

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ ΥΑΛΟΣΤΑΣΙΩΝ

Πολύ συχνά οι κατασκευαστές υαλοστασίων έχουν βρεθεί μπροστά στο δίλημμα για το ποιά πάχος γυαλιού θα έπρεπε να επιλέξουν για κάποια κατασκευή από τζάμι. Οι προβληματισμοί αυτοί μάλιστα πρόσφατα έγιναν πολύ επίκαιροι μετά τη θεομηνία που έπληξε φέτος το χειμώνα (χειμώνας 1998) την Αθήνα, όπου οι σφοδροί άνεμοι οι οποίοι άγγιξαν ταχύτητες κοντά στα 140 km/h, προκάλεσαν εκτεταμένες ζημιές στις βιτρίνες των καταστημάτων και στα μεγάλα τζάμια των σπιτιών, φέρνοντας πολλούς επαγγελματίες (που κατασκεύασαν τις εν λόγω βιτρίνες) σε διαμάχη με τους πρώην πελάτες τους, οι οποίοι τους ζητούσαν ευθύνες για τη φθορά των περιουσιών τους. Σε πολλές περιπτώσεις η θραύση των βιτρινών προκάλεσε μεγάλες ζημιές και στα εμπορεύματα εκθέσεων αυτοκινήτων, επίπλων, φωτιστικών κλπ. Το βασανιστικό ερώτημα που αναδύεται από όλη την ιστορία είναι το ποιός πραγματικά φταίει και από ποιόν θα έπρεπε να ζητηθούν ευθύνες.

Φταίει μήπως οι κατασκευαστές-τοποθετητές οι οποίοι έχοντας υιοθετήσει την εύκολη λύση των υαλοπινάκων 10mm χωρίς κανένα δεύτερο προβληματισμό για τις διαστάσεις της βιτρίνας ή με την περιοχή όπου αυτή τοποθετείται, προτείνουν και τελικά τοποθετούν στο 95% των περιπτώσεων τζάμια αυτού του πάχους.

Φταίει μήπως οι πελάτες, οι οποίοι κυνηγώντας το φθηνό κόστος αποπαίρνουν οποιαδήποτε άλλη ασφαλέστερη λύση που πιθανώς θα τους προταθεί από κάποιον ευσυνείδητο κατασκευαστή, αναγκάζοντας έτσι την πλειονότητα των κατασκευαστών να αποφεύγουν ακόμη και να αναφέρουν την ύπαρξη ασφαλέστερων λύσεων.

Ή μήπως φταίει τα συλλογικά όργανα των εμπόρων υαλοπινάκων, οι εταιρείες παραγωγής και διάθεσης υαλοπινάκων, κλπ. οι οποίοι δεν φροντίζουν να ενημερώνουν επαρκώς τους κατασκευαστές-καταναλωτές για τα όρια αντοχής των προϊόντων τους?

Όποιος και να φταίει είτε καθένας ξεχωριστά ή όλοι μαζί ή κανένας, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο και είναι από ενοχλητικό έως και επικίνδυνο σε ορισμένες περιπτώσεις.

Ας δούμε, όμως, με ποιά τρόπο μπορεί κανείς να υπολογίσει με ακρίβεια το ασφαλέστερο πάχος αλλά και είδος γυαλιού για κάποια κατασκευή:

(1) Σαν πρώτη περίπτωση (και πιο απλή) ας εξετάσουμε την περίπτωση όπου θέλουμε να υαλώσουμε ένα άνοιγμα με κάποιο μονό τζάμι. Έστω, λοιπόν, ότι το τζάμι αυτό κατά την τοποθέτησή του θα πακτωθεί σε 4 σταθερά σημεία (όλες του οι πλευρές εφαρμόζουν σταθερά σε κάποια μορφή πλαισίου π.χ. αλουμίνιο, σίδηρο, ξύλο, κλπ.) και έστω ότι οι διαστάσεις του θα είναι:

