

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΘΕΜΑ :**

**«ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΥΑΛΙΝΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ»**

**Επιμελητής : ΑΓΑΠΑΚΗΣ Σ. ΧΑΡΙΛΑΟΣ**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Βαρελίδης Κ. Αρχιτέκτον Μηχανικός Ε.Μ.Π.**



## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

[Κάντε κλικ και εισαγάγετε τον πίνακα περιεχομένων]

## ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

*Αριθμός*

[Κάντε κλικ και εισαγάγετε τη λίστα εικόνων]

*Σελίδα*

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο συντάκτης επιθυμεί να [Γράψτε τις ευχαριστίες]

## ΓΛΩΣΣΑΡΙ

**Λέξη.** [Γράψτε εδώ τον ορισμό.]

## Κεφάλαιο 1

### [ΓΡΑΨΤΕ ΕΔΩ ΤΟΝ ΤΙΤΛΟ ΤΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ]

Για να λάβετε περισσότερες οδηγίες με τη μορφή δείγματος πτυχιακής εργασίας, πιέστε το συνδυασμό πλήκτρων Ctrl-A για να επιλέξετε όλο το κείμενο. Επιλέξτε δύο φορές την εντολή "Αυτόματο Κείμενο" από το μενού "Εισαγωγή". Στο πλαίσιο "Αναζήτηση σε", κάντε κλικ στην επιλογή "Thesis.dot (καθολικό πρότυπο)", επιλέξτε το στοιχείο "Δείγμα συλλογής" και κάντε κλικ στο κουμπί "Εισαγωγή". Επιλέξτε την εντολή "Εκτύπωση" από το μενού "Αρχείο" και πατήστε το πλήκτρο Enter, για να εκτυπώσετε ένα δείγμα πτυχιακής εργασίας με ειδικές οδηγίες. Μετά την εκτύπωση, ανοίξτε πάλι το πρότυπο πτυχιακής εργασίας και ακολουθήστε τις οδηγίες του δείγματος που εκτυπώσατε.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Γεωργίου, Ελένη. *Εννοιολογικός  
σχεδιασμός: Οδηγός για έναν καλύτερο  
πλανήτη*, 3η έκδοση, Διεθνής  
Εγκυκλοπαίδεια, 1996.

Παππάς, Γεώργιος. *Η θεωρία και η  
τέχνη του σχεδιασμού επικοινωνιών*.  
Πανεπιστημιακές εκδόσεις  
Αθηνών, 1997.



## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ

Αριστοτέλης,3

Το γυαλί είναι αναμφισβήτητα το πιο αξιοπρόσεκτο υλικό που ανακαλύφθηκε ποτέ από τον άνθρωπο. Από την τήξη και στην συνέχεια την ψύξη του πιο κοινού γήινου ορυκτού, του πυριτίου, προκύπτει μια ουσία διαφανής, ιδιαίτερα σκληρή και ταυτόχρονα τόσο χημικά αδρανής, που σχεδόν οτιδήποτε μπορεί να φυλαχτεί, αναλλοίωτο για μεγάλο χρονικό διάστημα, σε ένα γυάλινο κουτί. Το γυαλί έχει απεριόριστες καθημερινές εφαρμογές όπως τον οπτικό φακό, τις ίνες υάλου, ακόμα και τον φυσικό φωτισμό στην κατοικία μας μέσω ενός απλού παραθύρου.

Στα 4.000 χρόνια της γνωστής ιστορίας του, έχει χρησιμοποιηθεί με πολλές μορφές και σχεδόν σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στην τεχνολογία το καθιστούν ένα πολύ ειδικό υλικό για τον σύγχρονο σχεδιαστή, από την οπτική και τις τηλεπικοινωνίες, στην ηλεκτρονική και την εφαρμοσμένη μηχανική. Ειδικότερα, η εισαγωγή του γυαλιού στην αρχιτεκτονική επέφερε επανάσταση στον σχεδιασμό κτιρίων.

Πέρασαν 2.000 χρόνια έως ότου ανακαλυφθεί ότι το γυαλί ήταν ένα υλικό που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και στην κατασκευή κτιρίων και όχι μόνο ως πρώτη ύλη για διακοσμητικά αντικείμενα. Η καθυστέρηση οφείλεται ίσως στο κλίμα της γεωγραφικής θέσης όπου έγινε η ανακάλυψη, το οποίο δεν κατεύθυνε τον άνθρωπο στο να κατασκευάσει σφραγισμένα διαφανή καταλύματα, ή ίσως στην δυσκολία της κατασκευής επίπεδου γυαλιού. Εντούτοις, μόλις έγινε αυτό το επινοητικό άλμα, νέες, τεράστιες δυνατότητες εμφανίστηκαν στον τομέα της σχεδίασης κτιρίων.

Χωρίς το γυαλί θα είχε δαπανηθεί μεγάλο μέρος αυτής της χιλιετίας για τη συμφιλίωση αντικρουόμενων απαιτήσεων, της αναγκαίας καιρικής προστασίας και της απολαυστικής θέας, της απαραίτητης απομόνωσης από τον έξω κόσμο και του ζωτικού φωτισμού. Το γυαλί μας έχει προστατεύσει και εξυπηρετήσει. Μας έχει δώσει την δόξα του γοτθικού καθεδρικού ναού και την ομορφιά του θερμοκηπίου του δέκατου ενάτου αιώνα.

Έχει χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει την επανάσταση στην αρχιτεκτονική που ήρθε με τον εικοστό αιώνα. Η αρχιτεκτονική και το σχέδιο στηρίζονται σήμερα στην αναπτυσσόμενη κατανόηση της τεχνολογίας και των ιδιοτήτων των διαθέσιμων υλικών.

Η ιστορία του γυαλιού εμπεριέχεται με μοναδικό τρόπο στην ιστορία της ίδιας της αρχιτεκτονικής. Σε υψηλότερο εννοιολογικό επίπεδο, η αρχιτεκτονική είναι το «πάντρεμα» της κουλτούρας και της ανθρώπινης ανάγκης για την κατασκευή στέγης.

Είναι το σημείο συνάντησης της ανάγκης του ανθρώπου να χτίσει και της έμφυτης ώθησης να επικοινωνήσει. Η οικοδόμηση και τα έμφυτα μέσα

έκφρασης του ανθρώπου στηρίζονται στην ευφυή και ευαίσθητη χρήση των υλικών των οποίων η διαθεσιμότητα, η καταλληλότητα, το κόστος και η απαιτούμενη τεχνολογία παραγωγής, ποικίλουν με τον χρόνο και με τον τόπο.

Μετά από χιλιάδες χρόνια αφότου έμαθε να χτίζει, ο άνθρωπος έπρεπε να προσπαθήσει να ικανοποιήσει δύο ιδιαίτερες και συχνά αντικρουόμενες συνθήκες, αφ' ενός την ανάγκη να δημιουργηθεί περίφραξη για το καταφύγιο του, για προστασία και μυστικότητα και αφετέρου την ανάγκη να διαβιβαστεί το φως για να παρέχει φωτισμό και θέα. Όταν η αναζήτηση του υλικού που θα συμφιλίωνε την ανάγκη για δύναμη, σταθερότητα, περίφραξη και οπτική άποψη κατέστη ανεπιτυχής, το άτομο έπρεπε να εφεύρει πιο σύνθετες τεχνικές διαλογής, ή να δεχτεί απλά τη ζωή στο σκοτάδι.

Το γυαλί εμφανίστηκε σαν τεχνική απάντηση σε μια προφανώς αδύνατη ερώτηση: πώς να παραχθεί ένα υλικό που είναι τέλεια διαφανές, ανθεκτικό και ισχυρό, σε μια τιμή που η κοινωνία μπορεί εύκολα να αντέξει οικονομικά;. Όπως ξέρουμε τώρα, οι φυσικές και χημικές απαιτήσεις για διαφάνεια και ακρίβεια παρέχονται από ιδιαίτερες μοριακές ρυθμίσεις και ατομικές δομές. Αυτές γενικά βρίσκονται στα υγρά, τα οποία όμως δεν αποτελούν υλικά προστασίας. Το γυαλί εντούτοις, το εξόχως στερεοποιημένο υγρό, διατηρεί τη διαφάνειά του καθώς το μοναδικό κοκτέιλ ατόμων και μορίων, που περιέχονται στο πυρίτιο, θερμαίνονται στο σημείο τήξης και έπειτα ψύχονται προσεκτικά έτσι ώστε να μη κρυσταλλώνονται.

Από αυτό «το ατύχημα» της φύσης, ο άνθρωπος είχε πάντα διαθέσιμο ένα υλικό ιδανικό για να διαμορφώσει φύλλα διαφανούς «βράχου», ενώ ταυτόχρονα αποτελεί την αφθονότερη και την ευκολότερα προσβάσιμη ουσία στον πλανήτη: την κοινή άμμο.

Όμως, για να μετατρέψει τους κόκκους άμμου σε ένα χρησιμοποιήσιμο διαφανές προϊόν απαιτήθηκαν υψηλές θερμοκρασίες και δεξιότητες που ήταν δύσκολο να μαθευτούν. Χρειάστηκαν κλίβανοι που θα μπορούσαν να επιτύχουν θερμοκρασίες αρκετά υψηλές για να λειώσουν τις δύσκολες πρώτες ύλες. Ακόμη δυσκολότερες ήταν οι τεχνικές απαραίτητες για τον έλεγχο του σχήματος της λειωμένης μάζας, όπως έπηξε αργά για να μετατραπεί από ρευστό σε σαφές υαλοποιημένο στερεό. Αυτό το υπόβαθρο της υψηλής ικανότητας και τεχνικής που εφαρμόζεται στην υαλουργία είναι η βάση ενός προσεκτικά φρουρημένου και μυστικού εμπορίου χιλιάδων ετών, ένα εμπόριο βασισμένο σε μια πείρα που περιοριζόταν μεταξύ λίγων, οι οποίοι το κατέστησαν γνωστό μόνο με την υπόσχεση μεγάλης ανταμοιβής και που ταξίδεψαν στις ηπείρους για να ικανοποιήσουν τα αιτήματα μιας συνεχώς αυξανόμενης πελατείας.

Η ανακάλυψη του γυαλιού έλαβε χώρα περίπου τέσσερις χιλιάδες χρόνια πριν στην ανατολική Μεσόγειο, πιθανώς κάτω από έναν αρχαίο κλίβανο

αγγειοπλαστικής, καθώς το λιωμένο πυρίτιο των πήλινων δοχείων αναμείχθηκε με την αλκαλική τέφρα του εδάφους όπου βρισκόταν.

Από το 1500 π.Χ. διάφορα είδη γυάλινων δοχείων ήταν κοινά στην Αίγυπτο και οι δεξιότητες για να τα επεξεργαστούν είχαν διαδοθεί στη σύγχρονη Βενετία και την Αυστρία. Ήταν ο Μέγας Αλέξανδρος που δημιούργησε τα φημισμένα εργοστάσια γυαλιού στην Αλεξάνδρεια μαζί με την ίδια την πόλη, το 332.π.Χ.. Δύο χιλιάδες χρόνια πέρασαν μεταξύ αυτής της πρώτης ανακάλυψης και της εμφάνισης του φυσητού γυαλιού, πιθανόν στη Συρία, το οποίο κατέστησε δυνατή τη δημιουργία λεπτών διαφανών φύλλων αρκετά ισχυρών για παράθυρα. Με αυτήν την πρόοδο, νέες έννοιες αναπήδησαν στην αρχιτεκτονική, οι οποίες ακόμη εξερευνώνται και αναπτύσσονται.

Η υαλουργία καταπιάστηκε με τη μίξη και τη διαμόρφωση του υλικού. Η χημεία των γυαλιών είναι η βάση της απόδοσης και της εμφάνισης, αλλά είναι επίσης αυτή που τα καθιστά εύκολα ή δύσκολα στη διαμόρφωση. Μεταξύ των πρόωρων ανακαλύψεων ήταν το γεγονός ότι το μίγμα ορισμένων πρόσθετων ουσιών στο γυαλί μείωνε τη θερμοκρασία στην οποία λειώνει, ενώ άλλες το βελτίωναν με κάποιο τρόπο ή δημιουργούσαν έναν τύπο που ικανοποιούσε μια ιδιαίτερη ανάγκη.

Το καθαρό πυρίτιο λειώνει ακριβώς άνω των 1700°C, αλλά ακόμη και σε αυτήν την θερμοκρασία είναι πολύ ιξώδες (ρέοντας περίπου 1.000 φορές λιγότερο εύκολα από το κοινό σιρόπι), οπότε δεν μπορεί κάποιος εύκολα να το επεξεργαστεί. Η προσθήκη σόδας μειώνει τη θερμοκρασία τήξης κάτω των 800°C, αλλά η προκύπτουσα σύνθεση μπορεί να προσβληθεί από το νερό. Ο ασβέστης που προστίθεται στα μίγματα σόδας - πυριτίου αντιστέκεται στην επίθεση αυτή και προωθεί τη αντοχή, αλλά ένα τέτοιο τριπλό μίγμα είναι επιρρεπές σε κρυστάλλωση. Η επίτευξη μιας καλής ισορροπίας ήταν ένα θέμα για επιλογή, που τελικά οδήγησε στην εξέλιξη της τεχνικής εμπειρίας. Η παρουσία σόδας και ασβέστη ως ακαθαρσίες στις περισσότερες από τις πρώτες ύλες πυριτικών αλάτων διαθέσιμες στους αρχαίους κατασκευαστές, διευκόλυνε αρχικά την επεξεργασία του γυαλιού.

Η χημεία του επίπεδου γυαλιού διαμορφώθηκε όμως με αργό ρυθμό στο πέρασμα των αιώνων για να φτάσει στον ρωμαϊκό ασβέστη παρόμοιο με τον ασβέστη της σόδας, με το χλωμό πράσινο χρωματισμό του: 69% πυρίτιο, 17% σόδα, 11% μαγνήσιο, 3% αλουμίνα, οξείδιο σιδήρου και οξείδιο μαγγανίου.

Η μίξη των υλικών για το γυαλί, το οποίο παρέμεινε ένα θέμα ανακριβούς χημείας μέχρι το τέλος του δέκατου όγδοου αιώνα, είχε εν μέρει σχετιστεί με το περιεχόμενο του γυαλιού σε φυσικά ή τεχνητά υλικά και εν μέρει με την σημαντική πρόοδο στην κατανόηση των ροών, των σταθεροποιητών,

των αποχρωματιστών και άλλων συστατικών απαραίτητων στην παραγωγή ικανοποιητικού γυαλιού. Η χημεία της συριακής άμμου του ποταμού Belus ήταν αναμφισβήτητα μέρος της ιστορίας της πρόωρης ανάπτυξης του γυαλιού στην περιοχή όπου γεννήθηκε. Με τη φυσική περιεκτικότητα σε ανθρακικό άλας ασβεστίου, περίπου 15% την περιεκτικότητα σε οξείδια του αλουμίνιου 3,5 - 5% την περιεκτικότητα σε ανθρακικό άλας μαγνησίου 1,5%, παρέχει μια σχεδόν τέλεια φυσική βάση για ένα λειωμένο μέταλλο γυαλιού, που χρειάζεται μόνο τη ροή ανθρακικού άλατος νατρίου για να δημιουργήσει ένα «σύγχρονο» υλικό.

Μια Ασσυριακή πινακίδα χρονολογίας 650 π.Χ. επιβεβαιώνει την αρχαία συνταγή: εξήντα μέρη στρώνουν με άμμο, 180 μέρη αλκαλίων salicornia (το salicornia ήταν εγκαταστάσεις που περιείχαν πέτρα) και πέντε μέρη saltpetre (το ξέρουμε ως νιτρικό άλας καλίου).

## γοθτικός

Η βόρεια ευρωπαϊκή γοθτική αρχιτεκτονική μπορεί να χαρακτηριστεί ως η πρώτη ηλικία της αρχιτεκτονικής γυαλιού και δημιουργήθηκε από τη χριστιανική εκκλησία. Η αλλαγή στην αρχιτεκτονική μορφολογία από ρωμαϊκή σε γοθική ήταν θεμελιώδης. Η ανάπτυξη της δομής της μεγάλης γοθικής εκκλησίας είναι μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στην αρχιτεκτονική, ειδικά λόγω του τρόπου με τον οποίο το εμπειρικό σχέδιο που πραγματοποιήθηκε χωρίς την περίπλοκη δομική ανάλυση, δημιούργησε μερικές από τις μέγιστες δομές που χτίστηκαν ποτέ.

Η αναζήτηση και η έκφραση του φωτός και της φωτεινότητας, καθώς και η ανάπτυξη της δομής, καταδεικνύονται σαφώς στη γοθική αρχιτεκτονική. Αυτό το κίνητρο επαναλαμβάνεται σε όλη την επόμενη ιστορία του γυαλιού: το σπίτι φοινίκων στο Kew το 1844 και ο καθεδρικός κρυστάλλινος ναός του Philip Johnson's του 1977 είναι εκδηλώσεις της ίδιας ιδεολογίας. Η εκμετάλλευση του χρώματος και της ζωγραφικής του γυαλιού είναι μια παράλληλη ιστορία που οι γοθικοί σχεδιαστές έκαναν δική τους, με έναν τρόπο που ποτέ δε θα επαναληφθεί. Το χρώμα δόθηκε στο φυσικό γυαλί με την προσθήκη μεταλλικών οξειδίων στο λειωμένο μέταλλο γυαλιού και τα χρωματισμένο γυαλί χαρακτηρίστηκε σαν «μέταλλο».

Κοβάλτιο προστέθηκε για το κόκκινο, σίδηρος για το πράσινο, χαλκός για το μπλε. Με το πέρασμα των χρόνων η χρήση του γυαλιού έγινε λιγότερο μια εννοιολογική κατευθυντήρια δύναμη και περισσότερο το θέμα της ενσωμάτωσης ενός ποιοτικού προϊόντος σε ένα γενικό πρόγραμμα. Αυτή η υπαγωγή του γυαλιού, καθώς ενσωματώθηκε στη σύγχρονη

τεχνολογία, προέκυψε από τη διάδοσή της στη γενική βελτίωση των κτηρίων.

Ο τρόπος με τον οποίο το γυαλί έχει οδηγήσει κατά περιόδους την αρχιτεκτονική σε εξελικτικά άλματα δεν πρέπει εντούτοις να οδηγήσει στην άσκοπα και ίσως επικίνδυνα αυξανόμενη χρήση του γυαλιού στα πιο κοινά κτήρια. Η επέκταση της χρήσης γυαλιού είναι παρόμοια με την ανάπτυξη του υπολογιστή στον αιώνα μας: από τις υψηλής ισχύος, μεγάλες και ακριβές μηχανές, στη διάδοση φτηνών υπολογιστών τσέπης και γραφείου. Όπως και με τον υπολογιστή, η ταχύτητα επεκτεινόμενη αγορά συνέβαλε στον εκδημοκρατισμό του γυαλιού και στη διάδοση της ελεγχόμενης διαφανούς περιφράξης. Συνέβαλε επίσης στην μείωση των τιμών αλλά και της ποιότητας.

Το γυαλί έχει εγκατασταθεί ως το πλέον χρησιμοποιούμενο υλικό στο αρχιτεκτονικό σχέδιο. Με την πρόοδο της τεχνολογίας όμως, ανοίγονται νέοι ορίζοντες στην εφαρμογή αυτού του υπέροχου υλικού, το οποίο τόσο εξυμνήσθηκε στο πέρασμα του χρόνου.

## **η τεχνολογία του αρχικού γυαλιού**

Είναι μια από τις κεντρικές αρχές της θεωρίας σχεδίου ότι η γνώση και η συμπόνια για τα υλικά αποτελούν τον πυρήνα της επιτυχούς καλλιτεχνικής δημιουργίας. Είναι αληθινό ότι το προϊόν, το βιομηχανικό σχέδιο και η τεχνική εξειδίκευση απαιτούν πλήρη κατανόηση των υλικών: πώς γίνονται και πώς και γιατί αποδίδουν.

Οι μοναδικές φυσικές ιδιότητες του γυαλιού που προέρχονται από τη χημική σύνθεσή του και τον τρόπο που παράγεται, έχουν οδηγήσει στο πού χρησιμοποιείται και με ποιους τρόπους. Για τον σχεδιαστή στην αρχιτεκτονική, είναι τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υλικού στον τομέα της μετάδοσης της ακτινοβολίας, συνδυασμένα με τη σκληρότητα και την αντίστασή του γυαλιού στη διάβρωση, τα οποία το καθιστούν τόσο κεντρικό στην αρχιτεκτονική ιστορία. Το γυαλί είναι ένα πολύ ιδιαίτερο υλικό που απαιτεί προσοχή στην εφαρμογή του. Η μοναδική οπτική του, η ομορφιά του και οι συνδυασμοί του, οδήγησαν συχνά σε αναποτελεσματική και ανόητη χρήση του, ιδιαίτερα στον αιώνα μας.

Η χημική σύνθεση του γυαλιού που χρησιμοποιείται στο κτήριο, έχει παραμείνει παρόμοια για δύο χιλιάδες χρόνια. Όμως υπάρχουν εξελίξεις στον τρόπο που χρησιμοποιείται και ειδικότερα η μεταβολή της δευτεροβάθμιας κατασκευής και της τεχνικής επεξεργασίας του εν λόγω υλικού, έχει προκαλέσει επανάσταση στις εφαρμογές στον αιώνα μας, έχει ριζικά αλλάξει το αρχιτεκτονικό σχέδιο.

Οι νέες τεχνολογικές μέθοδοι είναι οι βάσεις αυτών των αλλαγών και μόνο με την κατανόηση της τεχνολογίας του γυαλιού, των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του, μπορούν οι σχεδιαστές να το χρησιμοποιήσουν ικανοποιητικά.

Ειδικότερα, μέσω της μελέτης της αξιοπρόσεκτης σχέσης του γυαλιού με το φως, μπορούμε να καταλάβουμε και να χειριστούμε τη διαφάνειά του. Μπορούμε έπειτα να αρχίσουμε να κατανοούμε πώς μπορεί να συνδυαστεί με άλλα υλικά, παράγοντας τις πλούσιες και σύνθετες παραλλαγές που δίνουν τόσες πολλές υποσχέσεις για το μέλλον.

## **η σύνταξη, η χημεία και η φυσική του γυαλιού**

Το γυαλί είναι ένα ανόργανο προϊόν που έχει ψυχθεί χωρίς να κρυσταλλωθεί. Μια ακριβής τεχνική περιγραφή του είναι: «εξόχως δροσιμένο υγρό», άμορφο, όπως ένα υγρό, αλλά στην πραγματικότητα στερεό.

Η σταθεροποίηση ενός στοιχείου ή μιας ένωσης συνοδεύεται κανονικά με τη μεταβολή της σε μικροκρυσταλλική και αδιαφανή. Ευτυχώς για την αρχιτεκτονική δεν συμπεριφέροντε όλα τα υλικά με αυτόν τον τρόπο. Είναι χαρακτηριστικό των οξειδίων του πυριτίου, του βορίου, του γερμανίου, του φωσφόρου, του αρσενικού και ορισμένων άλλων ενώσεων, ότι όταν θερμαίνονται στο σημείο της τήξης και έπειτα ψύχονται προσεκτικά, διατηρούν ένα άμορφο, μη-κρυσταλλικό και διαφανές πλέγμα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως «δομές γυαλιού», ενώ οι συγκεκριμένες ενώσεις έχουν χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση παραγωγής γυαλιού σαν «διαμορφωτές». Η ύαλος δεν είναι το μοναδικό διαφανές στερεό που γνωρίζουμε στον αιώνα μας, αφού έχουν εμφανιστεί ποικίλα διάφανα πλαστικά για την επίτευξη προσκόλλησης τμημάτων της πρώτης. Το γυαλί είναι παρόλα αυτά μοναδικό στη σκληρότητα και την αντίστασή του στη διάβρωση.

Οι διαμορφωτές γυαλιού από μόνοι τους δεν ήταν ποτέ σε θέση να αναπαράγουν το είδος με αποδεκτό κόστος. Λαμβανόμενοι συνήθως από τις πρώτες ύλες που περιέχουν μέρη των ακαθαρσιών, έχουν εντούτοις τροποποιήσει τις ιδιότητες της ύαλου.

Οι ιδιότητες του γυαλιού εξαρτώνται από προηγούμενη χρήση του, από την περιεκτικότητά του σε ακαθαρσίες και από τα άλλα υλικά που προστίθενται στην κατασκευή ενίσχυσης, βελτιώνοντας την απόδοση.

Η ιστορία της υαλοουργικής έχει χαρακτηριστεί από την αναζήτηση των κατάλληλων μιγμάτων. Από την αφετηρία έως τον εικοστό αιώνα, υπήρξε το πρωταρχικό γυαλί από το οξείδιο του πυριτίου. Το πυρίτιο είναι ένα από

τα πιο κοινά στοιχεία στη γήινη κρούστα. Η συνηθέστερη μορφή του είναι η κοινή άμμος. Όπως με τα περισσότερα υλικά που λαμβάνονται από την εξαγωγή, η μορφή με την οποία το πυρίτιο είναι διαθέσιμο στην άμμο είναι η ανάμειξη του με άλλα οξείδια που αποκαλούνται «γήινα» οξείδια. Ενώ ο κατασκευαστής βλέπει τις ακαθαρσίες στο αποσπασματικό πυρίτιο σαν περιττές αλλά ουσιαστικά αναπόφευκτες, ο παραγωγός πυριτίου είναι υποχρεωμένος να προσθέσει ορισμένα υλικά που διευκολύνουν την εξαγωγή του υλικού και βελτιώνουν ορισμένες πτυχές της ποιότητάς του. Αρχικά όμως χρειάζεται τους ροοποιητές για να μειώσει το σημείο τήξης του. Το σημείο τήξης του καθαρού πυριτίου βρίσκεται άνω των 1700°C. Η εισαγωγή όμως υλικών όπως το οξείδιο νατρίου, το οξείδιο καλίου και το βορικό οξείδιο το κατεβάζει γύρω στους 1600°C. Αυτή η μείωση της θερμοκρασίας προκαλεί τεράστια διαφοροποίηση στην τεχνολογία που απαιτείται καθώς και εξοικονόμηση ενέργειας.

Εκτός από αυτούς τους χημικούς ροοποιητές, άλλα υλικά εισάγονται ως λειωμένα μέταλλα ή ως καθαριστικά, τα οποία βοηθούν να κρατηθεί το γυαλί χωρίς ατέλειες και αεροφυσαλίδες. Η αποφυγή της κρυστάλλωσης επιτυγχάνεται με την είσοδο της αλουμίνας (οξειδίου του αλουμινίου), που βοηθά στην αύξηση του ιξώδους του γυαλιού. Άλλες πρόσθετες ουσίες περιλαμβάνουν τους σταθεροποιητές που βελτιώνουν τη χημική διάρκεια.

Έτσι, στην παραγωγή, οι υαλοουργοί έχουν περάσει τους αιώνες καθαρίζοντας τα μίγματα που αναπτύσσονταν εμπειρικά από τους Ρωμαίους με μια ακριβή και μετρημένη διαδικασία, στην οποία τα μικρά ποσοστά των προσεκτικά επιλεγμένων υλικών προστίθενται στο λειωμένο υλικό για να παραγάγουν το σκληρό διαφανές προϊόν όσο το δυνατόν οικονομικότερα και αποτελεσματικά. Το αποτέλεσμα της εργασίας τους είναι το άσβεστο - σοδικό γυαλί, που φαίνεται στην πρώτη έκδοσή του στην αρχαία Ρώμη, και που παράγεται τώρα σε όλο τον κόσμο με μια διεθνή συνταγή που είναι αξιοπρόσεκτη στη συνέπειά της.

