρόπους προγραμματισμού μεικτών δραστηριοτήτων έτσι ώστε ιδανικά οι λιγότερο σημαντικές επιφάνειες πηγών και καταναλωτών να έχουν συγκεκριμένες αναλογίες ώστε να ισορροπούν. Σε αυτήν την διαδικασία θα μπορούσε να διερευνηθεί η σύνδεση με κάποιο κοντινό δίκτυο υποδομών που έχει έντονο θερμικό πλεόνασμα ή

έλλειμμα (σταθμοί μετρό, μονάδες ανακύκλωσης κλπ).<sup>85</sup>

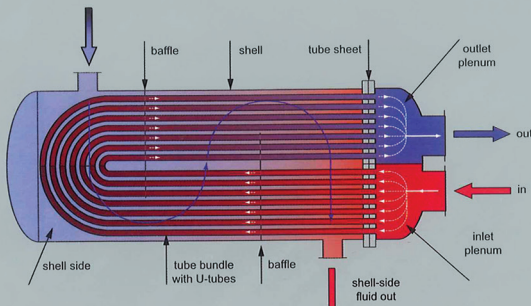
Ωστόσο, η εσωτερική οργάνωση των διαφόρων δραστηριοτήτων, ειδικά στο μοντέλο της αγωγίμης γειτνίασης μεταξύ δραστηριοτήτων, χρειάζεται σχεδιαστικές λύσεις που θα οργανώνουν τυπολογικά την τομή, κάτι που δε συνάδει με την εμπορική λογική της οργάνωσης των χρήσεων(από το λιγότερο στο περισσότερο ιδιωτικό ανάλογα με το ύψος), βασιζόμενη αντί σε διαδοχικά ανεξάρτητα στρώματα σε μια παράταξη με κριτήρια συνέχειας μεταξύ των κυρίων πηγών, επιτρέποντας μια πολυπλοκότητα σε κάτοψη και τομή που αναπαράγει σε μεγάλο βαθμό, αυτή των ζωντανών οργανισμών.

Ο Inaki Abalos με τις παρακάτω εικόνες σχολιάζει πως θα μπορούσε και η οργάνωση της μορφής να αναπαριστά την τοπολογία θερμικών μηχανών σε κλίμακα κτιρίου.

---

85. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 257

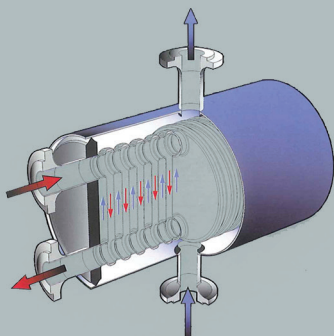
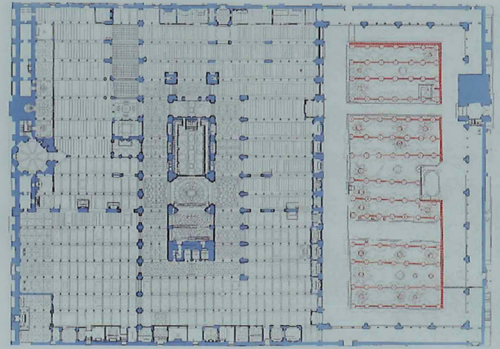




### Shell and tube heat exchanger

Shell and tube heat exchangers consist of series of tubes, one set of which contains the fluid to be either heated or cooled. The second fluid runs over the tubes that are being heated or cooled, either to provide or absorb heat as required. A set of tubes is called a tube bundle and can be made up of several types of tubes: plain, longitudinally finned, etc. Shell and tube heat exchangers are typically used for high-pressure applications.

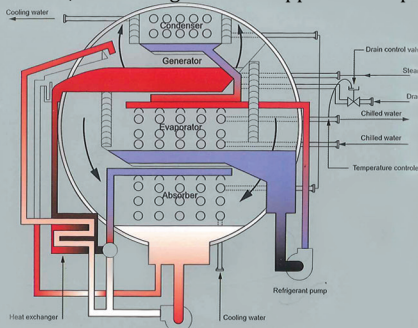
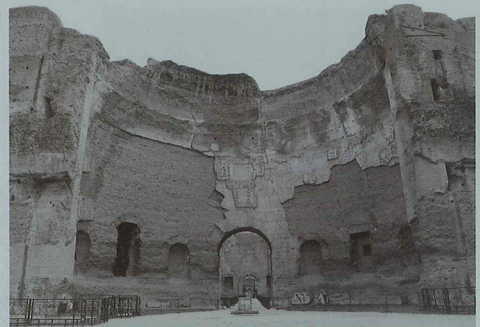
Great Mosque of Córdoba, Spain.  
Drawing by Gabriel Ruiz Cabrero



### Plate and shell heat exchanger

This is a combination of the plate heat exchanger with shell and tube exchanger technologies. The heart of the heat exchanger contains a fully welded circular plate pack. Nozzles carry flow in and out of the plate pack (the plate-side flow path). The fully welded plate pack is assembled into an outer shell that creates a second flow path (the shell side). Plate and shell technology offers high heat transfer, high pressure and high operating temperature, compact size, low fouling and close approach temperature.

Baths of Caracalla, Rome, Italy

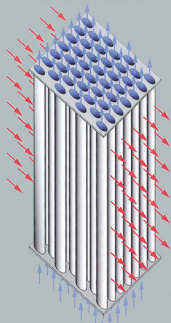


### Absorption refrigerator

An absorption refrigerator is a refrigerator that uses a heat source (e.g. solar energy, a fossil-fueled flame, waste heat from factories or district heating systems) which provides the energy needed to drive cooling process. The principle can also be used to air-condition buildings using the waste heat from a gas turbine or water heater.

Citadel of Arbil, Iraq

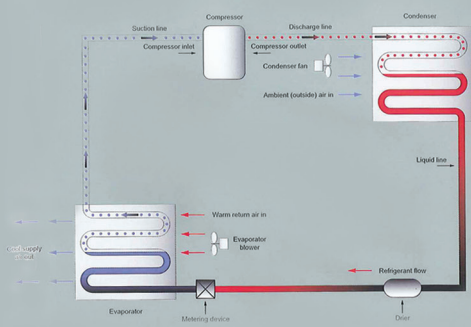
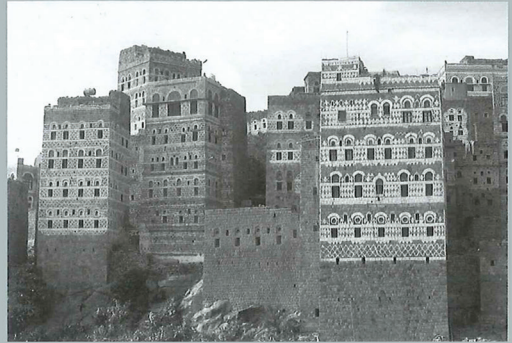




### Heat recovery ventilator

Heat recovery ventilator also known as HRV, mechanical ventilation heat recovery or MVHR, is an energy recovery ventilation system using equipment known as a heat recovery ventilator, heat exchanger, air exchanger or air-to-air heat exchanger which employs counter-flow (countercurrent) heat exchange between the inbound and outbound air flows. HVR provides fresh air and improved climate control, while also saving energy by reducing heating (and cooling) requirements.

