

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΟΛΥΟΥΡΕΘΑΝΗΣ – ΙΝΩΝ ΩΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΟΥ ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΟΥ ΔΟΜΙΚΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

Σπυρίδων Σούλης  
*Δρ. Μηχανικός ΕΜΠ \**

Δέσποινα Τριάντου  
*Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ, Υπ. Διδάκτωρ \**

Παντελίτσα Γεωργίου  
*Χημικός Μηχανικός ΕΜΠ, Υπ. Διδάκτωρ \**

Λουκάς Ζουμπουλάκης  
*Επικ. Καθηγητής ΕΜΠ \**

Ιωάννης Σμιτζής  
*Καθηγητής ΕΜΠ \**

*\* Σχολή Χημικών Μηχανικών, Τομέας ΙΙ, «Επιστήμη και Τεχνική των Υλικών»,  
Εργαστηριακή Μονάδα «Προηγμένα και Σύνθετα Υλικά», Ηρώων Πολυτεχνείου 9,  
Ζωγράφου, Τ.Κ. 15773, Αθήνα*

*Λέξεις κλειδιά: Πολυουρεθάνη, Ενισχυμένα Υλικά, Ίνες Άνθρακα, Ίνες Υάλου,  
Δυναμική Θερμομηχανική Ανάλυση (DTMA), Θερμική Αγωγιμότητα*

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Μελετήθηκε η παρασκευή αφρού πολυουρεθάνης ενισχυμένου με ίνες άνθρακα, υάλου ή συνδυασμού τους. Με την προσθήκη των ινών αυξάνεται η πυκνότητα του αφρού και μειώνεται το μέγεθος των κυψελίδων. Με ενδιάμεσο ποσοστό ινών (3 - 4 %), το μέτρο αποθήκευσης  $E'$  αυξάνεται, όπως προσδιορίζεται από την Δυναμική Θερμομηχανική Ανάλυση (DMTA), ενώ επίσης αυξάνεται ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πολυουρεθάνες αποτελούν μια πολύ σημαντική κατηγορία πολυμερών. Η δυνατότητα συνδυασμού ποικίλων ιδιοτήτων τους με βάση αντίστοιχη τροποποίηση της δομής κατά την παραγωγή τους, επιτρέπει την εφαρμογή τους σε όλο σχεδόν το φάσμα χρήσεως των πολυμερών, από την περιοχή

των θερμοπλαστικών (φίλμς / υμένα, υλικά συσκευασίας, κλπ.), προς την περιοχή των ελαστομερών (λάστιχα και ίνες) και καταλήγοντας στην περιοχή των θερμοσκληρυνόμενων (χρώματα, λάκες, κλπ). Το μεγαλύτερο ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής των πολυουρεθανών αφορά την παραγωγή αφρωδών υλικών. Τα υλικά αυτά περιέχουν κυψελωτή δομή που τους προσδίδει θερμομονωτική ικανότητα, η οποία αυξάνεται με το μέγεθος των κυψελίδων, ενώ αντίστοιχα μειώνεται η μηχανική αντοχή τους [1- 3].

Γενικά, οι πολυμερικοί αφροί εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο στην βιομηχανία. Αποτελούμενοι από ένα σκελετό από διευθετημένες κυψελίδες, είτε ανοικτού είτε κλειστού τύπου, έχουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας (ιδιαίτερα χρήσιμη για την απορρόφηση κραδασμών), ιδιότητες θερμομόνωσης και ηχομόνωσης κλπ. Για αυτούς τους λόγους χρησιμοποιούνται ευρέως στην αεροναυπηγική, την αυτοκινητοβιομηχανία, τον κατασκευαστικό τομέα, σε συσκευασίες κλπ. [1,2,4,5]. Οι πολυουρεθάνες σχηματίζονται με την αντίδραση πολυϊσοκυανικών ενώσεων με ένωση που φέρει υδροξυομάδες, ενώ, πιο συγκεκριμένα, ο σκληρός αφρός πολυουρεθάνης παράγεται αναμιγνύοντας, υπό ελεγχόμενες συνθήκες, διϊσοκυανική ένωση (πχ. κάποιο από τα ισομερή του μέθυλο-διφαινυλο-διϊσοκυανίου, MDI), πολυόλη, διογκωτικούς παράγοντες και μια σειρά από άλλα πρόσθετα όπως καταλύτες, τασιενεργές ουσίες, νερό κλπ. Η δημιουργία του ομογενούς υαλώδους πλέγματος με μεγάλη πυκνότητα διασταυρώσεων είναι κρίσιμη για τις ιδιότητες των σκληρών αφρών πολυουρεθάνης, καθώς οδηγεί σε καλή θερμική σταθερότητα, μεγάλη αντοχή στην συμπίεση με μικρή πυκνότητα και καλές ιδιότητες φραγμού [1]. Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η παραγωγή αφρού πολυουρεθάνης ενισχυμένου με ίνες άνθρακα ή / και ίνες υάλου και η μελέτη των θερμομηχανικών ιδιοτήτων τους, καθώς και της θερμικής αγωγιμότητάς τους.