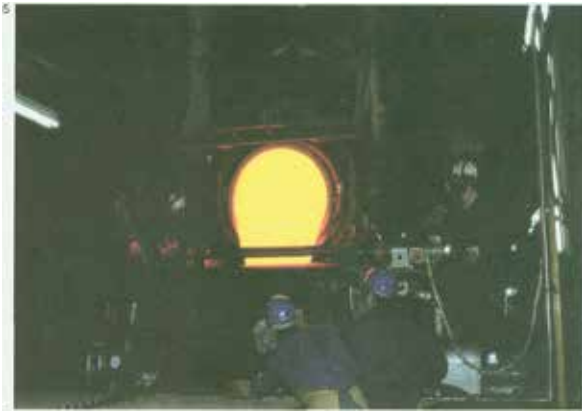
Το γυαλί δεν είναι με κανένα τρόπο απλά το αποτέλεσμα της χημείας του. Η παραγωγή γυαλιού είναι ένας θρίαμβος της τεχνικής επί των δυσκολιών στον έλεγχο της χημικής δομής του κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Η τήξη δημιουργεί μια λειωμένη μάζα στην οποία τα διάφορα συστατικά αναμιγνύονται πλήρως. Το μίγμα που προκύπτει φέρεται έξω και καθώς η θερμοκρασία του καυτού «λειωμένου μετάλλου» πέφτει, το ιξώδες του αυξάνεται βαθμιαία στο σημείο όπου μπορεί να διαμορφωθεί. Η τελική διαδικασία καλείται «ανόπτηση» και αναφέρεται γενικά στις τεχνικές που απαιτούνται για μια ελεγχόμενη απελευθέρωση στη θερμοκρασία πέρα από τη «θερμοκρασία μετασχηματισμού». Μέσα σ' αυτή τη μικρή ζώνη της θερμοκρασίας το γυαλί σταθεροποιείται αποτελεσματικά χωρίς



κρυστάλλωση. Η πραγματική ικανότητα του υαουργού βρίσκεται στην κίνηση του χειροποίητου αντικειμένου του με μια συνεχή ροή.

Οι υαουργοί ανέπτυξαν αρχικά τις τεχνικές χειρών και καθιέρωσαν την ανάγκη και τη λειτουργία των θεμελιωδών υλικών με τα εμπειρικά μέσα. Τα τεχνικά μέσα που προώθησαν τη βαθμιαία βελτίωση της τεχνικής, εξελίχθηκαν από σημαντικές ανακαλύψεις, όπως η εφεύρεση της χυτής λαμαρίνας το 1685.



**Λειωμένο γυαλί.** Η βάση για όλη τη κατασκευή είναι η τήξη του πυριτίου ή μιας παρόμοιας ένωσης, με ένα μίγμα άλλων συστατικών, και η προσεκτική ψύξη του λειωμένου μετάλλου για τον χειρισμό του υλικού και τον έλεγχο του ιξώδους και της κρυστάλλωσης.

**Διαμορφώνοντας το γυαλί στη δεκαετία του '50.** Όπως φαίνεται εδώ στην κατασκευή χρωματισμένων γυάλινων φύλλων, το λειωμένο γυαλί περιστρέφεται σε μια φόρμα πριν φουσηχτεί στο κύλινδρο. Το ιξώδες του ψυγμένου γυαλιού επιτρέπει στη διαδικασία να πραγματοποιηθεί στη θερμοκρασία δωματίου.



Η σημαντική άνθιση της επεξεργασίας του γυαλιού άρχισε ουσιαστικά προς το τέλος του δέκατου ενάτου αιώνα, μια περίοδος που παρακολούθησε επίσης την εξέλιξη της εμπειρικής τεχνικής σε τεχνολογικές διαδικασίες ακριβείας.

Η ίδια περίοδος είδε τη γρήγορη ανάπτυξη της μηχανικής παραγωγής από τους κατασκευαστές. Το «κυλιόμενο» γυαλί, όπως και το «πατημένο» (βασική τεχνική για την κατασκευή υαλότουβλων) ήταν τεχνικές που αναπτύχθηκαν επίσης προς το τέλος του δέκατου ενάτου αιώνα.

Η μηχανή που κυλούσε το γυαλί χρονολογείται από αυτήν την περίοδο και κατοχυρώνεται με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1884: μέσα σε δέκα χρόνια και το διπλό-κύλισμα χρησιμοποιούταν για να κατασκευάζει προϊόντα όπως το συνδεδεμένο με καλώδιο γυαλί.

Οι προσπάθειες να συρθεί το επίπεδο γυαλί στις λεπτές θήκες προς το τέλος του δέκατου ενάτου αιώνα, οδηγούνται τελικά στην επιτυχία μέσα από διάφορες ανταγωνιστικές τεχνολογίες, όπως ήταν η βελγική, η αμερικανική και η μέθοδος που αναπτύσσεται από την επιχείρηση γυαλιού λαμαρινών του Πίτσμπουργκ (PPG) που συνδύασε ουσιαστικά τις άλλες δύο τεχνικές.

Το πρώτο μισό του εικοστού αιώνα, μια από τις μεγάλες εποχές της αρχιτεκτονικής γυαλιού, η κοπή του γυαλιού μέσω πριονιών βελτιώνεται με την εξέλιξη στη τεχνική και τη βιομηχανική βελτίωση, αλλά καμία νέα τεχνολογία δεν παρουσιάζεται. Από τα μέσα του εικοστού αιώνα, η βιομηχανία γυαλιού είχε το σχέδιο για το παχύτερο γυαλί (τα μεγαλύτερα, ισχυρότερα πλακάκια) με τη ρίψη, και το κυλιόμενο παραχθέν γυαλί διαμορφωμένο και συνδεδεμένο με καλώδιο.

Η μετά-δευτέρου παγκόσμιου πόλεμου εποχή είδε γρήγορα τις εξελίξεις, που ήταν η μεταποίηση στη κατασκευή του γυαλιού και στα διαθέσιμα προϊόντα. Το 1950, το γυαλί φύλλων ήταν το κυρίαρχο προϊόν που χρησιμοποιήθηκε για την απλή τοποθέτηση υαλοπινάκων οικοδόμησης. Το λεπτό γυαλί έγινε στις μηχανές Colburn (αμερικανικές), και το υπόλοιπο με τη διαδικασία PPG (Πίτσμπουργκ). Κατόπιν, τον Οκτώβριο του 1952, ο Alastair Pilkington άρχισε να πειραματίζεται με την ιδέα της χρησιμοποίησης του λειωμένου μετάλλου για να υποστηρίξει την κορδέλα γυαλιού. Η αρχή που υιοθετήθηκε ήταν απλή. Κατόρθωσε να επιπλεύσει το λειωμένο γυαλί μέσα σε ένα λειωμένο μέταλλο πάνω σ ένα άκαμπτο «κρεβάτι».

Οι φυσικές δυνάμεις του βάρους και της έντασης της επιφάνειας του γυαλιού, δημιουργούν ένα απολύτως ομοιόμορφο πάχος. Όλα όσα απαιτήθηκαν ήταν η επιλογή ενός μετάλλου με ένα κατάλληλο σημείο τήξης, κατά προτίμηση κάτω από αυτό του γυαλιού (έτσι ώστε το λειωμένο

γυαλί που ενισχύεται να κρατήσει το μέταλλο λειωμένο) και μια πυκνότητα αρκετά υψηλή, ώστε να αποτρέψει οποιαδήποτε τάση στο γυαλί να βυθιστεί. Το γυαλί έπρεπε να επιπλεύσει στο λουτρό του μετάλλου του.

Ο κασσίτερος επιλέχτηκε ως ιδανικό μέταλλο, με σημείο τήξης στους 232°C και την πυκνότητά του 7.285 gr/lit, έναντι 1726°C και 2.650 gr/lit για το οξείδιο πυριτίου, τη βασική πρώτη ύλη του γυαλιού. Οι εφευρέτες αντιλήφθηκαν τη σημασία των αυστηρά ελεγχόμενων θερμοκρασιών, καθώς επίσης και τον έλεγχο των συστατικών της αερίωδους ατμόσφαιρας επάνω από το γυαλί και το μέταλλο για να αποτρέψουν την οξείδωση και το σχέδιο των εγκαταστάσεων που θα δημιουργούσε ένα τέτοιο κλίμα που να καθιστά πιθανή την ευρύτερη ποικιλία παχών των γυάλινων φύλλων.

Άλλες προσπάθειες να εμπλουτιστεί η παλέτα χρώματος του γυαλιού, έχουν υιοθετήσει την αποκαλούμενη τεχνική «ηλεκτρο-επιπλεόντων σωμάτων» με την οποία δημιουργείται ρεύμα που περνάει μέσω του γυαλιού στον κασσίτερο, επιτρέποντας την εμφύτευση των μεταλλικών μορίων στην επιφάνεια του πρώτου.

Πάντως, τα σχέδια που πραγματοποιούνται στη δεκαετία του '60 και του '70 για τα σωματο - χρωματισμένα γυαλιά είχαν σαν αποτέλεσμα τον ανεπιθύμητο αποκλεισμό ηλιακού φωτός. Η λογική ότι τα βαμμένα γυαλιά μείωναν τα ηλιακά φορτία κρίθηκε ακατάλληλη, ιδιαίτερα στα πιο δροσερά κλίματα.

Οι κατασκευαστές επίπεδου γυαλιού έπρεπε να κοιτάξουν αλλού για να παράγουν καταλληλότερο χρωματιστό γυαλί, και οι νέες τεχνολογίες επιστρώματος δρομολογήθηκαν ταχύτατα. Η κατασκευή του επίπεδου γυαλιού όλο και περισσότερο σχετίζεται με την παραγωγή του πολύ υψηλής ποιότητας, άχρωμου γυαλιού - ένα βασικό προϊόν για το σχεδιαστή τοποθέτησης υαλοπινάκων - και του υποστρώματος για την εφαρμογή λεπτών ταινιών.

Ο χρόνος είναι τώρα ώριμος για τη κατασκευή να επικεντρωθεί στην ευελιξία της διαδικασίας, και τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.

## **φυσικές ιδιότητες**

Δεν είναι καθόλου παράδοξο, λαμβάνοντας υπόψη την αξιοπρόσεκτη χημεία και τον τρόπο της παραγωγής του, το γεγονός ότι το γυαλί έχει ιδιότητες εκτός του συνηθισμένου. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αρχιτεκτονική παρουσιάζουν οι θερμικές και μηχανικές ιδιότητές του γυαλιού, του τύπου soda-lime συγκεκριμένα, οι οποίες είναι καθοριστικές για τον τρόπο που αποδίδει το υλικό. Έχει συντελεστή θερμικής επέκτασης περίπου  $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , έναντι  $11 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$  του χάλυβα - άνθρακα και  $22 \times$

$10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  έναντι ενός χαρακτηριστικού κράματος αλουμινίου στους  $20^{\circ}\text{C}$ . Η προσθήκη «διαμορφωτών» στο γυαλί έχει σοβαρό αντίκτυπο στον δεδομένο συντελεστή: το καθαρό πυρίτιο έχει έναν συντελεστή θερμικής επέκτασης είκοσι φορές μικρότερο από το soda-lime γυαλί.

Ενώ οι ιδιότητες επέκτασης του soda-lime γυαλιού είναι γενικά παρόμοιες με άλλα οικοδομικά υλικά, η θερμική αγωγιμότητά του είναι πολύ χαμηλή  $1\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ , έναντι της άνω του 200 για ένα χαρακτηριστικό κράμα αλουμινίου και της τάξης του 60-70 για το χάλυβα. Η θερμική αγωγιμότητα του γυαλιού πλησιάζει περισσότερο το  $0,6\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$  του νερού. Η απόδοση του γυαλιού κάτω από γρήγορα μεταβαλλόμενη θερμοκρασία είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ των δύο ιδιοτήτων που αναφέρθηκαν παραπάνω, σε ένα υλικό του οποίου η δομή δεν είναι κρυσταλλωμένη, ενώ εμφανίζει ατελή, διαπερατή επιφάνεια σε μικροσκοπικό επίπεδο, φαινόμενο που περιγράφεται σαν «ρωγμές Griffith». Οι δεδομένες ρωγμές επηρεάζουν σε κάποιο βαθμό την αντοχή του υλικού που εξετάζουμε.

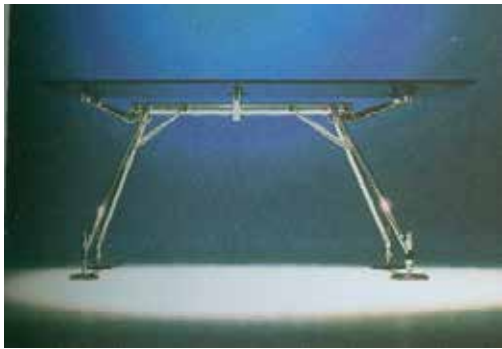
Η ευθραυστότητα του γυαλιού, που κυρίως καθορίζεται από τις θερμικές ιδιότητές του, το καθιστά μάλλον ακατάλληλο για οικοδομικό προϊόν. Η θέρμανση μιας πλάκας γυαλιού προκαλεί συμβατική επέκταση της θερμότητας, η οποία δεν διαδίδεται στην περιβάλλουσα περιοχή, καθιστώντας το φαινόμενο τοπικό. Η εγγενής αδυναμία της επιφάνειας του υλικού το κάνει πολύ επιρρεπές στη θραύση, αν και πρέπει να σημειωθεί ότι η αυτή ιδιότητα καθιστά την παραγωγή και την κοπή πολύ ευκολότερες.

Η άλλη κύρια θερμική του ιδιότητα, η ειδική θερμότητα, δικαιολογεί τη χρήση του γυαλιού ως οικοδομικό υλικό. Το συγκεκριμένο μέτρο αποδίδει το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αυξηθεί η θερμοκρασία μιας ουσίας και για το γυαλί είναι περίπου  $0,85\text{-}1,0\text{KJ}/\text{kg}^{\circ}\text{C}$ , έναντι  $0,9$  για το αλουμίνιο, περίπου  $0,5$  για τον ήπιο χάλυβα ενώ είναι  $4,19$  για το ύδωρ. Μπορεί να φανεί ότι το γυαλί συγκρατεί τη θερμότητα σε περίπου τον ίδιο βαθμό με άλλα θερμομονωτικά υλικά.

Πολλές από τις μηχανικές ιδιότητες του γυαλιού είναι πολύ πιο σύνθετες από τις θερμικές, αφού απορρέουν από το συνδυασμό των χημικών και φυσικών δομών σε μοριακό επίπεδο. Η αντοχή είναι ένα σύνθετο φαινόμενο, που δεν καθορίζεται από μια και μόνη ιδιότητα. Ένα υλικό ικανό να αντισταθεί σε ένα είδος ασκούμενης δύναμης, μπορεί να είναι αναποτελεσματικό έναντι κάποιας άλλης. Η επίγνωση αυτού έχει οδηγήσει τους μηχανικούς στο να αναπτύξουν σύνθετα υλικά, όπως το ενισχυμένο σκυρόδεμα, ένας συνδυασμός χάλυβα και σκυροδέματος, που αποτελεί ένα τόσο δημοφιλές δομικό υλικό. Το γυαλί θεωρείται συμβατικά ισχυρό στη συμπίεση (είναι πολύ αποτελεσματικό σε μια σφαιρική μορφή στα μεγάλα

θαλάσσια βάθη), και αδύνατο στην ένταση. Εντούτοις, το γυαλί έχει παίξει βασικό ρόλο στη μελέτη της αντοχής των υλικών στον εικοστό αιώνα, ενώ μια λεπτομερής εκτίμηση δείχνει ότι οι κύριες ιδιότητές του δεν είναι απλές.

Χρησιμοποιούμε τον όρο «αντοχή» με έναν πολύ απλοϊκό τρόπο, αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα εξαιρετικά σύνθετο ζήτημα για τους επιστήμονες που μελετούν τα υλικά. Στην περίπτωση του γυαλιού, οι μελέτες είναι ακόμη σε θεωρητικό επίπεδο. Η κατανόηση της γνώσης που έχουν αναπτύξει οι επιστήμονες για το πώς λειτουργούν γενικώς τα υλικά και, κατ' επέκταση πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν, μας βοηθά να καταλάβουμε μερικώς τις αιτίες που το γυαλί αποτυγχάνει να υιοθετήσει τους συμβατικούς κανόνες συμπεριφοράς των υλικών.



**Αντοχή γυαλιού:** Το γυάλινο τραπέζι "Nomos". Παρά την ευθραυστότητα, το γυαλί είναι ακόμα ένα πολύ δημοφιλές υλικό για τις επιτραπέζιες κορυφές. Η κεκλιμένη ράμπα γυαλιού, ημισεληνοειδές φτερό, Sainsbury, κέντρο εικαστικών τεχνών, Norwich, 1988-91. Σε αυτό το κιγκλίδωμα, που σχεδιάστηκε από τους Michael Wigginton και Richard Horden, αξιοποιείται η έμφυτη αντοχή του γυαλιού, ιδιαίτερα όταν βοηθιέται από ένα κατάλληλο κυρτό γεωμετρικό σχήμα, για να παρέχει στην προστασία με την ελάχιστη οπτική διακοπή. Η διαμόρφωση εξετάστηκε σε μια εξαιρετικά υψηλή φόρτωση πριν από την εγκατάσταση, χωρίς να εμφανίσει καμία παραμόρφωση.

Οι μηχανικοί, που τείνουν να ενδιαφέρονται περισσότερο για την αντοχή και την θραύση των υλικών, στηρίζουν το σχεδιασμό επάνω στην ανάλυση των στοιχείων της κατασκευής, και τα υλικά εκ των οποίων αυτά αποτελούνται. Λαμβάνοντας υπόψη την έμφυτες ιδιότητες των υλικών, τα κατατάσσουν σε δομικά ή μη.

Κατά συνέπεια ο χάλυβας και το σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθούν ως «δομικά», ενώ η πέτρα, η βάση για μερικές από τις σημαντικότερες κατασκευές στην ιστορία, έχει τώρα υποβιβαστεί στον κατάλογο των χρησιμοποιούμενων υλικών του μηχανικού.

Το κατασκευαστικό σχέδιο απαιτεί την ανάλυση και την αξιολόγηση των επιμέρους υλικών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Κρίσιμη σε αυτήν

την διαδικασία είναι η εκτίμηση των χαρακτηριστικών απόδοσης, σχετικών με την αντοχή. Ο μηχανικός ενδιαφέρεται για τη δυνατότητα ενός στοιχείου της κατασκευής να αντιστέκεται στην πίεση και την παραμόρφωσή του σε περίπτωση φορτίου. Η απόπειρα πρόβλεψης της συμπεριφοράς των υλικών είναι προσπάθεια που ξεκίνησε από το δέκατο ένατο αιώνα.

Μια βασική έννοια που έχει αναπτυχθεί, είναι γνωστή ως «συντελεστής Young», επωνομαζόμενη από τον ίδιο επιστήμονα, τον Εγγλέζο Thomas Young, ο οποίος προώθησε τη θεωρία κυμάτων του φωτός. Ο Young ήταν χαρακτηριστικός φυσιοδίφης της εποχής του, και δημοσίευσε τις ιδέες του για την ακαμψία των υλικών το 1807. Ο Γάλλος μαθηματικός Henri Navier εξέφρασε την ιδέα του Young μαθηματικά το 1826 με μια απλή εξίσωση:  $\sigma = E \epsilon$  (συντελεστής Young) = πίεση/τέντωμα. Αυτό το χαρακτηριστικό ενός υλικού γίνεται αποτελεσματικό στη αξιολόγησή του ως δομικό, όταν συνδυαστεί με την έννοια της ακαμψίας της μορφής.

Σε αυτές τις δύο έννοιες, της αντίστασης στην πίεση και της ακαμψίας, πρέπει να προστεθεί η έννοια της «αποτυχίας», η οποία αναφέρεται στην περίπτωση που ένα υλικό παύει να εξυπηρετεί το σκοπό του.

Η ακαμψία, η δύναμη και η αντίσταση στην θραύση συσχετίζονται με την εσωτερική δομή ενός υλικού και τη φύση της επιφάνειάς του. Η αξιολόγηση όλων αυτών είναι περίπλοκη, ειδικά όταν αφορά σε ένα σύνθετο υλικό, όπως ένα κράμα μετάλλων ή στο ενισχυμένο σκυρόδεμα. Ο μηχανικός πρέπει να στηριχθεί στη δοκιμή, σε πίνακες, σε συντελεστές ασφάλειας και άλλα ουσιαστικά εμπειρικά δεδομένα.

Όλα τα παραπάνω συντελούν στην πρόβλεψη της συμπεριφοράς ενός στοιχείου και σε αυτήν την σφαίρα, παρά τις εμπεριστατωμένες αντιστάσεις του στη συμπίεση και την ένταση, το γυαλί έχει ανατρέψει τις προσπάθειες των σχεδιαστών να το μεταχειριστούν «δομικά».

Η εύθραυστη φύση του έχει οδηγήσει σε απροθυμία να υποβληθεί στη δομική ανάλυση. Εντούτοις, από ένα ατύχημα στην ιστορία της τεχνολογίας, το γυαλί έπαιξε έναν κεντρικό ρόλο στη μελέτη των δομών, όχι τόσο πολύ του ίδιου, αλλά ως υλικό του οποίου η συμπεριφορά θα μπορούσε να εξηγήσει τον τρόπο που επηρεάζουν οι εσωτερικοί δεσμοί την απόδοση.

Όταν ο Griffith πραγματοποίησε την κλασική μελέτη για την αντοχή και τη θραύση στη Βασιλική Ακαδημία Αεροναυπηγικής μετά από τον Α παγκόσμιο πόλεμο, επέλεξε το γυαλί ως υλικό μελέτης. Η εργασία του Griffith για το γυαλί ήταν η βάση για την πολύ αργότερα κατανόηση του φαινομένου της αποτυχίας των μεγάλων δομών γενικά. Γνωρίζοντας ότι τα περισσότερα υλικά δεν επεκτείνονται επ' αόριστο κάτω από πίεση αλλά τελικά αποτυγχάνουν, ο Griffith ενδιαφέρθηκε για τις αιτίες αυτής της αποτυχίας και τη σχέση τους με την επιφάνεια ενέργειας, την επιφάνεια

έντασης και πίεσης.

Η δύναμη όλων των υλικών προέρχεται τελικά από τους δεσμούς σε ατομικό επίπεδο. Ένα χαρακτηριστικό του γυαλιού είναι ότι η αντοχή των μεγάλων δειγμάτων είναι πολύ μικρότερη από αυτή των μικρών δειγμάτων και ακόμα μικρότερη από τους θεωρητικούς υπολογισμούς που προκύπτουν από την παρατήρηση των ατομικών του δεσμών. Ο Griffith εξέτασε ράβδους γυαλιού διαμέτρου 1mm και διαπίστωσε ότι απέτυχαν σε πίεση 100 φορές λιγότερη από αυτή που πρότεινε η θεωρία. Σε όμοιες δοκιμές με λεπτότερες ράβδους διαπίστωσε ότι η αντοχή αυξανόταν ταχύτατα καθώς πλησίαζαν τη διάμετρο της τάξης των 0.002mm.

Κατέληξε ότι η αδυναμία του γυαλιού ήταν αποτέλεσμα των εσωτερικών ρωγμών που προκύπτουν ίσως από την αποτυχία των μορίων να ενωθούν κατάλληλα κατά τη ψύξη του υλικού. Η επόμενη εργασία ήρθε από το Morley, που εργαζόταν στην Αγγλία το 1952 και κατέδειξε ότι οι προσεκτικά φτιαγμένες παχιές ράβδοι και οι ίνες θα μπορούσαν να επιτύχουν υψηλή αντοχή, αλλά παρατηρήθηκε σημαντική μείωση αυτής εάν στην επιφάνεια τους υπήρχαν αμυχές. Αυτή η μείωση δεν εμφανίστηκε όταν η εξωτερική επιφάνεια προστατεύθηκε από μια θήκη και οι ρωγμές του Griffith συνδέθηκαν με την τυχαία ζημία στην επιφάνεια. Το πρόβλημα με το γυαλί είναι ότι συχνά παρουσιάζει αυτήν την «ζημία επιφάνειας», ενώ, ταυτόχρονα, εμφανίζεται κρυστάλλωση τοπικά.

Η κατασκευή του γυαλιού είναι μια προσπάθεια ενάντια στην κρυστάλλωση, όπως έχει περιγραφεί νωρίτερα. Αυτή η διαδικασία αφαλάτωσης αποδυναμώνει το γυαλί. Δεν είναι τυχαία η προσπάθεια των κατασκευαστών για την οχυροποίηση του γυαλιού με χημικές ουσίες «ενισχυτές» ή άλλα μέσα, ιδιαίτερα στο δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα.

Λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες και την εμφανή αδυναμία του γυαλιού, θα ήταν φυσικό να αποφευχθεί ως δομικό υλικό. Στην πραγματικότητα αν και η ευθραυστότητά του είναι μια ατέλεια, το γυαλί μπορεί να αποδώσει δομικά και οι σχεδιαστές εκμεταλλεύονται όλο και περισσότερο τις δυνατότητές του. Ευρέως χρησιμοποιείται σαν κιγκλίδωμα στους μετακινούμενους τοίχους, στις στέγες και τα δοκάρια, εφόσον οι όποιες ατέλειες επιφάνειας αντισταθμιστούν σε ένα μεγάλο ποσοστό, εκθέτοντας ολόκληρη την γυάλινη επιφάνεια στις δυνάμεις συμπίεσης.

Στον τομέα των εφαρμογών, η αντοχή είναι ένα πρόβλημα που σχετίζεται με άλλη μια έμφυτη δυσκολία που εμφανίζει το γυαλί ως κατασκευαστικό υλικό: το βάρος του.

Το γυαλί θεωρείται βαρύ υλικό. Υπάρχει μια ειρωνεία σε αυτό, αν αναλογιστεί κανείς την παράλληλη (και με κάποιους τρόπους πραγματική) αντίληψη για την αδυναμία και την ευθραυστότητα του γυαλιού.

Η πυκνότητα, ή «συγκεκριμένη πυκνότητα» του καθαρού πυριτίου είναι 2.200 gr/lt, και αυτή του τύπου soda-lime με τα πρόσθετα συστατικά της, είναι περίπου δώδεκα τοις εκατό υψηλότερη, από 2.470 έως 2.490. Αυτό συγκρίνεται με το 2.700 για το αλουμίνιο και το μάρμαρο και 7.900 για τον ήπιο χάλυβα. Οι ξυλείες ποικίλλουν πολύ, αλλά έχουν τις συγκεκριμένες πυκνότητες συνήθως μεταξύ 500 και 900. Τα διαφανή πλαστικά έχουν τις συγκεκριμένες πυκνότητες μεταξύ 1.100 και 1.200, λίγο μόνο πυκνότερα από το νερό. Μπορεί να φανεί από αυτούς τους αριθμούς ότι το γυαλί είναι ελαφρύτερο από το αλουμίνιο και έχει ένα τρίτο του βάρους του χάλυβα. Το πρόβλημα με το γυαλί ως οικοδομικό υλικό βρίσκεται στην αναλογία αντοχής-βάρους του. Επειδή το γυαλί είναι επιρρεπές σε «αποτυχία ζημίας», πρέπει να εγκαθίσταται σε παχιά φύλλα, είτε για μια επιτραπέζια κορυφή είτε σε ένα κτίριο. Ο συντελεστής Young του γυαλιού είναι σχεδόν ίδιος του αλουμινίου, αλλά όλοι οι αρχιτέκτονες γνωρίζουν την ανάγκη για πάχος στο γυαλί όταν εξετάζονται οι μεγάλες επιφάνειες. Μια επιφάνεια πάχους 10 ή 15 χιλ. του αλουμινίου είναι ένα πολύ σπάνιο συστατικό σε ένα κτίριο, αλλά αρκετά συνηθισμένο για το γυαλί.