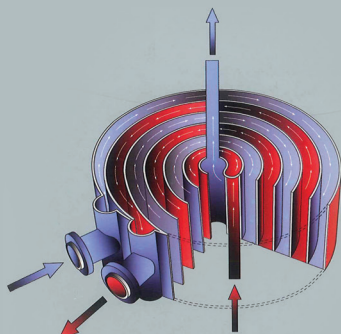
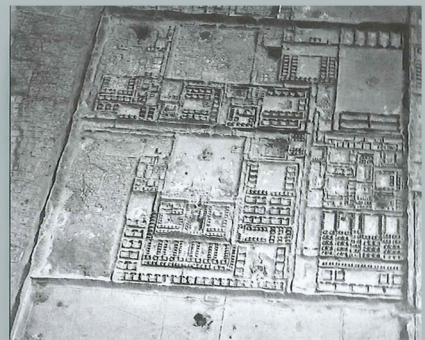
Traditional yemeni houses in Al Hajjarah, Haraz Mountains, Yemen



### Refrigerator

A refrigerator (colloquially fridge) is a common household appliance that consists of a thermally insulated compartment and a heat pump (mechanical, electronic or chemical) that transfers heat from the inside of the fridge to its external environment so that the inside of the fridge is cooled to a temperature below the ambient temperature of the room.

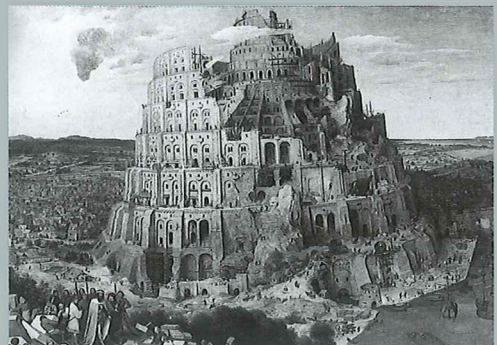
Chan Chan Archaeological Site, Trujillo, Peru



### Spiral heat exchanger

A spiral heat exchanger (SHE) refers to a pair of flat surfaces that are coiled to form the two channels in a counter flow arrangement. Each channel has one long curved path. Two fluid ports are connected tangentially to the outer arms of the spiral. Axial ports are common but optional. Its main advantage is its highly efficient use of space. A compact SHE may be used for its smaller footprint and lower capital costs, whereas an oversized SHE may be used for its lower levels of pressure drop and pumping energy, its higher thermal efficiency and lower energy costs.

The Tower of Babel.  
Pieter Bruegel the Elder, 1563



## 4.4 Δομές

---

Η ανταλλαγή θερμικών κερδών μεταξύ πηγών και απαγωγών θερμότητας ή σε μεταβολικούς όρους παραγωγών και καταναλωτών απαιτεί την ανάλογη τοπολογική οργάνωση. Χρειάζεται ισοτροπική συνέχεια (προς όλες της κατευθύνσεις) εάν η θερμότητα μεταδίδεται με αγωγή και κάθετη διαπερατότητα εάν χρησιμοποιείται συναγωγή.

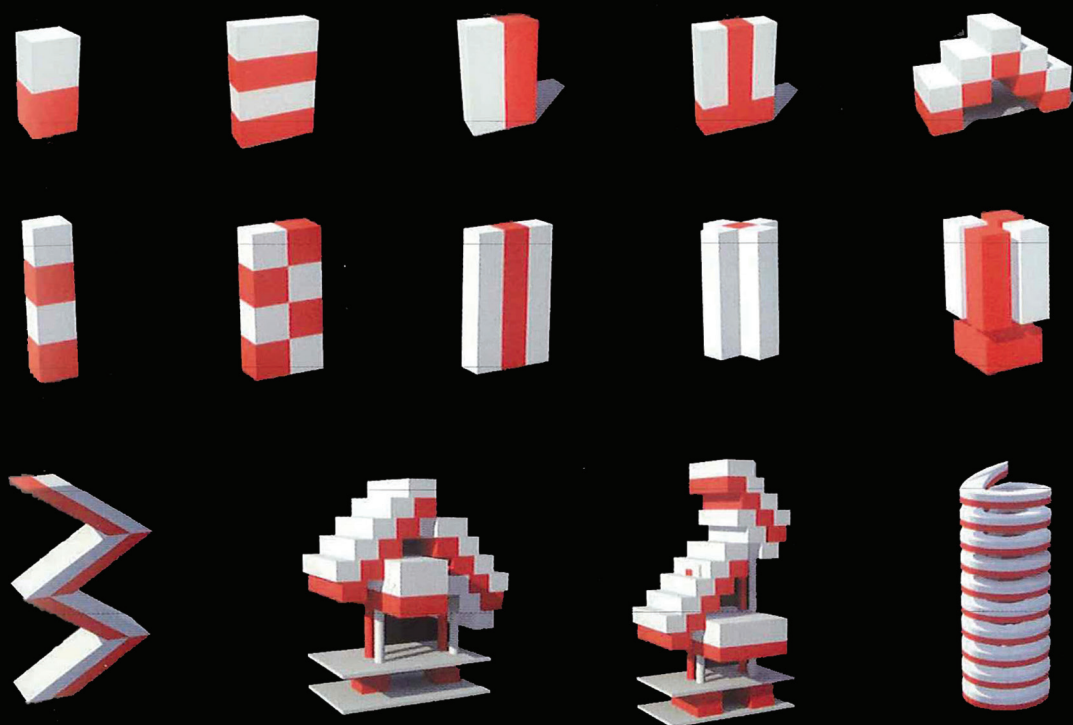
Σε κάθε περίπτωση όμως πρέπει να ακολουθείται μια οργάνωση «καταρράκτης» με αφετηρία τις θερμικές πηγές υψηλής ποιότητας και κατάληξη στους απαγωγούς ή καταναλωτές. Έτσι μια ιδανική οργάνωση θα αποτελούνταν από ένα ακτινοβόλο κέντρο περιστοιχισμένο από διαδοχικά λιγότερο απαιτητικούς καταναλωτές με ομόκεντρη δομή (onion-skin organization).

Η τελική δομή ωστόσο θα προκύψει από τη σύνθεση των εσωτερικών προγραμματικών απαιτήσεων με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό απαιτείται η επιμελής ανάλυση των κλιματικών δεδομένων (άμεσης και έμμεσης ακτινοβολίας, συχνότητα και κατεύθυνση ανέμου, θερμοκρασία εδάφους, ανανεώσιμες πηγές).<sup>86</sup>

---

86. Abalos I., Snetkiewicz, R., " *Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty*", p. 130

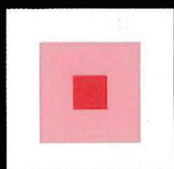




Concentric Outline

Multilayer Outline

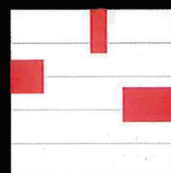
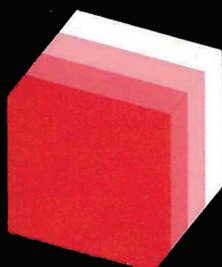
Vertical Outline



Horizontal Outline

Diagonal Outline

Perimetric Intrusions



Typical Layouts

## 4.5 THP - thermodynamic prototype

---

Από το 2013 μέχρι και σήμερα βρίσκεται σε εξέλιξη το ερευνητικό πρόγραμμα THP-thermodynamic prototype από τον Inaki Abalos και το Chair of Structural Design του πολυτεχνείου ΕΤΗ. Το θερμοδυναμικό πρωτότυπο είναι μια χωρική, δομική και θερμοδυναμική οργάνωση που αποτελείται από 9 συνεχόμενους και περιβαλλοντικά διαφοροποιημένους χώρους.

