



Α.Τ.Ε.Ι ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

---

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ SURFBOARD  
SURFBOARD DESIGN AND CONSTRUCTION

---



---

Σπουδαστής: Φανιουδάκης Νικόλαος, ΑΜ 4126

Επιβλέπων: Παπαδάκης Νικόλαος

Ηράκλειο, Ιούλιος 2014



**Υπεύθυνη Δήλωση** : Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην πτυχιακή εργασία. Επίσης έχω αναφέρει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η πτυχιακή εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά ειδικά για τις απαιτήσεις του προγράμματος σπουδών του Τμήματος Μηχανολογίας του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης.



## Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή .....	7
1.1	Στόχοι πτυχιακής .....	7
2	Ιστορική Αναδρομή – Εξέλιξη.....	7
3	Ορισμοί – Βασικές Έννοιες.....	11
4	Διαδικασία Κατασκευής.....	19
4.1	Σχεδιασμός – Σχηματισμός σανίδας .....	19
4.2	Τοποθέτηση βάσεων πτερυγίων .....	21
4.3	Επικάλυψη Σανίδας.....	24
5	Υλικά.....	28
5.1	Περιγραφή υλικών .....	28
5.1.1	Ενισχύσεις - Ίνες .....	28
5.1.2	Ρητίνες (Μήτρα σύνθετου υλικού) .....	29
5.1.3	Διογκωμένος αφρός (πυρήνας Σάντουιτς – σανίδας).....	30
5.2	Συνολικό Κόστος Υλικών που Χρησιμοποιήθηκαν .....	31
5.3	Υπολογισμός ιδιοτήτων στρώσης.....	33
5.3.1	Πάνω στρώση .....	33
5.3.2	Υπολογισμός ιδιοτήτων για την κάτω στρώση .....	35
6	Υπολογισμός Αντοχής Σανίδας.....	36
6.1	Γενικά.....	36
6.2	Περιγραφή μοντέλου-Μεθοδολογία .....	36
6.3	Αποτελέσματα .....	37
6.3.1	Αποτελέσματα Υπολογισμών για Παραμορφώσεις.....	37
6.3.2	Αποτελέσματα Υπολογισμών για Απομάκρυνση .....	38
6.4	Συζήτηση για τα αποτελέσματα. ....	45
7	Συμπεράσματα .....	46
8	Παράρτημα:- Αναφορά αποτελεσμάτων solidworks.....	47
8.1	Description .....	47

8.2	Assumptions .....	47
8.3	Model Information .....	47
8.4	Study Properties .....	47
8.5	Units .....	48
8.6	Material Properties .....	48
8.6.1	Solid Bodies .....	48
8.6.2	Shells.....	48
8.7	Loads and Restraints .....	50
8.7.1	Fixture.....	50
8.7.2	Load .....	50
8.8	Contact .....	51
8.9	Mesh Information.....	51
8.10	Reaction Forces .....	51
8.10.1	Reaction Moments .....	51
8.11	Free-Body Forces.....	52
8.11.1	Free-body Moments.....	52
8.12	Study Results .....	52
9	Βιβλιογραφία.....	55

# 1 Εισαγωγή

Το άθλημα της κυματολίσθησης (surfing) έχει τις ρίζες του ιστορικά στα τέλη του 18<sup>ου</sup> αιώνα. Αρχικά χρησιμοποιούσαν μονό το σώμα τους για να γλιστρούν πάνω στο κύμα. Αργότερα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούν σανίδες ξύλινες φτιαγμένες από κορμούς δέντρων. Καθώς όμως η τεχνολογία εξελίσσεται και ανακαλύπτονται νέα υλικά, οι κατασκευαστές των σανίδων surfing δοκιμάζουν διάφορους τρόπους κατασκευής. Αποτέλεσμα αυτής της εξέλιξης και αυτών των δοκιμών είναι να έχουμε φτάσει από τις σανίδες από δέντρα που ζύγιζαν αρκετά κιλά να κατασκευάζονται σανίδες αρκετά ελαφριές που χρησιμοποιούν ως πυρήνα αφρό διογκωμένης πολυστερίνης (EPS). Ο αφρός είναι καλυμμένος με διάφορα υλικά όπως ξύλο (bamboo), υαλοϋφασμα, ανθρακόνημα και πρόσφατα άρχισε να χρησιμοποιείται το Kevlar. Μπορεί επίσης ο κατασκευαστής να χρησιμοποιήσει συνδυασμό των παραπάνω υλικών στην σανίδα που κατασκευάζει.

## 1.1 Στόχοι πτυχιακής

Σκοπός της πτυχιακής αυτής εργασίας είναι να ελεγχτεί κατά πόσο τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για τη σανίδα που κατασκευάστηκε δεν θα παρουσιάσουν παραμορφώσεις από την πίεση που ασκούν τα πόδια του αναβάτη. Ο έλεγχος αυτός θα γίνει με τη μέθοδο της προσομοίωσης σε υπολογιστή. Επίσης παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής της σανίδας με υαλοϋφασμα και ανθρακόνημα σε συνδυασμό των δυο υλικών.

## 2 Ιστορική Αναδρομή – Εξέλιξη

Η ιστορία της σανίδας κυματολίσθησης ξεκινάει το 1778 όπου γίνεται για πρώτη φορά έγγραφη αναφορά για αυτήν στο ημερολόγιο ενός караβιού από ένα ναύτη. Οι σανίδες

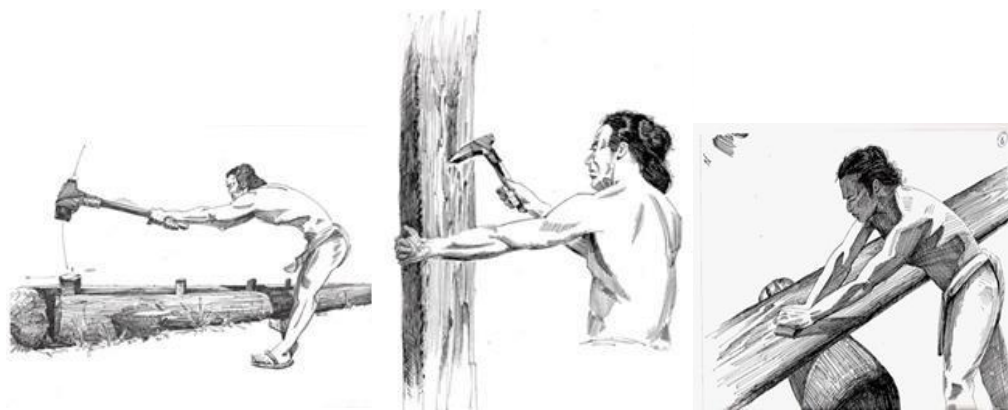
εκείνης της εποχής ήταν κατασκευασμένες από κορμούς δέντρων (Εικόνα 2) και το μήκος τους είχε άμεση σχέση με το κοινωνικό υπόβαθρο του ιδιοκτήτη. Το βάρος τους ήταν περίπου σαράντα πέντε κιλά, ενώ δεν είχαν πτερύγια και κατευθυνόντουσαν μόνο προς μία κατεύθυνση. Στην Εικόνα 1: Σανίδα από το 1778Εικόνα 1: Σανίδα από το 1778να φαίνεται σανίδα που χρονολογείται από το 1778 και εκτίθεται στο μουσείο Bishop.



Εικόνα 1: Σανίδα από το 1778 (πηγή:  
[http://data.bishopmuseum.org/ethnobotanydb/images/koa\\_surfboard\\_D01555.jpg](http://data.bishopmuseum.org/ethnobotanydb/images/koa_surfboard_D01555.jpg))

Υπήρχαν δυο ειδών σανίδες εκείνη την εποχή. Οι σανίδες “Ολο” τις οποίες είχαν οι αρχηγοί και οι ευγενείς, οι οποίες είχαν μήκος από τέσσερα έως πέντε μέτρα. Αυτές που είχε ο λαός λεγόντουσαν “Alaia” και είχαν μήκος από τρία έως τριάμισι μέτρα. Το άθλημα της κυματολίσθησης δεν ήταν απλά ένα χόμπι τότε. Ήταν τρόπος εκλογής αρχηγού αλλά και τρόπος για να λύνουν τις διαφορές τους οι ντόπιοι.