Όταν μπορούμε να καταστήσουμε το γυαλί ισχυρότερο, είμαστε σε θέση να εξαλείψουμε την αδυναμία του στην πίεση, ιδιαίτερα όταν προσθέτουμε σε αυτό διαφανή πολυμερή.

Η βιομηχανία αεροσκαφών έχει μάθει ήδη αυτό το μάθημα, όπως θα σημειωθεί από οποιοδήποτε επιβάτη σε ένα αεροπλάνο. Τα παράθυρα αεροσκαφών αντιπροσωπεύουν μια κλασική συμφιλίωση μεταξύ των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του γυαλιού και των διάφανων πολυμερών. Εκείνα στην καμπίνα επιβατών είναι πολύ ελαφρύτερα από ένα συμβατικό παράθυρο οικοδόμησης, αλλά με επιρρεπέστερη σε αμυχές επιφάνεια. Το «παράθυρο» του πιλότου είναι πολύ περίπλοκο και βαρύ, σύνθετο, εξαιτίας των θερμομονωτικών επιστρωμάτων.

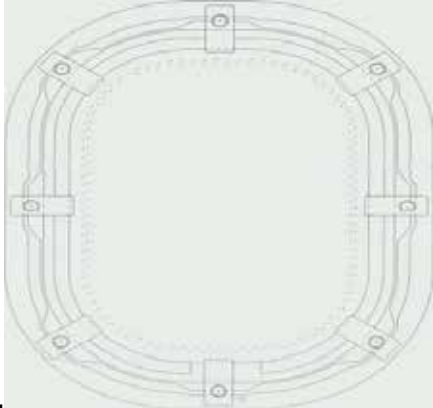
Ακόμη και με αυτά τα προβλήματα της αντοχής και του βάρους, υπάρχουν λόγοι να θεωρείται ότι οι φυσικές ιδιότητες του γυαλιού μπορούν τώρα να χρησιμοποιηθούν καλύτερα χωρίς την απειλή της «αποτυχίας», οπότε οι γυάλινες δομές εμφανίζονται με ολοένα αυξανόμενη συχνότητα.

Μερικές από τις ιδιότητές του εντούτοις, είναι και εύκολο να καθοριστούν και γνωστής αξίας στην αντίσταση της διάβρωσης: η σκληρότητα και η αντοχή σε χημικές ουσίες είναι δύο εξίσου σημαντικές ιδιότητες του γυαλιού.

Το γυαλί είναι πολύ σκληρό, με τιμές σκληρότητας παρόμοιες με εκείνες του χάλυβα. Σε ένα υλικό του οποίου η διαφάνεια είναι το μέγιστο προτέρημά του, η σκληρότητα είναι θεμελιώδης. Η ανικανότητα των διαφανών πολυμερών να αντισταθούν στο γδάρισμα είναι μια από τις



σημαντικότερες αδυναμίες τους. Ενώ η ευαισθησία του γυαλιού στη «ζημία επιφάνειας» μεγέθους ανάλογου των ρωγμών Griffith έχει περιγραφεί και είναι αιτία αδυναμίας, δεν μειώνει την έμφυτη σκληρότητά του και τη δυνατότητά του να διατηρείται κατά τη διάρκεια των αιώνων εάν καθαρίζεται κατάλληλα και τακτικά. Ακόμη και χωρίς καθαρισμό, η δόξα του καθεδρικού ναού του Chartres παραμένει πάνω από 800 έτη.



1.



2.

1. **Επιτομή παραθύρων καμπίνας αεροσκάφους.** Τα υλικά απαίτησης των αεροσκαφών είναι πολύ ελαφριά με υψηλή δύναμη και μεγάλη αντοχή αντίστασης, και οι εναλλακτικές λύσεις του γυαλιού έχει οδηγηθεί από αυτήν την απαίτηση.
2. **Διάβρωση του γυαλιού στον καθεδρικό ναό του Chartres.** Η εμφάνιση του Al Charlies γυαλιού καταδεικνύει δύο πτυχές των ιδιοτήτων του υλικού: το θαμπό εξωτερικό του, το οποίο κρύβει την εσωτερική λαμπρότητα, ενώ έρχεται σε συμφωνία με την περιβάλλουσα πέτρα, και τη μακροβιότητα.

Είναι φανερό, σχετικά με τη μηχανική απόδοση, ότι η τεχνική επεξεργασία του γυαλιού υπερτερεί ως εναλλακτική λύση έναντι της προθήκης χημικών ουσιών. Τα ισχυρότατα δομικά υλικά γυαλιού υπάρχουν, αλλά οι έμφυτες δυσκολίες στην παραγωγή των γυάλινων φύλλων, διαμορφώνουν το επακόλουθο κόστος, που απαγορεύει διαδεδομένη χρήση σε προϋπολογισμούς που συχνότερα διατίθενται στις αρχιτεκτονικές κατασκευές.

## φως και μετάδοση: το μυστήριο του φωτός

Ιστορικά, το πρωταρχικό χαρακτηριστικό απόδοσης του γυαλιού αρχιτεκτονικά ήταν ο σεβασμός της μετάδοσης του φωτός. Το φως είναι αληθινά η πρώτη ύλη της αρχιτεκτονικής, όπως ο ήχος για τη μουσική.

Η υπεροχή του γυαλιού στον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό έγκειται στο γεγονός ότι το φως μπορεί να περάσει μέσω αυτού, καθώς επίσης και να απεικονιστεί από αυτό. Σε αισθητικό επίπεδο παρουσιάζει στον αρχιτέκτονα μοναδικές δυνατότητες σχεδιασμού.

Ο τρόπος με τον οποίο το γυαλί συμπεριφέρεται σε σχέση με το φως και την ενέργεια είναι θεμελιώδης στην επιτυχία του και μερικές φορές στην αποτυχία του. Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί το γυαλί στην αρχιτεκτονική, πρέπει πρώτα να γίνει κατανοητό πώς αλληλεπιδρά με το φως το οποίο είναι από πολλές απόψεις ένα μυστήριο.

Στις προσπάθειές μας να εξηγήσουμε το φως, δύο θεωρίες υιοθετούνται συνήθως που μαζί μας βοηθούν για να το χρησιμοποιήσουμε και να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του. Η μετάδοση έχει ερμηνευτεί μέσω της θεωρίας των «μορίων» και των «κυμάτων». Αυτές οι δύο θεωρίες συγκρούονταν για πάνω από δύο αιώνες, αλλά τώρα συνυπάρχουν, συχνά χρησιμοποιούμενες ανεξάρτητα για να εξηγήσουν τις διαφορετικές πτυχές του φωτός.

Η επιτυχία της θεωρίας των μορίων υπονομεύθηκε από τον Άγγλο Young και το Γάλλο Fresnel νωρίς το δέκατο ένατο αιώνα, οι οποίοι προώθησαν τη θεωρία κυμάτων. Στην ανάπτυξη της θεωρίας τους βοηθήθηκαν πολύ από τις ιδέες του Clerk Maxwell, του μεγάλου αυτού Σκοτσέζου φυσικομαθηματικού, ο οποίος ανέπτυξε τη θεωρία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μεταξύ 1864 και 1873. Από αρχής του εικοστού αιώνα, ο Planck είχε προχωρήσει τη μελέτη της φύσης της ενέργειας, και είχε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι υπήρχε στις ευδιάκριτες «κβαντικές» δομές. Αυτή η πρόταση, όταν αναπτύχθηκε, ήταν σε θέση να ενοποιήσει τις θεωρίες μορίων με αυτές των κυμάτων, αναγνωρίζοντας ότι το φως και άλλες μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας «συμπαθούν» τα μόρια καθώς και τα κύματα.

Οπότε, ενώ η θεωρία κυμάτων μας βοηθά να καταλάβουμε πώς λειτουργεί η διάθλαση και η παρεμβολή, ακριβώς όπως κάνουν τα κύματα που ταξιδεύουν στο νερό, η θεωρία των μορίων βοηθά στη κατανόηση της απορρόφησης ή της μετάδοσης του φωτός από τα διαφορετικά υλικά. Η ενέργεια των κυμάτων ή των μορίων εκπέμπεται από όλους τους οργανισμούς με μια θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν (0 K, ισοδύναμη με 273°C), αλλά η ακτινοβολία γίνεται αντιληπτή στις

ανθρώπινες αισθήσεις μόνο όταν επιτυγχάνονται αρκετά υψηλές θερμοκρασίες. Οι «καυτοί» οργανισμοί (εκείνοι με τις θερμοκρασίες αρκετά επάνω από απόλυτο μηδέν) εκπέμπουν την ακτινοβολία σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές καμπύλες που αντιστοιχούν στις θερμοκρασίες τους. Η «θερμοκρασία χρώματος» σε ένα καυτό σώμα συσχετίζεται με αυτήν την χαρακτηριστική καμπύλη, η οποία έχει αιχμή σε μια συγκεκριμένη θέση.

Ο ήλιος εκπέμπει την ακτινοβολία με ένα μέγιστο μήκος κύματος περίπου 500 nanometers και αυτό αντιστοιχεί στην εκπομπή της ακτινοβολίας από ένα σώμα με μια θερμοκρασία 5.900 K, ή 5627°C. Τα μάτια μας αποκρίνονται στην ακτινοβολία σε μήκη κύματος μεταξύ 400 NM και 750 NM. Τα κύματα φωτός μήκους κύματος 400 NM είναι ιώδη στο χρώμα, ενώ του 750 είναι κόκκινα. Ένα πολύ καυτό σώμα όπως ο ήλιος, εκπέμπει σε όλες τις ορατές συχνότητες (καθώς επίσης και σε όλες τις συχνότητες επάνω από και κάτω από τις ορατές), και εμφανίζεται λόγω του συνδυασμού αυτού με περίπου λευκό χρώμα.

Από ένα θαύμα της χημείας, το γυαλί είναι διαφανές σύμφωνα με μια καμπύλη πολύ παρόμοια με την ακτινοβολία του ήλιου, όπου η μέγιστη μετάδοση είναι πολύ κοντά στη μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία, και βελτιώνεται όσο τα μήκη κύματος πλησιάζουν τις αποκαλούμενες «υπέρυθρες ακτίνες», τις οποίες θεωρούμε περισσότερο ως ακτινοβολούσα θερμότητα παρά ως φως.

Η σημαντική δυνατότητα μετάδοσης του φωτός για έναν σχεδιαστή στο γυαλί είναι ότι, είτε εξεταζόμενη από την άποψη των κυμάτων, είτε των φωτονίων, τα πραγματικά υλικά γύρω μας διαβιβάζουν ή απορροφούν το φως, σύμφωνα με τον τρόπο που τα ατομικά «περάσματα» των δομών τους ενυδατώνουν ή προσκρούουν τα φωτόνια τους. Η εμφάνιση του συμβατικού soda-lime γυαλιού ως πράσινο είναι ένα άμεσο αποτέλεσμα της παρουσίας του οξειδίου του σιδήρου, του οποίου η ατομική δομή απορροφά το κόκκινο φως και διαβιβάζει το μπλε/πράσινο στη πλευρά του ορατού φάσματος. Αυτή η εκλεκτική απορρόφηση φωτονίων είναι η βάση για το σχέδιο φίλτρων. Κατά συνέπεια, ενώ μια τέλεια συσκευή αποστολής σημάτων θα επέτρεπε τη μετάβαση όλης της ενέργειας πέρα από τα εξεταζόμενα μήκη κύματος, το γυαλί με τις διάφορες μορφές του και τα επιστρώματα που μπορούν να εφαρμοστούν σε αυτό, διαβιβάζουν το φως στα διαφορετικά μήκη κύματος σε διαφορετικές αναλογίες.

Η επιστήμη του γυαλιού έχει προχωρήσει και ενδιαφέρεται για την περιγραφή και την επίτευξη των απαραίτητων χρωματικών αποδόσεων είτε στα ενιαία φύλλα είτε στις πιο σύνθετες στρώσεις.

## έλεγχος χρώματος και μετάδοσης

Το κύριο χαρακτηριστικό του γυαλιού είναι η διαφάνεια, αλλά αυτή δεν είναι μια απόλυτη ιδιότητα. Όπως έχει εξηγηθεί, όλα τα υλικά απορροφούν το φως σε ορισμένο βαθμό και οι κλίμακες της διαφάνειας είναι ουσιαστικά οι δείκτες απόδοσης. Η διαφάνεια εξαρτάται από τη χημική σύσταση και το πάχος και ποικίλλει από ένα μήκος κύματος σε άλλο.

Σε μια πλάκα γυαλιού η διαφάνεια περιπλέκεται από τη δράση των επιφανειών που δεσμεύει και καθορίζει το υλικό. Ακόμη και η ελαφριά πρόσκρουση στο γυαλί με γωνιά  $0^\circ$  (γνωστή στην οπτική ως κανονική πρόσκρουση), υποβάλλει ένα ποσό αντανάκλασης στις επιφάνειες. Είτε η κάθετη είτε η «κανονική» πρόσκρουση φωτός στο soda-lime γυαλί πυριτικών αλάτων οδηγεί σε μια απώλεια μετάδοσης 4% για κάθε επιφάνεια. Όσο η γωνία αυξάνεται, τόσο αυξάνεται το ποσό αντανάκλασης στην επιφάνεια, που αρχίζει από 40%, ξεπερνά το 70% και φτάνει σχεδόν 100% τοις εκατό αντανάκλασης σε μια γωνία βλέμματος. Δεδομένου ότι το φως της ημέρας προσκρούει σε ένα παράθυρο σε κάθε γωνία, αυτό κάνει τη μαθηματική αξιολόγηση της μετάδοσης αλληλεπίδρασης της διαφάνειας, από απλή έννοια σε πολύ σύνθετη.

Οι κατάλογοι των περισσότερων κατασκευαστών γυαλιού παρέχουν τους παράγοντες μετάδοσης, αλλά ένα τυποποιημένο μέτρο όπως η εσωτερική μετάδοση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν συγκριτικό των γυαλιών χωρίς εκτίμηση των προβλημάτων του συντελεστή ανάκλασης επιφάνειας.

Η εσωτερική μετάδοση ορίζεται ως η αναλογία της ακτινοβόλου ροής που φθάνει στην εξωτερική παράλληλη επιφάνεια γυαλιού πάχους 25χιλ.σε σχέση με τη ροή που φθάνει στην εσωτερική επιφάνεια: με άλλα λόγια, είναι ένα μέτρο της απορρόφησης φωτός καθώς διασχίζει μόνο το σώμα του γυαλιού.

Τα οπτικά γυαλιά, για τα οποία η ελαφριά μετάδοση είναι βασική ιδιότητα, ποικίλλουν στην εσωτερική μετάδοση από περίπου ογδόντα έως ενενήντα τοις εκατό για τα μήκη κύματος περίπου 360 NM μέχρι ενενήντα εννέα τοις εκατό σε 500 NM (αυτό αγνοεί την απώλεια αντανάκλασης επιφάνειας). Έναντι αυτών των αριθμών, τα χαρακτηριστικά μετάδοσης του φωτός της ημέρας για το soda-lime γυαλί είναι περίπου ογδόντα επτά τοις εκατό σε σώμα πάχους 6 χιλ. και μειώνονται σε περίπου εβδομήντα επτά τοις εκατό για 20 χιλ. υλικού. Φαίνεται έτσι ότι το γυαλί δεν είναι με κανένα τρόπο απολύτως διαφανές.

Η διαφάνεια, από την άποψη της μετάδοσης, είναι μια ιδιότητα με την οποία οι αρχιτέκτονες υποχρεούνται να είναι εξοικειωμένοι. Το σημαντικό

ζήτημα στην εξέταση της ιδιότητας είναι το πώς καθορίζεται από τον κατασκευαστή ή την αρχή όπου αναφέρεται. Είναι κρίσιμο να ξέρουμε εάν ο αριθμός που δίνεται αναφέρεται στην ορατή ακτινοβολία, ή σε όλη την ηλιακή ακτινοβολία και εάν είναι για όλο το συναφές φως, σε οποιαδήποτε γωνία πρόσπτωσης.

Άλλη σημαντική οπτική ιδιότητα των διαφανών υλικών είναι ο διαθλαστικός δείκτης, ο οποίος είναι ένα μέτρο της μείωσης του φωτός μέσω των υλικών. Το φως επιβραδύνεται πάντα μέσω των υλικών και κατά συνέπεια, μια ελαφριά ακτίνα φωτός κάμπτεται καθώς πηγαίνει κατευθείαν από ένα υλικό σε άλλο. Το φαινόμενο είναι ευρέως γνωστό και παρουσιάστηκε στο σχολείο σαν ένα ευθύ ραβδί που κάμπτεται προφανώς καθώς εισέρχεται στο νερό. Αυτή η διάθλαση είναι η βάση του οπτικού σχεδίου φακών.

Χωρίς τη κατανόηση της σημασίας του φαινομένου, έχει μικρή χρησιμότητα πρακτικά να γνωρίζουμε ότι ο διαθλαστικός δείκτης του soda-lime γυαλιού είναι 1,52, και ότι οι δείκτες των άλλων κοινών γυαλιών ποικίλλουν μεταξύ 1,47 και 1,56. Η συμπεριφορά του φωτός που συναντά επιφάνειες υλικών διαφορετικών οπτικών πυκνοτήτων είναι μεγάλης σπουδαιότητας, και είναι η βάση της τεχνολογίας οπτικών ινών, των πρισμάτων και άλλων πρόσφατα αναπτυσσόμενων τεχνολογιών.

Οι οπτικές ιδιότητες του αποκαλούμενου «καθαρού γυαλιού» πάντως, είναι μόνο ένα μικρό μέρος της μελέτης της μετάδοσης. Έχοντας δημιουργήσει το «καθαρό», ουσιαστικά άχρωμο προϊόν, η ανησυχία των κατασκευαστών από τους πρόσφατους ρωμαϊκούς χρόνους και μετά, είναι η δημιουργία του χρώματος. Αυτό έχει επεκταθεί από την εικονογραφική χρήση του λεκιασμένου γυαλιού, στη χρήση των τροποποιητών μετάδοσης ακτινοβολίας που χρησιμοποιούνται στον αιώνα μας.

Το πρώτο υαλοβαμμένο προϊόν που χρησιμοποιήθηκε για την τεχνική απόδοσή του στον εικοστό αιώνα ήταν χλωμό πράσινο και εισήχθη στις ΗΠΑ στη δεκαετία του '30. Σκοπός αυτού ήταν να μειωθεί το έντονο φως στα αυτοκινητικά αλεξήνεμα τζάμια, και να εξασφαλιστεί καλή επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Η αμερικανική αρχή προτύπων ήταν προσεκτική στο να διευκρινίσει τα κατώτατα επίπεδα ελαφριάς μετάδοσης. Μετά από τον Β΄ παγκόσμιο πόλεμο ως νέα γενεά των εμπορικών κτηρίων άρχισαν να εμφανίζονται στις ΗΠΑ και την Ευρώπη τα αποτελούμενα από σώματο - βαμμένα τζάμια, τα οποία θεωρούνταν γοητευτικά και με υποτιθέμενη τεχνική αποτελεσματικότητα.

Τα πρώτα βαμμένα γυαλιά που χρησιμοποιήθηκαν στα κτίρια σε οποιαδήποτε ποσότητα ήταν τα πράσινα γυαλιά που προήλθαν από την

επανεγκατάσταση του οξειδίου σιδήρου που απομονώθηκε προσεκτικά στην αρχική διαδικασία καθαρισμού και προστέθηκε σε δεύτερη φάση, σε πολύ ακριβείς ποσότητες. Το οξείδιο σιδήρου είναι πολύ καλό στο να απορροφά τα φωτόνια από τις κοντινές υπέρυθρες ακτίνες, μειώνοντας έτσι τη μετάδοση της ηλιακής θερμότητας.

Μετά το πράσινο γυαλί στο περίφημο Lever House της Park Avenue, στη Νέα Υόρκη του 1951-2, ήρθε το μπρονζέ γυαλί του κτηρίου Seagram το 1954-8, το οποίο βρίσκεται ακριβώς απέναντι από το πρώτο. Ενώ στο Lever House χρησιμοποιήθηκε μια συμβατική και εύκολα διαθέσιμη, έως τότε, απόχρωση, ένας αρχιτέκτονας είχε μια περισσότερο φιλόδοξη αισθητικά ιδέα να χρησιμοποιήσει μια απόχρωση γυαλιού που απεικόνιζε το καφέ των κουφωμάτων και της ξυλεπένδυσης των τοίχων. Το γυαλί σεληνίου που δημιουργήθηκε για το κτήριο Seagram ήταν ένα πρόωρο παράδειγμα του μπρονζέ γυαλιού που επρόκειτο να κερδίσει τόσο πολλή εύνοια στη δεκαετία του '60 και τη δεκαετία του '70.

Στην μεταγενέστερη παραγωγή της γκρι σειράς χρησιμοποιήθηκαν ποικίλα χημικά για την απόδοση των ελαφρώς διαφορετικών αποχρώσεων. Τα ποσοστά του οξειδίου κοβαλτίου, του οξειδίου του νικελίου και του σεληνίου ήταν ποικίλα, και προστιθέμενα στο οξείδιο σιδήρου, δέσμευαν τα κατάλληλα φωτόνια, δίνοντας την επιθυμητή απόχρωση.

Οι κατασκευαστές υπήρξαν πολύ ανταγωνιστικοί με τα διάφορα γκρι, όπως με τα άλλα χρώματα, και κάθε παραγωγός πήρε τα εύσημα για την επίτευξη ενός ιδιαίτερου τόνου.

Η βιομηχανία παραγωγής χρωματιστού γυαλιού καθιερώθηκε. Εντούτοις, δύο πράγματα συνωμότησαν στο να περιορίσουν την αποτελεσματικότητα και τη διαδεδομένη χρήση των βαμμένων γυαλιών, μετά από την πρώτη δεκαετία χρήσης τους.

Ο πρώτος λόγος αφορούσε στη φτωχή και ακατάλληλη μετάδοση ακτινοβολίας των χρωματιστών γυαλιών, πολύ πέρα από το ορατό ηλιακό φάσμα, ιδιαίτερα στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Η χρήση τους στις ΗΠΑ ενδιαφέρθηκε φαινομενικά για τον περιορισμό της θερμότητας, με την ιδέα της μείωσης των κλιματιστικών. Αυτό είχε περιορισμένη αξιοπιστία στα περισσότερα γεωγραφικά πλάτη των ΗΠΑ, ακόμη και σε αυτό που αντιστοιχεί στην περιοχή της Ν.Υόρκης.



1. **The Seagram Building, Park Avenue, New York, 1954-8, του Mies van der Rohe.** Η επιλογή σεληνίου δίνει το ρόδινο-γκρίζο-μπρούτζινο γυαλί για το κτήριο Seagram, η οποία είναι ουσιαστικά μια συνακόλουθη απόχρωση του χρώματος του σκελετού. Το γυαλί έχει μια εξαιρετική ομορφιά και το χρώμα του ποικίλλει από την ώρα της ημέρας και την κατεύθυνση του ήλιου και εκμεταλλεύεται την ασάφεια του υλικού με ένα τρόπο πέρα από τη χρήση των ικανοτήτων ελέγχου των ακτίνων του ήλιου.
2. **Lever House, Park Avenue, New York, 1951-2, των Skidmore Owings and Merrill.** Μια πρόωρη αρχιτεκτονική χρήση του πράσινου γυαλιού που απορροφά θερμότητα.

Εντούτοις, πενήντα τρία τοις εκατό όλης της ηλιακής ενέργειας είναι στο ορατό φάσμα, και είναι εξ ορισμού αδύνατο να μειωθεί το κέρδος θερμότητας πολύ πέρα από πενήντα τοις εκατό χωρίς να έχει εντυπωσιακές επιπτώσεις στην ελαφριά μετάδοση. Στα νότια κλίματα με το έντονο φως να είναι ένα πρόβλημα, τα βαριά φύλλα θα μπορούσαν να είναι χρήσιμα, μόνο το καλοκαίρι όμως. Στη βόρεια Ευρώπη, με γεωγραφικά πλάτη μεταξύ 48 και 60 μοιρών, η χρήση του βαμμένου γυαλιού εμφανίστηκε σε περιορισμένο βαθμό λόγω της απώλειας φωτισμού. Τα μικρά οφέλη στον έλεγχο της θερμότητας το καλοκαίρι δεν υπερτερούσαν της απώλειας του φωτισμού, έδωσαν απλά θλιβερούς εσωτερικούς χώρους. Το βαμμένο γυαλί σε αυτά τα κτήρια ήταν στην πραγματικότητα ένα γοητευτικό «περιτύλιγμα», το οποίο έχασε την αίγλη του μόλις συνειδητοποιήθηκαν οι ανεπάρκειές του.

Το πρόβλημα εδώ ήταν ουσιαστικά ότι το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας για να μειωθεί η θερμότητα μετάδοσης, γινόταν από το οξείδιο σιδήρου. Τα

άλλα υλικά έτειναν συνήθως να έχουν επιπτώσεις στη μετάδοση στο ορατό φάσμα. Ενώ αυτό βοήθησε στην εξασθένηση της γενικής μετάδοσης, η μείωση του περιεχομένου του φωτός ήταν ένας ανεπαρκής τρόπος ελέγχου της θερμότητας, ενώ ο φωτισμός ήταν προτεραιότητα.

Ο δεύτερος λόγος για τη σύντομη ζωή του βαμμένου γυαλιού ήταν η εφεύρεση της «διαδικασίας επιπλεόντων σωμάτων», η οποία έχει ήδη περιγραφεί. Αυτή η διαδικασία, που αναπτύχθηκε από τον Pilkington στην Αγγλία από το 1952 και μετά, ήταν η μέγιστη εφεύρεση στην ιστορία κατασκευής επίπεδου γυαλιού, ενώ αποτέλεσε το τέλος της ιδέας του σώματο-βαψίματος. Ενώ το επίπεδο βαμμένο γυαλί μπόρεσε να παραχθεί σε μικρές ποσότητες από ουσιαστικά οποιοδήποτε μίγμα που επιδιώχτηκε από τον κατασκευαστή, τον αρχιτέκτονα ή τον πελάτη, στη διαδικασία «επιπλεόντων σωμάτων» για να αλλάξει το χρώμα και να εξασφαλιστεί ενιαίος τόπος χρειάζονται τρεις ημέρες, ώστε να παραχθεί ομοιογένεια στο μίγμα, από το οποίο προκύπτουν ταυτόχρονα αρκετά απόβλητα.