Πρόκειται για μια προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί όλη η κτιριακή μάζα για να οργανώσει μια χωρική, θερμοδυναμική διάταξη σε ένα είδος συγκρητισμού τριπλής κλίμακας καθώς σχεδιάστηκαν για την συγκρητική επίλυση τριών οργανισμών (χωρικού, δομικού, και θερμοδυναμικού), ελαχιστοποιώντας τα υλικά που χρησιμοποιούνται και μεγιστοποιώντας την ευελιξία της συμπεριφοράς και της απόδοσής τους.

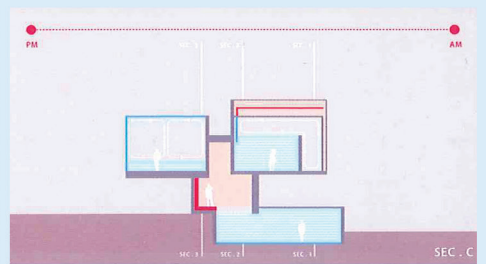
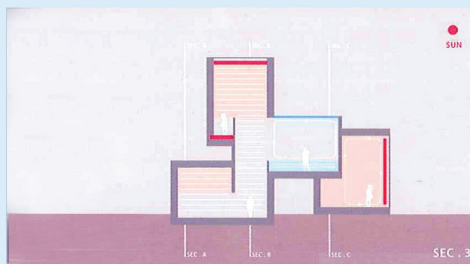
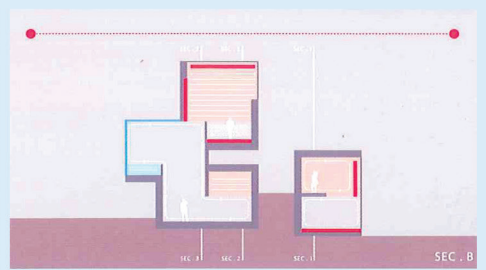
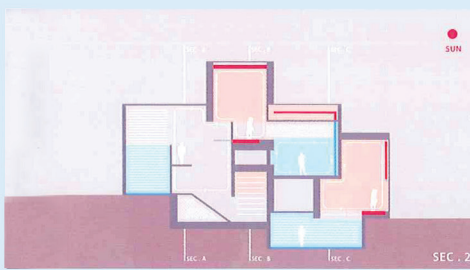
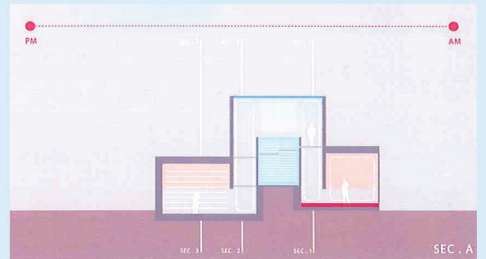
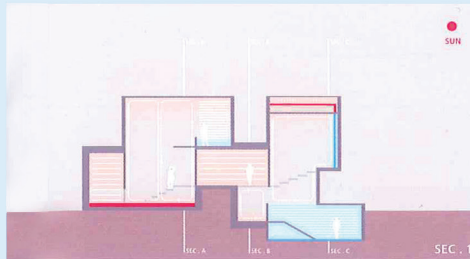
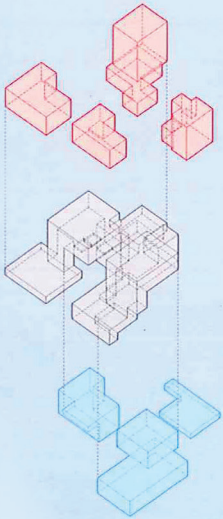
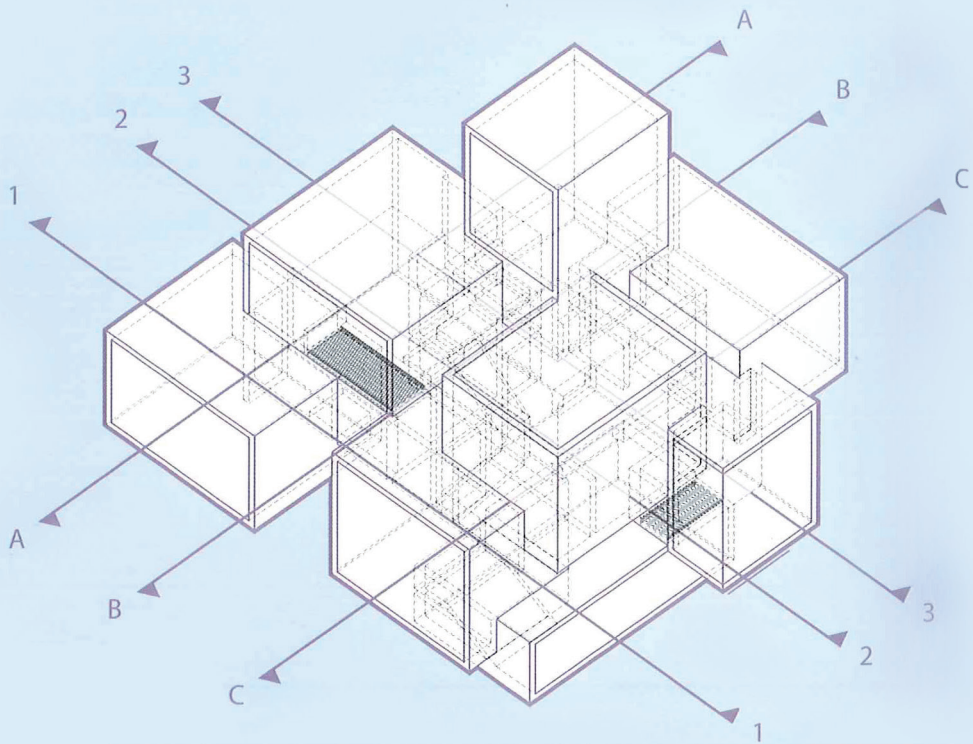
Στόχος του πειράματος που βρίσκεται ακόμα σε εξέλιξη είναι η εφαρμογή του θερμοδυναμικού πρωτοτύπου- ακόμα και στο αρχικό στάδιο- σε τρεις διαφορετικές κλιματικές συνθήκες και τρία διαφορετικά πλαίσια υλικού πολιτισμού. Έτσι θα διερευνηθεί η σχέση μεταξύ μορφής, ύλης και ενέργειας.

Η γεωμετρία και η τοπολογία των δωματίων (και των θερμικών παγίδων) δημιουργούν διαφοροποιημένες περιβαλλοντικά περιοχές σε συνεχόμενους χώρους συνδυάζοντας στατικές και δυναμικές ζώνες με τις πιο βασικές θερμικές συσκευές (Trombewall, εναλλάκτης θερμότητας, Stirling engine, absorption refrigerator και άλλες). Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται στοχευμένη επιλογή υλικών συνδυάζοντας ταυτόχρονα δομικές και θερμοδυναμικές παραμέτρους, σε σχέση πάντα με τους κλιματικούς παράγοντες. Διαμορφώνεται έτσι μια κατασκευή που εντείνει τις θερμοδυναμικές διαφορές και μαζί τους την ποικιλομορφία της χωρικής εμπειρίας.<sup>87</sup>