## 2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Το σύστημα πρώτων υλών παραγωγής αφρού πολυουρεθάνης που χρησιμοποιήθηκε, ήταν της εταιρίας DOW. Συγκεκριμένα, το ένα συστατικό (A) ήταν η ισοκυανική ένωση (MDI, κωδικός: VORACOR CD526), ενώ το δεύτερο συστατικό (B, κωδικός: VORACOR CD705) ήταν μίγμα πολυόλης με σύστημα καταλυτών, μικρή ποσότητα νερού, κατάλληλο φυσικό μέσο διογκώσεως (κωδικός: HFC 134a) και άλλα πρόσθετα. Η κατά βάρος αναλογία των δύο συστατικών για την παρασκευή του αφρού ήταν σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές, δηλαδή: (A/B) = 1.46 ± 0.04.

Οι ίνες άνθρακα που χρησιμοποιήθηκαν, ήταν του τύπου CS 3MM, με μέσο μήκος 3 mm, ενώ οι ίνες υάλου του τύπου CS 6MM, με μέσο μήκος 6 mm, όπου και τα δύο είδη ινών ήταν προϊόντα της εταιρίας R&G Faserverbundwerkstoffe GmbH.

Για την παρασκευή των ενισχυμένων αφρών, αρχικά οι ίνες αναμιγνύονταν με την υγρή ισοκυανική ένωση μέσα σε ανοικτού τύπου μήτρα, στην συνέχεια προστίθετο η πολυόλη, συνεχίζετο η ανάδευση για ~1 min και αφήνετο το μίγμα να σχηματίσει αφρό χωρίς να ασκείται εξωτερική πίεση.

Ο αριθμός κυψελίδων ανά μονάδα μήκους (cm) του αφρού υπολογίστηκε από τον μέσο όρο μετρήσεων σε τουλάχιστον δέκα διαφορετικές περιοχές του (εξωτερικά και εσωτερικά με τομή του αφρού). Το μέσο μήκος των κυψελίδων (MMK) είναι αντίστροφο του αριθμού κυψελίδων ανά cm. Με αποκοπή από τον αφρό δοκιμίου σχήματος ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου υπολογίστηκε η φαινόμενη πυκνότητα διαιρώντας το βάρος του δοκιμίου προς τον όγκο του, ως μέσος όρος τεσσάρων διαφορετικών δοκιμών.

Οι αφροί που παρασκευάστηκαν, μελετήθηκαν με Δυναμική Θερμομηχανική Ανάλυση (Dynamic Mechanical Thermal Analysis, DMTA) σε συσκευή Pyris Diamond DMA της εταιρίας Perkin Elmer, στην οποία χρησιμοποιήθηκε η μονάδα τανυσμού (tension module). Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε θερμοκρασίες από -100 έως +80 °C, με ρυθμό θέρμανσης 1 °C/min, για συχνότητες μεταξύ 0.1 και 10 Hz. Τα μετρούμενα μεγέθη ήταν το μέτρο αποθήκευσης  $E'$ , το μέτρο απωλειών  $E''$ , καθώς και ο παράγοντας απωλειών  $\tan\delta$ , ο οποίος ισούται με το πηλίκο:  $E''/E'$ .

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ( $\lambda$ ) των αφρών, ενισχυμένων με ίνες ή όχι, μετρήθηκε σε ειδική συσκευή, σύμφωνα με την πρότυπη δοκιμή του DIN 52612 [6].

### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ- ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι διαφορετικοί αφροί πολυουρεθάνης, ενισχυμένοι με ίνες ή όχι, που παρασκευάστηκαν. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των αφρών πολυουρεθάνης, ενισχυμένων με ίνες ή όχι. Η φαινόμενη πυκνότητα του μη ενισχυμένου αφρού PUF, είναι 0.034 g/cm<sup>3</sup>, ενώ των ενισχυμένων αφρών είναι μεγαλύτερη λόγω της μεγαλύτερης πυκνότητας που έχουν οι ίνες σε σχέση με την πολυουρεθάνη. Αντίθετα, το μέσο μήκος κυψελίδων (MMK) μειώνεται με την προσθήκη των ινών. Το ωφέλιμο ύψος των αφρών κυμαίνεται από 7.1 έως 7.5 cm, δηλαδή δεν φαίνεται να επηρεάζεται ιδιαίτερα από την προσθήκη των ινών. Εκτός από τον μη ενισχυμένο αφρό PUF και τον ενισχυμένο με ίνες υάλου αφρό PUF-GF1, που είχαν 100 % ομοιομορφία στο MMK, οι υπόλοιποι ενισχυμένοι αφροί εμφάνισαν ανομοιομορφία από 10 έως 30 %. Στα Σχήματα 1 και 2 παρουσιάζεται η φαινόμενη πυκνότητα των αφρών και το MMK αυτών, αντίστοιχα, συναρτήσει του ποσοστού (% w/w) των ινών. Η φαινόμενη πυκνότητα των