α

β

γ



δ

ε

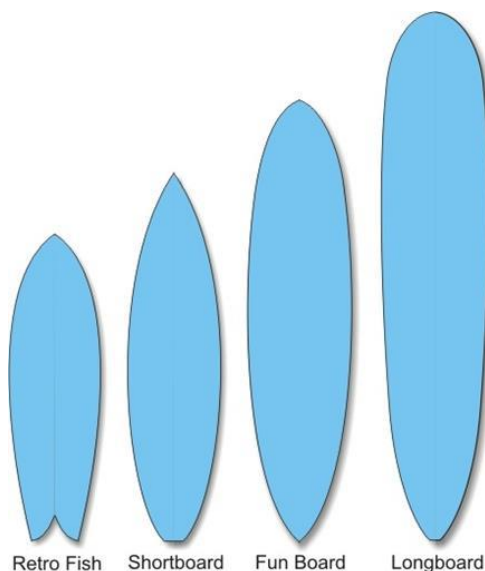
στ

**Εικόνα 2: κατασκευή σανίδας από αρχαίους Χαβανέζους (πηγή: <http://www.clubofthewaves.com/surf-culture/ancient-hawaiian-board-building.php>)**

Στις αρχές του εικοστού αιώνα, η κυματολίσθηση γίνεται αρκετά γνωστή στον κόσμο καθώς όλο και περισσότεροι ασχολούνται με το άθλημα αυτό. Η πρώτη σημαντική αλλαγή που γίνεται στις σανίδες είναι ότι γίνονται πιο μικρές και πιο ελαφριές ώστε να είναι πιο φιλικές στον χειρισμό τους από τους αναβάτες. Το 1935 είναι ένα έτος ορόσημο για πολλούς αφού αυτή τη χρονιά ένας από τους πρωτοπόρους στο σχεδιασμό σανίδων προσθέτει το πτερύγιο. Με την προσθήκη αυτή η σανίδα σταματά να γλιστράει στα πλάγια, επιτρέπει στους αναβάτες καλύτερους χειρισμούς και γίνεται πιο σταθερή. Με το τέλος του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου τα υαλονήματα γίνονται πιο προσιτά και οι σχεδιαστές και κατασκευαστές σανίδων ξεκινούν να κατασκευάζουν σανίδες με αυτά. Χρησιμοποιούν ξύλο Balsa και το τυλίγουν με υαλονήματα, έτσι οι σανίδες γίνονται ακόμα πιο ελαφριές και αδιάβροχες. Αργότερα εκείνη την περίοδο χρησιμοποιείται και ο αφρός πολυουρεθάνης, όπου με αυτόν η σανίδες επιπλέον καλύτερα.

Η δεκαετία του 1960 μπορεί να χαρακτηριστεί και ως η δεκαετία των πειραματισμών. Το μήκος της σανίδας μειώνεται από τα τρία μέτρα σε λιγότερο από δυο. Το αποτέλεσμα είναι ότι η σανίδα γίνεται ταχύτερη και πιο ζωηρή. Εξετάζονται τα πάντα στην σανίδα. Το σχήμα της, το σχήμα της μύτης αλλά και της ουράς, τα πλάγια προφίλ του, η καμπυλότητα της αλλά και το βάρος της. Την ίδια δεκαετία προστίθεται ένα ακόμη πτερύγιο, το οποίο χρειαζόταν ώστε να γίνει πιο σταθερή η σανίδα λόγω της μείωσης του μήκους. Φτάνοντας στην δεκαετία του 1980 προκύπτει ένας καινούριος σχηματισμός πτερυγίων αφού προστίθεται ένα ακόμα και γίνονται συνολικά τρία. Ο σχηματισμός αυτός έχει τα θετικά από το μονό πτερύγιο και από το σχηματισμό με τα δυο και έχει επιτρέψει στους αθλητές να φθάσουν το άθλημα της κυματολίσθησης στα επίπεδα που σήμερα γνωρίζουμε.

Μπαίνοντας στην δεκαετία του 1990 οι σχεδιαστές ξεκινούν να κατασκευάζουν σανίδες τις οποίες έχουν σχεδιάσει σε υπολογιστές με την βοήθεια προγραμμάτων CAD. Αυτό τους επιτρέπει να δημιουργήσουν σανίδες ακόμα πιο ελαφριές και πιο λεπτές επιτρέποντας έτσι στους αθλητές ακόμα πιο ριζοσπαστικές κινήσεις και ευελιξία πάνω στα κύματα. Στις μέρες μας υπάρχουν σανίδες για κάθε τύπο κύματος. Με τις νέες τεχνολογίες στην κατασκευή και τον σχεδιασμό σανίδων δύσκολα μπορεί να προβλεφθεί τι επιφυλάσσει το μέλλον. Σίγουρα όμως υπάρχει μια κινητικότητα και θέληση των εταιριών να παρουσιάσουν καινοτόμους τρόπους κατασκευής και σχεδιασμού. Στην Εικόνα 3 φαίνονται τα σχήματα τα οποία έχουν επικρατήσει μέχρι τώρα ως εμπορικότερα.



**Εικόνα 3: διάφορα είδη σανίδων**

(πηγή: <http://www.surfboardpromotions.com/surfboard-types.php>)

### 3 Ορισμοί – Βασικές Έννοιες

Η σανίδα αποτελείται από διάφορα κομμάτια και εξαρτήματα. Η θέση τους και ο ορισμός τους δίδονται παρακάτω:

- **Stringer:** Είναι ένα κομμάτι ξύλο (συνήθως χρησιμοποιείται Balsa λόγω του μικρού του βάρους) το οποίο έχει μήκος όσο και η σανίδα και βρίσκεται στην μέση της σανίδας (Εικόνα 4β). Το πάχος διαφέρει ανάλογα τι θέλει να επιτύχει ο κατασκευαστής. Πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν παραπάνω από ένα stringer (Εικόνα 4α) για να αυξήσουν την στιβαρότητα της σανίδας ενώ άλλοι δεν χρησιμοποιούν καθόλου. Το stringer λοιπόν αν μπορούσαμε να το μεταφράσουμε θα λέγαμε ότι είναι μια δοκός ακαμψίας, η ραχοκοκαλιά της σανίδας.



α

β

Εικόνα 4α: σανίδα με 3 stringer

Εικόνα 5β: stringer σανίδας

(πηγή: <http://www.tactics.com/info/surfboard-specs-defined>)

- **Rocker:** Στην ορολογία της κυματολίσθησης rocker ονομάζεται η καμπυλότητα της σανίδας. Παρατηρώντας την σανίδα από το πλάι, φαίνεται η το μπροστινό μέρος της σανίδας να είναι σηκωμένο (Εικόνα 6) . Σε αρκετές σανίδες είναι και το πίσω μέρος σηκωμένο. Μεγάλη καμπυλότητα σημαίνει μεγάλο rocker. Μια σανίδα με μεγάλο rocker είναι περισσότερο ανταποκρίσιμη στους χειρισμούς του αναβάτη πάνω στο κύμα, ενώ μια σανίδα με μικρότερο είναι καλύτερη για αναβάτες που

θέλουν μεγαλύτερη ταχύτητα. Το μπροστινό rocker βοηθάει επίσης να μην καρφώνει η σανίδα στο κύμα όταν ο αναβάτης κατεβαίνει το κύμα. Το πίσω rocker χρησιμεύει στο ευελιξία της σανίδας. Επίσης αυξάνεται και το μπροστινό rocker. Όσο περισσότερο πίσω rocker έχει μια σανίδα τόσο πιο εύκολη και ανταποκρίσιμη είναι στους χειρισμούς της, χάνει όμως σε ταχύτητα και αργεί περισσότερο να αναπτύξει ταχύτητα.