---

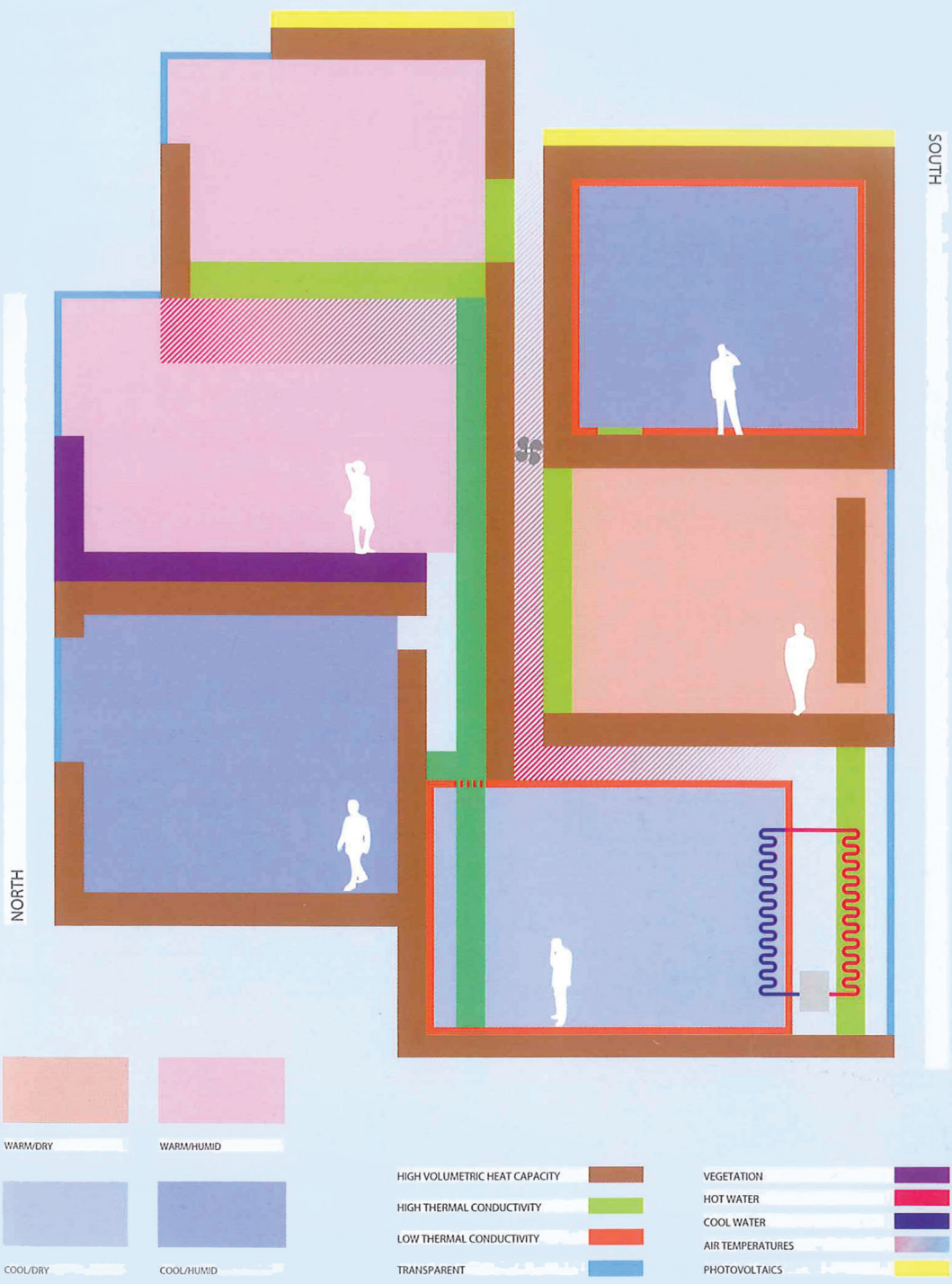
87. Abalos I., Snetkiewicz, R., "Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty", p. 262