ενισχυμένων αφρών αυξάνει αρχικά απότομα με την αύξηση του ποσοστού των ινών, ενώ στη συνέχεια σταθεροποιείται. Αντίστοιχα, το MMK των ενισχυμένων αφρών μειώνεται σταδιακά με την αύξηση του ποσοστού των ινών, ενώ στη συνέχεια και αυτό σταθεροποιείται. Οι ενισχυμένοι αφροί με ίνες άνθρακα έχουν μεγαλύτερη φαινόμενη πυκνότητα και μικρότερο MMK σε σχέση με τους αντίστοιχους με ίνες υάλου. Δεδομένου ότι η πυκνότητα των ινών άνθρακα είναι  $\sim 1.8 \text{ g/cm}^3$  ενώ των ινών υάλου είναι  $\sim 2.6 \text{ g/cm}^3$ , θα ανέμενε κανείς να ισχύουν τα ίδια και για τους αντίστοιχους αφρούς. Λαμβάνοντας όμως υπόψη ότι το μέτρο ελαστικότητας των ινών άνθρακα είναι πάνω από 240 GPa, ενώ αυτό των ινών υάλου είναι  $\sim 80 \text{ GPa}$ , η μεγάλη ακαμψία των ινών άνθρακα παρεμποδίζει περισσότερο τον ελεύθερο σχηματισμό αφρού απ' ό,τι οι ίνες υάλου, οι οποίες μπορούν να κάμπτονται. Οι τιμές της φαινόμενης πυκνότητας και του MMK του ενισχυμένου αφρού με ίνες άνθρακα και ίνες υάλου, δηλαδή του υβριδικού PUF-CF-GF, βρίσκονται κοντά στις αντίστοιχες τιμές των ενισχυμένων αφρών με ίνες υάλου.

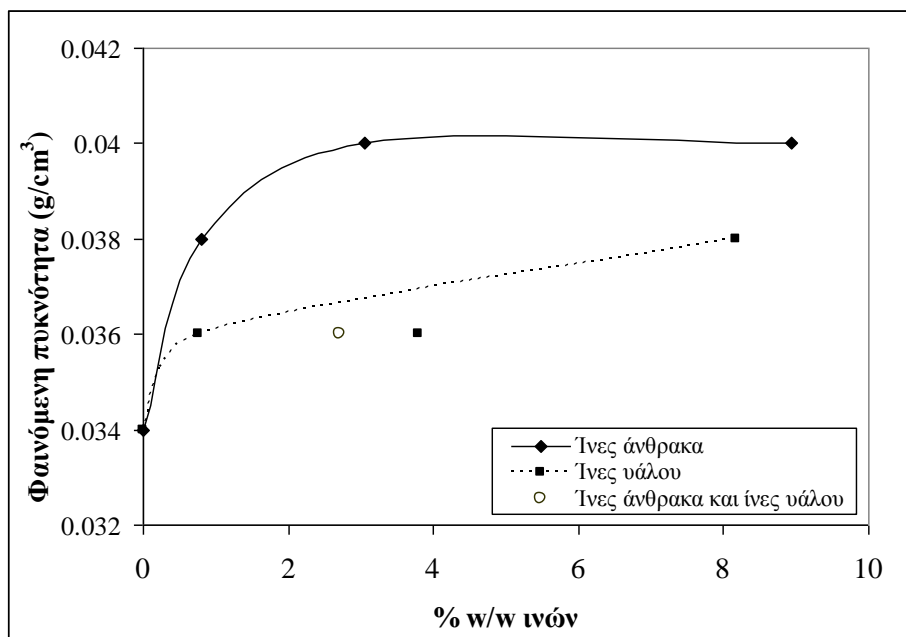
Η πυκνότητα στερεού, δηλαδή η πυκνότητα της πολυουρεθάνης χωρίς κυψελίδες, μπορεί να εκτιμηθεί υπολογιστικά θεωρώντας την πυκνότητα των επιμέρους συστατικών της πολυουρεθάνης, τις αναλογίες τους και τον νόμο των μιγμάτων [5]. Με βάση τις πυκνότητες της πολυόλης και της ισοκυανικής ένωσης, καθώς και την αναλογία τους, η πυκνότητα στερεού της μη ενισχυμένης πολυουρεθάνης βρέθηκε ότι είναι  $1.14 \text{ g/cm}^3$ , η οποία βρίσκεται στην περιοχή τιμών πυκνότητας των πολυουρεθανών που αναφέρεται στη βιβλιογραφία [5].

Πίνακας 1. Αφροί πολυουρεθάνης ενισχυμένοι με ίνες ή όχι.