Εικόνα 6: καμπυλότητα σανίδας

(πηγή: <http://www.tactics.com/info/surfboard-specs-defined>)

- Fins ή πτερύγια: Τα πτερύγια είναι τα εξαρτήματα με τα οποία ο αναβάτης μπορεί να ελέγχει την σανίδα του κατά την διάρκεια της προπόνησης. Είναι το πηδάλια της σανίδας, αφού δεν της επιτρέπουν να ολισθήσει προς τα πλάγια. Οι πρώτες σανίδες δεν είχαν πτερύγια και οι αναβάτες έβαζαν το ένα τους πόδι στο νερό για να μπορούν να την ελέγχουν. Όταν το πτερύγιο είναι αρκετά κάθετο και άκαμπτο ευνοεί στην ταχύτητα της σανίδας, ενώ όταν είναι καμπυλωτό και εύκαμπτο ευνοεί τις στροφές. Ο σχεδιασμός τους είναι σε αρκετά καλό επίπεδο, συνεχώς όμως δοκιμάζονται καινούργιες ιδέες και σχέδια (Εικόνα 11). Μια σανίδα μπορεί να έχει παραπάνω από ένα πτερύγιο. Συνήθως χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα τον αριθμό των πτερυγίων. Έτσι δημιουργούνται οι εξής κατηγορίες:
  1. Single fin: οι σανίδες με ένα πτερύγιο (Εικόνα 7)
  2. Twin fin: οι σανίδες με δυο πτερύγια (Εικόνα 7)
  3. Thruster: οι σανίδες με τρία πτερύγια (Εικόνα 9)
  4. Quad: οι σανίδες με τέσσερα πτερύγια (Εικόνα 9)

Κάποιες σανίδες έχουν και πέντε πτερύγια αλλά δεν είναι τόσο διαδεδομένες. Υπάρχουν και σανίδες όμως με πέντε θέσεις για πτερύγια, αλλά τις έχουν για να μπορεί να αλλάξει ο

αναβάτης να αλλάζει τη ρύθμιση, από twin fin σε thruster ή ακόμα και σε quad ανάλογα τις κυματικές συνθήκες.



Εικόνα 7: single fin

(Πηγή: <http://www.surfscience.com/topics/surfboard-fins/setups/what-to-expect-from-a-single-fin>)



Εικόνα 8: twin fin

(πηγή: <http://www.surfscience.com/topics/surfboard-fins/setups/twin-fin>)



Εικόνα 9: thruster setup

(πηγή: <http://www.surfscience.com/topics/surfboard-fins/setups/thruster/>)



Εικόνα 10: quad setup

(πηγή: <http://surfbuddha.blogspot.gr/2008/09/go-quad-surfing-surfen-met-4-vinnen.html>)

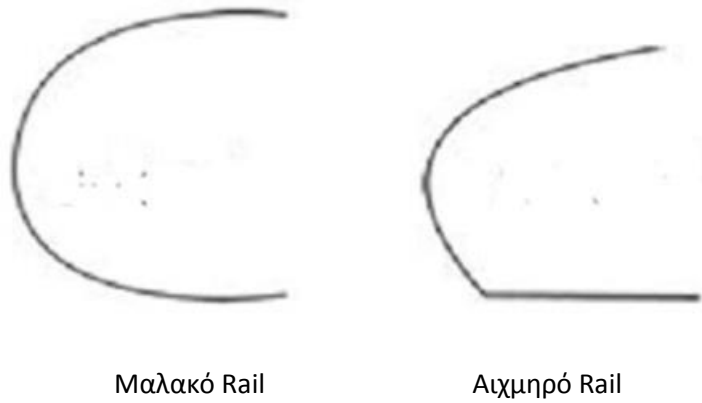


Εικόνα 11: διαφορετικά είδη πτερυγιων

(πηγη: <http://www.tactics.com/info/surfboard-specs-defined>)

- Rails: Έτσι ονομάζονται οι πλαϊνές πλευρές της σανίδας. Με την καμπυλότητα που τις έχει διαμορφώσει ο σχεδιαστής (Εικόνα 12) έχουν άμεση απόκριση στην ικανότητα της σανίδας να στρίβει. Όσο πιο αιχμηρές είναι διαμορφωμένες οι πλευρές τόσο πιο απόλυτη είναι η σανίδα στην συμπεριφορά της. Δεν συγχωρεί εύκολα τα λάθη του αναβάτη και στρίβει νευρικά και αρκετά κλειστά. Αντίθετα όσο πιο μαλακά διαμορφωμένες είναι, η σανίδα είναι πιο φιλική, κάνει μεγάλες και μαλακές στροφές.



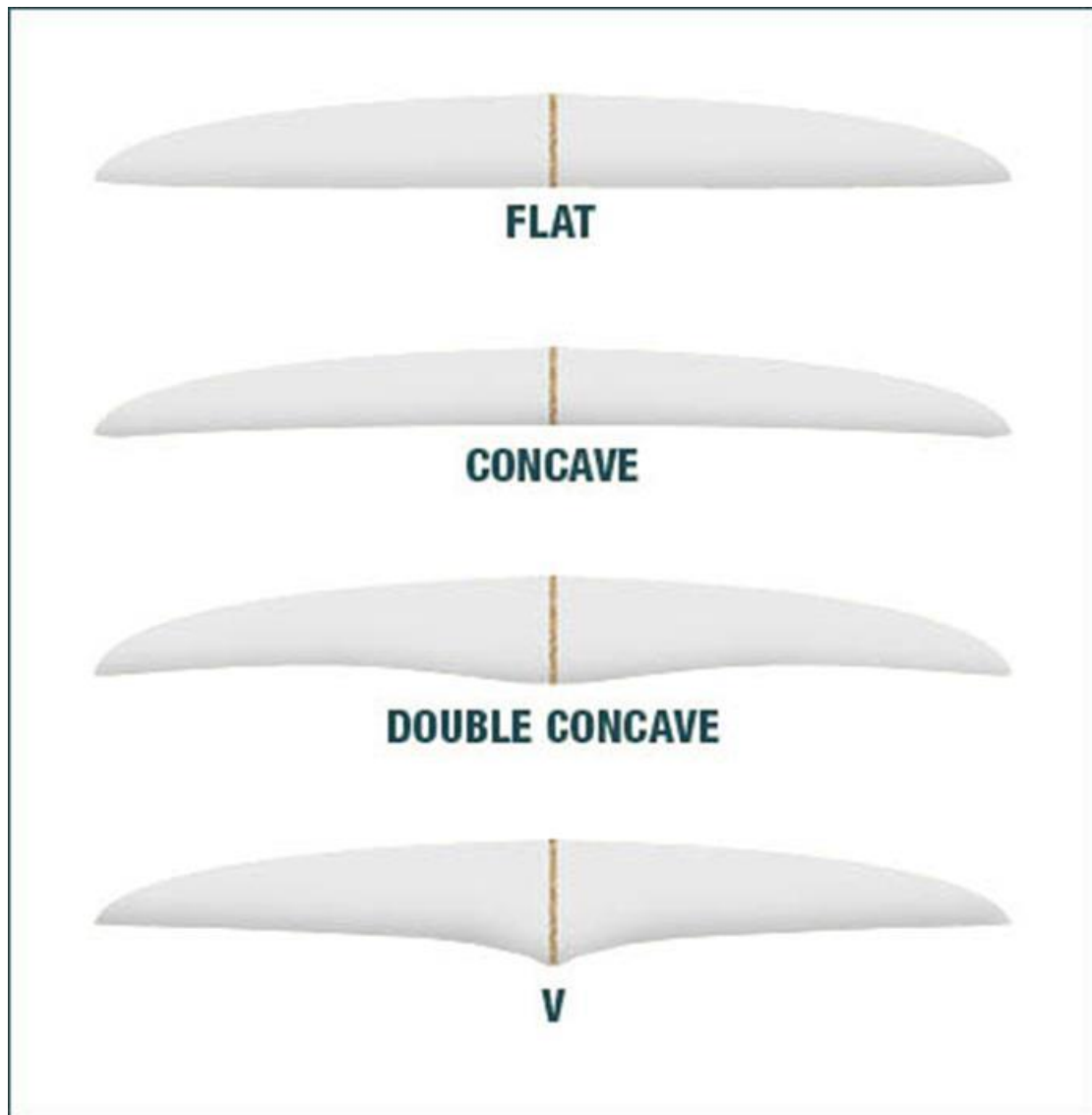


Εικόνα 12: σχήματα σε rails

(Πηγή: <http://www.tidalpush.com/surfboard/surfboard-rail/>)