$$L=2,48\text{m} \text{ η μεγάλη πλευρά του}$$

$$l=2,00\text{m} \text{ η μικρή πλευρά του}$$

συνεπώς  $S=4,96\text{m}^2$  είναι το εμβαδόν του

Εκτιμούμε, τέλος, την μέγιστη ένταση ανέμων που έχουν σημειωθεί στην περιοχή την τελευταία δεκαετία και πληροφορούμαστε ότι αυτή είναι 130km/h. Από τον πίνακα I βλέπουμε ότι αυτή η ταχύτητα ανέμου αντιστοιχεί σε πίεση 793 Pascals. Για να είμαστε απολύτως βέβαιοι για κάποια τοπικά φαινόμενα «στροβιλισμού» προσαυξάνουμε το νούμερο αυτό, αυθαίρετα, κατά 15% περίπου, και κάνουμε τους υπολογισμούς μας για πίεση ανέμου:

$$P=900\text{Pascals}$$

Τύλος, υπολογίζουμε τον λόγο της μεγάλης προς τη μικρή πλευρά και διακρίνουμε δύο περιπτώσεις:

$$i: L/l \leq 3$$

$$ii: L/l > 3$$

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τιμή αυτού του λόγου είναι:

$$2,48/2=1,24 < 3$$

άρα είμαστε στην περίπτωση (i) και για τους υπολογισμούς του πάχους (e) του γυαλιού θα χρησιμοποιήσουμε τον εξής τύπο:

$$(a) \quad e = SP/72$$

Αντικαθιστώντας σ' αυτόν τον τύπο τις γνωστές τιμές έχουμε:

$$e = 4,96 \times 900 / 72 = 7,87\text{mm}$$

Άρα για το συγκεκριμένο άνοιγμα ένα τζάμι 8mm αρκεί για να αντέξει με ασφάλεια ανέμους μέχρι και 140km/h.

(2) Ας υποθέσουμε τώρα ότι δίπλα σ' αυτό το τζάμι πρέπει να τοποθετηθεί και μία πόρτα securit, οπότε το τζάμι δεν είναι πακτωμένο σταθερά σε 4 αλλά σε 3 μόνο πλευρές. Σε αυτή την περίπτωση παίζει μεγάλο ρόλο το ποια από τις πλευρές θα μείνει ελεύθερη.

(2α) Αν μείνει ελεύθερη η μικρή πλευρά  $l$ , τότε ο τύπος υπολογισμού θα γίνει:

$$(b) \quad e = 1 P / 4,9$$

Και εάν αντικαταστήσουμε τις γνωστές τιμές τότε θα έχουμε:

$$e = 2 \cdot 900 / 4,9 = 12,24 \text{ mm}$$

πράγμα που σημαίνει ότι το τζάμι που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε θα πρέπει να είναι 15mm. Το τζάμι των 12mm δεν μας καλύπτει πλήρως. Επειδή, όμως, ο τύπος αυτός λειτουργεί και «ανάποδα» μπορούμε να υπολογίσουμε την πίεση του αέρα για την οποία ένα τζάμι 12mm θα μας καλύψει με ασφάλεια. Εδώ χρειάζεται να προσέξει κανείς ότι χρησιμοποιώντας τέτοιου είδους τύπους «ανάποδα», θα πρέπει να ξέρει ότι στο πάχος του γυαλιού που χρησιμοποιούμε θα πρέπει να θέσουμε το ελάχιστο πάχος που προβλέπεται βάσει των διεθνών στάνταρντ παραγωγής τζαμιού. Αυτό φαίνεται στον πίνακα 2 όπου βλέπουμε για τα 12mm ότι μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 11,7mm. Άρα εάν λύσουμε τον τύπο (b) ως προς την ανεμοπίεση  $P$  θα πάρουμε:

$$e = 1 P / 4,9 \Rightarrow (4,9xe/l)^2 = P \Rightarrow P = (4,9x11,7/2)^2 \Rightarrow \\ \Rightarrow P = 821 \text{ Pascals}$$

που ισοδυναμεί με άνεμο (πίνακας 1) 133km/h.