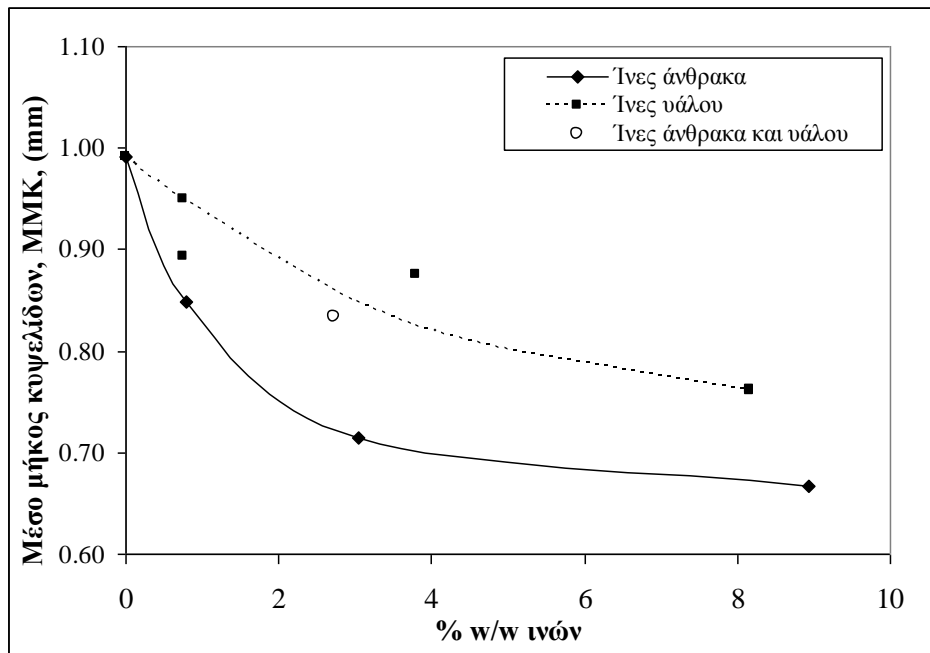
Σύσταση υλικού	Αναλογία Ισοκυανικής ένωσης / Πολυόλη (w / w)	Ίνες Άνθρακα (CF) (% w / w)	Ίνες Υάλου (GF) (% w / w)
PUF	1.45	0	0
PUF-CF1	1.48	0.8	0
PUF-CF2	1.42	3.0	0
PUF-CF3	1.45	8.9	0
PUF-GF1	1.46	0	0.8
PUF-GF2	1.46	0	3.8
PUF-GF3	1.42	0	8.2
PUF-CF-GF	1.45	1.4	1.4

Πίνακας 2. Τεχνικά χαρακτηριστικά αφρών πολυουρεθάνης ενισχυμένων με ίνες ή όχι.

Σύσταση υλικού/ Κωδικός	Φαινόμενη πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	Αριθμός κυψελίδων /cm	Μέσο μήκος κυψελίδων (MMK) (mm)	Ωφέλιμο ύψος αφρού (cm)	Παρατηρήσεις
PUF	0.034	10.1	0.99	7.2	Ομοιομορφία 100 %
PUF-CF1	0.038	11.8	0.85	7.2	Ομοιομορφία 90 %, 10 % MMK 2.5 mm
PUF-CF2	0.040	14.0	0.71	7.2	Ομοιομορφία 70 %, 20 % MMK 1.5 mm, 10 % MMK 0.6 mm
PUF-CF3	0.040	15.0	0.67	7.5	Ομοιομορφία 82 %, 9 % MMK 2.5 mm, 9 % MMK 1.3 mm
PUF-GF1	0.036	11.2	0.89	7.1	Ομοιομορφία 100 %
PUF-GF2	0.036	11.4	0.88	7.5	Ομοιομορφία 80 %, 20 % MMK 1.2 mm
PUF-GF3	0.038	13.1	0.76	7.2	Ομοιομορφία 90 %, 10 % MMK 1.3 mm
PUF-CF-GF	0.036	12.0	0.83	7.2	Ομοιομορφία 80 %, 10 % MMK 2.5 mm, 10 % MMK 1.3 mm