Η κατασκευαστική απάντηση σε αυτό ήταν να περιοριστεί η διαθεσιμότητα χρώματος, αφιερώνοντας συχνά μια γραμμή επιπλεόντων σωμάτων σε κάθε χρώμα. Η αγορά μελετήθηκε επιμελώς για να εξακριβωθεί εάν ένας ιδιαίτερος τόπος χρησιμοποιούταν περισσότερο από κάποιον άλλο, ώστε να προωθηθεί η παραγωγή του.

Εκτός από το πρόβλημα της απόχρωσης, οι κατασκευαστές είχαν ένα τεράστιο πρόβλημα από την άποψη της αντικατάστασης: ένα σπασμένο βαμμένο παράθυρο απαιτεί την αντικατάσταση από τον ίδιο ακριβώς τόνο και τα προβλήματα εφοδιασμού και κατασκευής των μεγάλων σειρών αποδείχθηκαν αξεπέραστα.

Έτσι, με την εγγενή ανεπάρκειά τους από την άποψη της μετάδοσης φωτός και θερμότητας, με τους σκοτεινούς εσωτερικούς χώρους και τους περιορισμούς των παλετών που εφαρμόζονταν από τους κατασκευαστές, δεν είναι αξιοπερίεργο το γεγονός ότι τα βαμμένα γυάλινα κτήρια γυαλιού δεν παρέμειναν για πολύ στη μόδα στη βόρεια Ευρώπη.

Αυτό δε σημαίνει ότι δεν έχουν κατασκευαστεί εξαιρετικά επιτυχή κτήρια που χρησιμοποιούν τα βαμμένα γυαλιά, αλλά απλά, ότι οι αρχιτέκτονες δεν έχουν ακόμη εξοικειωθεί επαρκώς με τα διαθέσιμα δομικά υλικά μετάδοσης του φωτός.

Οι ουσιαστικοί λόγοι πίσω από τις δυσκολίες εφαρμογής των τελευταίων, βρίσκονται στην αποτυχία των «απαίδευτων» αρχιτεκτόνων να κατανοήσουν τη φυσική της μετάδοσης του φωτός, καθώς και την πολυπλοκότητα των νέων γενεών τροποποιημένων υλικών μετάδοσης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα εμπορικά προβλήματα του γυαλιού, οι πάντα πολυμήχανοι και εφευρετικοί κατασκευαστές βρήκαν γρήγορα τρόπους για



την απόδοση της μετάδοσης, χωρίς να πειράζουν το λειωμένο μέταλλο που προκύπτει κατά τη διαδικασία παραγωγής γυαλιού. Ανέπτυξαν τεχνικές διαμόρφωσης μόνο για την επιφάνεια. Ως αποτέλεσμα αυτού ήταν η ανάπτυξη δύο μεθόδων επεξεργασίας επιφάνειας σε μια περίοδο μόνο μερικών ετών. Η πρώτη ονομάστηκε Spectra float και πραγματοποιήθηκε με την οδήγηση ιόντων μετάλλων στην επιφάνεια του λειωμένου γυαλιού, χρησιμοποιώντας μια ηλεκτρεγερτική δύναμη. Το γυαλί που προέκυψε είχε όμως βραχυπρόθεσμη επιτυχία.

Ένα δεύτερο προϊόν, γνωστό ως Reflectafloat, δημιουργήθηκε μερικά έτη αργότερα με διαφοροποιημένη διαδικασία. Το αέριο υδριδίων πυριτίου γνωστό ως υδρογονούχο πυρίτιο, κατευθύνθηκε προς την κορδέλα επιπλέοντων σωμάτων, όπου αποσυντέθηκε σε πυρίτιο. Αυτό το στρώμα επιφάνειας είναι ασημένιο στην αντανάκλαση και μπρούτζινο στην απόχρωση.

Η διαδικασία είναι ακόμα σε εξέλιξη και χρησιμοποιείται για να ντύσει τα σώματα - βαμμένα γυαλιά προς εφαρμογή σε θερμότερα κλίματα.

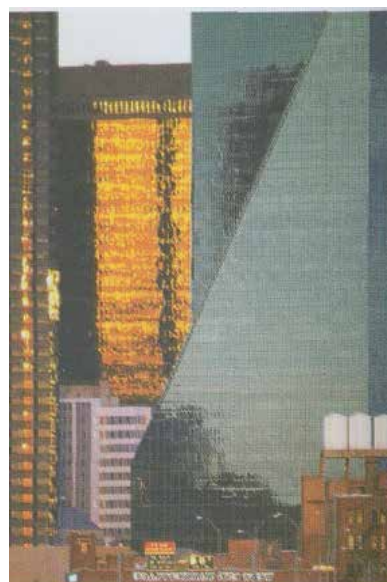
Η συγκριτική αποτυχία αυτών των προϊόντων έγκειται εν μέρει στην ανεπάρκειά τους να πείσουν αρχιτέκτονες και ιδιοκτήτες κτιρίων για την απόδοση και την εμφάνισή τους, αλλά και σε μια νέα γενεά προϊόντων που άρχισε να κερδίζει έδαφος. Στη δεκαετία του '60 και του '70, τα «ντυμένα» γυαλιά άρχισαν να εμφανίζονται στην αγορά. Ξεκίνησαν χρησιμοποιούμενα κυρίως στα καυτά, ηλιόλουστα κλίματα. Τα επιστρώματα αποτελούσαν, με όρους απόδοσης, «ασπίδες ακτινοβολίας» που απομάκρυναν την ανεπιθύμητη ηλιακή ενέργεια. Οπτικά, ήταν παρατηρώντας τα εξωτερικά σαν καθρέπτες. Έτσι τα γυάλινα κτίρια «καθρέπτες» έγιναν σχεδόν μια κατηγορία αρχιτεκτονικής τυπολογίας.

Ο όρος «γυαλί- καθρέπτης» ήταν ενδεικτικός της οπτικής επίδρασης αυτών των νέων ντυμένων προϊόντων, ενώ ταυτόχρονα μας υπενθυμίζει τη μακροχρόνια ιστορία του επιστρώματος ως τεχνολογία. Η παραγωγή καθρεπτών είναι μια παλαιότατη διαδικασία, που κατεχόταν από τους Βενετούς, οι οποίοι και αύξησαν τις απαιτήσεις στην παραγωγή γυαλιού στους τομείς της λειότητας και της καθαρότητας: μόνο το καλύτερο γυαλί θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τους καθρέπτες.

Η πρώιμη κατασκευή καθρέπτη δινόταν ουσιαστικά με μια τεχνική επιστρώματος, χρησιμοποιώντας το ασήμι, οπότε και το προϊόν ήταν αδιαφανές.



1.



2.

1. Το κτίριο Hyatt regency στο Ντάλας σε αυξημένη ηλιοφάνεια.

2. Η γραμμή του ορίζοντα στο Ντάλας σε ηλιοβασίλεμα .

Η εξέλιξη των αντανάκλαστικών επιστρωμάτων για τα κτήρια έχει εμφανιστεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων 25 ετών. Η επιθετική ηλιακή ακτινοβολία στο Ντάλας, που στους 33 βαθμούς αντιστοιχεί στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος με τη μεσογειακή ακτή της βόρειας Αφρικής, καθιστά αναγκαίο το ανάλογο προστατευτικό κάλυμμα ακτινοβολίας μέσω της αντανάκλασης.

Το τελευταίο τέταρτο του εικοστού αιώνα εντούτοις, έχει φέρει μια σειρά τεχνικών, από τις οποίες προκύπτουν υλικά τόσο λεπτά σε πάχος, που η εγγενής αδιαφάνειά τους έχει μεταβληθεί σε διαφανή, λόγω της παρουσίας λίγων μόνο ατόμων ικανών να απορροφήσουν τα φωτόνια. Με τη πάροδο του χρόνου στις δεκαετίες του '70 και του '80, οι τεχνολογίες αναπτύχθηκαν σε τέτοιο βαθμό που επέτρεψαν στους κατασκευαστές να παράγουν ακόμη λεπτότερα στρώματα. Η απόδοση και η εμφάνιση σχεδόν εξ ολοκλήρου οδηγήθηκαν από τις αγοραστικές ανάγκες, παρά από την απαίτηση υψηλής ποιότητας.

Τα οπτικά κριτήρια, καθώς και αυτά της απόδοσης, βασίστηκαν στην ανάγκη για μη διαστρεβλωμένη φασματική μετάδοση, στην αντανάκλαση της ανεπιθύμητης ηλιακής ενέργειας και στην ουδέτερη τονική εμφάνιση από το εξωτερικό (έτσι ώστε οι αντανάκλασεις να είναι χρωματισμένες σωστά). Έτσι μπήκαν στη παραγωγή πολλά από τα πρόσφατα διαθέσιμα προϊόντα, τα οποία βασίστηκαν στα μέταλλα ή τα μεταλλικά οξειδία. Τα σχετικά μέταλλα, επιλεγμένα όχι μόνο για την απόδοση και το χρώμα τους, αλλά και λόγω της σταθερότητας στο γυάλινο υπόστρωμα, παρήγαγαν συχνά τα χρυσά, τα επιχαλκωμένα και τα μπλε που ήταν χαρακτηριστικά

του αντανεκλαστικού γυαλιού εκείνη την εποχή.

Η ανησυχία για τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα των λίγων προϊόντων διαθέσιμων από την Ευρώπη και τη Νότια Αφρική, που χρησιμοποιούσαν μέταλλα όπως το χρώμιο, που ήταν συγκριτικά ουδέτερα στη μετάδοση και την εμφάνιση, οδήγησαν στην επιλογή ενός αμερικανικού προϊόντος με πιο μακροπρόθεσμη εγγύηση παραγωγής.

Απ' αυτή τη περίοδο και μετά η τεχνολογία προχώρησε στην ανάπτυξη των λεπτών ταινιών. Η εφαρμογή ήταν αποτέλεσμα συμφωνίας δύο επιρροών: η πρώτη ήταν η ανάπτυξη των τεχνικών που επέτρεψε την παραγωγή ολοένα λεπτότερων στρωμάτων. Τα πρώτα αρχιτεκτονικά προϊόντα επιχρίστηκαν με ταινίες που κάθε άλλο παρά λεπτές θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν: έναντι των επιστρωμάτων που εφαρμόστηκαν σε έναν φακό φωτογραφικών μηχανών παραδείγματος χάριν, ήταν σχεδόν επικονιασμένες επάνω στο γυαλί. Αυτό είχε ως επίδραση, λαμβάνοντας υπόψη τη μεταλλική φύση τους, οι επικολλημένες ταινίες να γίνουν καθρέπτες. Περιορίστηκε επίσης ο αριθμός επιστρωμάτων που θα μπορούσε να εφαρμοστεί. Πρέπει να αναφερθεί ότι οι κατασκευαστές των αρχιτεκτονικών προϊόντων είχαν λιγότερη ελευθερία με την απόδοση των επιστρωμάτων τους, από τους κατασκευαστές φακών φωτογραφικών μηχανών που δεν τους ενδιέφερε η εμφάνιση των φακών τους στην αντανάκλαση: η χαρακτηριστική «ακμή» σε έναν φακό δεν είναι αποδεκτή σε μια συμβατική εφαρμογή τοποθέτησης υαλοπινάκων.

Η δεύτερη επιρροή ήταν η συνειδητοποίηση ότι η απόδοση πρέπει να οδηγεί το προϊόν και όχι το αντίθετο. Η εκτίμηση των φακών φωτογραφικών μηχανών είναι ένας δείκτης της απόδοσης, επειδή η απόδοση η ίδια είναι κρίσιμη. Ο πρώτος μεταπολεμικός οδηγός κατέδειξε την ανησυχία του κατασκευαστή φακών για τη μετάδοση, χωρίς να λαμβάνεται υπόψιν και η ανησυχία του κατασκευαστή επίπεδου γυαλιού για αρκετές δεκαετίες.

Μια σύγχρονη διαδικασία για να βελτιωθεί η απόδοση ενός φακού απαιτεί την εφαρμογή μιας μικροσκοπικά λεπτής επίστρωσης ανόργανης ουσίας στις επιφάνειες. Αυτό μειώνει αρκετά τις αντανεκλάσεις στις ενδιάμεσες επιφάνειες του φακού. Σε ένα φακό η απώλεια φωτός λόγω της αντανάκλασης της επιφάνειας είναι περίπου 35%, το οποίο μπορεί να μειωθεί από το επίστρωμα σε περίπου 5%. Εκτός από το κέρδος στην ταχύτητα του φακού το σπουδαιότερο είναι ότι η διασπορά φωτός που εξασθενεί την αντίθεση της εικόνας αποβάλλεται, παράγοντας λαμπρότερο ένα αρνητικό.

Η σημασία των ιδεών που εκφράστηκαν στη παραπάνω δήλωση έχει παραμείνει σε όσους έχουν εργαστεί με τα ντυμένα γυαλιά κατά τη διάρκεια των τελευταίων είκοσι χρόνων. Όσο αντιλαμβανόμαστε τη σημασία της

απόδοσης των γυαλιών και όσο η τεχνολογία που έχουμε αναπτύσσεται, τόσο η αποτελεσματικότητα της τοποθέτησης υαλοπινάκων βελτιώνεται. Ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο στόχος του επιστρώματος φακών να αυξήσει την ελαφριά μετάδοση, μια ζωτικής σημασίας ιδιότητα απόδοσης σε ένα σύστημα φακών.

Ίσως οι σημαντικότερες πρόσφατες εφαρμογές αυτών των δύο επιρροών, της βελτιωμένης τεχνικής και της συνειδητοποιημένης απόδοσης, είναι αντίστοιχα η τεχνολογία επίχρισης και η κατανόηση της ικανότητας χαμηλών συχνοτήτων της ακτινοβολίας. Η επίχριση επιτρέπει στα επιστρώματα να εφαρμοστούν τόσο αραιά, ώστε κανένα από αυτά να μη φαίνεται. Ο αριθμός ορατών φωτονίων που απορροφώνται με μια τέτοια τεχνική, με την οποία πολλές λεπτές ταινίες μπορεί να τοποθετηθούν η μια πάνω στην άλλη με πάχος χιλιοστών του χιλιοστού, είναι τόσο μικρός αλλά ο παραγωγός μπορεί να την επιτύχει.

Η χαμηλή εκπομπή ακτινοβολίας είναι μια τυπική ιδιότητα, λόγω της οποίας συγκεκριμένα οξειδία ή μέταλλα που χρησιμοποιούνται στις λεπτές ταινίες, παράγουν πολύ χαμηλή εκπομπή ακτινοβολίας. Αυτό σημαίνει ότι ένα γυαλί χαμηλής συχνότητας (Low-E) που θερμαίνεται από το εσωτερικό ενός δωματίου, μπορεί να αναχαιτίσει την εκπομπή ακτινοβολίας προς τα έξω, με την επένδυση της εξωτερικής επιφάνειας του με μια ταινία Low-E. Οι μονάδες με διπλό τζάμι που χρησιμοποιούν το γυαλί Low-E μειώνουν τις χαρακτηριστικές τιμές σε 1,9 W/°C ή παρακάτω. Το γεγονός ότι η ικανότητα ακτινοβολίας και αντανάκλασης είναι αντιστρόφως ανάλογες, παρέχει ως έναν βαθμό προστασία από το ηλιακό φως, αν και η εκτίμηση περιπλέκεται από τη συμπεριφορά των μικροκυμάτων και των μακροκυμάτων ακτινοβολίας. Τα επιστρώματα Low-E παράγονται ήδη σε διάφορες εκδόσεις. Τα επιστρώματα οξειδίων κασσίτερου (οξειδία ασήμι-κασσίτερου) μπορούν να είναι συνολικά διαφανή στην ακτινοβολία μικροκύματος, ή μπορούν να πυκνώσουν το ασημένιο στρώμα για να αντανakλούν ένα ποσοστό και ορατής και υπέρυθρης ακτινοβολίας, δίνοντας το Low-E και τον ηλιακό έλεγχο σε ένα επίστρωμα. Άλλο επίστρωμα περιλαμβάνει οξειδίο του φθορίου, το οποίο είναι σκληρότερο από την ψεκασμένη έκδοση οξειδίων κασσίτερου. Αυτά τα νέα γυαλιά Low-E είναι σημαντικές προσθήκες στην παλέτα γυαλιού.

Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μορφές επένδυσης, διαθέσιμες καθώς προχωρούμε προς το τέλος του εικοστού αιώνα, και το πραγματικό πλεονέκτημα σε όλες τους είναι ότι εφαρμόζονται ως δευτεροβάθμια διαδικασία στο γυαλί, επιτρέποντας στους κατασκευαστές να επικεντρωθούν στις άλλες λειτουργίες τήξης λειωμένων μετάλλων, αφήνοντας στην επίστρωση την ευθύνη της απόδοσης μετάδοσης

(όπως στη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος).

Οι επιχειρήσεις παραγωγής ειδικού επιστρώματος που εργάζονται στο φωτισμό και οι οπτικές βιομηχανίες παράγουν τώρα ντυμένα γυαλιά με μια ορισμένη διαδικασία εξάτμισης, καθώς και άλλες τεχνικές, στις οποίες μέχρι σαράντα ή περισσότερα στρώματα 50 NM σε πάχος, τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο ως στρώματα παρέμβασης στα διχροϊκά προϊόντα, στα οποία η αντανάκλαση και η μετάδοση είναι κατάλληλα σχεδιασμένες. Αν και τα σκληρά επιστρώματα είναι ευρέως διαδεδομένα, όλα τα επιστρώματα γενικότερα πάσχουν σε άλλοτε διαφορετικό βαθμό επειδή είναι τρωτά στη ζημία, οπότε είναι προτιμότερο να εφαρμόζονται στην πλευρά ενός γυαλιού που θα προστατευθεί σε μια κοιλότητα. Εντούτοις, κατάλληλα προσαρμοσμένα για τη χρήση στα κτήρια, αυτά τα προϊόντα θα μπορούσαν να μετασχηματίσουν την αποδοτικότητα της τοποθέτησης υαλοπινάκων στην αρχιτεκτονική και είναι η βάση αυτού που λέγεται «έξυπνο παράθυρο», το παράθυρο του μέλλοντος.

## **η αναπτυσσόμενη τεχνοτροπία**

Τα τελευταία είκοσι έως τριάντα χρόνια έχουν δει μια δραματική αλλαγή στο τρόπο με τον οποίο οι αρχιτέκτονες, οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές αντιμετωπίζουν το γυαλί. Ενώ είναι αλήθεια ότι το επίπεδο γυαλί που χρησιμοποιείται συχνότερα είναι ακόμα στην απλούστερη μορφή του (μονά φύλλα σε απλές εγκαταστάσεις), η αυξανόμενη «εκλέπτυνση» της αγοράς, καθώς και οι εξελίξεις στο γυαλί και τις σχετικές τεχνολογίες, έχουν οδηγήσει στον πολλαπλασιασμό των τεχνικών για να ενισχυθεί η απόδοση.

Το επίπεδο γυαλί δεν είναι η μόνη μορφή του υλικού που ασκεί σημαντική επίδραση στην αρχιτεκτονική. Οι νέες τεχνολογίες έχουν δημιουργήσει μια πλούσια και επεκτεινόμενη τεχνοτροπία.

Η βιομηχανία παραγωγής γυαλιού «κλέβει» πλέον την τεχνοτροπία από άλλες βιομηχανίες, των οποίων το χημικό περιεχόμενο και η μορφή των προϊόντων διαφέρει, αλλά παρέχουν μια πλούσια πηγή ιδεών για την αρχιτεκτονική: εναλλακτικά υλικά, διαφανή και ημιδιαφανή πολυμερή που έχουν έρθει να συμπληρώσουν το γυαλί, παρέχοντας άπειρους συνδυασμούς υλικών.

## **επεξεργασίες γυαλιού**

Ευτυχώς για τον κατασκευαστή γυαλιού, η δημιουργία επίπεδου ανοπτημένου προϊόντος δεν είναι το τέλος του θέματος. Όπως τα περισσότερα υλικά, το γυαλί μπορεί να επεξεργαστεί για να τροποποιήσει

και να αναπτύξει τα χαρακτηριστικά του. Αυτές οι δευτεροβάθμιες διαδικασίες μπορούν να αποβούν θεμελιώδεις στην αποτελεσματικότητα του υλικού.

Η σημαντικότερη από αυτές είναι η ενίσχυση θερμότητας, που ονομάζεται και σκλήρυνση. Στην Αγγλία, η διαδικασία ενίσχυσης θερμότητας χρησιμοποιείται για να παράγει γυαλιά δύο έως τρεις φορές ισχυρότερα από τα ανοπτημένα προϊόντα. Μεγαλύτερη σημασία όμως σ' αυτή τη διαδικασία είναι το γεγονός ότι το θερμοενισχυμένο γυαλί σπάει όπως το ανεπεξέργαστο και δε μπορεί να θεωρηθεί ως ασφαλές προϊόν.

Η ανακάλυψη ότι η αύξηση της θερμοκρασίας και εν συνεχεία η αιφνίδια πτώση της θα μπορούσε να αλλάξει τη φύση του γυαλιού δεν ήταν νέο, όταν τελειοποιήθηκε τελικά στο τέλος του 1920. Εντούτοις, η ανάπτυξη της τεχνικής από τότε έχει προχωρήσει πολύ στην υπερνίκηση των προβλημάτων της δύναμης του γυαλιού και έχει συμβάλει στις νέες μορφές του. Όπως τόσες πολλές τεχνικές στην κατασκευή γυαλιού, η μέθοδος της σκλήρυνσης είναι απλούστατη και αποτελεσματική. Το ανοπτημένο γυαλί θερμαίνεται μέχρι τους 625°C περίπου και μετά ψύχεται γρήγορα και προσεκτικά. Αυτή η ψύξη, που μπορεί να εφαρμοστεί μόνο στην επιφάνεια, αρχικά δημιουργεί ένταση στην τελευταία, δεδομένου ότι προσπαθεί να συνενωθεί με το ακόμη καυτό εσωτερικό του γυαλιού. Κατόπιν, καθώς το εσωτερικό του γυαλιού παγώνει, τραβά την επιφάνεια σε συμπίεση.

Η διαφορετική ψύξη μεταξύ εσωτερικού και επιφάνειας, δημιουργεί ένταση και στο εσωτερικό, δεδομένου ότι η ακαμψία της ήδη παγωμένης επιφάνειας αντιστέκεται στην εκτόνωση της ψυχόμενης κεντρικής ζώνης του γυαλιού. Αυτές οι συνδυασμένες ενέργειες παράγουν υλικό μέχρι πέντε φορές ανθεκτικότερο από το ανοπτημένο γυαλί.

Ως αποτέλεσμα της πολυπλοκότητας των πιέσεων εμφανίζεται μια σημαντική δευτερογενής παρενέργεια: η αποτυχία οδηγεί σε πολλαπλάσιες ρωγμές που διακλαδίζονται λόγω της απελευθέρωσης της ελαστικής ενέργειας, και το γυαλί σπάει σε κομμάτια. Πρόσφατα, τα προβλήματα των ατελειών του γυαλιού, όπως π.χ. ο συνυπολογισμός σουλφιδίου του νικελίου, που οδηγούσαν σε δραματική αποτυχία, έχουν πλέον υπερνικηθεί ουσιαστικά με τη διαδικασία της ενίσχυσης θερμότητας, η οποία εξασφαλίζει ότι το «μολυσμένο» υλικό δεν φθάνει στην αγορά.

Από την εμπορική ανάπτυξη του στη δεκαετία του '20, το γυαλί έχει γίνει ένα υλικό μεγάλης σπουδαιότητας στη δημιουργία «μονταρίσματος» γυαλιών μεγάλης κλίμακας και οι υαλοπίνακες είναι πια κοινός τόπος, παρά το γεγονός ότι το γυαλί δεν μπορεί να επεξεργαστεί ή να τρυπηθεί με τρυπάνι μετά τη σκλήρυνση.

Η ιδέα της θέρμανσης του γυαλιού για να αλλάξει το χαρακτήρα του

δεν έχει περιορισμούς στην ενίσχυση. Το ζεσταμένο και μαλακωμένο γυαλί έχει πλαστικότητα και μπορεί να κάμπτεται διαρκώς για να υιοθετήσει απλές μορφές ή ακόμα και (σε έναν μικρότερο βαθμό) τη διπλή κυρτότητα. Από τα κυρτωμένα γυάλινα παράθυρα στην αεροδυναμική έως ένα αλεξήνεμο παράθυρο λεωφορείου, η κάμψη του γυαλιού έχει γίνει μια σημαντική διαδικασία, ιδιαίτερα στην κατασκευή οχημάτων. Είναι αδύνατο να σκεφτεί κανείς τα αυτοκίνητα στο τέλος του εικοστού αιώνα χωρίς το όφελος του κυρτού γυαλιού στη διατήρηση των γραμμών του οχήματος. Δεδομένου ότι η γρήγορη ψύξη του θερμαμένου και κυρτού υλικού παράγει αυτόματα τη θερμότητα που ενισχύει ή που σκληραίνει, ανάλογα με το ποσοστό ψύξης, και την παραγωγή ενός σχετικά ασφαλούς υλικού, τα οφέλη είναι τριπλάσια. Ένα πολύ καλό παράδειγμα μπορεί να φανεί στο γιοτ ECO, το οποίο καταδεικνύει τη δυνατότητα για διπλή κυρτότητα και τη σκλήρυνση σε μια μονάδα με μια περίμετρο 1.600 χιλ., χρησιμοποιώντας γυαλί 19 χιλ. παχύ.



Η κυρτότητα, μαζί με τη μεγάλη αντοχή, που προέρχεται από τη θερμική επεξεργασία, είναι τώρα μέρος της λειτουργίας αλλά και της αισθητικής των οχημάτων, όπως αυτό το λεωφορείο της Mercedes.

Η διπλή κυρτότητα στο γιοτ Eco, από τους Francis και Francis, οφείλει αναμφίβολα κάτι στην πείρα που αναπτύχθηκε από το Martin Francis ως σχεδιαστή του συστήματος γυαλιού στο Willis Faber & Dumas .



Η θερμική σκλήρυνση δεν είναι ο μόνος διαθέσιμος τρόπος να αυξηθεί η

αντοχή του γυαλιού. Η χημική ενίσχυση περιλαμβάνει την ιονική ανταλλαγή που προκαλείται σε επιφάνεια γυαλιού, με τη θέρμανση νατρίου σε ένα λειωμένο άλας καλίου ή λιθίου. Και τα δύο αυτά άλατα έχουν μεγαλύτερα ιόντα από εκείνα του νατρίου. Αυτά τα μεγαλύτερα ιόντα αλλάζουν τις θέσεις τους με τα μικρότερα αντίστοιχα του νατρίου, προκαλώντας αποτελεσματικά συμπίεση της επιφάνειας. Με μια ζώνη ανταλλαγής 0.1χιλ. η δύναμη του προκύπτοντος υλικού μπορεί να αυξηθεί μέχρι πέντε ή έξι φορές. Τα χημικά ενισχυμένα γυαλιά χρησιμοποιούνται στα αεροσκάφη και τις βιομηχανίες φωτισμού και για τη σκλήρυνση των οφθαλμικών φακών.

Η διαφάνεια όπως και η αντοχή μπορεί να τροποποιηθεί από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία. Η τέλεια διαφάνεια δεν είναι αυτή που απαιτείται πάντα σε ένα γυαλί και η συγκάλυψη είναι συχνά μια κοινή απαίτηση. Η χαρακτηριστική που χρησιμοποιεί το υδροφθορικό οξύ όπως και η αμμοβολή, είναι δύο τρόποι με τους οποίους μπορούν να παραχθούν όμορφες διασκορπισμένες επιφάνειες.