- Contour ή περίγραμμα: Με τον όρο αυτό περιγράφεται το κάτω μέρος της σανίδας το οποίο βρίσκεται σε επαφή με το νερό. Συνήθως ονομάζεται ανάλογα με την διαμόρφωση της πλευράς αυτής. Αν έχει δηλαδή κοίλα (concaves) και πόσα. Τα πιο γνωστά και αυτά που έχουν επικρατήσει λόγω της χρησιμότητάς τους είναι (παρουσιάζονται γραφικά και στην Εικόνα 13):
  1. Χωρίς Concave
  2. Single Concave
  3. Double Concave
  4. V





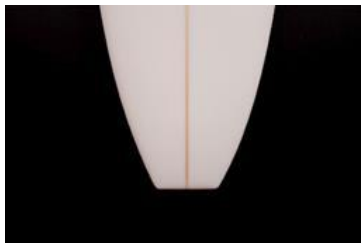
Εικόνα 13: είδη περιγραμμάτων

(πηγή: <http://www.tactics.com/info/surfboard-specs-defined>)

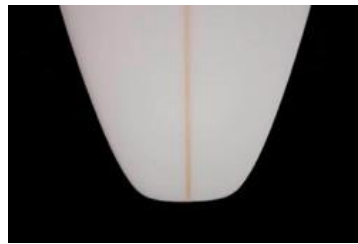
- Tail: Έτσι ονομάζεται το πίσω μέρος της σανίδας. Το σχήμα που θα έχει επηρεάζει αρκετά την συμπεριφορά της σανίδας. Σαν κανόνας ισχύει ότι όσο πιο γωνιακό είναι το πίσω μέρος τόσο πιο κλειστές στροφές εκτελεί η σανίδα ενώ όσο πιο στρογγυλό είναι τόσο πιο μαλακά στρίβει. Οι σχεδιαστές συνεχώς πειραματίζονται με το σχήμα του πίσω μέρους της σανίδας. Πρόσφατα άρχισαν να δοκιμάζουν το ασύμμετρο σχήμα. Όταν ο αναβάτης πηγαίνει δεξιά με την σανίδα θα μπορεί να έχει άλλο σχήμα από ότι όταν πηγαίνει αριστερά.

Τα σχήματα που συναντάμε συνήθως είναι:

1. Square tail (Εικόνα 14)
2. Square tail rounded edges (Εικόνα 14)
3. Pin tail (Εικόνα 14)
4. Fish tail (Εικόνα 17)
5. Assymetrical tail (Εικόνα 17)



Εικόνα 14



Εικόνα 15



Εικόνα 16



Εικόνα 17



Εικόνα 18

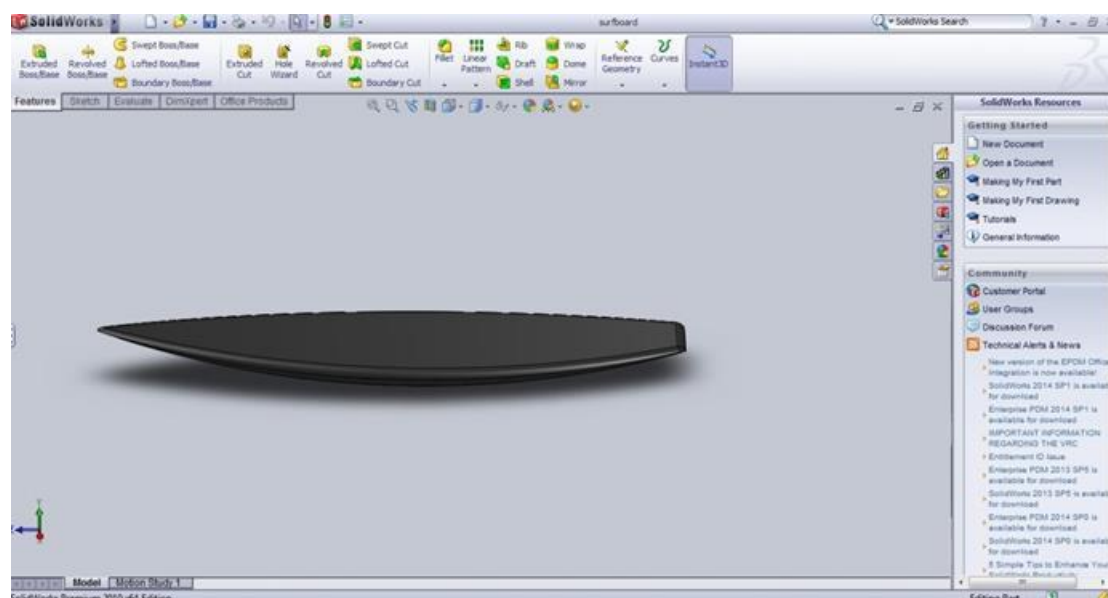
Πηγή: <http://www.surfscience.com/topics/surfboard-anatomy/tail/basic-tail-shapes/>

## 4 Διαδικασία Κατασκευής

Για την κατασκευή της σανίδας , χρησιμοποιείται είτε αφρός πολυουρεθάνης είτε αφρός διογκωμένης πολυστερίνης , ο οποίος διαμορφώνεται για να πάρει το επιθυμητό σχήμα είτε τρίβοντας τον με ειδικά εργαλεία, είτε με την βοήθεια μηχανημάτων CNC (Computer Numerical Control) και Hot Wire Cutting Systems. Αφού πάρει το σχήμα που θέλουμε, τοποθετείται το ξύλο Balsa στον διαμήκη άξονα της σανίδας. Το ξύλο αυτό ονομάζεται stringer και τοποθετείται για να βελτιωθεί η ακαμψία της σανίδας. Έχει επικρατήσει να χρησιμοποιείται το συγκεκριμένο ξύλο λόγω του μικρού του βάρους.

### 4.1 Σχεδιασμός - Σχηματισμός σανίδας

Ξεκινώντας, η σανίδα σχεδιάζεται τρισδιάστατα με τη χρήση παραμετρικών σχεδιαστικών προγραμμάτων στον υπολογιστή (Εικόνα 19) για να ταιριάζει στις απαιτήσεις του αναβατή. Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού γίνεται έλεγχος της αντοχής των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν. Όταν πλέον έχει επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα το σχέδιο δίνεται για να κοπεί ο αφρός που έχει επιλεγεί (πολυουρεθάνης, διογκωμένης πολυστερίνης) . Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η σανίδα τελειωμένη σχεδιαστικά , το σχήμα δηλαδή που θα έχει ο αφρός αφού κοπεί.



Εικόνα 19: η σανίδα τελειωμένη σχεδιαστικά

Όταν ολοκληρωθεί η κοπή του αφρού, ξεκινάει η διαδικασία διαμόρφωσης των πλαϊνών τμημάτων της σανίδας. Τα τμήματα αυτά ονομάζονται rails. Ο αφρός τοποθετείται σε μια ειδική βάση (όπως φαίνεται στην Εικόνα 20) και ο σχεδιαστής τρίβει με γυαλόχαρτο τα rails μέχρι να επιτύχει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Για να επιτευχτεί αυτό ξεκινά με πιο αδρή γυαλόχαρτο ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη αφαίρεση υλικού σε λιγότερο χρόνο και καθώς ολοκληρώνεται η διαμόρφωση χρησιμοποιεί διαρκώς πιο λεπτό γυαλόχαρτο ώστε στο τέλος η επιφάνεια να είναι λεία.