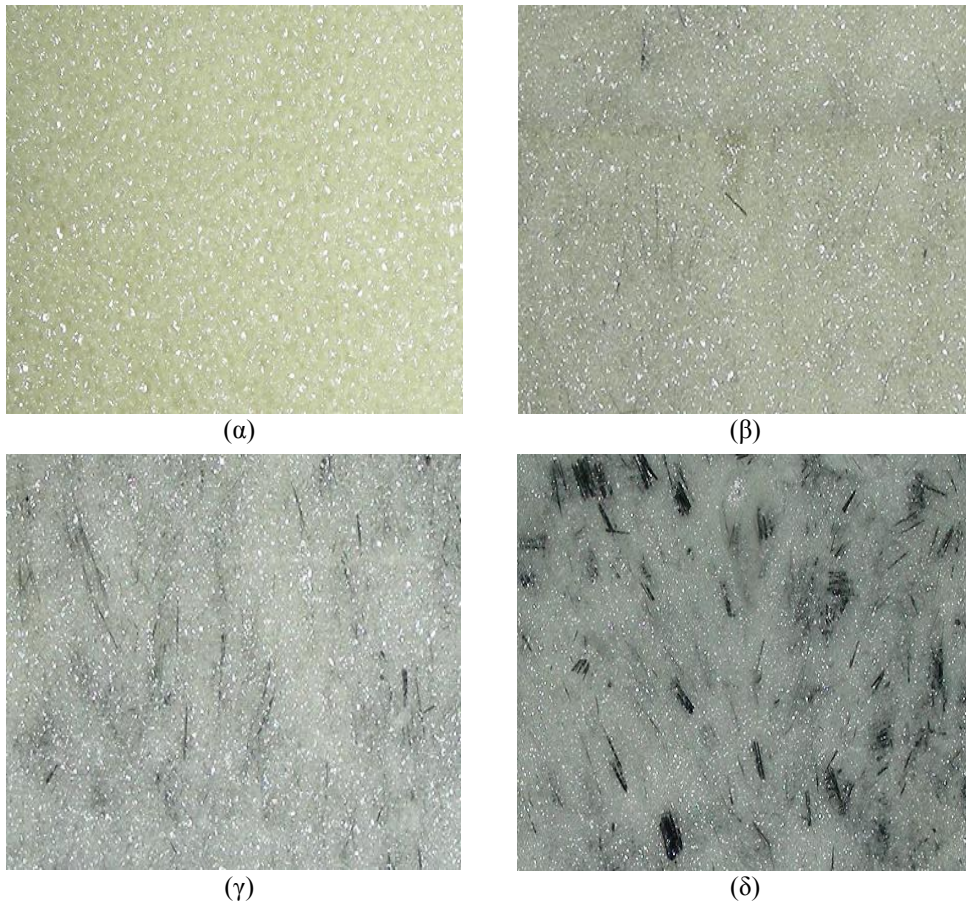


Σχήμα 1. Φαινόμενη πυκνότητα αφρών συναρτήσει του ποσοστού (% w/w) των ινών



‘Σχήμα 2. Μέσο μήκος κυψελίδων, MMK, συναρτήσει του ποσοστού (% w/w) των ινών’

Στο Σχήμα 3 φαίνονται οι μακροσκοπικές φωτογραφίες τομών των αφρών PUF, PUF-CF1, PUF-CF2 και PUF-CF3. Στους ενισχυμένους αφρούς με ίνες άνθρακα φαίνεται ότι οι ίνες είναι διεσπαρμένες ικανοποιητικά ομοιογενώς μέσα στην μάζα του αφρού. Ακόμα καλύτερη διασπορά των ινών εμφανίζεται στους ενισχυμένους αφρούς με ίνες υάλου, παρόλο που έχουν διπλάσιο μήκος από τις ίνες άνθρακα. Αυτό οφείλεται στην μεγαλύτερη ευκαμψία των ινών υάλου σε σχέση με τις ίνες άνθρακα, γεγονός που επιτρέπει στις πρώτες να ενσωματώνονται ευκολότερα στη μάζα του αφρού. Από την οπτική παρατήρηση των δοκιμών διαπιστώνεται ότι στον μη ενισχυμένο αφρό PUF, οι κυψελίδες εμφανίζουν μεγάλη ομοιομορφία και είναι αποκλειστικά κλειστού τύπου με εξαγωνικό σχήμα. Στους ενισχυμένους αφρούς, οι κυψελίδες γενικά είναι λιγότερο ομοιόμορφες, καθώς εκτός από την πλειοψηφία των μικρών, κλειστού τύπου κυψελίδων σφαιρικού σχήματος, υπάρχει ένα ποσοστό επιμήκων, ανοικτού τύπου κυψελίδων.

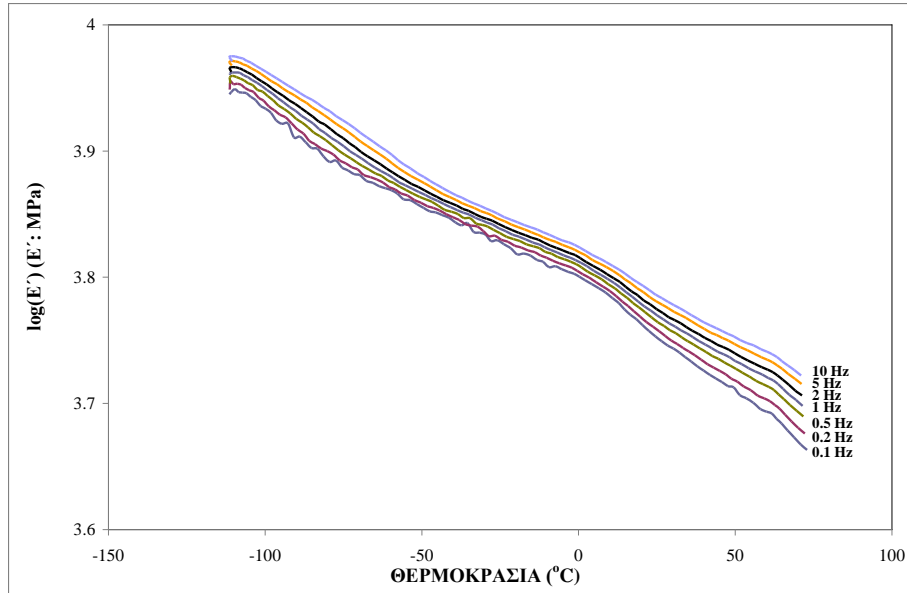


‘Σχήμα 3. Φωτογραφίες τομών αφρών πολυουρεθάνης (α) PUF, (β) PUF-CF1, (γ) PUF-CF2 και (δ) PUF-CF3’