(2β) Στην περίπτωση που η πόρτα εφάπτεται στη μεγάλη πλευρά  $L$  τότε ο τύπος (b) αλλάζει ως εξής:

$$(2\beta i) \quad \text{αν ο λόγος } L/l \leq 9, \text{ τότε } e = 3SP/72 \quad (c)$$

$$\text{και } (2\beta ii) \quad \text{αν ο λόγος } L/l > 9, \text{ τότε } e = 3l P / 4,9 \quad (d)$$

Για το παράδειγμά μας ισχύει ο τύπος (c) όπου αντικαθιστώντας θα πάρουμε:

$$e = 3 \times 4,96 \times 900 / 72 = 13,63 \text{ mm}$$

Αρα, εφόσον, δεν υπάρχει τζάμι 14mm θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τζάμι 15mm για να έχουμε «το κεφάλι μας ήσυχο». Επειδή, όμως, το πάχος αυτό φαντάζει πιθανώς υπερβολικό για κάποιους, ας δούμε την αντοχή ενός τζαμιού 12mm σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιώντας τον τύπο (c) ανάποδα.

$$P = e^2 \times 72 / 3S = 11,7^2 \times 72 / (3 \times 4,96) \Rightarrow$$

$$P = 662 \text{ Pascals}$$

που αντιστοιχεί σε άνεμο 125km/h.

Αν στην ίδια περίπτωση δοκιμάσουμε για τζάμι 10mm (9,7 τοπικά) θα διαπιστώσουμε ότι η αντοχή της βιτρίνας στην ανεμοπίεση θα περιοριστεί στα:

$$P = 455 \text{ Pascals}$$

πράγμα που σημαίνει ότι ένας άνεμος που θα ξεπεράσει τα 10 μποφόρ θα σπάσει την βιτρίνα!

(3) Τέλος, ας υποθέσουμε ότι η υποτιθέμενη βιτρίνα μας εκτός από την πόρτα στην οποία εφάπτεται από τη μία πλευρά, από την άλλη πλευρά εφάπτεται σε ένα άλλο γυαλί. Τότε η πάκτωση του γυαλιού περιορίζεται μόνο στις δύο απέναντι πλευρές, και έστω ότι οι ελεύθερες πλευρές είναι οι μεγάλες. Τότε ο τύπος υπολογισμού του πάχους γίνεται:

$$e = L P / 4,9 \text{ (f)}$$

Και κάνοντας τις απαραίτητες αντικαταστάσεις διαπιστώνουμε με δέος ότι το αναγκαίο πάχος του γυαλιού που θα μας καλύψει με ασφάλεια είναι πλέον

$$e = 2,48 \times 900 / 4,9 = 15,2 \text{ mm}$$

Χρησιμοποιώντας τον τύπο (f) ανάποδα για να δούμε την ασφάλεια που θα μας παρέχει σε αυτήν την περίπτωση ένα τζάμι 10mm θα βρούμε ότι:

$$P = (9,7 \times 4,9 / 2,48)^2 = 367 \text{ Pascals}$$

**Δηλαδή ακόμη και τα 9 μποφόρ ανέμου καθιστούν επικίνδυνη την όλη κατασκευή.**

Πιθανόν όλα αυτά να φαντάζουν κάπως υπερβολικά αποτελούν, όμως, την πικρή αλήθεια για το πόσο επιπόλαια αντιμετωπίζεται το θέμα της αντοχής των υαλοπινάκων τόσο από τους τοποθετητές όσο και από τους ιδιοκτήτες.

Υπάρχουν, βέβαια, διάφοροι τρόποι (πατέντες) οι οποίοι εφαρμόζονται εμπειρικά και οι οποίοι αυξάνουν ικανοποιητικά την αντοχή των υαλοπινάκων. Ο πιο διαδεδομένος από όλους είναι αυτός της τοποθέτησης αντιρίδων αντιστήριξης. Πρακτικά, τοποθετώντας μία αντιρίδα σε κάποια από τις ελεύθερες πλευρές της βιτρίνας είναι σαν να αυξάνουμε τις σταθερά πακτωμένες πλευρές κατά μία. Όταν τοποθετεί κανείς αντιρίδες κατά μήκος της βιτρίνας την χωρίζει σε « υποβιτρίνες » μικρότερου μήκους άρα και εμβαδού, με αποτέλεσμα να αυξάνεται εντυπωσιακά η αντοχή στην ανεμοπίεση όπως εύκολα διαπιστώνει κανείς αν στα παραδείγματά μας υποδιπλασιάσει τη μία από τις δύο πλευρές.