**Εικόνα 20: τοποθετημένος ο αφρος στην ειδικη βαση**

Ο σχεδιαστής τρίβει τα rails με ομοιόμορφες και μαλακές κινήσεις (Εικόνα 21) ξεκινώντας από το μπροστινό μέρος της σανίδας και τελειώνοντας την κίνηση στο πίσω μέρος της σανίδας. Η κίνηση αυτή μπορεί να γίνει και ανάποδα. Από το πίσω μέρος προς το μπροστινό. Το σημαντικό σε αυτό το σημείο της κατασκευής είναι οι κινήσεις τριψίματος, οι οποίες θα πρέπει να είναι συνεχόμενες. Αν οι κινήσεις δεν είναι συνεχόμενες υπάρχει μεγάλος κίνδυνος ανομοιομορφίας των rails, διότι λόγω της διακοπτόμενης κίνησης τριψίματος δημιουργούνται σημεία με λιγότερο υλικό κ άλλα με περισσότερο. Στην πράξη αυτό συνεπάγεται διαφορετική συμπεριφορά από την μια πλευρά και διαφορετική από την άλλη αλλά και δημιουργία τυρβώδους ροής του νερού στα σημεία που έχει αφαιρεθεί περισσότερο υλικό. Με την τριβή όμως η σανίδα μετακινείται. Γι αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται κάποιοι σάκοι ελάχιστου βάρους ώστε να διατηρείται η σανίδα στην θέση της και να μην υπάρχουν μετατοπίσεις, αφού κάθε μετατόπιση κατά τη διάρκεια της τριβής δημιουργεί ανωμαλίες στην επιφάνεια. Όταν η διαμόρφωση τελειώσει και έχει σχηματιστεί πλέον το rail ώστε να ικανοποιεί τον σχεδιαστή, η διαδικασία επαναλαμβάνεται για την άλλη πλευρά



α

β



γ

δ

**Εικόνα 21: τριψίμο και σχηματισμός rails**

Τελειώνοντας με τη διαδικασία σχηματισμού, πρέπει να ανοιχτούν οι οπές για την τοποθέτηση των βάσεων των πτερυγίων (fins). Παρακάτω περιγράφεται ο τρόπος με τον οποίο ανοίχτηκαν και ο λόγος για τον οποίο ανοίχτηκαν στα συγκεκριμένα σημεία.

#### **4.2 Τοποθέτηση βάσεων πτερυγίων**

Η επιλογή για τοποθέτηση τριών πτερυγίων έγινε διότι τα τρία πτερύγια προσδίδουν στην σανίδα μια σχετικά πιο ολοκληρωμένη εικόνα. Η τοποθέτηση αυτού του συστήματος πτερυγίων (thruster setup) γίνεται κατά γενικό κανόνα ως εξής:

- Το μεσαίο πτερύγιο τοποθετείται πάνω στον διαμήκη άξονα της σανιδάς περίπου 4 εκατοστά πριν το τέλος.
- Τα αλλά δυο, τοποθετούνται στην ίδια εγκάρσια νοητή ευθεία το ένα στο άλλο με την απόσταση από τον διαμήκη άξονα να είναι ίση και με μια κλίση ώστε η νοητή ευθεία που ξεκινάει από το μπροστινό τμήμα τους να περνάει από την μύτη της σανίδας.

Αυτό γίνεται ώστε η ροή του νερού που δημιουργείται να οδηγεί το νερό προς τα πλάγια και να μην υπάρχει απώλεια επαφής με το νερό λόγω της υπό πίεσης που δημιουργείται. Η απόσταση τους από τον διαμήκη άξονα είναι κάτι υποκειμενικό αφού, καθώς αυξάνεται η απόσταση αυξάνεται και η ανταπόκριση που έχει στα πατήματα του αναβατή.

Αρχικά σημαδεύονται τα σημεία που θα γίνουν οι οπές, και στην συνέχεια ρυθμίζεται το βάθος κοπής στο router και γίνεται η οπή. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στις Εικόνα 22 και Εικόνα 23.



α



β



γ



δ

Εικόνα 22: σημάδεμα και προεργασία για τις οπές





α

β



γ

δ

**Εικόνα 23: άνοιγμα οπών με το router**

Τελειώνοντας με την δημιουργία των οπών, πρέπει να τοποθετηθούν οι βάσεις των πτερυγίων. Οι βάσεις αυτές είναι κάποια ειδικά κομμάτια κατασκευασμένα από πλαστικό συνήθως στα οποία τοποθετούνται το πτερύγιο κ βιδώνονται. Αφού τοποθετηθεί εποξική ρητίνη στις οπές μπαίνουν οι βάσεις (Εικόνα 24). Η ποσότητα της ρητίνης που τοποθετείται είναι τόση ώστε να μην ξεχειλίσει όταν τοποθετηθεί η βάση αλλά να καλυφθεί όλη η οπή με ρητίνη ώστε να μην μείνει εγκλωβισμένος αέρας όταν στερεοποιηθεί.



α

β

**Εικόνα 24: τοποθέτηση των βάσεων των πτερυγίων**

Στη συνέχεια και αφού πια έχουν στερεοποιηθεί οι βάσεις των πτερυγίων στην σανίδα, σειρά έχει η αδιαβροχοποίηση της και η ενίσχυση της με υλικά όπως υαλούφασμα, ανθρακόνημα και Kevlar.

### 4.3 Επικάλυψη Σανίδας

Στο σημείο αυτό, ο κατασκευαστής πλέον είναι έτοιμος να “ντύσει” την σανίδα με τα υφάσματα. Αφού έχει αποφασίσει πόσες στρώσεις υφασμάτων θα τοποθετήσει, ξεκινάει απλώνοντας το ύφασμα πάνω στην σανίδα (Εικόνα 25: τοποθέτηση υφάσματος

Εικόνα 26), με την σανίδα τοποθετημένη με την κάτω της πλευρά προς τα πάνω. Η πλευρά της σανίδας δηλαδή που θα είναι σε επαφή με το νερό θα “ντυθεί” πρώτα. Στη συνέχεια το κόβει περιμετρικά στο σχήμα της σανίδας και αφήνοντας επιπλέον ύφασμα στην περίμετρο τόσο ώστε όταν θα διπλώσει πάνω στην σανίδα να καταλήγει περίπου 3-4 εκατοστά μέσα στην πάνω πλευρά (Εικόνα 25: τοποθέτηση υφάσματος Εικόνα 26).





Εικόνα 25: τοποθέτηση υφάσματος

Εικόνα 26: κόψιμο περιμετρικά

Στη συνέχεια, απλώνεται η ρητίνη πάνω στο ύφασμα και προσεκτικά μοιράζεται σε όλη την επιφάνεια χωρίς να μένουν σημεία τα οποία δεν έχουν εμποτιστεί (Εικόνα 27). Επειδή όμως η επιφάνεια της πολυστερίνης και το υαλούφασμα είναι το ίδιο χρώμα και όταν το υαλούφασμα εμποτιστεί γίνεται διάφανο είναι δύσκολο για τον κατασκευαστή να γνωρίζει που έχει πάει η ρητίνη κ που όχι. Για τον λόγο αυτό η ρητίνη μπορεί να αναμειχθεί με μια σταγόνα χρώμα ώστε να φαίνονται τα σημεία στα οποία δεν έχει απλωθεί η ρητίνη κ τα σημεία στα οποία υπάρχει περίσσια ρητίνης.