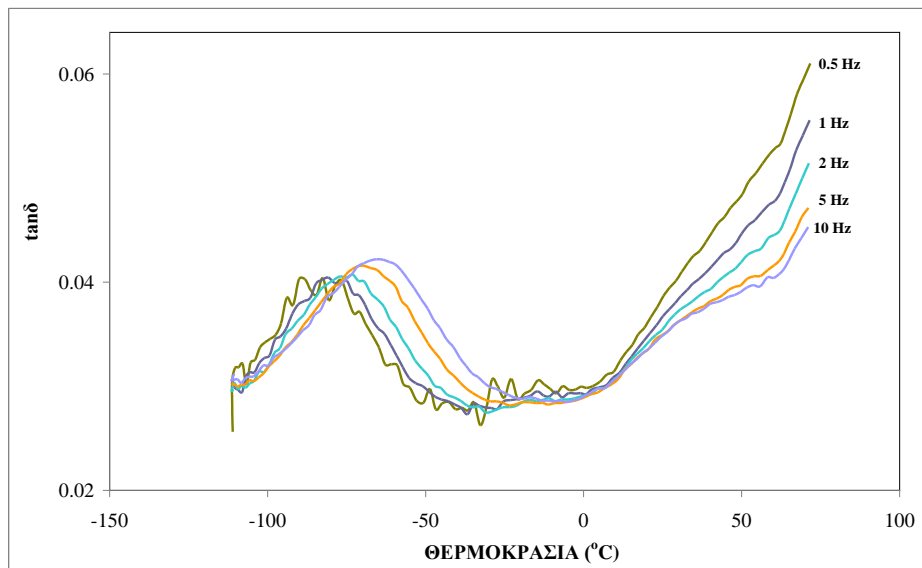
Στο Σχήμα 4 δίνεται η μεταβολή του μέτρου αποθήκευσης  $E'$  του μη ενισχυμένου αφρού, PUF, συναρτήσει της θερμοκρασίας για συχνότητες από 0.1 έως 10 Hz. Το  $E'$  αποτελεί μέτρο της ακαμψίας ή της «σταθερότητας» της μορφής που διατηρεί το ελαστικό μέρος της παραμόρφωσης. Το  $E'$  μειώνεται ελαφρά συναρτήσει της θερμοκρασίας, ενώ αυξάνεται ελαφρά συναρτήσει της συχνότητας.

Στο Σχήμα 5 παριστάνεται η μεταβολή του παράγοντα απωλειών  $\tan\delta$  του μη ενισχυμένου αφρού, PUF, συναρτήσει της θερμοκρασίας για συχνότητες από 0.5 έως 10 Hz. Οι καμπύλες για τις συχνότητες 0.1 και 0.2 Hz δεν έχουν συμπεριληφθεί, καθώς εμφανίζουν έντονο θόρυβο, λόγω συντονισμού σε αυτές τις συχνότητες των κυψελίδων που περιέχουν αέριο. Στα 0.5 Hz η καμπύλη  $\tan\delta$  εμφανίζει κορυφή στους  $-80^\circ\text{C}$ , η οποία με την αύξηση της συχνότητας μετατοπίζεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Παρόμοια μορφή καμπυλών  $E'$  και  $\tan\delta$  εμφανίζουν και οι ενισχυμένοι με ίνες αφροί.



‘Σχήμα 4. Μεταβολή του μέτρου αποθήκευσης  $E'$  του μη ενισχυμένου αφρού, PUF, συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορες συχνότητες’



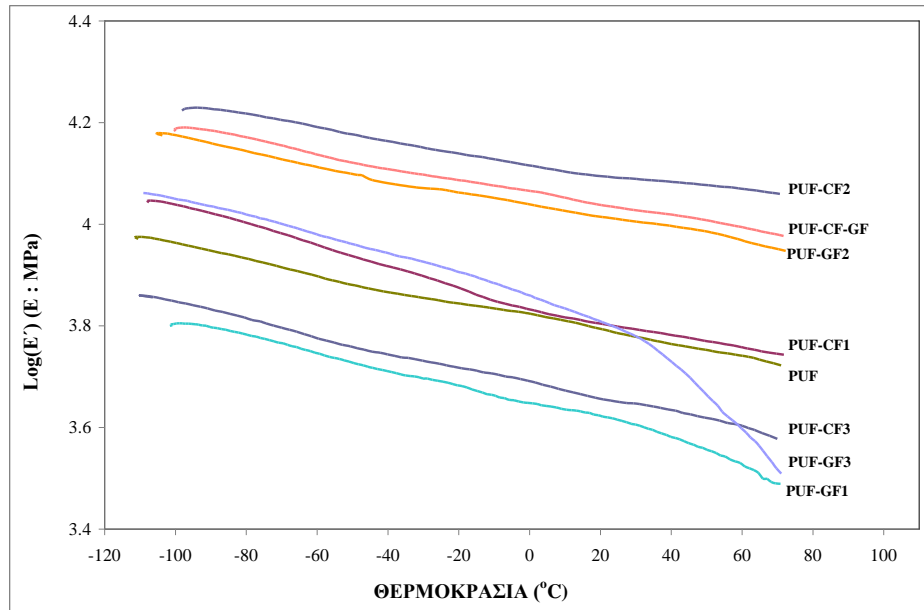
‘Σχήμα 5. Μεταβολή του παράγοντα απωλειών  $\tan\delta$  του μη ενισχυμένου αφρού, PUF, συναρτήσει της θερμοκρασίας για διάφορες συχνότητες’