Ως εδώ, λοιπόν, τα πράγματα λίγο ως πολύ ξεκαθάρισαν. Τι γίνεται, όμως, όταν το άνοιγμα θα πρέπει να καλυφθεί με τζάμι triplex, securit, διπλό ή ακόμα χειρότερα με συνδυασμό και των τριών (διπλός υαλοπίνακας με ένα τζάμι securit και το άλλο απλό ή triplex)?

Για τέτοιες περιπτώσεις υπάρχει η έννοια του ισοδύναμου πάχους  $e_t$  όπου αντιπροσωπεύει το πάχος του ειδικού γυαλιού που αντιστοιχεί στο πάχος  $e$  που υπολογίσαμε για το μονό απλό γυαλί. Ισχύει, λοιπόν, ο τύπος:

$$e_t = \epsilon \times e \quad (g)$$

όπου  $\epsilon$  είναι ένας συντελεστής ο οποίος εξαρτάται από το είδος του γυαλιού που θέλουμε να τοποθετήσουμε και δίνεται σε κάθε περίπτωση χωριστά από τον πίνακα 4.

Ας επανέλθουμε τώρα στην περίπτωση (2) του παραδείγματός μας για να υπολογίσουμε το ελάχιστο αναγκαίο πάχος γυαλιού που χρειαζόμαστε εάν χρησιμοποιήσουμε τζάμι securit. Από τους υπολογισμούς μας είχαμε βρει ότι το αναγκαίο πάχος του μονού απλού γυαλιού ήταν:

$$e = 12,24\text{mm}$$

το ισοδύναμο πάχος γυαλιού securit θα είναι:

$$et = 0,8 \times 12,24 = 9,79\text{mm}$$

Άρα ενώ το απλό γυαλί πάχους 12mm δε μας καλύπτει με ασφάλεια αν χρησιμοποιήσουμε γυαλί securit 10mm, είμαστε πλήρως καλυμμένοι.

Υποθέτουμε τώρα ότι ο ενδιαφερόμενος ιδιοκτήτης επιμένει να χρησιμοποιήσουμε γυαλί triplex. Για να βρούμε ποιόν τύπο, ποιο πάχος γυαλιού triplex θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε, καταφεύγουμε στον τύπο (g), ο οποίος μας αποκαλύπτει ότι:

$$et = 1,3 \times 12,24 = 15,9\text{mm}$$

Δηλαδή θα πρέπει να βάλουμε τζάμι 8+8 το οποίο, όμως, στην πραγματικότητα και βάσει του πίνακα 2 θεωρούμε ότι είναι  $7,7 + 7,7 = 15,4\text{mm}$ .

Αλλά και σε αυτήν την περίπτωση οι υπολογισμοί μπορούν να γίνουν και ανάποδα. Έστω, λοιπόν, ότι μόλις ο πελάτης ζητήσει γυαλί triplex, εμείς προτείνουμε το 5+5 και θέλουμε να υπολογίσουμε σε τι άνεμο αντέχει. Από τον πίνακα 2 έχουμε:

$$et = 4,8 + 4,8 = 9,6\text{mm}$$

Και από τον τύπο (g) ξέρουμε ότι:

$$et = 1,3 \times e \Rightarrow e = et/1,3 = 9,6/1,3 \Rightarrow$$

$$e = 7,4\text{mm}$$

Και χρησιμοποιώντας τον τύπο (b) λυμένο ως προς P, διαπιστώνουμε με έκπληξη ότι:

$$P = (e \times 4,9/l)^2 \Rightarrow$$

$$P = 328 \text{ Pascals}$$

Συμπερασματικά βλέπει κανείς ότι το συγκεκριμένο παράδειγμα (βιτρίνα 2 x 2,48 σε επαφή με πόρτα κατά μήκος της μικρής πλευράς) αν

κάποιος χρησιμοποιήσει τζάμι 10mm securit, τότε η κατασκευή θα αντέχει σε ανεμοπίεση μέχρι και

900 Pascals (ταχύτητα ανέμου 137km/h).

Για τζάμι 10mm απλό θα αντέχει σε ανεμοπίεση μέχρι και

600 Pascals (ταχύτητα ανέμου 112km/h).

Τέλος, για τζάμι 5+5, η αντοχή της κατασκευής περιορίζεται σε ανεμοπίεση

328 Pascals (ταχύτητα ανέμου 82 Km/h).

Βλέπει κανείς, λοιπόν, ότι η επιλογή του 5+5 στη θέση του απλού 10mm δήθεν για μεγαλύτερη αντοχή είναι ένας μύθος που πολλές φορές οδηγεί σε ανεξήγητα ραγίσματα βιτρινών ή άλλης μεγάλης επιφάνειας.