Τέλος, η ιδέα της επίστρωσης γυαλιού δεν είναι τόσο πολύ μια επεξεργασία - προσθήκη, και συζητείται ανωτέρω η σχέση της με τον πρωταρχικό της ρόλο να τροποποιεί τη μετάδοση. Πρέπει επίσης να αναφερθεί μια τεχνική γνωστή ως «παροσυσσωμάτωση» στην οποία ειδικά κεραμικά χρώματα εφαρμόζονται σε ένα σχέδιο στο γυαλί, συχνά με την τεχνική της μεταξοτυπίας, η οποία ακολουθεί την αρχαία επιδεξιότητα της σπινθηροβόλησης, που έχει εξυπηρετήσει τους υαλοκατασκευαστές για πολύ καιρό.

## **εναλλακτικά υλικά**

Το γυαλί μας εξυπηρετεί, με περισσότερους από έναν τρόπους, με τη διαφάνειά του. Όχι μόνο μπορεί και διαπερνά το φως από μια επιφάνεια σε άλλη, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να διαβιβάσει τα σήματα από μια πλευρά του πλανήτη στην άλλη με την ταχύτητα του φωτός. Αυτή η ποιότητα της διαφάνειας δεν είναι περιορισμένη στο γυαλί, αλλά συναντάτε και σε άλλα υλικά που παρέχουν διαφάνεια, μερικές φορές από μόνα τους και άλλες συνδυασμένα με το γυαλί. Η δυνατότητα για τα πλαστικά σαν συμπληρώματα στο γυαλί είναι μεγάλη. Τα πλαστικά είναι υλικά του εικοστού αιώνα και τα καθαρά πλαστικά οφείλουν την προέλευσή τους στις εξελίξεις στις αρχές του αιώνα. Οι τελευταίες εξελίξεις στη βιομηχανία των πολυμερών μας έχουν δώσει τέσσερα κύρια διαφανή πλαστικά χρησιμοποιήσιμα στην οικοδόμηση: το ακρυλικό (PMMA), το πολυβινύλιο - χλωρίδιο (PVC), το πολυστυρόλιο και τον πολυάνθρακα. Όλα αυτά τα υλικά μοιράζονται την κοινή εσωτερική δομή των πλαστικών, την ύπαρξη



πολυμερών αλυσίδων, που προέρχονται συχνά από τους υδρογονάνθρακες. Μοιράζονται επίσης κοινές ιδιότητες, του χαμηλού βάρους και της εύκολης μορφοποίησης. Οι πυκνότητες των τεσσάρων υλικών είναι μεταξύ 1.100 και 1.400 kg/m<sup>3</sup>, με βαρύτερο το PVC, το πολυστυρόλιο ελαφρύτερο, ενώ το PMMA και ο πολυάνθρακας παρουσιάζουν σχεδόν ίδια πυκνότητα της τάξης των 1.200 kg/m<sup>3</sup>, περίπου τη μισή από εκείνη του soda-lime γυαλιού, που είναι 2.500 kg/m<sup>3</sup>. Οι ιδιότητες των πλαστικών επεκτείνονται και όσον αφορά στη συμπεριφορά τους όταν αλληλεπιδρούν με το φως, είναι ίδιες σχεδόν με των γυαλιών. Ο διαθλαστικός δείκτης του καθαρού PMMA είναι 1,49 και αυτός του καθαρού πολυάνθρακα 1,58, έναντι 1,52 για το γυαλί. Οι ιδιότητες του PMMA και του πολυάνθρακα έχουν οδηγήσει στο να είναι τα προτιμώμενα πλαστικά υλικά για τους αρχιτέκτονες, με τη συγκριτικά υψηλή ευκαμπτότητά τους, την αντοχή και την αντίστασή τους στην αλλοίωση του χρώματος. Γι' αυτούς τους λόγους, αυτά μόνο ανταγωνίζονται το γυαλί σαν υλικά που χρησιμοποιούνται αυτούσια σε περιορισμένες εγκαταστάσεις. Οι μέγιστες θερμοκρασίες επεξεργασίας τους (80 - 90°C για το PMMA και 120 - 135°C για τον πολυάνθρακα) είναι επαρκείς για να εξυπηρετήσουν τους σκοπούς χρήσης στα κτήρια, και είναι αρκετά ισχυρή η εφελκυστική δύναμη του PMMA, μεταξύ 55 και 75 N/mm<sup>2</sup>, όπως και του πολυάνθρακα, στα 62.5 N/mm<sup>2</sup>. Οι συντελεστές θερμικής επέκτασής τους είναι περίπου 70 X 10<sup>-6</sup> / °C, 20% επιπλέον από το γυαλί.

Τα προβλήματα με τα πλαστικά, ιδιαίτερα τα καθαρά, για τους αρχιτέκτονες είναι η χαρακτηριστική έλλειψή τους σε σκληρότητα και διάρκεια σε σύγκριση με το γυαλί. Ενώ οι κατασκευαστές των καθαρών πλαστικών μπορούν να υποστηρίξουν ότι τα προϊόντα τους είναι επιτυχή σε ισχύ για είκοσι πέντε χρόνια ή περισσότερο, αυτό δεν συγκρίνεται με τη διαπιστωμένη μακροζωία ενός παραθύρου γυαλιού. Ο κατασκευαστής πλαστικών θα υποστήριζε, με κάποια αιτιολόγηση, ότι η ίδια η ηλικία της βιομηχανίας πλαστικών δεν έχει δώσει το χρόνο να αποδειχθεί κάτι τέτοιο. Εντούτοις, η χημική φύση τους οδηγεί στην ανησυχία σχετικά με τη μακροπρόθεσμη διάρκεια και τη συντήρηση των ιδιοτήτων τους, ειδικά εκείνων της ευθραυστότητας και του χρώματος. Επίσης, η εγγενής ευπλαστότητά τους έναντι του γυαλιού, σημαίνει ότι πρέπει να εξεταστούν και να διατηρηθούν με έναν προσεκτικότερο τρόπο. Τα επιστρώματα έχουν ενισχύσει αρκετά την αντίσταση στο γρατζούνισμα, αλλά λίγα υλικά μπορούν να ανταγωνιστούν τη σκληρότητα του γυαλιού. Εντούτοις, η ευελιξία, η έλλειψη ευθραυστότητας των πλαστικών έχουν οδηγήσει στο να πάρουν μια θέση στην αρχιτεκτονική, όπου η φωτεινότητα, η πλαστικότητα και η χαμηλή θερμική αγωγιμότητά τους έχουν το πρώτο ρόλο.



Το διακινούμενο περίπτερο της IBM, 1982-6, των Renzo Piano Building Workshop και Peter Rice. Η ανάπτυξη των διαφανών πλαστικών έχει δώσει μια νέα τεχνοτροπία στην αρχιτεκτονική. Όταν αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται ως ψεύτικες αντικαταστάσεις αποδεικνύονται συχνά ανεπαρκή. Όταν χρησιμοποιούνται στην πλήρη δυνατότητά τους, ως εύμορφα και ελαφρά φύλλα που διαβιβάζουν το φως, αποδίδουν ένα ολόκληρο νέο «λεξιλόγιο» σχημάτων.

## Σύνθετα πολυμερή

Η άφιξη στην αρχιτεκτονική σκηνή των εναλλακτικών υλικών είναι σημαντική, όχι τόσο επειδή έχουν την ικανότητα να αντικαταστήσουν το γυαλί, αλλά εξαιτίας της δυνατότητά τους να συνδυαστούν με αυτό. Οι ευφυείς συνδυασμοί των υλικών είναι αυτοί που έχουν προωθήσει το αρχιτεκτονικό σχέδιο στα σημερινά επίπεδα.

Ο μέγιστος ιστορικός υπερασπιστής της αρχιτεκτονικής γυαλιού, ο Paul Scheebart, συνειδητοποίησε ότι οι πλούσιοι συνδυασμοί του γυαλιού ήταν αυτοί που του έδωσαν την δύναμη και τη σημασία του.

Η χρήση όμως ακόμη και της πιο απλής σύνθεσης υαλοπινάκων παρουσιάζει στο σχεδιαστή τεράστια προβλήματα. Η δημιουργία ενός παραθύρου που αποτελείται από δύο πλάκες γυαλιού και μια κοιλότητα δημιουργεί αμέσως πρόβλημα με την ποιότητα του αέρα που εγκλωβίζεται στην κοιλότητα, από την άποψη διατήρησης της καθαρότητας και της ξηρότητας της τελευταίας. Ο υγρός, βρώμικος αέρας, είτε αυτός που καταλαμβάνει την κοιλότητα κατά την διάρκεια της κατασκευής, είτε εκείνος που διαρρέει αργότερα, δημιουργεί την υποβάθμιση της επιφάνειας λειτουργικά και αισθητικά, μέσω και της συμπύκνωσης.

Μια λύση είναι να καταστεί μια από τις πλάκες ανοιγόμενη, αλλά η συγκεκριμένη λύση είναι ακριβή και παρουσιάζει προβλήματα καθαρισμού. Η καταλληλότερη λύση είναι μια μονάδα γυαλιού προς γυαλί (με μια λιωμένη άκρη γυαλιού), ή ένα καλά σφραγισμένο σύστημα. Οι μονάδες γυαλιού προς γυαλί εφευρέθηκαν από τον Pilkington στη δεκαετία του '60 και '70, αλλά τα προβλήματα μεγέθους, διευθέτησης και εφοδιασμού, έγειραν υπέρ της σφραγισμένης μονάδας που γνωρίζουμε σήμερα. Ακόμη και αυτή όμως, είναι δύσκολο να παραχθεί.

Σχετικά πρόσφατα, στην τελευταία δεκαετία, η σφραγισμένη μονάδα δίδεται ως σταθερό σύστημα, μέσω ενός ξηραντικού μέσου που απομακρύνει τον αέρα, καθιστώντας τη αεροστεγή. Η αποτυχία μιας τέτοιας μονάδας οφείλεται στον υγρό βρώμικο αέρα που μπαίνει κατά τη διαδικασία της σφράγισης, και είναι ένας επαναλαμβανόμενος εφιάλτης των κατασκευαστών και των σχεδιαστών. Εντούτοις, η δημιουργία των σχετικά καλά σφραγισμένων μονάδων έχει ενισχύσει την τοποθέτηση υαλοπινάκων. Μια ξηρή, καθαρή, προστατευμένη κοιλότητα επιτρέπει τη χρήση των συγκριτικά λεπτών ταινιών και άλλων οπτικών συστατικών, παρέχοντας επίσης ένα κάλυμμα θερμικής μόνωσης του αέρα.

Τα φύλλα πλαστικού αντιπροσωπεύουν μια σημαντική κατηγορία συστημάτων υαλοπινάκων. Το χρησιμοποιούμενο υλικό δεν είναι η ζελατίνη που αναφέρεται από τον Scheerbart το 1914, αλλά το πολυβινύλιο, που παρέχεται στην εύκαμπτη μορφή φύλλων σε ρολό. Το φύλλο τοποθετείται μεταξύ δύο πλακών γυαλιού, πιέζεται και αποστειρώνεται, μετατρέποντας το σε ένα σκληρό, καθαρό ή βαμμένο συγκολλητικό στρώμα, τη βάση του απαραβίαστου γυαλιού. Όταν γίνεται στο ανοπτημένο γυαλί, το στρώμα διατηρεί τη γεωμετρική ακεραιότητα του υαλοπίνακα στη θραύση, ένα τεράστιο πλεονέκτημα πέρα από το σκληρυμένο γυαλί. Όταν συνδυάζεται με ένα στρώμα γυαλιού (όπως σε μια γυάλινη στέγη) αυτή η ακεραιότητα είναι αναγκαία.

Άλλες εκδόσεις των φύλλων πλαστικού γυαλιού περιλαμβάνουν τις γεμισμένες με ρητίνη μονάδες, οι οποίες επιτρέπουν στα λιγότερο ομαλά συνδετικά φύλλα να συνενωθούν αποτελεσματικά.

Διάφοροι κατασκευαστές έχουν αναπτύξει την τοποθέτηση υαλοπινάκων διάχυσης, χρησιμοποιώντας ενδιάμεσα στρώματα ινών γυαλιού, ενώ τώρα υπάρχουν ορισμένα ενσωματούμενα μονωτικά συστήματα. Αυτά τα γυαλιά αποδίδουν υψηλή αντοχή καθώς και όμορφη διάχυση του φωτός.

Πρόσφατα, υγρά κρυστάλλινα ενδιάμεσα στρωματά διατέθηκαν στην αγορά, τα οποία μεταπηδούν, με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος από αδιαφανή σε διαφανή και αντίστροφα.



1. Κτίριο της Apple Computers, πάρκο Stockley , Λονδίνο, 1990, του Troughton McAslan. Αυτό το κτίριο χρησιμοποιεί ένα από τα πιο επιτυχή διαφανή προϊόντα μόνωσης, το Okalux, που δημιουργείται από μικρούς ακρυλικούς σωλήνες που διαμορφώνουν μια κυβελωτή σύνθεση κατά μήκος μιας κοιλότητας μεταξύ δύο φύλλων του γυαλιού, και ένα φύλλο ιστού ινών γυαλιού για εσωτερικό φύλλο, το οποίο αναιρεί την οπτική διαστρέβλωση και να παράγει διασκόρπιση του φωτός. Οι προηγμένες μορφές αυτού του συστήματος, που χρησιμοποιούν σωλήνες 3.5 mm, θεωρείται ότι παρέχουν μετάδοση ακτινοβολίας ογδόντα τοις εκατό..

2 Κιγκλίδωμα στο μουσείο ταχυδρομείων, Φρανκφούρτη, 1990, του Gunther Behnisch. Τα φύλλα πλαστικού παραμένουν συχνά κρυμμένα, παρέχοντας την ασφαλή και ήσυχη προστασία. Περιστασιακά εκτίθενται.



**Swanlea: σχολείο δευτεροβάθμιας εκπαίδευσης, Λονδίνο, 1993, των Percy Thomas Partnership. Το Okasolar, που χρησιμοποιείται εδώ στη στέγη, έχει αναπτυχθεί από τον ίδιο κατασκευαστή που δημιούργησε το Okalux. Η διαμόρφωση σε αυτό το σύστημα παρέχεται από τους προσεκτικά διαμορφωμένους κυρτούς αντανακλαστήρες μέσα σε διπλή μονάδα υαλοπινάκων, οι οποίοι ενεργούν ως καθρέπτες των ηλιακών σκιών. Εδώ, το σχέδιο κλίσης των στεγών και οι εσωτερικοί αντανακλαστήρες παρέχουν ηλιακή διείσδυση εξήντα δύο τοις εκατό για τον πολύ χαμηλής γωνίας χειμερινό ήλιο, αλλά μόνο είκοσι πέντε τοις εκατό κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.**

Μεταξύ της κοιλότητας ανάμεσα σε δύο φύλλα γυαλιού είναι ο τόπος όπου ενσωματώνονται τα υλικά διάθλασης στα συνδυασμένα συστήματα. Αυτά περιλαμβάνουν συνήθως ένα οπτικό σύστημα (που γίνεται συχνά από ακρυλικό για λόγους βάρους) στα φύλλα που τοποθετείται μεταξύ των δυο πλακών μιας μονάδας διπλού γυαλιού, η οποία παρέχει την απαραίτητη προστασία από τα στοιχεία της φύσης. Χρησιμοποιείται ένα ακριβές, από ακρυλικό, σχήμα για να επανακατευθύνει το φως από το μέρος της κάμαρας που φωτίζεται, στο πίσω αφώτιστο μέρος ενός δωματίου, χωρίς διαστρέβλωση εικόνας ή απώλεια φωτός.

Τα σύνθετα συστήματα αντιπροσωπεύουν τα υλικά του μέλλοντος. Όσο εξελιγμένα γυαλιά και να δημιουργηθούν στις επόμενες δεκαετίες, ένα απλό ενιαίο πλακάκι θα είναι αυτό που θα δημιουργήσει μια λεπτή μεμβράνη σαν φράγμα μεταξύ του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος. Με την ποικιλία των γυαλιών, των τεχνικών επεξεργασιών και των διαθέσιμων επιστρωμάτων σήμερα, ένας σχεδιαστής μπορεί πραγματικά να αρχίσει να χρησιμοποιεί το γυαλί ως πλούσια παλέτα, παρά ως έναν απλό μηχανισμό διαβίβασης φωτός που «κρατά τον καιρό έξω».

Είναι αναπόφευκτο, στα εύκρατα κλίματα, ότι πρέπει να αναπτύξουμε περίπλοκα σύνθετα συστήματα και τα όρια αυτών περιορίζονται μόνο από τη φαντασία μας και τους νόμους της φυσικής. Η υψηλή τεχνολογία στο γυαλί έχει μόλις αρχίζει.

Προτού εξετάσουμε το μέλλον του γυαλιού στην αρχιτεκτονική, εντούτοις, πρέπει να δούμε πώς οι αρχιτέκτονες από το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο και μετά έχουν εκμεταλλευτεί, και πως έχουν αποτύχει μερικές φορές να εκμεταλλευτούν, τα υλικά που παρέχει η βιομηχανία. Η ιστορία του γυαλιού στην αρχιτεκτονική, από το 1945, είναι ουσιαστικά μια ιστορία όπου οι αρχιτέκτονες προσπαθούν να προφτάσουν την πρόοδο που σημειώνεται από τους τεχνικούς, θεμελιώδης για την ανάπτυξη της αρχιτεκτονικής του εικοστού αιώνα. Το περιφρονημένο «γυάλινο κουτί» εξελίσσεται στον πλούσιο κατάλογο της δεκαετίας του '90 και μετά.

Ένα άμεσο αποτέλεσμα του ξεσπάσματος πολέμου στην Ευρώπη το 1939, ήταν ότι η δραστηριότητα του κτισίματος μαζί με τις περισσότερες άλλες μορφές ειρηνικής βιομηχανικής δραστηριότητας έπαψαν. Έτσι ο αρχιτεκτονικός σχεδιασμός απλά σταμάτησε. Εντούτοις, η Αμερική παρέμεινε αμέτοχη αρχικά, και ο Mies ήταν σε θέση να εγκατασταθεί στη θέση του στο ίδρυμα του Ιλλινόις με μια μεγάλη αρχιτεκτονική ανάθεση: να σχεδιάσει την πανεπιστημιούπολη για το ίδιο το ίδρυμα.



Κατά τη διάρκεια των επόμενων δέκα ετών, που είδαν την αρχή και το τέλος του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου, η εργασία του Mies ακμάζει, δημιουργώντας μερικά από τα πιο βαρυσήμαντα σχέδια του εικοστού αιώνα. Αυτά τα κτήρια ήταν όλα από δοκίμια χάλυβα, γυαλί και μερικές φορές τούβλο και ήταν συγχρόνως «λογικά και ποιητικά».

Πολλές από αυτές τις εργασίες στην περίοδο του 1950 και μετά ήταν οι φυσικοί διάδοχοι των μεγάλων άχτιστων πρωτοτύπων των προπολεμικών ετών, ιδιαίτερα η πρόταση Reichsbank του 1933, ένα σπίτι σε βουνοπλαγιά του 1934 (βλ. εικόνα) και το επόμενο, το σπίτι Resor στο Wyoming το 1937.

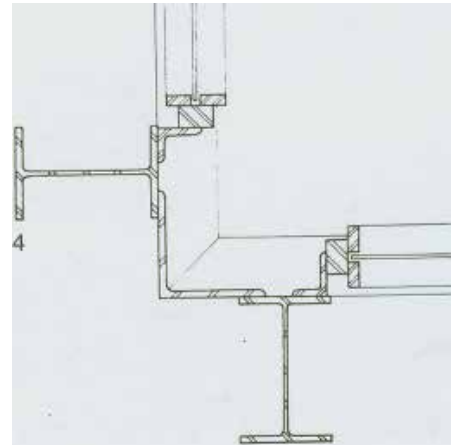
Οι γυμνοί αυτοί πύργοι επρόκειτο να είναι οι μορφές που μελετήθηκαν ατέλειωτα από τον Mies μέχρι το θάνατό του. Η χρήση του γυαλιού σε αυτά τα κτήρια είναι τόσο θεμελιώδης όσο ήταν και στους γοθτικούς καθεδρικούς ναούς. Είναι εξερευνήσεις αφενός της δυνατότητας της καθαρής διαφάνειας και της φορμαλιστικής δυνατότητας του δέρματος γυαλιού, αφετέρου πειραματιζόμενη για πρώτη φορά το 1921.

Ο Mies άρχισε την εργασία για τη νέα πανεπιστημιούπολη αμέσως και το πρώτο πρόγραμμα σχεδιάστηκε και διαμορφώθηκε το 1939. Αυτό ενσωμάτωσε στη βασική κλίμακα προγραμματισμού τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά της χωρικής ανεξαρτησίας του Barcelona Pavilion και του Brick Country House το 1923. Στην πανεπιστημιούπολη, αυτή η ροή του διαστήματος διαμορφώθηκε από οικοδομικά τετράγωνα που επεκτείνονταν από ένα κεντρικό συμμετρικό τετράγωνο στο διαγώνιο άξονα της τεράστιας περιοχής, στο νότιο τμήμα του Σικάγου. Σε αυτό το πρώτο γενικό σχέδιο, το κτήριο της βιβλιοθήκης και ένα χωριστό κτήριο διοίκησης αντικρύζονταν κατά μήκος του τετράγωνου. Ένα αναθεωρημένο πρόγραμμα παρήχθη έπειτα, με τη βιβλιοθήκη και τη διοίκηση στο ένα κτήριο της μιας πλευράς και την αίθουσα συνεδριάσεων και την ένωση σπουδαστών στην απέναντι πλευρά του τετραγώνου.

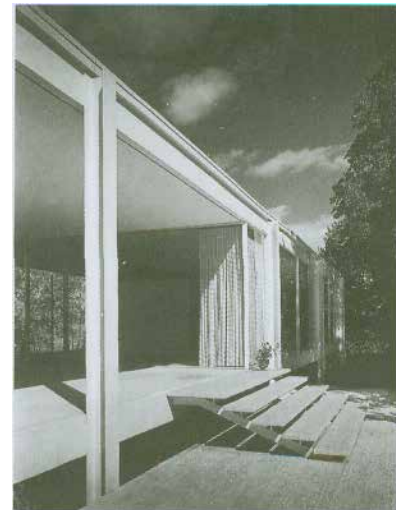
Όπως εμφανίστηκαν τα κτήρια, το κατασκευαστικό λεξιλόγιο θα μπορούσε να το δει κανείς σαν ανάπτυξη, σαν να ήταν τα κτήρια η διδακτέα ύλη για τους σπουδαστές της αρχιτεκτονικής που τελικά στεγάστηκαν στο κτίριο δεκαπέντε χρόνια αργότερα στην αίθουσα Crown Hall. Αρχικά ήρθε το ερευνητικό κτήριο μεταλλευμάτων και μετάλλων το 1942, του οποίου το σχέδιο υποστήριξε μια επίπεδη δομή χάλυβα και μπετού με τούβλα και μια μεγάλη επίπεδη επιφάνεια γυαλιού, οι λεπτομέρειες του οποίου είχαν άρωμα από τα σχέδια του προγράμματος του Reichsbank στο Βερολίνο το 1933. Μετά, το 1945 και 1946, ήρθε το κτίριο των αποφοίτων, το κτήριο μεταλλουργίας και χημικών μηχανικών και το κτήριο χημείας. Η έκφραση εδώ ήταν πολύ διαφορετική. Το περίβλημα του κτιρίου είναι τοποθετημένο εξωτερικά, παρά μέσα στο κύριο δομικό



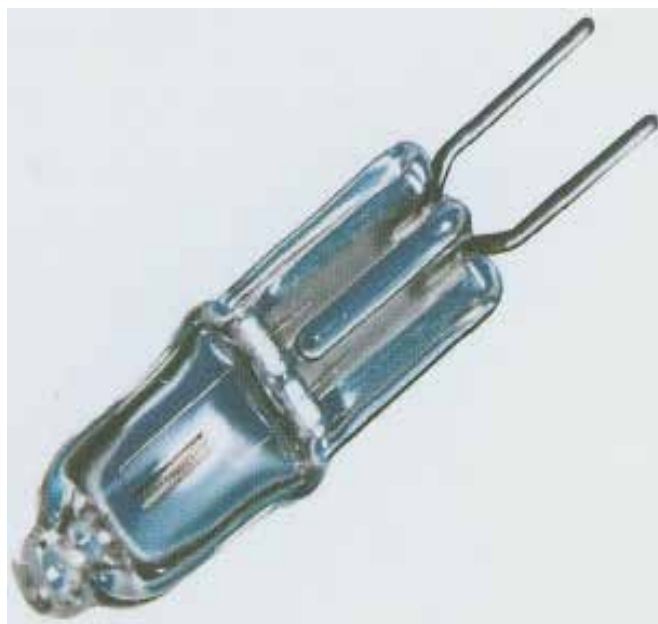
πλαίσιο, και περιλαμβάνει ένα δευτεροβάθμιο πλαίσιο που αποτελείται από ένα σύστημα τμημάτων σχήματος «H» από χάλυβα, που εκτείνονται σε ύψος δύο ή τριών ορόφων του κτηρίου.



**Οριζόντιο τμήμα μέσω του εξωτερικού τοίχου, και άποψη του Crown Hall, Ίδρυμα τεχνολογίας του Illinois, 1954-6, Mies van der Rohe.**



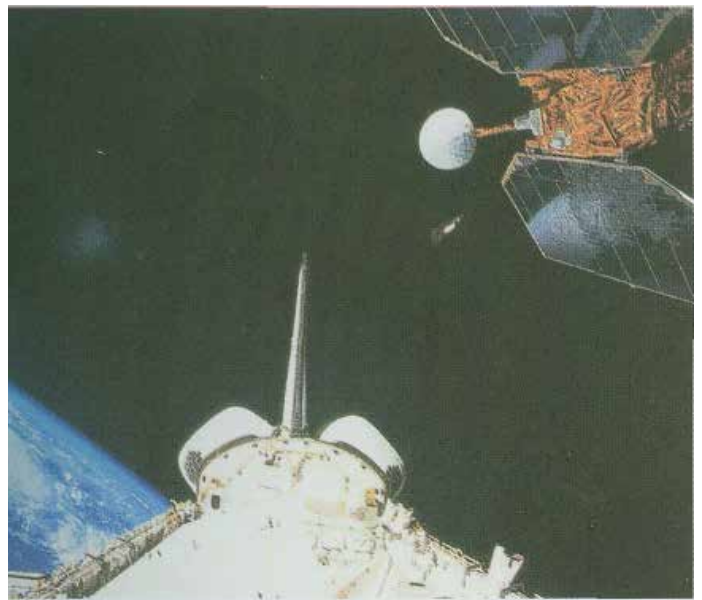
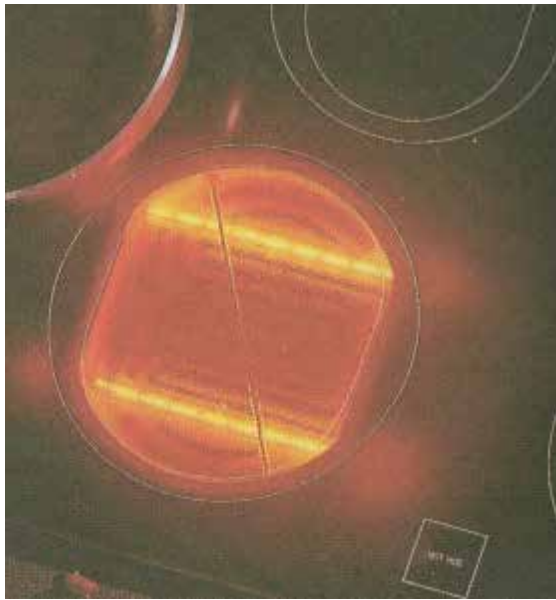
**Το σπίτι Farnsworth House, Plano, Illinois, 1946-51, με αρχιτέκτονα τον Mies van der Rohe.**



Για υψηλή απόδοση πρέπει να κοιτάξουμε πέρα από τον τομέα των αποκαλούμενων αρχιτεκτονικών γυαλιών. Αυτός ο μικρός λαμπτήρας αλογόνου βολφραμίου, με μέγεθος ενός συνδετήρα εγγράφου, στηρίζεται στη δημιουργία της πολύ υψηλής φωτεινότητας με μια υψηλή διορθωμένη θερμοκρασία χρώματος, και μια αντίστοιχη υψηλή θερμοκρασία ινών.