GROUND INSULATIVE ENVELOPE STRATIFIED AIR AIR FLOW AIR TEMPERATURE HEAT SINK HEAT SOURCE

# FIRST BIDIMENSIONAL DIAGRAM



# FIRST BIDIMENSIONAL DIAGRAM\_ INTRODUCING THERMAL MASS

NORTH

SOUTH

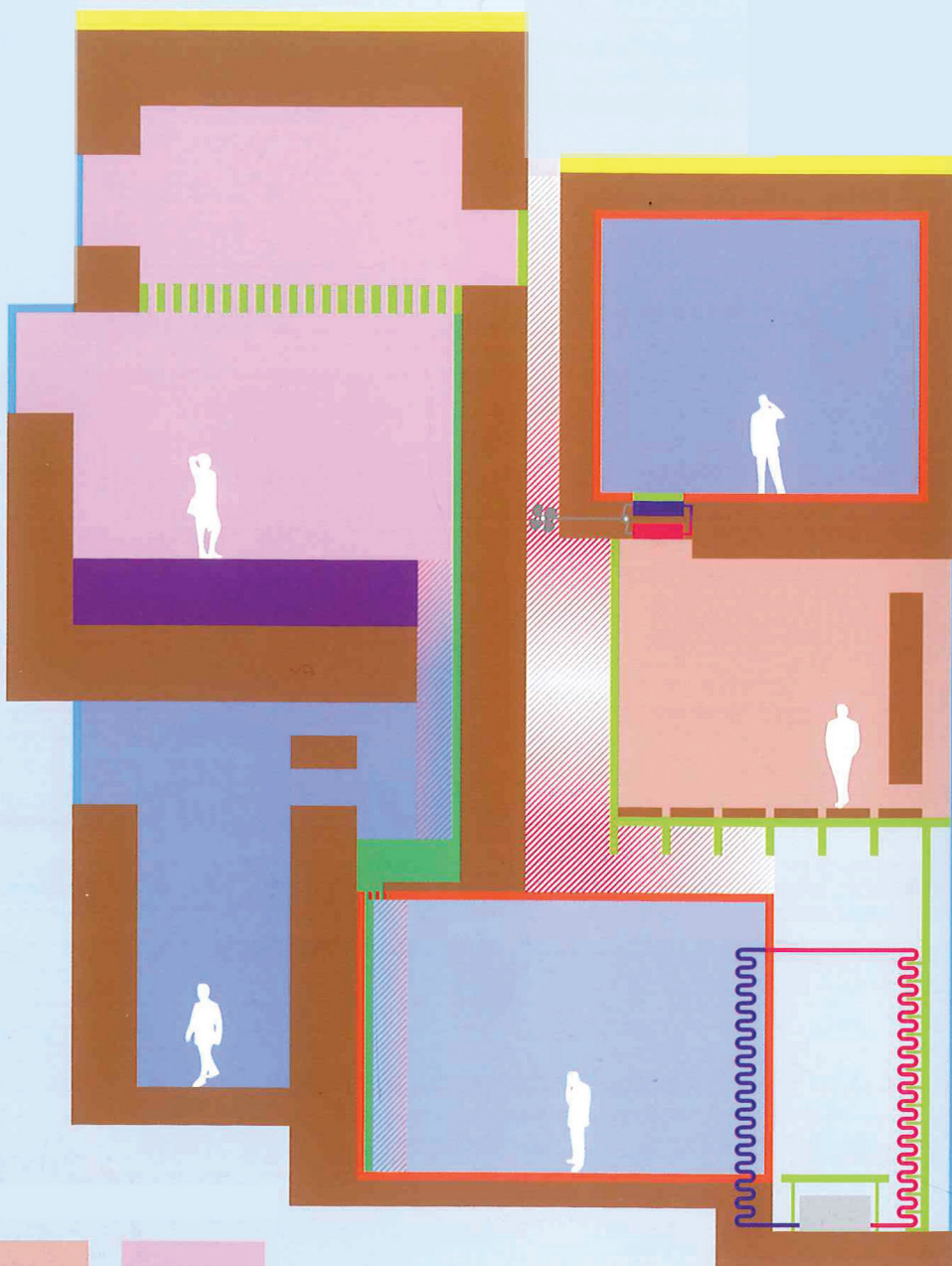
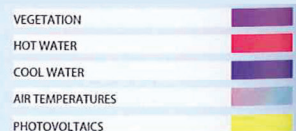
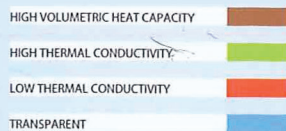
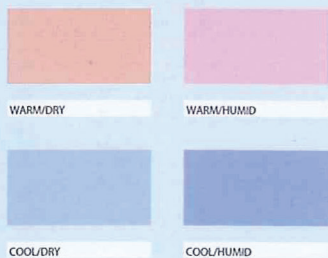
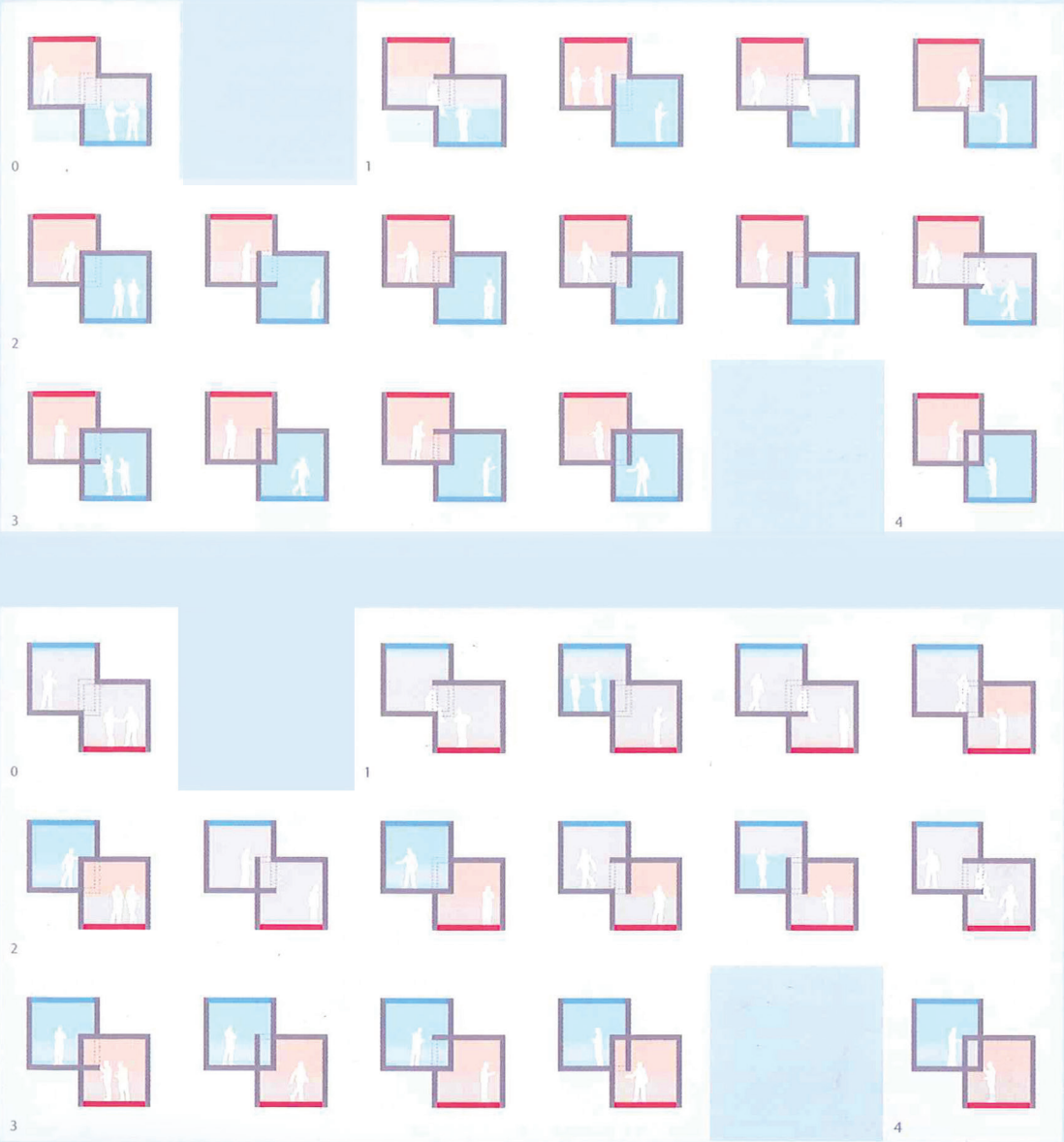




TABLE A\_ VOLUMETRIC AND THERMAL INTERSECTIONS



GROUND INSULATIVE ENVELOPE STRATIFIED AIR AIR FLOW AIR TEMPERATURE HEAT SINK HEAT SOURCE

TABLE B\_ RELATIONSHIP TO GROUND

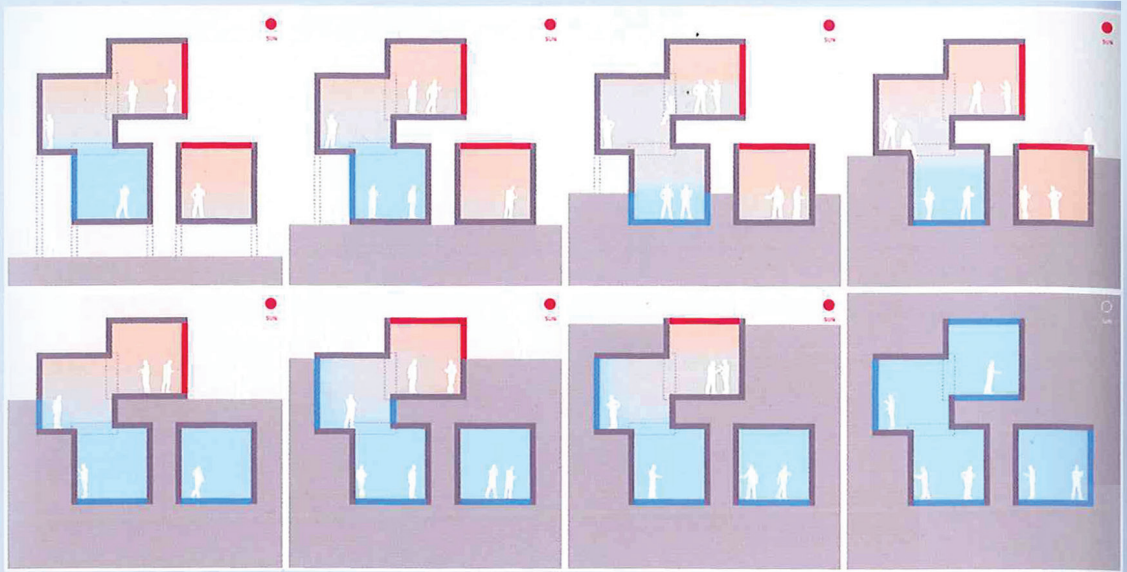
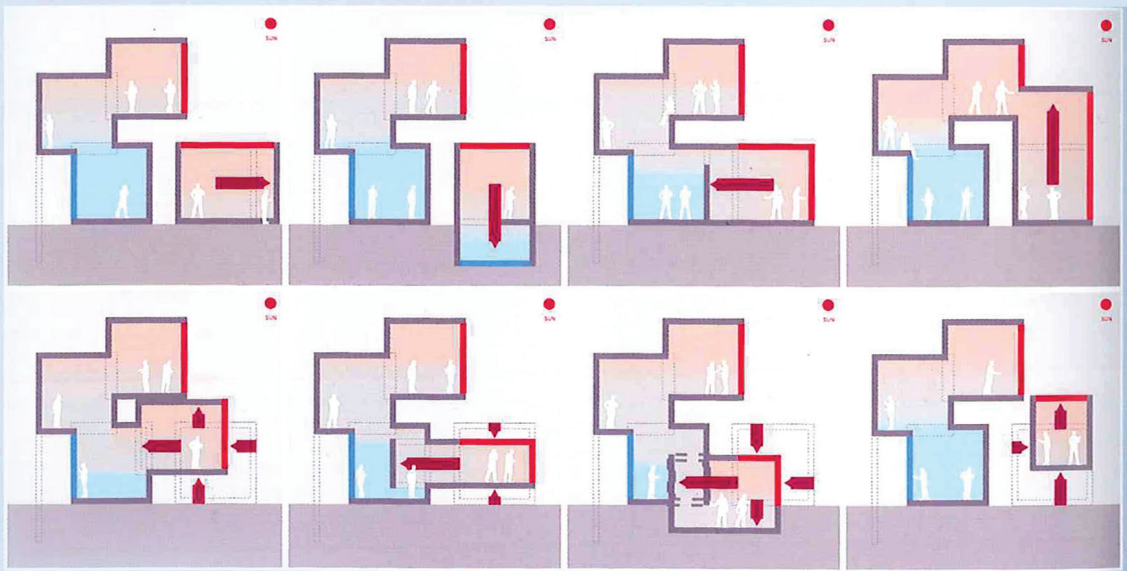