Αντίθετα φαίνεται ξεκάθαρα, ότι η χρήση του γυαλιού securit ίσου πάχους 10mm αυξάνει την αντοχή της κατασκευής στην ανεμοπίεση κατά 50%. Αυτός είναι, άλλωστε, και ένας από τους λόγους που για τη δημιουργία των γυάλινων πορτών επικράτησε η χρήση του γυαλιού 10mm securit και όχι το 5+5 (όποιος έκανε το πείραμα κατάλαβε την διαφορά).

Το πλεονέκτημα του triplex απέναντι του securit και του απλού γυαλιού είναι, βέβαια, ότι στο τζάμι 5+5 όταν ξεπεραστούν τα όρια αντοχής του και σπάσει, τότε δεν θα καταρρεύσει προκαλώντας παραπέρα ζημιές στα εμπορεύματα ή στα έπιπλα. Ούτε βέβαια στο securit θα προξενηθούν παραπέρα ζημιές μια και ο πολύ μικρός θρυμματισμός του αφήνει ανέπαφα τα γειτονικά αντικείμενα (είτε είναι εμπορεύματα ή έπιπλα ή άνθρωποι!). Είναι αυτό που στη γλώσσα του αυτοκινήτου αναφέρεται ως ενεργητικά και παθητική ασφάλεια. Το τζάμι securit σπάζει κατά 175% δυσκολότερα από το triplex. Αλλά όταν σπάσει απαιτείται η άμεση αντικατάστασή του αφήνοντας «ανοικτό» το χώρο μέχρι εκείνη τη στιγμή. Αντίθετα, το 5+5 σπάζει πολύ πιο εύκολα αλλά εκμηδενίζεται ο κίνδυνος παραπέρα ζημιών από δολιοφθορές περαστικών, μια και παραμένει στη θέση του έως την αντικατάστασή του. Το απλό 10άρι βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα από πλευράς αντοχής αλλά από τη στιγμή που θα σπάσει οι συνέπειες είναι απρόβλεπτες.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι η προσέγγιση που κάναμε μέχρι τώρα ήταν η απλούστερη δυνατή , χωρίς να λαμβάνουμε υπ' όψιν ορισμένους σημαντικούς παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τους υπολογισμούς.

Όπως για παράδειγμα το γεγονός ότι η ανεμοποίηση που ασκείται σ' έναν υαλοπίνακα σε κάποια συγκεκριμένη τοποθεσία επηρεάζεται από το ύψος σε σχέση με το έδαφος που είναι τοποθετημένος. Άλλη δύναμη δέχεται ένας υαλοπίνακας που είναι τοποθετημένος στο ισόγειο , άλλη στον 1<sup>ο</sup> όροφο οικοδομής , άλλη στο δεύτερο κ.ο.κ.

Επίσης σημαντικές διαφοροποιήσεις υπάρχουν και όταν ο υαλοπίνακας είναι διπλός αντί για μονός.

Όλες αυτές όμως οι επιμέρους μετρήσεις και υπολογισμοί , αποτελούν από μόνοι τους ένα τεράστιο νέο κεφάλαιο που δεν μπορεί να καλυφθεί στα πλαίσια αυτής της σύντομης επικοινωνίας. Σε κάθε συγκεκριμένη περίπτωση ο συνυπολογισμός όλων των επι μέρους αυτών στοιχείων έχει σαν αποτέλεσμα την σημαντική διαφοροποίηση από τα παραπάνω που δεν παύουν όμως να δίνουν μια ικανοποιητική προσέγγιση στο πρόβλημα.