Ειδικό κατασκευαστές παράγουν επιστρώσεις πυριτικού οξέος, οι οποίες κατάγονται από τη δημιουργία σωλήνων για χημικές και φαρμακευτικές βιομηχανίες. Αυτός ο σωλήνας είναι κατασκευασμένος στη βιομηχανία Schott στη Γερμανία.



Η ανακάλυψη του κεραμικού γυαλιού έχει οδηγήσει στην κατασκευή εστιών κουζινών έως και κεραμιδιών για τη μύτη των κώνων των διαστημικών οχημάτων, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες επανεισόδου πρέπει να τεθούν υπό έλεγχο.

## το γυαλί και η αρχιτεκτονική της ενέργειας

Υπάρχει μια όμορφη όσο και ευτυχής ιστορική στιγμή στην ανάπτυξη του γυαλιού στην αρχιτεκτονική από τη δεκαετία του '40 μέχρι αυτή του '60. Σ' αυτήν την περίοδο, ένα νέο ενδιαφέρον αναπτυσσόταν στο πώς το μεταπολεμικό γυαλί στην αρχιτεκτονική μπορεί να χρησιμοποιηθεί σοφά, σύμφωνα με τους περιβαλλοντολογικούς όρους.

Το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» του γυαλιού, που προήλθε από τη διαφάνειά του στη θερμή ακτινοβολία μικροκύματος και την αδιαφάνειά του στη μακρών κυμάτων ακτινοβολία χαμηλής θερμοκρασίας, έπαιξε έναν ρόλο καθοριστικό στην ιστορία της αρχιτεκτονικής. Ο αντίκτυπος των κηπουρών και των φυτοκόμων που ήξεραν πώς να χρησιμοποιήσουν το υλικό, όπως οι Loudon και Paxton το δέκατο ένατο αιώνα, στάθηκε σαν έναυσμα για περαιτέρω έρευνα και σκέψη.

Η παλαιότατη χρήση της αρχιτεκτονικής γυαλιού στην εξουδετέρωση των ιδιοτροπιών του κλίματος και την προτροπή της αύξησης των γυάλινων εγκαταστάσεων παραλληλίστηκε με τη βοτανολογικά παραγόμενη εργασία. Ο Saussure, ο ελβετικός φυσικός που έζησε από 1740-1799, κατασκεύασε το θερμικό σύστημα αποθήκευσης γυαλιού, πρώτος, χρησιμοποιώντας πέντε στρώματα γυαλιού. Τέτοιες έννοιες ήταν κατηγορηματικά διαφορετικές από τα ευγενή παθητικά συστήματα ηλιακής ενέργειας που αποτέλεσαν τα

θερμοκήπια του Loudon: θερμοκρασίες σχεδόν 90°C επιτεύχθηκαν.

Η αρχή του εικοστού αιώνα είδε τις σημαντικές προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί η ενέργεια του ήλιου στην αρχιτεκτονική και μέχρι το 1931 ο Martin Wagner στη Γερμανία ήταν σε θέση να παράγει ένα πρόγραμμα ανταγωνισμού, το «σπίτι της ανάπτυξης», στο οποίο ένα περίβλημα γυαλιού προστάτευσε τους εξωτερικούς τοίχους ενός κτηρίου σε μια «θήκη» κρατώντας τον καιρό έξω, χρησιμοποιώντας την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία, και μειώνοντας την απώλεια θερμότητας. Η ιδέα ελέγχου της ηλιακής ενέργειας με τη βοήθεια των συνδυασμών γυαλιού και μάζας ρίζωσε λόγω του προφανούς οικονομικού και εννοιολογικού οφέλους, αλλά και λόγω της άνεσης και της υγείας. Το σανατόριο φυματίωσης με τα μεγάλα στραμμένα προς το νότο παράθυρά του, ήταν απλά μια εκδήλωση του κτηρίου ως «παγίδα ήλιου». Ένα από τα πιο διακεκριμένα κτήρια αυτού του είδους ήταν σανατόριο Alvar Aalto του Ραιμίο που ολοκληρώθηκε το 1933. Αυτό το κτήριο είναι μια τέλεια σύνθεση προσανατολισμού και μορφής και μια προσεκτική εκτίμηση της ηλιακής διείσδυσης. Είναι χαρακτηριστικό των μεγάλων αρχιτεκτόνων του εικοστού αιώνα η αντίληψη ότι η σχέση μεταξύ της αρχιτεκτονικής και του ήλιου, πρέπει να αντιμετωπιστεί με ευαισθησία και ιδιαίτερη λεπτότητα.

Το 1933 ήταν επίσης το έτος του Cite de Refuge, όπου ο ουδέτερος τοίχος εξετάστηκε από τον Corbusier σε μία προσπάθεια να υπερνικηθούν οι περιβαλλοντικές ανεπάρκειες στο αγαπημένο του “pan de verre”. Εντούτοις, η ιδέα της χρησιμοποίησης του γυαλιού ως τμήμα ενός συστήματος συλλογής ηλιακής ενέργειας, ήταν αρκετά διαφορετική από αυτήν του ουδέτερου τοίχου και δεν έλαβε αρχή παρά μετά το πέρας του πολέμου. Ο Keck ανέπτυξε τα ηλιακά σπίτια στη δεκαετία του '30, αλλά μέχρι το 1948 το πρώτο πραγματικό "ηλιακό σπίτι" ήταν χτισμένο από τους Telkes και Raymond Peabody στο Ντόβερ της Μασαχουσέτης, με το ογδόντα τοις εκατό της απαιτούμενης θέρμανσης να παράγεται από την ηλιακή ενέργεια. Προς το τέλος της δεκαετίας του '40 και της δεκαετίας του '50, την ώρα που οι Mies Van de Rohe , Philip Johnson και Charles Games κατασκεύαζαν τα γυάλινα σπίτια τους, προερχόμενα από τις εκτιμήσεις του διαστήματος, της μορφής του κατασκευαστικού συστήματος και της "αρχιτεκτονικής αρχής" και ενώ ο εμπορικός τοίχος κουρτινών κατάστρεφε το αστικό τοπίο, οι σχεδιαστές με φορμαλιστικές και εννοιολογικές ανησυχίες έθεταν τα θεμέλια για τα κτήρια που θα διέσωζαν την αρχιτεκτονική του γυαλιού από τις ανεπάρκειες του γυάλινου τοίχου.

Μετά από το σπίτι Peabody στην Αμερική, τα πρώτα ευρωπαϊκά ηλιακά σπίτια χτίστηκαν το 1956 στην Αγγλία (μη φημισμένη ως ηλιόλουστη χώρα) από τους Gardner και Curtis, ενώ ακολούθησε το 1961 ένα από τα

σημαντικότερα κτήρια του είδους του, το σχολείο του St George στο Wallasey από την εταιρεία Morgan. Σε αυτό το κτήριο, δύο τοίχοι γυαλιού με απόσταση 600 χιλ., οι οποίοι αποτελούνταν από ένα εξωτερικό ευκρινές σύστημα και από εσωτερικές διαφανείς πλάκες που διασκόρπισαν το φως στις τάξεις. Μερικά από τα εσωτερικά πλακάκια είναι σαφή, και υποστηρίζονται από τα αντιστρέψιμα χωρίσματα, μαύρα στη μια πλευρά και αλουμινένια στην άλλη.



**Πάνω: Σανατόριο, Paimio, Φινλανδία, 1928-33. Ο Alvar Aalto μοιράστηκε με τον Le Corbusier και άλλους ένα ενδιαφέρον για την περιβαλλοντική αρχιτεκτονική, αλλά με ένα χαρακτηριστικό πάθος για τα ανθρωπιστικά κριτήρια. Το Paimio είναι έκφραση της ενστικτώδους, παθητικής ηλιακής αρχιτεκτονικής.**



**Δεξιά : Το σπίτι Peabody, στο Ντόβερ, της Μασαχουσέτης, το 1947-8, από τους Telkes και Eleanor Raymond Peabody. Αυτό το σπίτι ακολούθησε την εργασία αρχιτεκτόνων όπως των αδελφών Keck, αλλά ήταν το πρώτο πραγματικό, κατειλημμένο σπίτι που ενσωμάτωσε τα ουσιαστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της παθητικής χρήσης ηλιακής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της μακρινής αποθήκευσης. Το σχέδιο προήλθε από την πεποίθηση του Dr Telkes, ένα ερευνητικό μεταλλουργό στο MIT, ότι τα άλατα Glauber θα μπορούσαν να υποθηκεύσουν την ενέργεια που συλλέγεται από τον ήλιο. Το σπίτι είχε «ανάμεικτη» επιτυχία, ήταν όμως ένα από τα ουσιαστικά πρωτοποριακά προγράμματα στη νέα αρχιτεκτονική.**

Το ηλιακό σύστημα τοίχων σχεδιάζεται για να παρέχει το θερμικό έλεγχο μέσω της απορρόφησης και της αντανάκλασης της ηλιακής θερμότητας. Ο στραμμένος προς το νότο ηλιακός τοίχος παρουσιάζει μια ψηλή πρόσοψη εκτεινόμενος στις μαρκίζες μιας στέγης που κλίνει κάτω στο Βορρά. Η δομή είναι ογκώδης, περιλαμβάνοντας μια μονωμένη τσιμεντένια στέγη και τσιμεντένια πατώματα. Η θερμότητα παρέχεται μόνο από τον ήλιο, τον ηλεκτρικό φωτισμό και τους ανθρώπους. Όταν το κτήριο αντιμετώπισε μια παρατεταμένη πολύ ψυχρή περίοδο το χειμώνα του 1962, με το σύστημα λεβήτων να μη χρησιμοποιείται, αποφασίστηκε ότι οι εγκαταστάσεις θέρμανσης είναι τελικά περιττές. Τα χαμηλά ποσοστά αλλαγής αέρα υποβοήθησαν στη συντήρηση της θερμότητας, και κατέστησαν τη μυρωδιά του κτιρίου δυσάρεστη κατά περιόδους, όμως η μεγάλη συλλογή από παθητικές ηλιακές ποσότητες (πάνω από  $90 \text{ W/m}^2$  στον τοίχο, υπολογισμένα κατά μέσο όρο πάνω από είκοσι τέσσερις ώρες το χειμώνα) δείχνουν την ικανότητα συλλογής. Οι αλλαγές στις εξωτερικές περιβαλλοντικές συνθήκες αργούν μια εβδομάδα να γίνουν αισθητές μέσα στο κτίριο και αυτό οφείλεται στην υψηλή θερμική ικανότητα της κατασκευής. Η σημασία αυτού του κτηρίου βρίσκεται στη θέση του, σε ένα γεωγραφικό πλάτος των 53.5 μοιρών, καθώς επίσης και στο σχέδιό του.

Αυτή η ιδέα του συνδυασμού ενός υαλόφρακτου ηλιακού τοίχου με θερμική ικανότητα ήταν επίσης η βάση του συστήματος που αναπτύχθηκε στη Γαλλία από τους F. Trombe και J. Michel, και οδήγησε στο πρώτο γαλλικό ηλιακό σπίτι, το οποίο χτίστηκε το 1962 στο Odeillo, στην περιοχή των Πυρηναίων της Γαλλίας και σε γεωγραφικό πλάτος των 43.5 μοιρών. Το κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σύστημα χρησιμοποίησε τη διπλή τοποθέτηση υαλοπινάκων έξω από έναν βαμμένο μαύρο τεκτονικό τοίχο. Οι αυλακώσεις στον τοίχο, την κορυφή και το κατώτατο σημείο επιτρέπουν στο θερμαινόμενο αέρα να κυκλοφορήσει στον κατειλημμένο χώρο πίσω από τον τοίχο το χειμώνα. Το καλοκαίρι, υαλοπίνακες τοποθετήθηκαν στην κορυφή, επιτρέποντας στην ηλιακή θερμότητα να ξεχυθεί μακριά. Στο σπίτι του Lof στο Ντένβερ, του 1961, σε γεωγραφικό πλάτος περίπου  $40^\circ\text{C}$ , χρησιμοποιήθηκε το γυαλί περισσότερο για να εξασφαλίσει το θερμικό απόθεμα.

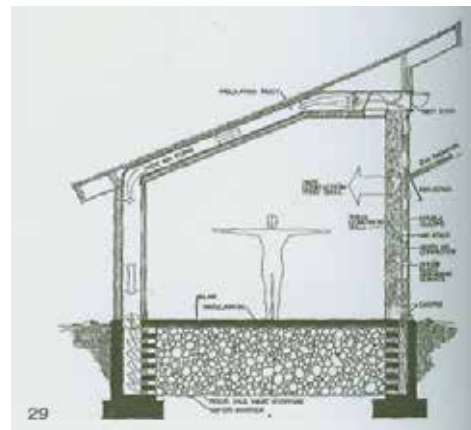
Δύο συλλέκτες γυαλιού, ένας μονός υαλοπίνακας και ένας διπλός, περιείχαν διάφορες πλάκες εν μέρει χρωματισμένου μαύρου γυαλιού (για να παρέχουν την απορρόφηση). Στο σύστημα Lof η θερμότητα αποθηκεύεται στους βράχους γύρω από το κτίριο.

Και τα δύο κτήρια «ηλιακών τοίχων» που αναφέρθηκαν, στο Wallasey και τη Γαλλία, ήταν αμφισβητούμενα από την άποψη της επιτυχίας ως αρχιτεκτονικές μορφές. Στον τοίχο του Trombi, ένας τοίχος γυαλιού που

αντιμετωπίζει το νότο με έναν βαμμένο μαύρο τοίχο πίσω, απαρνείται έναν από τους αρχικούς σκοπούς της τοποθέτησης υαλοπινάκων: τη θέα. Η θέα αμφισβητείται επίσης στο Wallasey, όπου το γυαλί είναι περισσότερο ημιδιαφανές, παρά διαφανές. Εντούτοις, μη ελκυστικά κτήρια όπως αυτά, ήταν που ενσωμάτωσαν τη βάση για τη διόρθωση της συχνά απρόσεκτης αρχιτεκτονικής των παραπετασμάτων των τοίχων. Η στάση που απεικόνισαν σήμαινε ότι οι μορφές αρχιτεκτονικής και οι προσεγγίσεις στο σχέδιο, ήταν διαθέσιμες όταν προέκυψε η νέα ενεργειακή συνείδηση στο τέλος της δεκαετίας του '60.



Σχολείο του ST George, Wallasey, κοντά στο Λίβερπουλ, 1961, της εταιρίας Morgan.



Σπίτι στο Odeillo στη Γαλλία, 1967, των Ζακ Michel και Felix Trombe. Ο κατοχυρωμένος με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τοίχος Trombe - Michel αποτελείται από ένα εξωτερικό τζαμωτό φράγμα, 120 χιλ. μπροστά από ένα βαρύ τοίχο μπετού πάχους 600 χιλ. Ο τοίχος του μπετού είναι βαμμένος μαύρος. Ο Jeffrey Cook καθόρισε τους τρεις τρόπους που ένας τέτοιος τοίχος παρέχει τη θερμότητα στο κτήριο πίσω από αυτόν: σαν παθητικός βαρύς όγκος που θερμαίνεται, σαν μεταβιβαστικός βράχος, με τον αέρα να αφήνεται να διατρέξει μετά ή μέσα από τον τοίχο και ως ανεμιστήρας αναγκάζοντας σύστημα παροχής να υποθηκεύσει αλλού το θερμό αέρα. Προφανώς η θέα στο νότο μειώνεται ή αναιρείται.

Τον Απρίλη του 1968, μια ομάδα τριάντα ατόμων από δέκα έθνη συναντήθηκαν μετά από πρόσκληση του Δρ Aurelio Peccei στο Academia dei Lincei στη Ρώμη. Η ημερήσια διάταξή τους δεν ήταν τίποτα λιγότερο από την παρούσα και μελλοντική δυσάρεστη κατάσταση του ανθρώπινου γένους. Η «λέσχη της Ρώμης», όνομα με το οποίο έγινε η ομάδα γνωστή, δημοσίευσε τα «όρια στην ανάπτυξη» το Μάρτιο 1972 μετά από μελέτη δύο ετών. Την ίδια περίοδο, η ξαφνική αύξηση στην τιμή του πετρελαίου που τέθηκε από τις αραβικές χώρες και ονομάστηκε «κρίση πετρελαίου», έστρεψε την προσοχή της ανθρωπότητας στη σημασία της ενέργειας. Τότε ο McHarg δημοσίευσε «το σχέδιο για τη φύση». Η ενεργειακή κρίση και η εμφάνιση της οικολογίας ως σχετικό θέμα για τους αρχιτέκτονες, άσκησαν αργή αλλά βαθιά επίδραση στην αρχιτεκτονική. Η άμεση επίδραση της κρίσης πετρελαίου στις δαπάνες κτηρίου οδήγησε σε μια επιβράδυνση στην οικοδόμηση, αλλά μακροχρόνια η πιο μόνιμη επίδραση ήταν η νέα σκέψη για αποδοτική οικοδόμηση, που έγινε απαραίτητη ιδιαίτερα στα κλίματα που απαιτούσαν πραγματικά τα κτήρια να ψύχονται εκτενώς ή να θερμαίνονται, όπως και στις χώρες όπου η τιμή της ενέργειας δεν κρατήθηκε χαμηλή τεχνητά.

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '60 αυτά τα δύο ρεύματα της αρχιτεκτονικής δραστηριότητας, ο «τοίχος - κουρτίνα» και ο ηλιακός τοίχος, προχώρησαν ανεξάρτητα αλλά περιπλέκονταν στην εμπορική αρχιτεκτονική από τα νέα γυαλιά που άρχιζαν να παράγονται από τη βιομηχανία. Το γυαλί επιπλεόντων σωμάτων είχε εφευρεθεί από τον Pilkington το 1972 και μέχρι τη δεκαετία του '60 τα μέχρι πρότινος μάλλον εξωτικά γυαλιά (όπως το ροζ-καφετί γυαλί του κτηρίου Seagram) συμπληρώνονταν από τις νέες αποχρώσεις.

## **ΝΕΕΣ ΓΕΝΕΕΣ**

Η «χονδρική» επένδυση της κατασκευής από γυαλί, ήταν συχνά ένα κοινότοπο και καταστροφικό φαινόμενο και η άφιξη των νέων ειδών γυαλιού τη δεκαετία του '60, έδωσε μια ευκαιρία στους καλύτερους αρχιτέκτονες να παράγουν θαυμάσιες επιφάνειες, παρόμοιες με αυτές που είχαν εκδηλωθεί από τον Mies το 1921. Το σχολείο στο Σικάγο ήταν στην πρώτη γραμμή αυτής της αρχιτεκτονικής, στα διαφημιστικά και τα μεγάλης κλίμακας δημόσια κτήρια.

Ένας από τους μεγαλύτερους αρχιτέκτονες ήταν ο Eero Saarinen, ο οποίος δημιούργησε ουσιαστικά ένα «σχολείο» από μόνος του. Το γραφείο

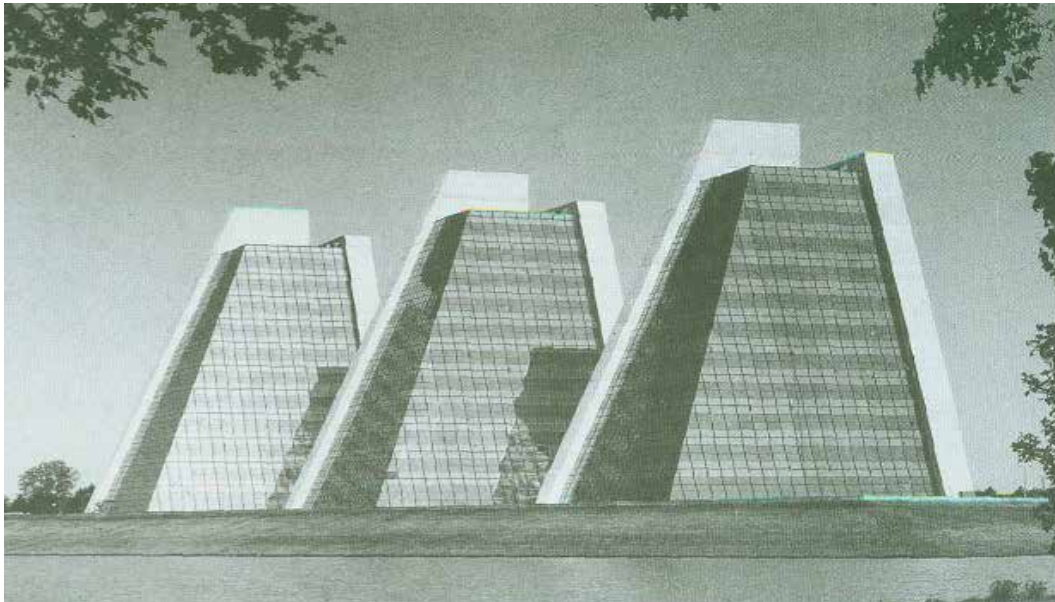


του Saarinen στρατολόγησε μερικά από το καλύτερα ταλέντα στις ΗΠΑ, συμπεριλαμβανομένου του Gunnar Birkerts, Cesar Pelli και του Anthony Lumsden. Ο Kevin Roche έγινε κύριος του σχεδίου το 1955-6, και η General Motors ακολουθήθηκε από τη νομική σχολή του πανεπιστημίου του Σικάγου, το 1956-60. Κατόπιν ήρθαν τα καταπληκτικά ερευνητικά εργαστήρια τηλεφωνικών εταιριών κουδουνιών στο Holmdel του Νιου Τζέρσεϋ το 1957-62. Αυτό το κτήριο πρέπει σίγουρα να είναι ένα από το τολμηρότερα και πιο ενθαρρυντικά προγράμματα αυτού του αιώνα, σε μια κλίμακα που θυμίζει αυτή των Βερσαλλιών. Εμπνέεται εξ ολοκλήρου από τη δυνατότητα του γυαλιού. Ένα τεράστιο γυάλινο καθρέπτινο κιβώτιο, μήκους 700 FT (213 μ) και ύψους πέντε ορόφων, διαμορφώνει ένα γενικό ελεγκτή του κλίματος και ένα κιβώτιο για τα κτήρια που είναι ανεξάρτητα μέσα του. Τέτοια ήταν η θέληση στο γραφείο Saarinen, να ωθηθεί η τεχνολογία γυαλιού. Το κτήριο μετά την ολοκλήρωση, ήταν ντυμένο εν μέρει με γκρίζο βαμμένο γυαλί και εν μέρει με ένα πειραματικό γυαλί, αναμένοντας την οριστική εγκατάσταση του τελικού αντανακλαστικού γυαλιού που αναπτυσσόταν ακόμα.

Την ίδια στιγμή που ο Bell προόδευε, το γραφείο παρήγαγε την έρευνα του Thomas Watson για την IBM στη Νέα Υόρκη, όπου μια υπέροχη καμπή γυάλινου γκρίζου τοίχου μήκους 1090 FT (332 μ), διαμορφώνει τη μπροστινή όψη ενός τόξου του κτηρίου, που αντιπαραβάλλει με το κτίσιμο της δομής πίσω ανεβαίνοντας το λόφο. Ακόμα ένα αριστούργημα ακολούθησε αυτό το κτήριο στην πολιτεία της Νέας Υόρκης, το John Deere Building του 1957-63. Αυτό το κτήριο χρησιμοποίησε μια τεχνοτροπία του χάλυβα και ένα νέο βαμμένο χρυσαφί γυαλί για να δημιουργήσει ένα λαμπυρίζον δικτυωτό πλέγμα μετάλλου γυαλιού.



**Ερευνητικό κέντρο της IBM στη Νέα Υόρκη, 1957-61, από τον Eero Saarinen.**



**Κτήριο κολλεγίου ασφαλειών ζωής, του 1969, από τους Dinkeloo και Roche. Οι Dinkeloo και Roche κληρονόμησαν το γραφείο Saarinen και τη συνεχή του ακολουθία λεπτών ρητορικών εκθέσεων στο γυαλί.**



**Ερευνητικά εργαστήρια της τηλεφωνικής εταιρίας Bell, στο Holmdel του Νιου Τζέρσεϋ, 1957-62, από τους Eero Saarinen και συνεργάτες.**

Ο Saarinen πέθανε το 1961 στην ηλικία πενήντα ενός ετών, αποτυγχάνοντας τραγικά να δει την περάτωση αυτών που θεωρούσε ως τα καλύτερα κτήριά του, αλλά η εταιρία του κληρονομήθηκε από μια νέα οντότητα, τους Dinkeloo και Roche, οι οποίοι επεκτείνανε το ρεπερτόριο σε νέα ύψη μνημειακής αλλά ανώτατα εκτελεσμένης εργασίας στην οποία το γυαλί διαδραμάτισε έναν κεντρικό ρόλο, όπως το δημιουργικό κτήριο του ιδρύματος Ford και το εργοστάσιο Cummins Engine Company στο Darlington της Αγγλίας το 1965.

Η τόλμη της εταιρίας πέταξε σε ακόμα μεγαλύτερα ύψη στο πρόγραμμα για την τράπεζα Federal Reserve στη Νέα Υόρκη το 1969 και το γενικό σχέδιο στο H.E Plaza του ίδιου έτους.

Παρά το γεγονός ότι ο τοίχος - παραπέτασμα δημιουργούσε ένα εξασθενημένο, περιβαντολλογικά ανεπαρκές περιτύλιγμα για την εμπορική αρχιτεκτονική, ιδιαίτερα στη Βόρεια Αμερική και τη Βόρεια Ευρώπη, οι νέες γενιές των αρχιτεκτόνων σχεδίαζαν πρωτοποριακά κτήρια. Από την παρακμή του μεταπολεμικού мерκαντισμού, η οριστική αρχιτεκτονική γυαλιού αναπτύχθηκε οπουδήποτε και όποτε οι αρχιτέκτονες βρήκαν συγκλίνουσες τάσεις μεταξύ των εννοιολογικών στόχων, των νέων αναδυόμενων υλικών και της στάσης του περιβάλλοντος.