**Εικόνα 27: Διαδικασία εμποτισμού, των υφασμάτων που χρησιμοποιούνται, με ρητίνη**

Στη συνέχεια αφού απλωθεί η ρητίνη σε όλη την επιφάνεια του υφάσματος ομοιόμορφα, θα πρέπει να στερεοποιηθεί η ρητίνη. Ανάλογα την ρητίνη ο χρόνος στερεοποίησης μπορεί να διαφέρει από 5 λεπτά ως 24 ώρες. Η συγκεκριμένη που χρησιμοποιήθηκε χρειαζόταν 24 ώρες. Στο περιβάλλον που βρισκόταν η σανίδα οι συνθήκες που επικρατούσαν ήταν 20-27 °C και σχετική υγρασία 35%.

Όταν πλέον η ρητίνη έχει γίνει στερεή, επαναλαμβάνεται η διαδικασία για την άλλη πλευρά της σανίδας. Στην πάνω πλευρά όμως επειδή θα τοποθετηθούν περισσότερες στρώσεις υφασμάτων, αρχικά θα απλωθεί η ρητίνη για τις 2 πρώτες στρώσεις υφασμάτων όπως την άλλη πλευρά. Πριν απλωθεί η τρίτη στρώση απλώνεται πάλι ρητίνη ώστε τα υφάσματα να στερεοποιηθούν σωστά. Η διαδικασία για τα υφάσματα πριν τοποθετηθούν είναι ίδια με την άλλη πλευρά με την διαφορά ότι τώρα το ύφασμα κόβεται ακριβώς στην επιφάνεια που θα καλύψει. Δεν μένει παραπάνω ύφασμα να καταλήγει στην άλλη πλευρά.





**Εικόνα 28: Τοποθετώντας την τρίτη στρώση υφάσματος και η διαδικασία στερεοποίησης**

Όταν πλέον στερεοποιηθεί η ρητίνη ο κατασκευαστής ξεκινάει την τελική μορφοποίηση της σανίδας. Σε αυτό το στάδιο, τρίβοντας, αφαιρείται η περίσσια ρητίνης όπου υπάρχει αλλά και η επιπλέον ποσότητα υφάσματος που τυχαίνει να υπάρχει. Καθαρίζεται με νερό, είτε βρέχοντας την, είτε με βρεγμένο πανί, για να αφαιρεθούν οποιαδήποτε υπολείμματα σκόνης έχουν απομείνει μετά το τρίψιμο της ρητίνης και των υφασμάτων .

Η σανίδα πλέον είναι έτοιμη για να βαφεί, να σχεδιαστούν τα γραφικά που θα έχει πάνω. Ολοκληρώνοντας και το βάψιμο της σανίδας, είναι πλέον έτοιμη να παραδοθεί και να χρησιμοποιηθεί από τον αναβατή.

## 5 Υλικά

### 5.1 Περιγραφή υλικών

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν , επιλέχθηκαν με κριτήριο την αντοχή, το βάρος και την τιμή τους. Παρακάτω περιγράφεται το καθένα ένα από αυτά.

#### 5.1.1 Ενισχύσεις - Ίνες

**Υαλοϋφασμα (Fiberglass).** Το υαλοϋφασμα (Εικόνα 29) είναι ένα υλικό που αποτελείται από ίνες γυαλιού. Είναι ανθεκτικό και ελαφρύ. Στις μηχανικές ιδιότητες του αν και υστερεί σε σχέση με το ανθρακόνημα σε αντοχή και είναι λιγότερο εύκαμπτο, είναι λιγότερο εύθραυστο και η τιμή του είναι αρκετά χαμηλή. Το υαλοϋφασμα που χρησιμοποιήθηκε είχε:

Πυκνότητα: 113gr/m<sup>2</sup>

Μέτρο Ελαστικότητας: 17 GPa

Τιμή: 4€ / m



Εικόνα 29:

(<http://www.boatdesign.net/forums/attachments/materials/50870d1291586703-heat-treated-fiberglass-mat-p1010127.jpg>)

**Ανθρακόνημα (Carbon Fiber).** Το ανθρακόνημα (Εικόνα 30) αποτελείται από ίνες άνθρακα και χρησιμοποιείται σε κατασκευές υψηλών απαιτήσεων κ προδιαγραφών λόγω των ιδιοτήτων του όπως υψηλή ακαμψία, υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, χαμηλό βάρος, υψηλή χημική αντοχή, η ανοχή σε υψηλή θερμοκρασία και η χαμηλή θερμική διαστολή. Στο συγκεκριμένο ύφασμα που χρησιμοποιήθηκε είχε:

Πυκνότητα:113gr/m<sup>2</sup>

Μέτρο Ελαστικότητας: 150GPa

Τιμη: 20€/m



**Εικόνα 30**

(<http://www.gtp.com.au/broadwaysurf/largeimages/938007.jpg>)

### **5.1.2 Ρητίνες (Μήτρα σύνθετου υλικού)**

**Εποξική Ρητίνη:** Είναι μια κατηγορία των αντιδραστικών προπολυμερών και πολυμερών τα οποία περιέχουν ομάδες εποξειδίου . Μπορεί να αντιδράσει , είτε με τον εαυτό της, ή με ένα ευρύ φάσμα των συν- αντιδραστηρίων. Αυτά τα συν- αντιδραστήρια αναφέρονται συχνά ως σκληρυντές ή σκληρυντικά. Η αντίδραση σχηματίζει ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές , συχνά με ισχυρές μηχανικές ιδιότητες, καθώς και υψηλή θερμοκρασία και χημική αντίσταση. Η ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε ( Εικόνα 31) είχε:

Πυκνότητα:455Kg/m<sup>3</sup>

Μέτρο Ελαστικότητας: 3 GPa

Τιμή: 25€/lt



Εικόνα 31

([http://www.aandreou.gr/components/com\\_mijoshop/opencart/image/cache/data/epoksikes-ritines/alphapoxy-hx3/image1-500x500.jpg](http://www.aandreou.gr/components/com_mijoshop/opencart/image/cache/data/epoksikes-ritines/alphapoxy-hx3/image1-500x500.jpg))

### 5.1.3 Διογκωμένος αφρός (πυρήνας Σάντουιτς – σανίδας)

**Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS):** Διογκωμένη πολυστερίνη (EPS) είναι ένα άκαμπτο και σκληρό υλικό, κλειστής κυψέλης αφρού (Εικόνα 32). Είναι συνήθως λευκό και κατασκευασμένα από προ-διογκωμένης πολυστερίνης. Λόγω των τεχνικών ιδιοτήτων της, όπως το χαμηλό βάρος, την ακαμψία, και διαμορφωσιμότητα, η διογκωμένη πολυστερίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ευρύ φάσμα διαφορετικών εφαρμογών. Η συγκεκριμένη πολυστερίνη που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή είχε:

Πυκνότητα:18kg/m<sup>3</sup>

Μέτρο Ελαστικότητας: 3 GPa

Τιμή: 30€ (μαζί με την κατεργασία στο hot wire cnc)





**Εικόνα 32**

([http://www.finehomebuilding.com/CMS/uploadedimages/Fine\\_Homebuilding/Articles/SIP29/021029114-2\\_xlg.jpg](http://www.finehomebuilding.com/CMS/uploadedimages/Fine_Homebuilding/Articles/SIP29/021029114-2_xlg.jpg))

## **5.2 Συνολικό Κόστος Υλικών που Χρησιμοποιήθηκαν**

Για να ολοκληρωθεί η κατασκευή της σανίδας εκτός από τις ίνες (υαλοϋφασμα, ανθρακόνημα) την ρητίνη και τον αφρό, χρειάζονται και κάποια άλλα υλικά – εξαρτήματα (Εικόνα 33) . Αυτά είναι:

- Οι βάσεις των πτερυγίων (fin boxes) (Εικόνα 33 α)  
Τιμή: 30€ / σετ
- Τα πτερύγια (fin) (Εικόνα 33 β)  
Τιμή: 15€ – 80€ / σετ
- Η βάση για το σχοινάκι το οποίο δένει ο αναβάτης την σανίδα στο πόδι του (Leash Plug) (Εικόνα 33 γ)  
Τιμή: 3€



α



β



γ

Εικόνα 33: βάσεις των πτερυγίων (32α), πτερύγια (32β), βάση για σχοινάκι ποδιού (32γ)