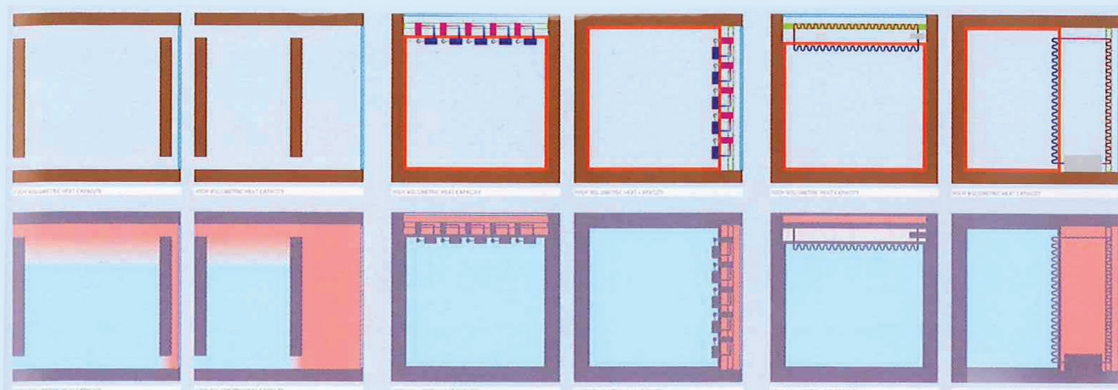
TABLE C\_ THERMODYNAMIC TRANSFORMATIONS



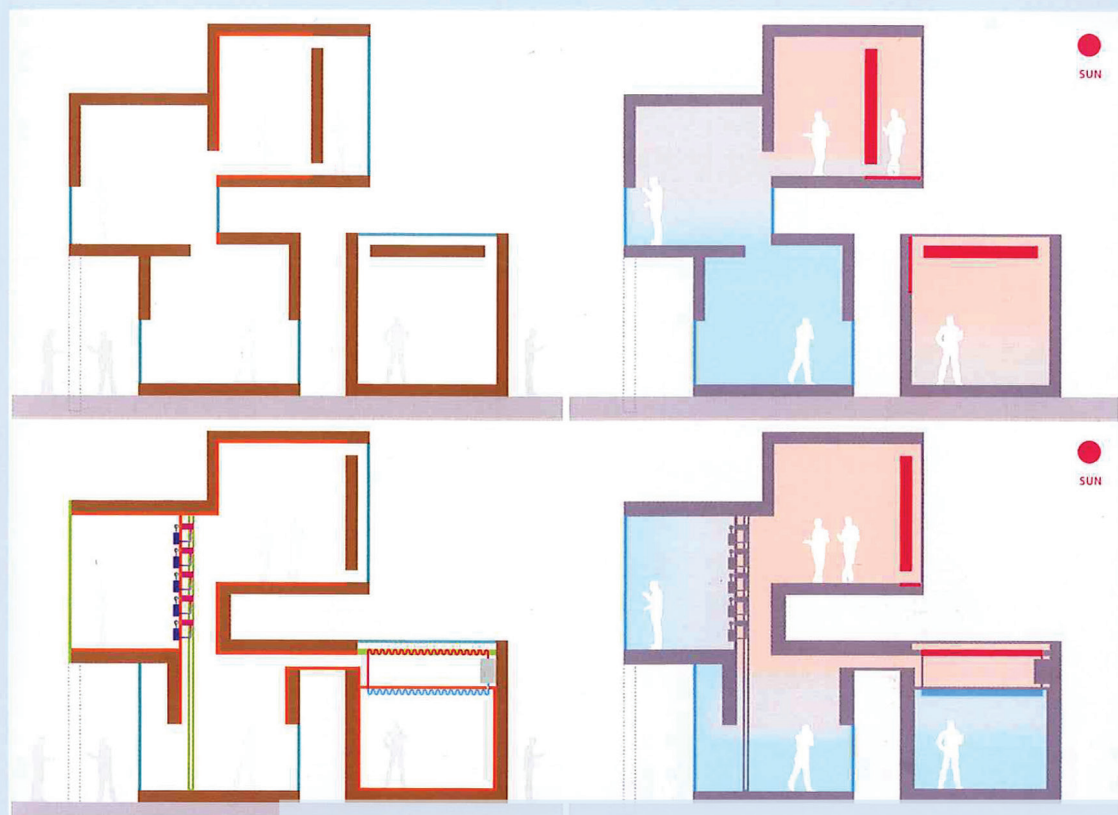
GROUND INSULATIVE ENVELOPE STRATIFIED AIR AIR FLOW AIR TEMPERATURE HEAT SINK HEAT SOURCE



## TABLE D \_ ENVELOPE ASSEMBLIER

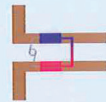
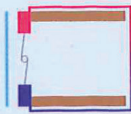
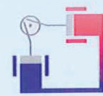


## TABLE E \_ DEVELOPING ENVELOPE CONDITIONS WITH THERMAL ASSEMBLIES



ENVELOPE ASSEMBLIES

## STIRLING MACHINES



## USES OF WORK OUTPUT

GENERATOR



SWITCH



OPEN LOUVER



VENT



FAN



CROSS VENT



WARM/DRY	WARM/HUMID	COOL/DRY	COOL/HUMID
<ul style="list-style-type: none"> <li>HANGING OUT</li> <li>SEMINARS</li> <li>LECTURES</li> <li>EATING</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BATHING</li> <li>YOGA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>WORKING OUT</li> <li>PLAYING SPORTS</li> <li>COOKING</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SLEEPING</li> <li>BUILDING</li> </ul>

# 5

---

## Συμπεράσματα

Την τελευταία δεκαετία, οι επιστήμες έχουν δείξει ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ενέργεια και τη διαχείρισή της, γεγονός που έχει κινητοποιήσει τη σταδιακή εισαγωγή νέων εννοιών και ιδεών από διαφορετικές επιστήμες στο πεδίο της αρχιτεκτονικής.