Η δημιουργία των καινούργιων κτιρίων ήταν άλλοτε εμπνευσμένη από κάποια περιβαντολλογική προσέγγιση, άλλοτε από την έμπνευση του ίδιου του υλικού και μερικές φορές από την κομψή σύντηξη και των δύο. Τα τελευταία περίπου είκοσι πέντε χρόνια έχει επέλθει μια σταθεροποίηση των τυπολογικών διατάξεων στην αρχιτεκτονική του γυαλιού. Στα πιο περίπλοκα κτήρια αυτές επικαλύπτονται, καταδεικνύουν εντούτοις τον τρόπο που οι αρχιτέκτονες έχουν εκμεταλλευτεί τις νέες τεχνολογίες σε τρεις ευδιάκριτες κατευθύνσεις: περιβαλλοντικό έλεγχο δομική και κατασκευαστική δυνατότητα και καθαρή απόλαυση της επιφάνειας, που μόνο το γυαλί μπορεί να παρέχει.

Η δυνατότητα για περιβαλλοντικό έλεγχο έχει διαβιβάσει ποικίλες μορφές και τεχνικές. Στο πιο βασικό επίπεδο εκτίμησης, μας έχει δώσει το απλό, καλυμμένο από γυαλί προαύλιο και το θερμοκήπιο, αλλά ο χρόνος, και η εμπειρία και πιο σημαντικά, η συμμετοχή των ειδικευμένων περιβαλλοντικών μηχανικών, μας έχουν δώσει τα πιο πρόσφατα περίπλοκα αίθρια και τα παραπετάσματα που συλλέγουν ενέργεια και συγκρατούν το κλίμα, στηριζόμενα στο γυαλί.

Στις δεκαετίες του '70 και του '80 το αίθριο γινόταν ολοένα και περισσότερο σημαντικό συστατικό της αρχιτεκτονικής σκέψης σε όλο τον κόσμο, ιδιαίτερα μόλις άρχισαν να φαίνονται τα οφέλη της περιβαλλοντικής και ενεργειακής προστασίας, που προστέθηκαν στην προϋπάρχουσα δημοτικότητά του. Τα κοινωνικά και συνεπώς εμπορικά πλεονεκτήματα του αίθριου ήταν εξαιρετικά σημαντικά: τα σχέδια που δόθηκαν συχνά

αντιπροσώπευσαν τους μόνους «όγκους» του εικοστού αιώνα, που συνάμα απέδιδαν την αίσθηση λαμπρότητας που προκαλούσε ο γοθτικός καθεδρικός ναός. Εντούτοις, όταν η σημασία του ενεργειακού σχεδίου ήρθε στην επιφάνεια, προέκυψε ένα νέο είδος τζαμωτού διαστήματος.

Όπως ήταν αναμενόμενο, τα βόρεια κλίματα παρείχαν το καταλληλότερο πεδίο για την εξέλιξη αυτού του είδους. Στη Σκανδιναβία, η υαλο - καλυμμένη οδός έγινε μια πολύ ελκυστική πρόταση. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ήταν το γυμνάσιο του Sonderberg στη Δανία, και το κτήριο του Henning Larsen στη Νορβηγία, στο πανεπιστήμιο του Τρόντχαϊμ του 1978. Αυτά τα κτήρια προήλθαν από την ιδέα της κλιματολογικής προστασίας και της εξοικονόμησης ενέργειας . Με αυτό το τρόπο επετράπη στα φυσικά αεριζόμενα κτήρια να αποκτήσουν υαλο - καλυμμένους χώρους που θερμαίνονταν από τον ήλιο, άλλα και από τη θερμότητα που απελευθερωνόταν σε άλλους χώρους του κτιρίου.

Πολλά από τα κτήρια που συζητούνται εδώ αποτελούν ξεχωριστές κατηγορίες, αλλά η ιδέα "του θερμοκηπίου" είναι αυτή που κρύβεται πίσω από όλα. Μερικά κτίρια ήταν ουσιαστικά θερμοκήπια. Ο χειμερινός κήπος του Gruen στους καταρράκτες Niagara ήταν ακριβώς αυτό: ένας κήπος για τους κατοίκους της πόλης, περίπατος στους κρύους χειμώνες τους. Τα κτήρια του Edward Larrabee Barnes για τη φυτοκομική κοινωνία του Σικάγου, και του Ulrich Franzen για το ίδρυμα Boyce Thompson, τα οποία αφορούσαν στην έρευνα εγκαταστάσεων του κρατικού κολλεγίου της Νέας Υόρκης, εξυπηρετούσαν περισσότερες λειτουργίες από τη φυτοκομική, ήταν όμως και τα ίδια θερμοκήπια.



**Χειμερινός κήπος στους καταρράκτες του Νιαγάρα, Νέα Υόρκη 1975, από τους Victor Gruen και Cesar Pelli.**



**Σχολείο πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης, Yateley 1979, από τους αρχιτέκτονες του γραφείου Hampshire.**

Πολλά από τα αρχικά "συντηρητικά" γυάλινα κτήρια ήταν απλοί απόγονοι μιας παλαιάς παράδοσης βοτανικών κτηρίων ή αίθριων του δέκατου ένατου αιώνα, επηρεάστηκαν όμως φανερά από τις νέες αντιλήψεις για την εκμετάλλευση των φυσικών πηγών ενέργειας, καθώς και από τον τρόπο που το γυαλί θα μπορούσε να συντηρήσει και να βελτιστοποιήσει τη μετάδοση της ακτινοβολίας. Αρκετά κτίρια από αυτά σχεδιάστηκαν βάσει της ιδέας για ενεργειακή συλλογή, με τις παρειές να εργάζονται τόσο σκληρά όσο η στέγη. Ένα χαρακτηριστικό τέτοιο κτήριο είναι αυτό που στεγάζει τα κρατικά εργαστήρια του τμήματος ενέργειας στο Joliet του Ιλλινόις, το οποίο σχεδιάστηκε από τον Murphy Jahn. Αυτό το κτήριο παρουσιάστηκε ως πιλοτικό για την παθητική χρήση ηλιακής ενέργειας, τη μελλοντική χρήση των ηλιακών συσσωρευτών και την αποτελεσματική χρήση του ηλιακού φωτός. Ένας παρόμοιος αντικειμενικός στόχος βρίσκεται πίσω από το σχεδιασμό του κτιρίου Princeton γνωστό επίσης ως "Enerplex", στο Plainsborough του Νιου Τζέρσεϊ, 1983 από το γραφείο SOM της Νέας Υόρκης. Όπως το πρόγραμμα Joliet, τα δύο κτήρια αντιπροσώπευσαν μια στάση απέναντι στην ευθύνη του σχεδίου που προήλθε από τις προθέσεις των πελατών τους και από μια νέα γενική σχεδιαστική προσέγγιση. Τέτοιου είδους προθέσεις απαιτούν την προσεκτική λειτουργική επιλογή των συστημάτων και των υλικών. Ολόκληρος ο εξωτερικός τοίχος του βόρειου κτηρίου στο Enerplex ήταν από γυαλί, κατά το ένα τρίτο πράσινο και τα δύο τρίτα καθαρό.

Ο εσωτερικός τοίχος ήταν πενήντα τοις εκατό γυαλί και πενήντα τοις

εκατό γυψοσανίδα. Από τη νότια πλευρά, ένα αίθριο σχεδιάστηκε με καθαρό εκατό τοις εκατό γυαλί, για να συλλέγει την ηλιακή θερμότητα το χειμώνα. Στο νότιο κτήριο, τα παράθυρα σχεδιάστηκαν σε μέγεθος και απόχρωση ικανά να ανταποκριθούν στον προσανατολισμό. Από τη βόρεια πλευρά, το αίθριο σχεδιάστηκε με γυάλινους τοίχους, με τους φεγγίτες στραμμένους προς το νότο. Η όλη σύλληψη του προγράμματος είχε ως σκοπό να μεγιστοποιήσει τη διατήρηση της ενέργειας που αποθηκεύεται, με την κομψότητα που αναμενόταν από την εταιρία SOM.

Ένα παρόμοιο πρόγραμμα αναπτύχθηκε στη δεκαετία του '80 από τη μεγάλη ιαπωνική επιχείρηση Obayashi-Gumi, για τα τεχνικά ερευνητικά εργαστήριά στο Kiyose του Τόκιο. Ο γενναίος στόχος τους ήταν να παράγουν το ελαχιστότερο δαπανηρό σε ενέργεια κτήριο ανά τετραγωνικό μέτρο στον κόσμο.

Το κτήριο σχεδιάστηκε με μια μεγάλη σειρά ηλιακής συλλογής ενέργειας πάνω στη στέγη του και με μια διπλή γυάλινη επιδερμίδα στη νότια πρόσοψή του, που έκλινε με στόχο τη βελτιστοποίηση της ενεργητικής ηλιακής συλλογής.

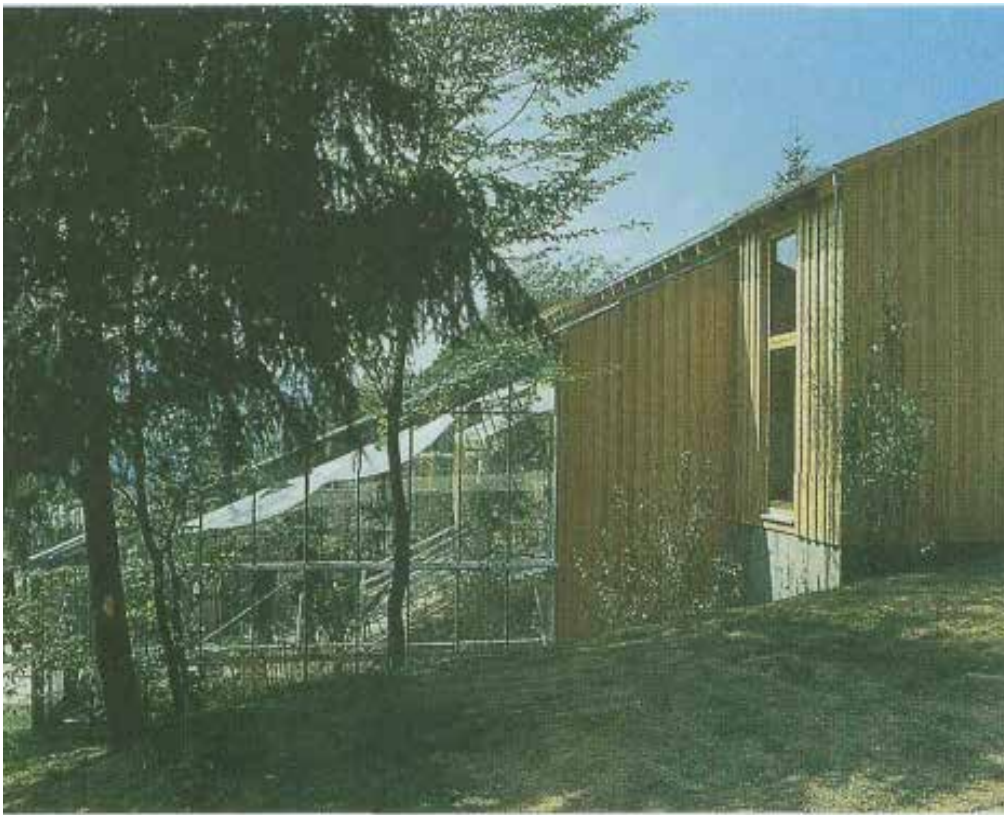
Η δεκαετία του '80 είδε τον πολλαπλασιασμό των έξυπνα σχεδιασμένων, περιτοιχισμένων με γυαλί κτηρίων, στα οποία η τοποθέτηση υαλοπινάκων έγινε για να ελέγξει ή να συμβάλει στη δημιουργία των βέλτιστων εσωτερικών συνθηκών. Το ηλιακό γαλακτοκομείο κοντά στο Όσλο στη Νορβηγία από το γραφείο GASA, του 1980-81, είναι ένα άριστο παράδειγμα ενός τέτοιου κτηρίου, το οποίο θεωρείται ελεγεία στην αρχή της παθητικής ηλιακής ενέργειας.



**Ηλιακό γαλακτοκομείο Indre Ostfold Meiri , στο Mysen, κοντά στο Όσλο της Νορβηγίας, 1980-81, από το γραφείο GAS. Ένα πολύ λεπτό, μικρό δοκίμιο στην ενεργειακή ηλιακή αρχιτεκτονική. Ο έλεγχος έχει καταδείξει την αξία του γυάλινου παραπετάσματος.**



**Οικογενειακές μονοκατοικίες στο Espoo της Φιλανδίας, 1978, από τον αρχιτέκτονα Herto Helminen.**



**Ηλιακό σπίτι στο Landesgartenschau, 1981. Το κτήριο αποσυναρμολογήθηκε μετά από την έκθεση, αλλά ήταν ένα αρχικό δείγμα μιας σειράς ηλιακών προγραμμάτων γυαλιού από την εταιρία LOG ID**

Η ιδέα της χρήσης της δομικής δυνατότητας του γυαλιού είναι πιο πρόσφατη από την συνειδητοποίηση ότι θα μπορούσε να συμβάλει στον κλιματολογικό έλεγχο. Μέχρι το 1928 το βασικό υλικό στη δημιουργία των δομών γυαλιού είχε εφευρεθεί στη Γαλλία και είχε το όνομα "Securit".

Η εκμετάλλευση του υλικού γινόταν με αργό ρυθμό. Ακόμη και στην έκδοση το 1961 του εξαιρετικού βιβλίου του McGrath, «το γυαλί στην αρχιτεκτονική και τη διακόσμηση», το γυαλί αναφέρεται ως δομικό υλικό μόνο σε σχέση με τις πόρτες. Στο μεταξύ όμως, οι Γάλλοι είχαν συλλάβει ήδη την ιδέα του μεγάλου «γυάλινου πετάσματος». Το σύστημα «Hahn», που χρησιμοποιήθηκε το 1953-63 στο Παρίσι από τον Henri Bernard, αποτελούταν από μεγάλα διώροφα «πιάτα», που αναρτήθηκαν σταθερά στην κορυφή και επικαλύφθηκαν από γυάλινα πτερύγια, κάθετα στο κύριο επίπεδο. Αυτή η ιδέα έγινε η βάση για πολλά παρόμοια συστήματα που εισήχθησαν για να παρέχουν τους γυάλινους τοίχους στη δεκαετία του '60.



**Βιομηχανία στο πάρκο “Villette” στο Παρίσι, σχεδιασμένο το 1980.**



Είναι μια από τις ειρωνείες της αρχιτεκτονικής του εικοστού αιώνα ότι οι μεγάλες γυάλινες κατασκευές της δεκαετίας του '70 και του '80 ήρθαν όχι από τη βιομηχανία επένδυσης, αλλά από το πάθος μιας νέας γενιάς αρχιτεκτόνων και σχεδιαστών που προσπάθησαν να εκμεταλλευτούν τα οφέλη της τεχνολογίας. Το κλειδί που ξεκλείδωσε αυτήν την τεχνολογία ήταν η δυνατότητα του γυαλιού να διατηρεί την ακεραιότητά του αφ' ότου τρυπήθηκε με τρυπάνι αρκετά κοντά στην άκρη του, ώστε να επιτραπεί η ανάρτησή του με μπουλόνια. Αυτό στη συνέχεια, επέτρεψε τη σύζευξη των γυάλινων φατνωμάτων για τη δημιουργία νέων σχηματισμών από παρακείμενα κομμάτια, συνδεδεμένα στο ίδιο επίπεδο. Οι πρώτες συναθροίσεις πραγματοποιήθηκαν με συναρμολογήσεις "μπαλωμάτων", τα οποία αποτελούνταν από πιάτα που ενεργούσαν ως συνδετήρες, αλλά οι σχεδιαστές και οι κατασκευαστές γυαλιού, επέκτειναν σύντομα το εύρος των τεχνικών.

Το κτήριο των Willis Faber & Dumas στο Ίψουιτς της Αγγλίας, από τον Foster το 1973-5, είναι ένα άριστο παράδειγμα της εμμονής μιας ομάδας σχεδιαστών να επιδιώξουν νέες τεχνικές. Ο στόχος ήταν ένας συνεχής τοίχος γυαλιού, ακριβώς όπως τον ονειρεύτηκε ο Mies van de Rohe το 1922. Τα πρώτα σκίτσα καταδεικνύουν ανάπτυξη του σχεδίου μέσω ενός μεταλλικού συστήματος υποστήριξης, το οποίο δίνει ακαμψία στο γυάλινο τοίχο, διαμέσου του τελικού πραγματικού τοίχου που τοποθετείται στην κορυφή του κτηρίου, με κάθε πλάκα γυαλιού να στηρίζεται στην ανωτέρα της. Το σύστημα που είχε χρησιμοποιηθεί από τον Hahn για ένα «πιάτο», χρησιμοποιήθηκε τώρα για να δημιουργήσει έναν τοίχο «συνάθροισης».

Το σχέδιο εκμεταλλεύτηκε τη συμβατική συναρμολόγηση τμημάτων γυαλιού του Pilkington, σε μέγεθος 165 χιλ., για να δημιουργήσει μια νέα μορφή υαλοφράγματος. Ένας από τους κύριους σχεδιαστές του κτηρίου, ο Michael Hopkins, απέδωσε αργότερα μια όμορφη επανάληψη του γυάλινου σπιτιού του Λονδίνου, στο οποίο αυτός και ο Patty Hopkins εφάρμοσαν την πρακτική τους.



Οροφή στο σταθμό Montumarte στο Παρίσι από τον Francois Deslaugiers

Η αναζήτηση για πιο διακριτική στερέωση του γυάλινου παραπετάσματος ήταν τώρα στην αιχμή της. Το 1980, ο Adrien Fainsilber, εμπνευσμένος από τους Willis Faber & Dumas, προσέγγισε τον μηχανικό Peter Rice για τη δημιουργία των τεράστιων «περιφράξεων» γυαλιού στο μουσείο επιστήμης Parc de La Villette, του οποίου ήταν ο αρχιτέκτονας. Ο Peter Rice διαμόρφωσε την πρακτική Francis Ritchie, συνδυάζοντας την δεξιοτεχνία του στην εφαρμοσμένη μηχανική με την εμπειρία δύο εκ των σχεδιαστών που είχαν αναπτύξει τον γυάλινο τοίχο στο Ίψουιτς. Σύμφωνα με μια νέα τεχνική, μετακινήθηκαν τα μπαλώματα και τα γυάλινα πτερύγια και σχεδιάστηκε ένας τετραπλός συνδετήρας που ελαχιστοποίησε τον όγκο της στερέωσης στην μπετούγια. Ένα σύστημα σφαιρικών ρουλεμάν και ελαστικών υποστηρίξεων συνδέει το γυάλινο παραπέτασμα σε ένα σύστημα καλωδίων σε σύζευξη, σχεδιασμένο για να ελαχιστοποιεί τα μεγέθη των επιμέρους τμημάτων.

Αυτό το παραπέτασμα ανέγειρε την ιδέα της κρέμασης γυάλινων πλακών και τα στερεωτικά συστήματα μπουλονιών πολλαπλασιάστηκαν μετά το Parc de La Villette. Οι κατασκευαστές γυαλιού, όπως ο Pilkington, ανέπτυξαν δικά τους συστήματα και οι σχεδιαστές εφαρμοσμένης μηχανικής όπως ο Mick Eekhout στην Ολλανδία, ο Marc Malinowsky στη Γαλλία και άλλοι, επινόησαν ακόμη περισσότερους τρόπους διαμόρφωσης και στερέωσης γυάλινων παραπετασμάτων και στεγών. Οι τεχνικές στερέωσης έχουν τελειοποιηθεί πλέον και είναι συνεπώς δυνατή η ανάρτηση παραπετασμάτων πολλαπλών συνδυασμών ακόμα και με πολλαπλάσιο βάρος. Επιπρόσθετα, είναι πλέον εφικτή η χρήση στερεώσεων που ενσωματώνονται μέσα στα στρώματα του γυαλιού.



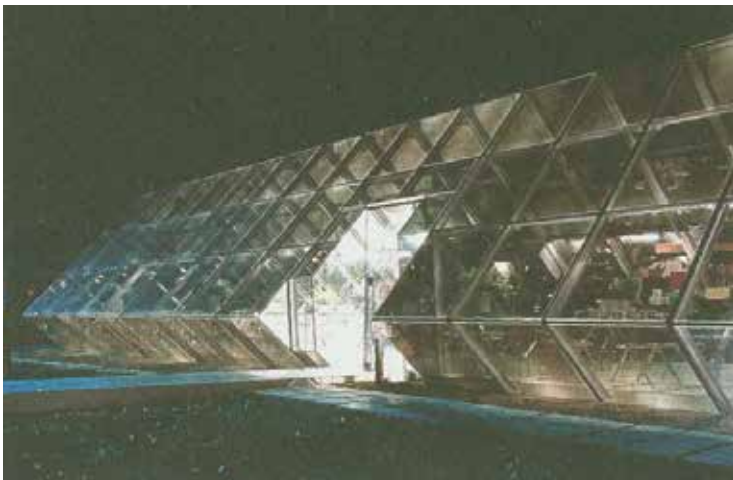
1. Σπίτι στο Λονδίνο του 1976 από τους Michael και Patty Hopkins
2. Αίθουσα περιφραγμένη από γυαλί στο μουσείο γυαλιού του Dudley, U.K.

Η χρήση των μπουλονιών σχετίζεται ιδιαίτερα με την αντοχή του γυαλιού σε εντατική κατάσταση: η σύζευξη των γυάλινων τεμαχίων στηρίζεται ουσιαστικά στο μπουλόνι. Μια άλλη γραμμή έρευνας που έχει οδηγήσει σε εξίσου όμορφα αποτελέσματα, στηρίζεται στη δυνατότητα συμπίεσης του γυαλιού. Η δύναμη μιας άκαμπτης παχιάς πλάκας γυαλιού είναι αυτονόητη, άλλα μάλλον δύσκολο να υπολογιστεί σε σχέση με την ποσότητά της. Τα τελευταία δέκα χρόνια έχουν συμβεί μερικές αξιοπρόσεκτες εξελίξεις στην ιδέα του μεταφέροντος τοίχου γυαλιού, της στήλης γυαλιού και της ακτίνας γυαλιού.

Μπορεί να φανεί περίεργο να χρησιμοποιείται το γυαλί για λειτουργίες που πραγματοποιούνται από υλικά με περισσότερη δομική προβλεψιμότητα, αλλά ο στόχος της διαφάνειας και η επιδιωκόμενη ευημερία έχουν δώσει ισχυρά κίνητρα για ολοένα ευρύτερη χρήση του γυαλιού. Ένα απλό βήμα εξέλιξης αποτέλεσε η χρήση ενός πτερυγίου γυαλιού ως τονωτικό και μιας ενισχύουσας συσκευής ως στήλης, το οποίο παρουσιάστηκε στο περίπτερο γλυπτών Sonsbeek Benthem και Crouwel. Εξίσου δομικά κομψό ήταν το σπίτι Benthem, στο οποίο οι τοίχοι γυαλιού υποστήριζαν τη στέγη. Και τα δύο αυτά κτήρια θεωρούνται ως περιπτώσιολογικές μελέτες, αφού χρησιμοποιούν μεταλλικά ζευκτά για τη στήριξη της στέγης. Οι πιο πρόσφατες εξελίξεις έχουν αντικαταστήσει το ζευκτό από μια δοκό αποτελούμενη από στρώματα γυαλιού ώστε να παρέχει τις συνθήκες που απαιτούνται στις γυάλινες κατασκευές.

Με το σχέδιο μιας υποδοχής και μιας σφήνας που ενώνονται, χρησιμοποιώντας το τοποθετημένο σε τρία στρώματα γυαλί, ο μηχανικός Tim MacFarlane δημιούργησε εκλεπτυσμένες κατασκευές χρησιμοποιώντας αποκλειστικά το γυαλί.

Το δομικό σχέδιο αυτών των κτηρίων είναι σε μεγάλο βαθμό, εμπειρικό. Οι συστάσεις των κατασκευαστών όσον αφορά στην αντοχή των υλικών τους είναι εξαιρετικά αυστηρές και η ανάπτυξη βασίζεται στην, βήμα προς βήμα εφαρμογή των πρωτοτύπων προγραμμάτων. Από αυτήν την εμπειρία θα έρθουν αναμφίβολα οι νέες γενεές των γυάλινων κατασκευών.



«Café Ingot» στη πόλη Kitakyushu, Ιαπωνία 1978.

## η πυραμίδα του Λούβρου

Οι πυραμίδες είναι από τα μεγαλύτερα κατασκευαστικά έργα που πραγματοποιήθηκαν στο Παρίσι τη δεκαετία του '80 και αποτελούν, κατά γενική παραδοχή, θρίαμβο εκείνης της εποχής.

Το αρχιτεκτονικό σχέδιο προήλθε από την επιθυμία των γαλλικών αρχών να ανανεώσουν το Λούβρο και να του αποδώσουν το χαρακτήρα ενός κέντρου τεχνών. Η ιδέα ήταν να παρασχεθεί καλύτερη δημόσια πρόσβαση στις συλλογές των έργων τέχνης, με τη δημιουργία μιας υπόγειας συμβολής ποταμών, κάτω ακριβώς από την μεγάλη κεντρική πυραμίδα. Το ύψος της στάθμης νερού στην περιοχή οδήγησε τους αρχιτέκτονες στο να ανυψώσουν την εξαιρετική κατασκευή της στέγης πάνω από αυτήν την συμβολή και έτσι ανεγέρθη η πυραμίδα.

Η αρχική ιδέα του σχεδίου ήταν να δημιουργηθεί μια αυστηρή μορφή, εννοιολογικά ξεχωριστή από την αρχιτεκτονική του Cour Napoleon. Αυτή η μορφή επρόκειτο να είναι συνολικά διαφανής. Η αρχική ιδέα του αρχιτέκτονα Peis ήταν μια δικτυωτή περίφραξη χωρίς καθόλου γυαλί.

Ο αρχιτέκτονας γεύτηκε την απογοήτευση κατά τη δημιουργία της πραγματικής διαφάνειας στο γυάλινο οικοδόμημα, αφού η δομή που το στηρίζει αφαιρεί την ορατότητα. Μετά από τις πρώτες προσπάθειες πλησίασε τον Rice Francis Ritchie, ο οποίος είχε ολοκληρώσει ήδη την εργασία του για το "Les Serres" στο πάρκο de La Villette. Η προκύπτουσα δομή του Λούβρου ενσωμάτωσε ένα μεγάλο μέρος των γνώσεων και των απόψεων που αντάλλαξαν οι δύο αρχιτέκτονες.

Ο στόχος ήταν να τοποθετηθεί η κατασκευή σαν ένα σχεδόν απόλυτα διαφανές αντικείμενο στο χώρο, με την όμορφη πέτρα του Λούβρου να είναι ορατή μέσω αυτού. Με αυτόν τον στόχο, η διαφάνεια γίνεται ένα θέμα όχι μόνο της φυσικής διακοπής της δομής, αλλά και του χρώματος του γυαλιού. Ήταν σαφές ότι, βλέποντας γενικά το παχύ γυαλί διαγωνίως και με το σχήμα της πυραμίδας να παρέχει δύο οπτικές γωνίες, μόνο ένα πολύ καθαρό -σαν νερό γυαλί θα έδινε τη διαφάνεια που απαιτείται, χωρίς την επικάλυψη της πράσινης ίνας που δίνεται από ένα συμβατικό γυαλί οξειδίων σιδήρου. Αυτά τα γυαλιά αφθονούν στους καταλόγους των ειδικών κατασκευαστών.