πηγη: (<http://www.seabase.eu/>)

Αθροίζοντας τα παραπάνω ποσά μπορούμε να πούμε ότι για την συγκεκριμένη σανίδα το κόστος της κατασκευής της δεν ξεπερνάει τα 260 €. Αυτό προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα:

<u>Υλικό</u>	<u>Τιμή</u>
Αφρός διογκωμένης πολυστερίνης (EPS)	30 €
Υαλοϋφασμα (Fiberglass) 8m	32 €
Ανθρακόνημα (Carbon Fiber) 2m	40 €
Εποξική ρητίνη 4lt	100 €
Βάσεις πτερυγίων (Fin plugs)	30 €
Πτερύγια (Fins)	20 €
Βάση για σχοινάκι ποδιού (Leash Plug)	3 €
<b><u>Σύνολο</u></b>	<b>255€</b>

Πίνακας 1



### 5.3 Υπολογισμός ιδιοτήτων στρώσης

Αρχικά χρειαζόμαστε όλα τα δεδομένα που μπορούμε να αξιοποιήσουμε για να προκύψουν τα αποτελέσματα μέσω αυτής της μεθόδου υπολογισμού. Η σανίδα χωρίστηκε θεωρητικά σε τρία μέρη. Το πάνω μέρος (Top) όπου αποτελείται από τις στρώσεις των υφασμάτων και την ρητίνη που χρησιμοποιήθηκε στην πάνω πλευρά. Αντίστοιχα έγινε για την κάτω πλευρά από αποτελεί το κάτω μέρος (Bottom). Το τρίτο μέρος είναι η διογκωμένη πολυστερίνη η οποία βρίσκεται στην μέση(Core).Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται η επιφάνεια, ο όγκος και το βάρος της κάθε επιφάνειας.

	Core	Top	Bottom
Επιφάνεια (m <sup>2</sup> )	N/A	0.872	0.872
Όγκος (Lt)	40	N/A	N/A
Βάρος (Kgr)	0.724	1.3	1.2

Πίνακας 2

Οι επιφάνειες, ο όγκος καθώς και το βάρος της πολυστερίνης δίνονται από μετρήσεις που έγιναν στο σχεδιαστικό πρόγραμμα ενώ το βάρος του πάνω μέρους και του κάτω προκύπτουν από τις παρακάτω πράξεις:

#### 5.3.1 Πάνω στρώση

$$B_{top} = 2 * B_{fiber} + B_{carbon} + B_{epoxy} \quad (1)$$

όπου:

$$B_{fiber} = A_{fiber} * density = 0.872m^2 * 113 gr/m^2 = 98.536 gr$$

Ομοίως για το carbon

$$B_{carbon} = A_{carbon} * density = 0.872m^2 * 113 gr/m^2 = 98.536 gr$$

Όπου A η επιφάνεια.

Για την ρητίνη ισχύει ότι συνολικά χρησιμοποιήθηκε 3lt ρητίνη και 1.5 lt σκληρυντής άρα σύνολο 4.5 lt. Οπότε αυτά τα 4.5 lt μοιράστηκαν σε 2 πλευρές άρα:

$$B_{\text{epoxy}} = (4.5\text{lt}/2) * 455\text{kg}/\text{m}^3 = 0.00225 \text{ m}^3 * 455 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1 \text{ kg}$$

Από τα παραπάνω η (1) γίνεται:

$$B_{\text{top}} = 2 * B_{\text{fiber}} + B_{\text{carbon}} + B_{\text{epoxy}} = (2 * 98,536)\text{gr} + 98,536\text{gr} + 1 \text{ kgr} = 1.3 \text{ kgr}$$

Ομοίως για το  $B_{\text{bottom}}$  έχουμε ότι  $B_{\text{bottom}} = 1.2 \text{ kgr}$

Άρα:

$$B_{\text{συνολικο}} = B_{\text{core}} + B_{\text{bottom}} + B_{\text{top}} = 0,724 \text{ kgr} + 1.2 \text{ kgr} + 1.3 \text{ kgr} = 3.2 \text{ kgr}$$

Στον Πίνακα 3 συνοψίζονται οι ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν

	Fiberglass (f)	Carbon (c)	Epoxy Resin (m)	EPS
Density (Kg/m <sup>3</sup> )			455	18
Density (Kg/m <sup>2</sup> )	113	113		
Elasticity Modulus (GPa)	17	150	3	3

Πίνακας 3

Για τον υπολογισμό του μέτρου ελαστικότητας της πάνω πλευράς ισχύει ότι:

$$E_{\text{Top}} = \alpha_c * E_c + \alpha_f * E_f + \alpha_m * E_m \quad (2)$$

Όπου  $\alpha_c$  και  $\alpha_f$  το ποσοστό περιεκτικότητας, carbon και fiberglass αντίστοιχα, στην επιφάνεια.

$$\alpha_c = V_c / V_{\text{ολ}} \text{ οπου } V_c = m_c / \rho_c$$

$$\alpha_f = V_f / V_{\text{ολ}} \text{ οπου } V_f = m_f / \rho_f$$

$$\alpha_m = V_m / V_{\text{ολ}} \text{ οπου } V_m = m_m / \rho_m$$

$$V_{\text{ολ}} = m_m / \rho_m + m_f / \rho_f + m_c / \rho_c$$

η οποία γίνεται:

$$V_{ολ} = 1146\text{gr}/1360 \text{ kgr}/\text{m}^3 + (2*113)\text{gr}/2900 \text{ kgr}/\text{m}^3 + 113\text{gr}/1600 \text{ kgr}/\text{m}^3$$

Άρα ισχύει για  $V_{ολ} = 1\text{m}^2$  ότι:

$$\alpha_m = 0,84$$

$$\alpha_f = 0,07$$

$$\alpha_c = 0,08$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω η εξίσωση (2) γίνεται:

$$E_{Top} = \alpha_c * E_c + \alpha_f * E_f + \alpha_m * E_m = 0,08 * 150 + 0,07 * 17 + 0,84 * 3 = 15,7 \text{ GPa}$$

### 5.3.2 Υπολογισμός ιδιοτήτων για την κάτω στρώση

Ομοίως για το  $E_{Bottom}$  ισχύει ότι:

$$E_{Bottom} = \alpha_f * E_f + \alpha_m * E_m \quad (3)$$

$$\alpha_m + \alpha_f = 1 \quad (4)$$

$$\alpha_f = 0,07 \quad (5)$$

από την 4 και την 5 ισχυει ότι:

$$\alpha_m = 0,93$$

Σύμφωνα με τα παραπάνω η εξίσωση (3) γίνεται:

$$E_{Bottom} = \alpha_f * E_f + \alpha_m * E_m = 0,07 * 17 + 0,93 * 3 = 4 \text{ GPa}$$

Έχοντας πλέον το μέτρο ελαστικότητας για τις επιφάνειες εισάγουμε τα νούμερα στο πρόγραμμα και βλέπουμε τα αποτελέσματα.

## 6 Υπολογισμός Αντοχής Σανίδας

### 6.1 Γενικά

Ο υπολογισμός της αντοχής της σανίδας έγινε μέσω προγράμματος παραμετρικής μοντελοποίησης το οποίο δίνει την δυνατότητα μέσω προσομοίωσης να υπολογίσει την παραμόρφωση και τις καταπονήσεις που θα δέχεται η σανίδα από τις πιέσεις που δέχεται από τα πόδια του αναβάτη. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να εισαχθούν στο πρόγραμμα κάποια χαρακτηριστικά των υλικών που χρησιμοποιούνται. Επειδή οι στρώσεις ήταν αρκετές και ο υπολογισμός θα γινόταν πιο δύσκολος, θεωρητικά πια δημιουργήθηκε ένα υλικό με τις ιδιότητες που έχουν τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν όταν έγιναν ένα σώμα. Έγινε δηλαδή ιστροπικός υπολογισμός για τις ιδιότητες των υλικών, Τα αποτελέσματα που προέκυψαν και η μέθοδος παρουσιάζονται παρακάτω.