Η θερμοδυναμική ως το πεδίο της φυσικής που ασχολείται με τις ενεργειακές αλληλεπιδράσεις μεταξύ συστημάτων προσφέρει μια βασική κατανόηση των δομών διάχυσης θερμότητας εξηγώντας πώς η ενέργεια διαχέεται, μεταδίδεται και απορροφάται και δείχνει ένα νέο μοντέλο για το πώς θα έπρεπε να διαχειρίζεται η ενέργεια στα κτίρια.

Οι αρχιτέκτονες, παρόλο που στην πλειοψηφία τους είναι αρκετά ευαισθητοποιημένοι με τα ζητήματα του περιβάλλοντος και της οικολογίας, πέραν εμπειρικών λύσεων βιοκλιματικής ή μεθόδων ενεργειακής αξιολόγησης δεν είναι εξοικειωμένοι με την ενεργειακή πραγματικότητα του κτιρίου και του περιβάλλοντος και ειδικά με τη δυναμική της. Ο Kiel Moe με δεδομένο ότι η ύλη δεν είναι παρά δεσμευμένη ενέργεια χαρακτηρίζει την αρχιτεκτονική ως τη μορφοποίηση της ενέργειας. Σε αυτό το πλαίσιο η προσέγγιση της αρχιτεκτονικής μέσω της θερμοδυναμικής έχει πολλά να προσφέρει στον τρόπο που σχεδιάζουμε.

Στη συγκεκριμένη εργασία επιχειρήθηκε μέσω μιας ιστορικής αναδρομής στους τρόπους με τους οποίους ο άνθρωπος όρισε το θερμικό του περιβάλλον, να διερευνηθεί η σχέση της αρχιτεκτονικής με τη θερμοδυναμική και την ενέργεια. Εξετάζοντας τις πρακτικές πριν, κατά τη διάρκεια και μετά το μοντερνισμό είδαμε την απομάκρυνση του αρχιτέκτονα από τα σχετικά ζητήματα κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Με αναφορά στην ενεργειακή κριτική που ακολούθησε, την ανάπτυξη της βιοκλιματικής και της βιώσιμης αρχιτεκτονικής και των πράσινων κτιρίων φτάνουμε στο σύγχρονο συσχετισμό της θερμοδυναμικής με την αρχιτεκτονική. Παρουσιάζοντας τις σημαντικότερες από τις σχετικές προσεγγίσεις, καθώς και τις θερμοδυναμικές έννοιες που χρησιμοποιούν και τις ερευνητικές διαδικασίες που τις συνοδεύουν, έγινε μια προσπάθεια να αναδειχθούν νέες δυνατότητες του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού μέσω της θερμοδυναμικής.

Σε ότι αφορά την ενεργειακή σχέση του κτιρίου με το περιβάλλον του, με μια πιο ολιστική προσέγγιση μέσω της οικολογίας, η θερμοδυναμική αντιμετωπίζει το κτίριο ως ένα ανοιχτό σύστημα που συνεχώς αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του ανταλλάζοντας ύλη και ενέργεια. Με αυτήν την οπτική αναδεικνύονται νέες δυνατότητες σχεδιασμού κελυφών που δεν αντιστέκονται αλλά αξιοποιούν

τις θερμικές ροές και την ενέργεια, ενσωματώνοντάς τες στο σχεδιασμό τους. Επίσης, διευρύνοντας τα όρια μελέτης και συνυπολογίζοντας την ενέργεια που έχει δαπανηθεί για την κατασκευή οι αρχιτέκτονες μπορούν να αξιολογήσουν καλύτερα τις επιπτώσεις των σχεδιαστικών τους επιλογών σε σχέση με τα σημερινά συστήματα ενεργειακής αξιολόγησης.

Σε ότι αφορά τη σχέση του κελύφους με το εσωτερικό περιβάλλον η προσέγγιση αυτή προσπερνώντας την ποιητική/φαινομενολογική αντίληψη του χώρου ως κενού, τον αντιμετωπίζει ως ένα δοχείο γεμάτο με αέρα. Μελετώντας τις ιδιότητές του και τη σχέση του με τα υλικά που το περιβάλλουν καθώς και τους τρόπους μετάδοσης θερμότητας μέσω της θερμοδυναμικής δίνεται η δυνατότητα στους αρχιτέκτονες να σχεδιάσουν τον αέρα δημιουργώντας ατμόσφαιρες με βάση τις διαφορετικές ποιότητές του.

Τέλος σε ότι αφορά τη σχέση του εσωτερικού περιβάλλοντος με τον άνθρωπο-χρήστη του κτιρίου μέσω της θερμοδυναμικής και της φυσιολογίας αναδεικνύονται νέες δυνατότητες σχεδιασμού για τον εμπλουτισμό της αρχιτεκτονικής εμπειρίας. Η ευεξία, η φυσική απόλαυση και η αίσθηση φαίνεται πως δεν έχουν λάβει το χώρο που τους αναλογούν στην αρχιτεκτονική σύνθεση σε σύγκριση με την οπτική. Ωστόσο η σωματική αίσθηση που αφήνει ένας χώρος είναι ένα σημαντικό μέρος του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Μελετώντας τους τρόπους με τους οποίους το ανθρώπινο σώμα αντιλαμβάνεται και ανταλλάσσει θερμότητα με το περιβάλλον του καταλαβαίνουμε πως η θερμική άνεση ή μη δε βασίζεται σε μια απόλυτη τιμή θερμοκρασίας. Η θερμοδυναμική ενισχύει αυτή τη σχέση επιτρέποντας το σχεδιασμό αυτών που αντιλαμβανόμαστε βιωματικά. /της σωματικής αίσθησης.

Στις σύγχρονες προσεγγίσεις, με κυρίαρχη και σφαιρικότερη εκείνη του Inaki Abalos γνωρίσαμε μια νέα αντιμετώπιση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού μέσω της θερμοδυναμικής και χρήσιμα συνθετικά συμπεράσματα. Το κέλυφος αντιμετωπίζεται ως ένα δυναμικό όριο που δεν απομονώνει το αρχιτεκτονικό εσωτερικό αλλά φιλτράρει δυναμικά τις θερμικές ροές από και προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η ύπαρξη έντονων θερμοδυναμικών διαφορών θερμοκρασίας ή πίεσης αντιμετωπίζεται όχι ως πρόβλημα αλλά ως ευκαιρία. Σε ότι αφορά το κτιριολογικό πρόγραμμα, χώροι και λειτουργίες αναγνωρίζονται με μεταβολικούς όρους, ως παραγωγοί και καταναλωτές θερμότητας, έτσι ώστε με τη σύνδεσή τους και την ανάλογη οργάνωση ιδανικά να ισορροπούν.

Στο πείραμα του θερμοδυναμικού πρωτοτύπου που παρουσιάζεται στο τέλος της εργασίας, αναγνωρίζοντας την ταυτόχρονη λειτουργία της γεωμετρίας



του κτιρίου ως χωρικού, τεκτονικού και θερμοδυναμικού οργανισμού, δημιουργείται μια πιο σφαιρική οπτική του σχεδιασμού.