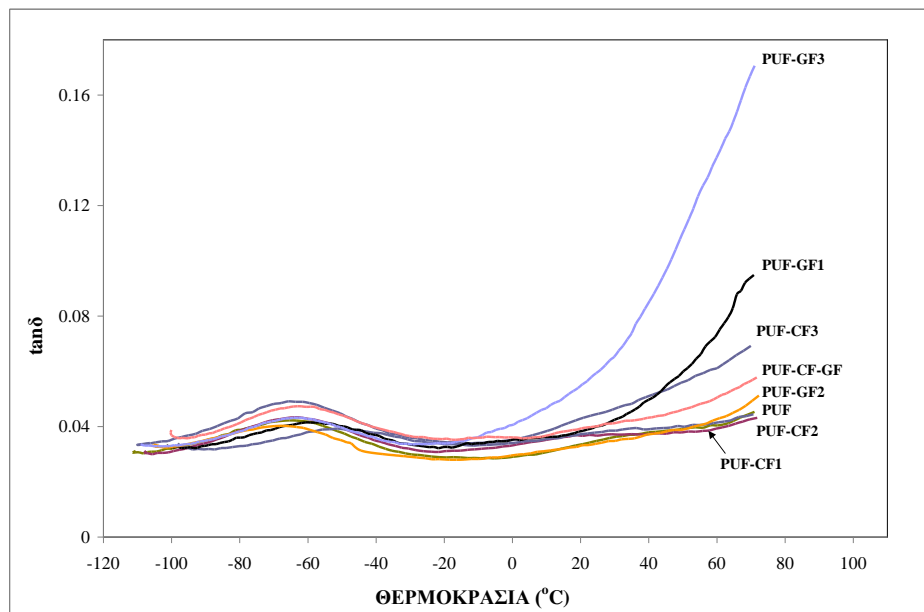
Προκειμένου για την σύγκριση των αφρών μεταξύ τους, στα Σχήματα 6–8 παρουσιάζεται η μεταβολή του  $E'$  και του  $\tan\delta$  συναρτήσει της θερμοκρασίας μόνο για την μεγαλύτερη συχνότητα των 10 Hz. Από το Σχήμα 6 διαπιστώνεται, ότι η μεταβολή του  $E'$  συναρτήσει της θερμοκρασίας για τους ενισχυμένους με ίνες αφρούς ακολουθεί παρόμοια πορεία με αυτή του μη ενισχυμένου αφρού. Οι ενισχυμένοι αφοί με χαμηλό ποσοστό ινών εμφανίζουν τιμές  $E'$  στην περιοχή θερμοκρασιών που εξετάστηκε, παρόμοιες (PUF-CF1) με τον μη ενισχυμένο αφρό (PUF), ή μειωμένες (PUF-GF1). Οι ενισχυμένοι αφοί με το ενδιάμεσο ποσοστό ινών (PUF-CF2 και PUF-GF2), εμφανίζουν τιμές  $E'$  αρκετά υψηλότερες από αυτή του μη ενισχυμένου αφρού (PUF), ενώ με το υψηλότερο ποσοστό ινών (PUF-CF3 και PUF-GF3) παρατηρείται μείωση του  $E'$  ως προς την προηγούμενη περίπτωση. Ο υβριδικός αφρός (PUF-CF-GF) εμφανίζει τιμή  $E'$  μεταξύ των αντιστοιχών ενισχυμένων αφρών PUF-CF2 και PUF-GF2. Αυτό υποδηλώνει ότι το βέλτιστο ποσοστό ινών είναι πάνω από 3 % και κάτω από 9 %.

Στο Σχήμα 7 δίνεται η μεταβολή του παράγοντα απωλειών  $\tan\delta$  συναρτήσει της θερμοκρασίας για τους ενισχυμένους με ίνες ή όχι αφρούς. Όλοι οι αφοί εμφανίζουν μια κορυφή στην περιοχή από  $-50$  έως  $-66$  °C, η οποία δίδεται σε μεγέθυνση στο Σχήμα 8. Παρατηρείται ότι αυτή η κορυφή μετατοπίζεται προς μεγαλύτερες θερμοκρασίες στους ενισχυμένους με ίνες αφρούς.

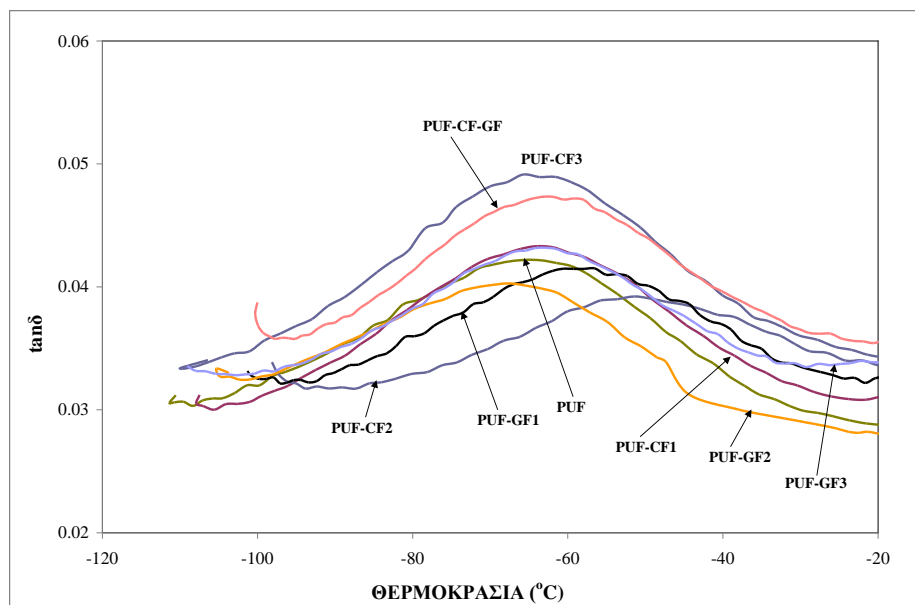
Στους ενισχυμένους ή μη αφρούς εμφανίζεται μόνο το σημείο υαλώδους μετάπτωσης,  $T_g$ , των μαλακών τμημάτων, ενώ το αντίστοιχο των σκληρών τμημάτων είναι σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 80 °C. Οι πολυουρεθάνες ταξινομούνται ως συμπολυμερή που αποτελούνται από τυχαία σκληρά και μαλακά τμήματα. Τα σκληρά και μαλακά τμήματα μπορεί να εμφανίσουν φυσική μετάπτωση (πχ. τήξη) και μετάπτωση φάσης (πχ. υαλώδης μετάπτωση) και επίσης η συσσωμάτωση του σκληρού τμήματος είναι θερμικά αντιστρεπτή. Επομένως, η μηχανική συμπεριφορά των πολυουρεθάνων εμφανίζει μεγάλη εξάρτηση από τη θερμοκρασία. Η χαρακτηριστική μετάπτωση φάσεως κάτω από  $-30$ °C, αντιστοιχεί στην υαλώδη μετάπτωση του μαλακού τμήματος [3].