Οι αρχιτέκτονες βρήκαν μια γερμανική πηγή για τη χημική σύσταση, η οποία αντιγράφηκε στη Γαλλία χρησιμοποιώντας ειδική άμμο από το Φοντενμπλώ. Τα προβλήματα της μεταστροφής, στην κατασκευή γυαλιού με τη μέθοδο επιπλεόντων σωμάτων, σήμαιναν ότι αυτό το ειδικό μίγμα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί για να φτιάξει ένα απόλυτα επίπεδο γυαλί. Στη συνέχεια οι αρχιτέκτονες βρέθηκαν μπροστά σε ένα δεύτερο πρόβλημα.

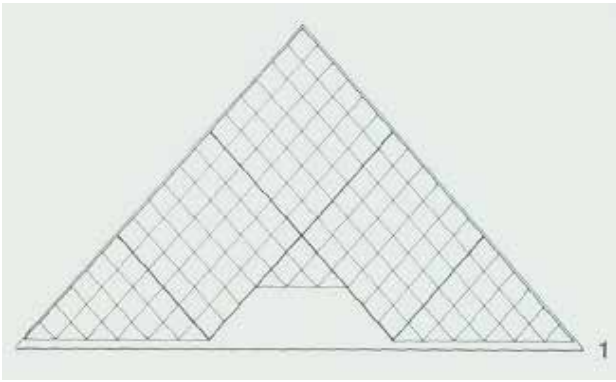
Τα μόνα μηχανήματα στην Ευρώπη που θα μπορούσαν να αλέσουν και να γυαλίσουν τα γυάλινα πιάτα του απαιτούμενου μεγέθους ήταν στη Μεγάλη Βρετανία. Έτσι τα πιάτα στάλθηκαν εκεί με κατάλληλο τρόπο, γυαλίστηκαν και επεστράφησαν στη Γαλλία.

Έχοντας λύσει επιτυχώς το πρόβλημα του χρώματος, οι αρχιτέκτονες έπρεπε να εξετάσουν λεπτομερώς την επιφάνεια και τα όμβρια ύδατα. Η απάντηση που βρέθηκε ήταν η δομική σιλικόνη, όπως είχε υιοθετηθεί στο σχέδιο του κτιρίου της τράπεζας Allied Bank καθώς και στην κοινοτική εκκλησία Johnson and Burgee's Garden Grove. Στο Λούβρο εντούτοις, η τοποθέτηση υαλοπινάκων στη πυραμίδα επρόκειτο να είναι διαθέσιμη για κάποια λεπτά ώστε να εξεταστεί λεπτομερώς από θεατές, οι οποίοι βρίσκονταν σε πολύ κοντινή απόσταση μέσα και έξω του κτιρίου.

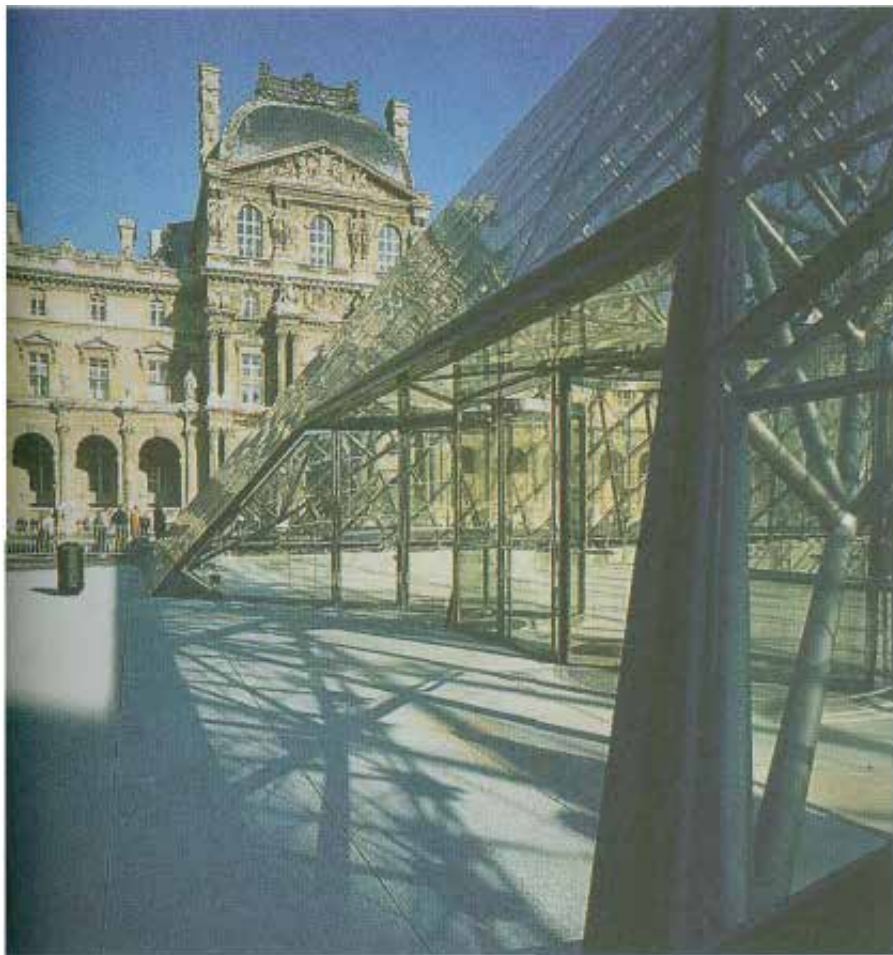
Τα ζητήματα τοποθέτησης των υαλοπινάκων και η ανάγκη να συλλεχθούν και να αποβληθούν τα όμβρια ύδατα, οδήγησαν στη δημιουργία του τομέα που χρησιμοποιήθηκε για να υποστηρίξει το 21mm (7/8 in) πάχους γυαλί, τοποθετημένο σε στρώματα. Η τοποθέτηση υαλοπινάκων απαιτεί εργοστασιακή επεξεργασία για να συντηρηθούν αποτελεσματικά και αυτός είναι ένας σημαντικός περιορισμός σε οποιοδήποτε επιδερμίδα γυαλιού, ιδιαίτερα όταν εξετάζεται η επανατοποθέτησή του: το γυαλί πρέπει να μπει στη θέση του ως τζαμωτή πλάκα, συμπεριλαμβανομένου και του πλαισίου.

Επίσης η ίδια η φύση της σιλικόνης και ο τρόπος που «συναντά» το γυαλί, είναι ένας περιορισμός. Η χρήση σιλικόνης παρέχει στο σχεδιαστή μια λειτουργική λύση και επιτρέπει επίσης στο θεατή να βλέπει μέσω του γυαλιού και πίσω από τη σιλικόνη, η οποία όμως δεν συγκαταλέγεται στα αρχιτεκτονικά υλικά. Η σχεδιαστική λύση ήταν να λοξοτομηθεί, να αλεστεί και να γυαλιστεί η άκρη, και να εφαρμοστεί ένα κεραμικό υαλοβερνίκωμα στο πίσω μέρος του γυαλιού για να κρύψει τη σιλικόνη (μια μέθοδος που δανείστηκαν από την αυτοκινητιστική βιομηχανία).

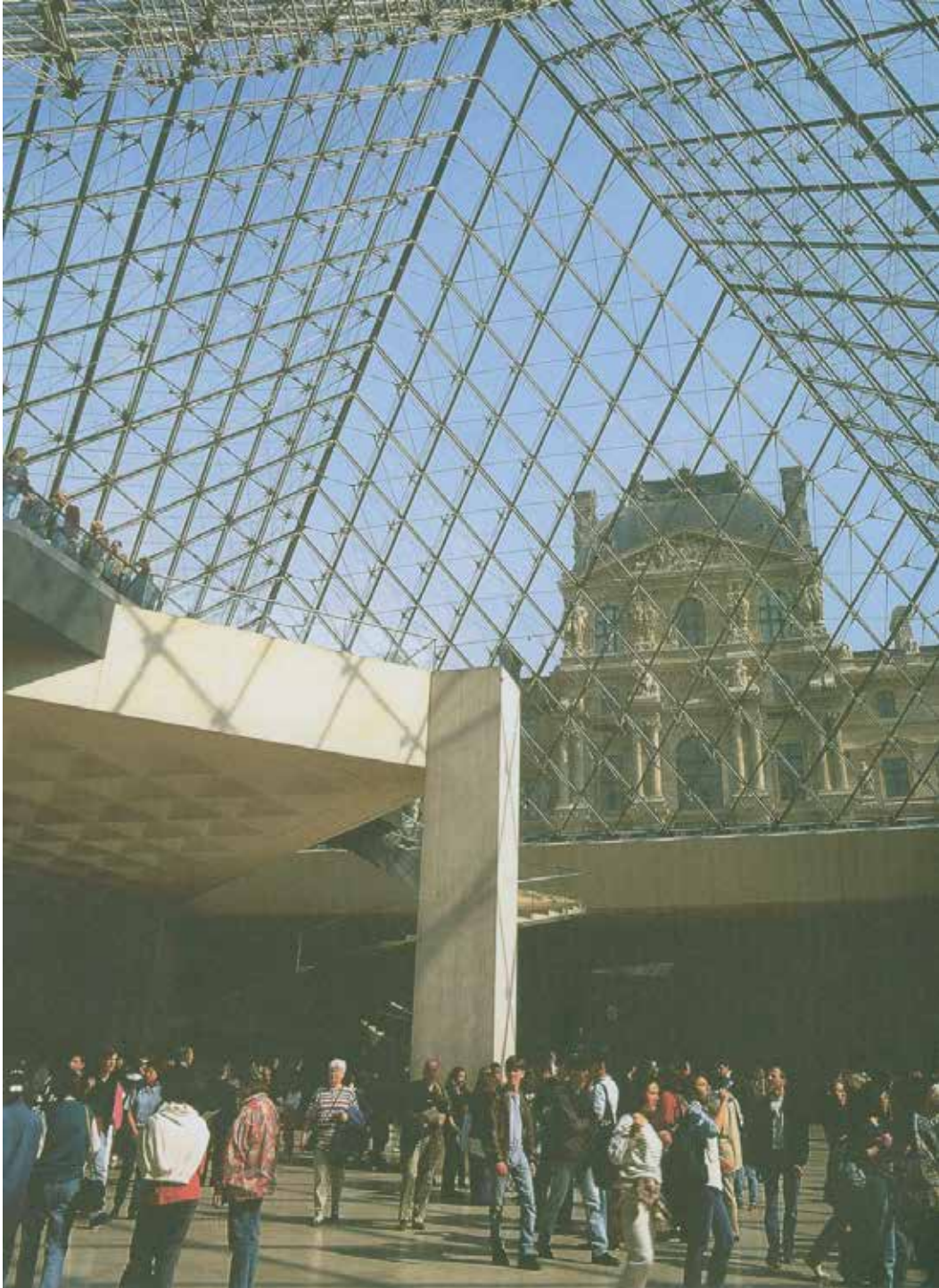
Η περίοδος που χρειάστηκε για να ξεκινήσει το έργο της κατασκευής, μετά από πολλές αλλαγές στις λεπτομέρειες του σχεδίου, ήταν δύο χρόνια. Ένα μεγάλο μέρος αυτής της περιόδου ξοδεύτηκε στην επίμονη αναζήτηση των πιο κατάλληλων για κάθε πρόβλημα λύσεων και στην εμμονή για εύρεση υλικών και λεπτομερειών που χαρακτηρίζονταν από υψηλή ευαισθησία στο γυαλί και για τα οποία υπήρχε επαρκής γνώση που θα καθιστούσε σίγουρο το τελικό αποτέλεσμα.



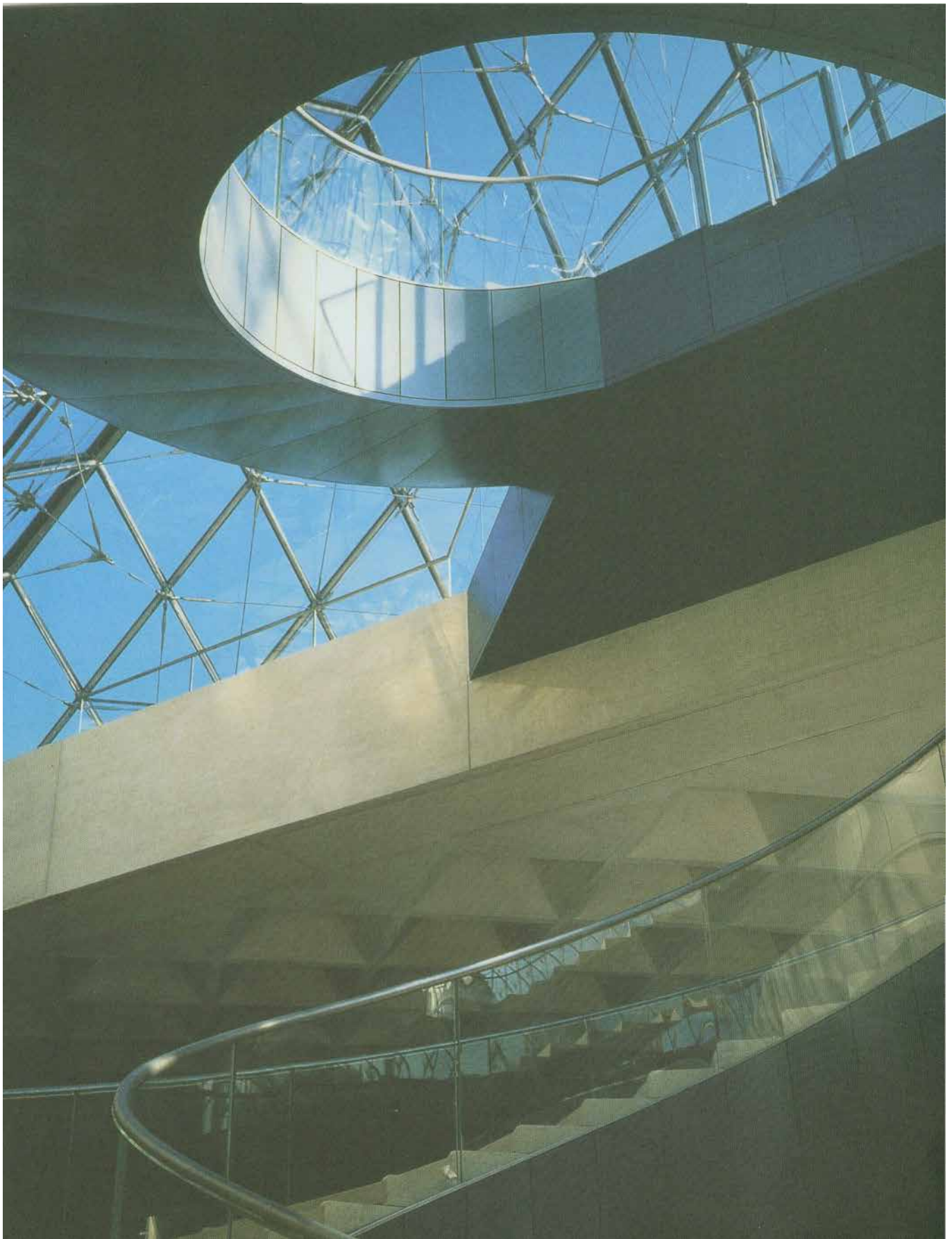
**1,2. Μεγαλείο και σχέδιο: η καθαρή γεωμετρία της πυραμίδας δίνει κάποιες ενδείξεις των επίμονων προσπαθειών που απαιτούνται για την πραγματοποίησή της.**



**Ο πρωταρχικός στόχος στον καθορισμό του γυαλιού ήταν να αφαιρεθεί η πράσινη απόχρωση που είχε δημιουργηθεί από το σίδηρο.**

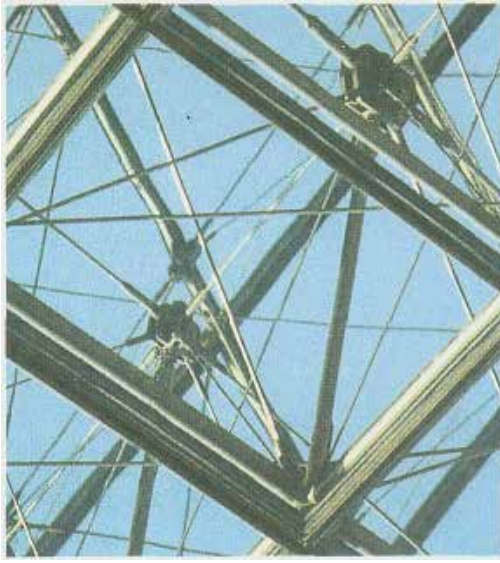


**Ο χώρος κάτω από την πυραμίδα Η πρόφαση για τη δημιουργία του χώρου ήταν εν μέρει τυπική, αφορούσε όμως και την ανάγκη να επιτευχθεί το ύψος σε μία σημαντική δημόσια κατασκευή, όπου υπάρχουν οι καθορισμένες δυσκολίες της στάθμης του νερού.**



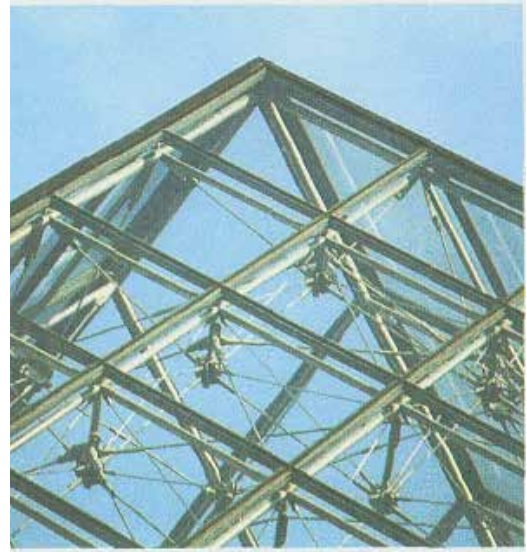
**Η μεγάλη σπειροειδής σκάλα με το γυάλινο δομικό κιγκλίδωμα.**





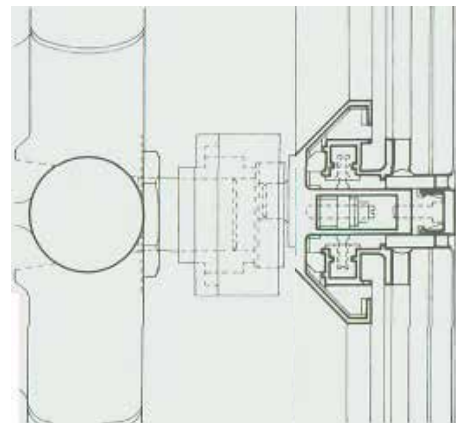
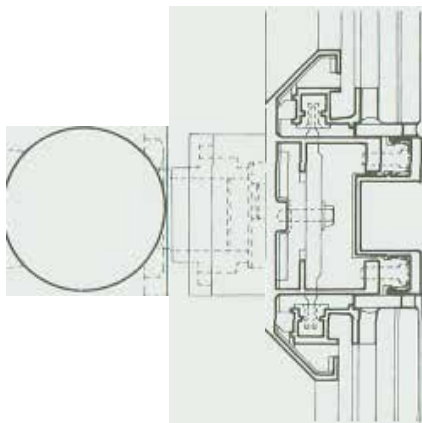
1.

1. Η θέα κοιτάζοντας προς την οροφή του κτιρίου μέσα από τη συρμάτινη κατασκευή που στηρίζει τις τζαμωτές πλάκες.



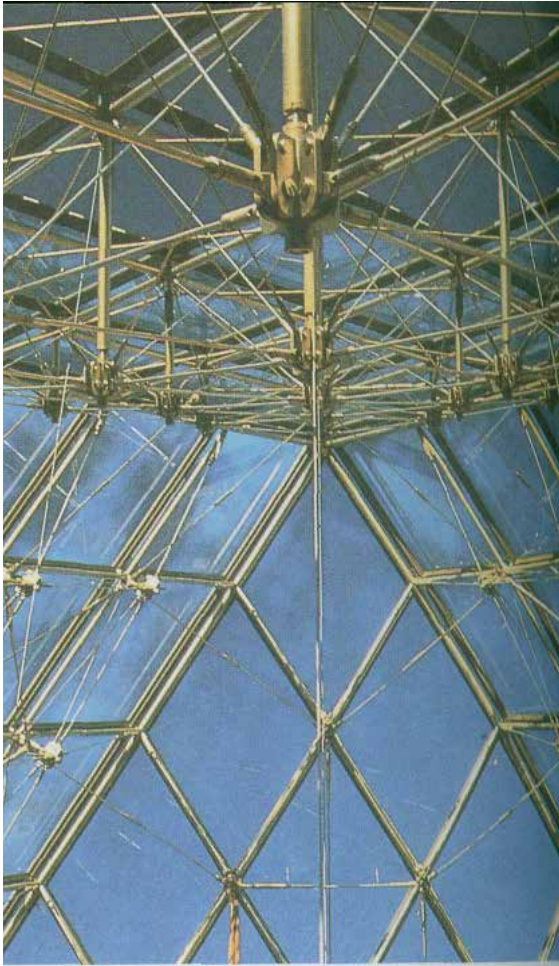
2.

2. Η κορυφή της πυραμίδας.

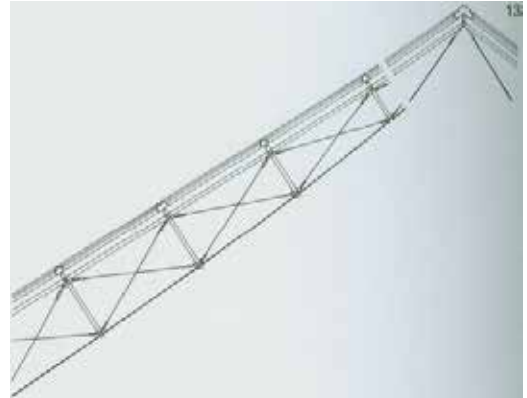


Κατασκευαστικές λεπτομέρειες σε κλίμακα 1:5. Οι δύο εικόνες παρουσιάζουν την κύρια και τη δευτεροβάθμια σύνδεση του φανώματος. Αυτές οι λεπτομέρειες είναι τοποθετημένες πάντα με κάποια κλίση. Το γυαλί είναι πάχους 21 χιλ. τοποθετημένο σε στρώματα.

1.



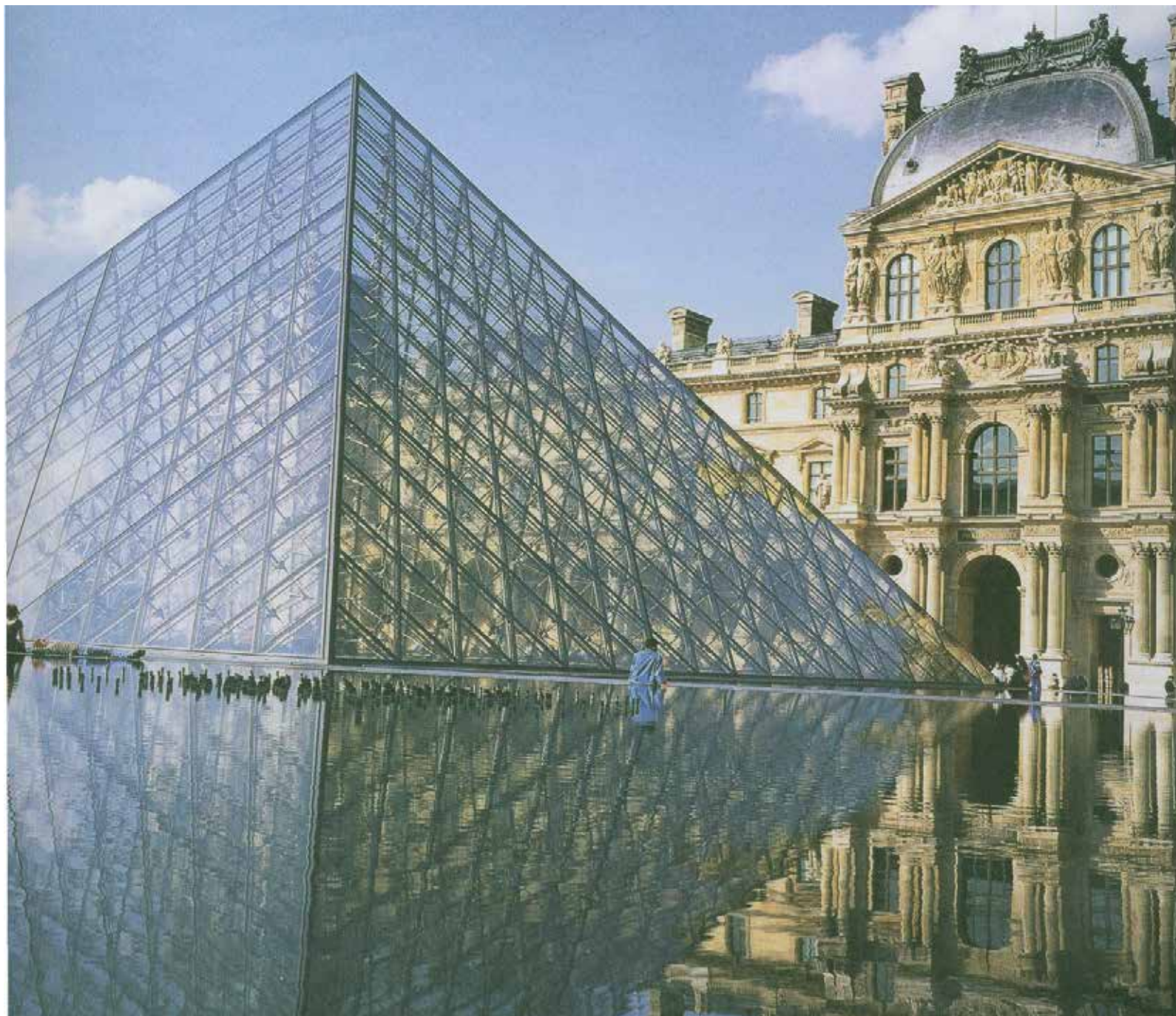
2.



3.

1,2. Λεπτομέρεια της κατασκευής: η συζήτηση των σχεδιαστών γύρω από τις αρχικές τους προσπάθειες να σχεδιάσουν την πυραμίδα σαν καθαρά κρυσταλλική μορφή, συμβιβάστηκε πάντα από την ίδια την κατασκευή μόλις προστέθηκε το σύστημα μεταλλικής στήριξης. Το ελαφρώς επεξεργασμένο τελικό σχεδιαστικό σύστημα μειώνει τη μεταλλική κατασκευή στο ελάχιστο.

3. Στη συναρμολόγηση σε μια πλάγια όψη της δομής, είναι ορατή η διάκριση μεταξύ κύριων και δευτερευόντων φανωμάτων .



**Η κεντρική πυραμίδα στο Cour Napoleon. Η ύπαρξη νερού προστατεύει τη πυραμίδα και δημιουργεί αντανάκλαση.**

## ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

“Glass in Architecture” Συγγραφέας: Michael Wiggnton, εκδόσεις  
PHAIDON, βιβλιοπωλείο Παπασωτηρίου.

“Glass Houses” Συγγραφείς: David and Brian Pye, βιβλιοθήκη Τεχνικού  
Επιμελητηρίου.

“A History of Glass Making” Συγγραφέας: Susan Frank, βιβλιοθήκη του  
Πανεπιστημίου Yale του Λονδίνου.