Οι σχεδιαστικές επιλογές αντιμετωπίζονται συνολικά και υπό το πρίσμα ότι αποτελούν ένα ενιαίο ενεργειακό σύστημα μαζί με τα υλικά του κελύφους, τον αέρα, το εξωτερικό περιβάλλον τους χρήστες του κτιρίου και τις λειτουργίες που φιλοξενούνται εντός του.

Στην προσπάθεια για τη βελτίωση της ενεργειακής λειτουργίας των κτιρίων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη η αξιοποίηση της παραδοσιακής γνώσης και τεχνικών, όχι μιμητικά ή εμπειρικά, αλλά κατανοώντας τη δομή και λειτουργία τους και ρυθμισμένες στις εκάστοτε απαιτήσεις με τη χρήση των σύγχρονων ψηφιακών εργαλείων. Ακόμη, σε αυτή τη διαδικασία δεν είναι απαραίτητη η έρευνα για νέα υλικά όσο η κατανόηση των θερμικών ιδιοτήτων των ήδη υπαρχόντων και η ανάλογη ενσωμάτωσή τους στο σύστημα.

Σε ότι αφορά την τη μορφή, παρατηρούμε ότι οι μορφές της φύσης και οι πρωταρχικές δομές που προκύπτουν από την ανάγκη αποτελούν ανέκαθεν σημείο αναφοράς για τους αρχιτέκτονες για έμπνευση και σε αρκετές περιπτώσεις μίμηση. Η δύναμη και η διαχρονικότητά τους συνήθως σχετίζεται με την υποδειγματική αντιμετώπιση της ενέργειας τόσο τεκτονικά (στατικά) όσο και θερμοδυναμικά και χάνεται όταν τις αναπαράγουμε σε ένα περιβάλλον ενός άλλου υλικού και τεχνικού πολιτισμού. Τα σύγχρονα παραμετρικά συνθετικά εργαλεία δημιούργησαν τα τελευταία χρόνια μια σειρά από δυνατότητες και πληθώρα εντυπωσιακών μορφών χωρίς ωστόσο αυτές να διακρίνονται για το βάρος και τη διάρκειά τους. Ίσως στην σύγχρονη αναζήτηση της μορφής η βελτιστοποίηση σε ότι αφορά την ενέργεια να μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία νέων μορφών με μεγαλύτερη διάρκεια στο χρόνο εφάμιλες με αυτές που απαθανάτισε ο Bernard Rudofsky στο *Architecture without Architects*.

Σε κάθε περίπτωση είναι πλέον κοινώς αποδεκτό πως η ενέργεια πρέπει να αντιμετωπίζεται με πιο υψηλή προτεραιότητα στη σύνθεση. Η συγκεκριμένη οπτική μας έδειξε πως δεν αρκεί η διόρθωση ενός ήδη σχεδιασμένου κτιρίου από μια ομάδα ειδικών αλλά είναι κάτι που μπορεί και πρέπει να γίνεται από τον ίδιο τον αρχιτέκτονα καθ' όλα τα βήματα της σύνθεσης σε ταυτόχρονη διαπραγμάτευση με την αισθητική και τη λειτουργία. Η εξοικείωση του σχεδιαστή με τις σχετικές έννοιες ίσως οδηγήσει την αρχιτεκτονική σε ενδιαφέροντα μονοπάτια.

## Βιβλιογραφία

---

Abalos, Inaki. *Essays on Thermodynamics, Architecture and Beauty*. New York: Actar Publishers, 2015.

Germán, Javier. *Thermodynamic interactions: an exploration into physiological, material and territorial atmospheres*. New York: Actar Publishers, 2017.

Moe, Kiel. *Insulating modernism*. Basel: BirkhauserVerlag, 2014.

Moe, Kiel. *Thermally active surfaces in architecture*. New York: Princeton Architectural Press, 2010.

Srinivasan, Ravi. *Hierarchy of Energy in Architecture*. London: Routledge, Taylor and Francis, 2015.

Moe, Kiel. *Convergence : an architectural agenda for energy*. London: Routledge, Taylor & Francis Group, 2013.

Schumacher, E. F., and Bill McKibben. *Small is beautiful : economics as if people mattered*. New York, N.Y: Harper Perennial, 2010.

Sendzimir, Jan, and G B. Guy. *Construction ecology : nature as the basis for green buildings*. New York: Spon Press, 2002. (p. 39-70, 109-126)

Braham, William W. *Architecture and systems ecology : thermodynamic principles of environmental building design, in three parts*. London New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2016.

Fitch, James M., and William Bobenhausen. *American building : the environmental forces that shape it*. New York: Oxford University Press, 1999.

Picon, Antoine, and Alessandra Ponte. *Architecture and the sciences : exchanging metaphors*. New York, N.Y. Princeton, N.J: Princeton Architectural Press Princeton University School of Architecture, 2003.

Mateo, José. *Earth, water, air, fire : the four elements and architecture*. New York Zürich: ACTAR publ ETH, DARCH, 2014.

Porteous, Colin. *The new eco-architecture : alternatives from the modern movement*. London New York: Spon Press, 2002.

Yeang, Ken. *Designing with nature : the ecological basis for architectural design*. New York: McGraw-Hill, 1995.

Willis, Daniel, et al. *Energy accounts : architectural representations of energy, climate, and the future*. London New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.

Edwards, Brian, and Emanuele Naboni. *Green buildings pay : design, productivity and ecology*. London: Routledge, 2013.

Raffaelli, D. G., and Chris Frid. *Ecosystem ecology : a new synthesis*. Cambridge New York: Cambridge University Press, 2010.

Williamson, T. J., Anthony Radford, and Helen Bennetts. *Understanding sustainable architecture*. London New York: Spon Press, 2003.

Galiano, Luis. *Fire and memory : on architecture and energy*. Cambridge, Mass: MIT Press, 2000.

2

Banham, Reyner. *The architecture of the well-tempered environment*. Chicago: University of Chicago Press, 1984.

Willis, Daniel, et al. *Energy accounts : architectural representations of energy, climate, and the future*. London New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2017.

Olgyay, Victor, et al. *Design with climate : bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton: Princeton University Press, 2015.

## Περιοδικά:

Harvard Design Magazine 27, New Skyscrapers in Megacities on a Warming Globe,(Spring/Summer 2007)

Harvard Design Magazine 30, (Sustainability) + Pleasure, Vol. I: Culture and Architecture (Spring/Summer 2009)

Harvard Design Magazine 31, (Sustainability) + Pleasure, Vol. II: Landscapes, Urbanism, and Products (F/W 2009)

## Επιστημονικά Άρθρα:

Craig, Salmaan, Grinham, Jonathan, *Breathtaking walls: The design of porous materials for heat exchange and decentralized ventilation*, [www.elsevier.com/locate/enbuild](http://www.elsevier.com/locate/enbuild), 22 May 2017

Bendewald, Micheal, Zhiqiang, Zai, *Using carrying capacity as a baseline for building sustainability assesment*, [www.elsevier.com/locate/habitatint](http://www.elsevier.com/locate/habitatint), 2012

Mancini, S., Birt, B., *“Do LEED-certified buildings save energy? Yes, but...”*, National Research Council Canada, August 2009

Ramesh, T., Prakash, Ravi, Shukla, KK., *Lifecyrcl energy analysis of building: An overview*, [www.elsevier.com/locate/habitatint](http://www.elsevier.com/locate/habitatint), 2010

Fernannndes, J., M., Ricardo, *“Energy efficiency principles in Portuguese vernacular architecture”*(Conference paper), 23 MAY 2012