‘Σχήμα 6. Μεταβολή του μέτρου αποθήκευσης  $E'$  των ενισχυμένων ή όχι αφρών, συναρτήσει της θερμοκρασίας για συχνότητα 10 Hz’



‘Σχήμα 7. Μεταβολή του παράγοντα απωλειών  $\tan\delta$  των ενισχυμένων ή όχι αφρών, συναρτήσει της θερμοκρασίας για συχνότητα 10 Hz’



Σχήμα 8. Μεταβολή του παράγοντα απωλειών  $\tan\delta$  των ενισχυμένων ή όχι αφρών, συναρτήσει της θερμοκρασίας (από -110 έως -20 °C) για συχνότητα 10 Hz

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας,  $\lambda$ , μετρήθηκε στην θερμοκρασία των 44 °C και για τον μη ενισχυμένο αφρό βρέθηκε ίσος με 0.077 W/°C\*m, που είναι στην περιοχή τιμών που δίνονται στη βιβλιογραφία [7]. Η αντίστοιχη τιμή για τον υβριδικό ενισχυμένο αφρό με ίνες υάλου και ίνες άνθρακα, PUF-CF-GF, βρέθηκε ίση με 0.126 W/°C\*m.

#### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο αφρός πολυουρεθάνης με προσθήκη ινών άνθρακα ή / και ινών υάλου σε σχέση με τον αφρό πολυουρεθάνης χωρίς πρόσθετο, παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Έχει αυξημένη πυκνότητα αφρού
- Έχει μειωμένο μέγεθος κυψελίδων
- Έχει αυξημένο μέτρο αποθήκευσης  $E'$  (που αποτελεί μέτρο της ακαμψίας ή της «σταθερότητας» της μορφής του υλικού) για ενδιάμεσο ποσοστό ινών
- Έχει αυξημένο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας

Η προσθήκη τέτοιων ινών δημιουργεί αφρό πολυουρεθάνης με τροποποιημένες ιδιότητες, ενώ διαπιστώθηκε ότι το βέλτιστο ποσοστό ινών είναι πάνω από 3 % και κάτω από 9 %. Τα αποτελέσματα διευκολύνουν τον

σχεδιασμό συστήματος πολυουρεθάνης - ινών, έτσι ώστε να γίνεται ενίσχυση του αφρού με ταυτόχρονη ικανοποιητική μονωτική ικανότητά του.

#### ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Εκφράζονται ευχαριστίες στην δ. Α. Χρυσοχοΐδου, Χημικό Μηχανικό ΕΜΠ, υπεύθυνη τεχνικών πωλήσεων της εταιρίας Polysystems Ltd, για την ευγενική προσφορά των πρώτων υλών για τη παραγωγή αφρού πολυουρεθάνης.

#### ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Dedecker, K., "Introduction to rigid foams", in "The Huntsman polyurethanes book", ed. Lee, S., Wiley, New York, USA (2002) 229-244.
- [2] Ulrich, H. "Polyurethanes", in "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", Vol. 4, Wiley, New York, USA (2002), 26-72.
- [3] Kuo-Huang H., Der-Chau L., & Yuan-Chen C., "Thermoplastic Polyurethanes" in "Handbook of Thermoplastics", ed. Olagoke O., New York (1997) 381-395.
- [4] Gladysz, G.M. "Composite foams", in "Encyclopedia of Polymer Science and Technology", Vol. 9, Wiley, New York, USA (2004), 267-281.
- [5] St.-Michel, F., Chazeau, L., Cavaille, J.-Y. & Chabert E., "Mechanical properties of high density polyurethane foams: I. Effect of the density", *Comp. Sci. Techn.*, Vol. 66 (2006), 2700-2708.
- [6] DIN, Bestimmung der Waermeleitfaehigkeit mit dem Plattengeruet, DIN Standard 52612 -1979 (1979).
- [7] Σμιτζής, Ι., «Θερμοαναλυτικές Μέθοδοι και Θερμικές Ιδιότητες Υλικών», Σημειώσεις για το Δ.Π.Μ.Σ : «Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών», Αθήνα (2004).