### 6.2 Περιγραφή μοντέλου-Μεθοδολογία

Οι καταστάσεις που θα μοντελοποιηθούν είναι:

- Επιφανειακή πίεση για την δημιουργία παραμορφώσεων (βαθουλώματα στην πάνω επιφάνεια της σανίδας)
- Πακτωμένη σανίδα από την μια πλευρά και μέτρηση απομάκρυνσης της απέναντι πλευράς υπό στατικό φορτίο διαφορετικού βάρους κάθε φορά.

Στην πρώτη περίπτωση έγιναν υπολογισμοί μόνο θεωρητικά. Στην δεύτερη, έγιναν και στον υπολογιστή και πειραματική επαλήθευση, ώστε να είναι η επιτρεπτή η σύγκριση μεταξύ θεωρητικών αποτελεσμάτων και πειραματικών δεδομένων.

Και στις δυο περιπτώσεις στατικής ανάλυσης που γίνονται στον υπολογιστή, γίνονται με την χρήση ιστροπικού μοντέλου.

#### 6.2.1 Μεθοδολογία για πρόβλημα επιφανειακής πίεσης

Για την επίλυση του προβλήματος της επιφανειακής πίεσης το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είχε ένα στερεό σώμα (solid body) από πολυστερίνη και άλλες δυο επιφάνειες, μια σε κάθε πλευρά. Οι επιφάνειες αυτές ήταν, η πάνω από υαλοϋφασμα, ανθρακόνημα, υαλοϋφασμα και αντίστοιχα η κάτω από δυο στρώσεις υαλοϋφασματος. Η κάτω πλευρά του μοντέλου ήταν πακτωμένη και εφαρμόστηκε δύναμη 80 kg σε σημείο που είχε σχεδιαστεί στην πάνω πλευρά χρησιμοποιώντας split lines. Σχεδιάστηκε δηλαδή το

σημείο αυτό σε ένα επίπεδο άλλο και προβλήθηκε στην πάνω πλευρά της σανίδας. Η δύναμη αυτή επιλέχτηκε τέτοια ώστε να ταιριάζει με το βάρος του αναβάτη για να ελέγχουν τυχόν μετατοπίσεις, της πάνω πλευράς, στα πατήματα του.

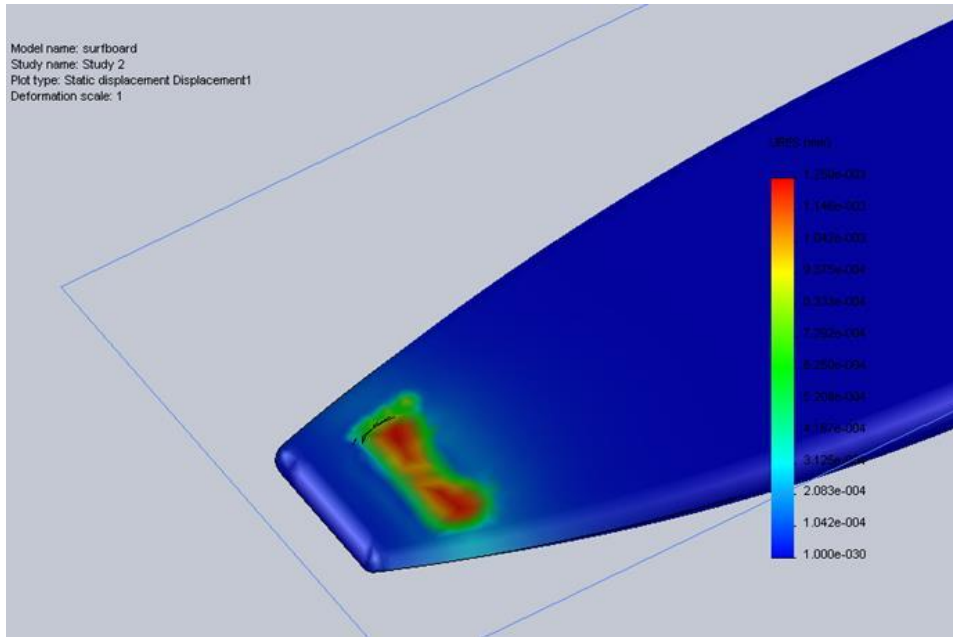
### 6.2.2 Μεθοδολογία για πρόβλημα μετατόπισης

Για την επίλυση του προβλήματος της επιφανειακής πίεσης το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε είχε ένα στερεό σώμα (solid body) από πολυστερίνη και άλλες δυο επιφάνειες, μια σε κάθε πλευρά. Οι επιφάνειες αυτές ήταν, η πάνω από υαλοϋφασμα, ανθρακόνημα, υαλοϋφασμα και αντίστοιχα η κάτω από δυο στρώσεις υαλοϋφάσματος όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Το μοντέλο τώρα ήταν πακτωμένο από την πίσω του πλευρά και η δύναμη ασκήθηκε στο μπροστινό τμήμα του. Σ αυτήν την περίπτωση εφαρμόστηκαν τρεις διαφορετικές δυνάμεις για να μπορούμε να έχουμε περισσότερα αποτελέσματα και να ελέγξουμε σε σχέση με το πείραμα πόσο σφάλμα υπάρχει. Για να γίνει περισσότερο ρεαλιστικό, σχεδιάστηκε πάλι σε άλλο επίπεδο το σημείο το οποίο ασκήθηκε η δύναμη στο πείραμα και έγινε προβολή του πάνω στο μοντέλο, χρησιμοποιώντας split lines και projection.

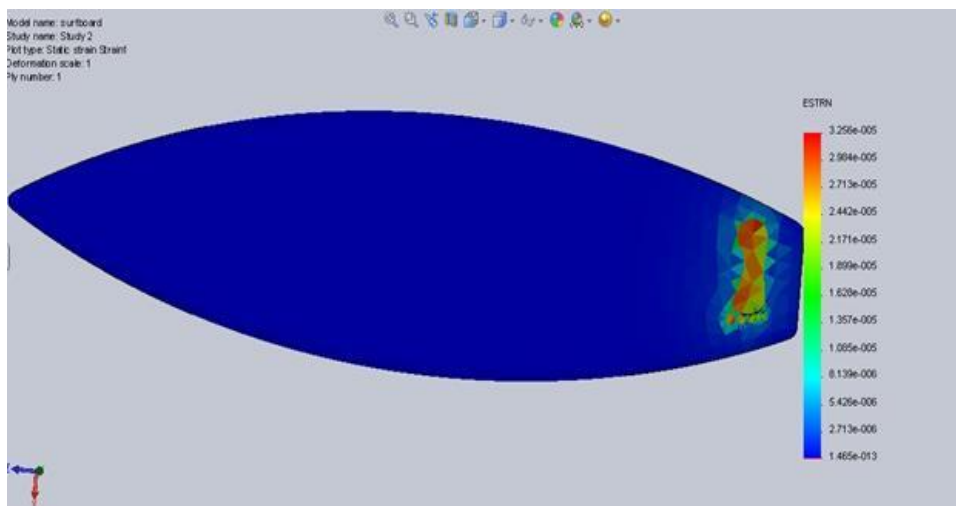
## 7 Αποτελέσματα

### 7.1 Αποτελέσματα Υπολογισμών για Επιφανειακή Πίεση

Το μέγεθος των μετατοπίσεων που υπολογιστήκαν παρουσιάζεται στην Εικόνα 34. Όπως δείχνει η κλίμακα όταν εφαρμοστεί δύναμη 80 κιλών (790 Newton) η μέγιστη μετατόπιση που εμφανίζεται είναι της τάξης του 1.25μm. Η μέγιστη παραμόρφωση που παρουσιάζεται όπως φαίνεται και στην Εικόνα 35 είναι  $3,25 \cdot 10^{-5}$ .



Εικόνα 34: μέγιστη μετατόπιση



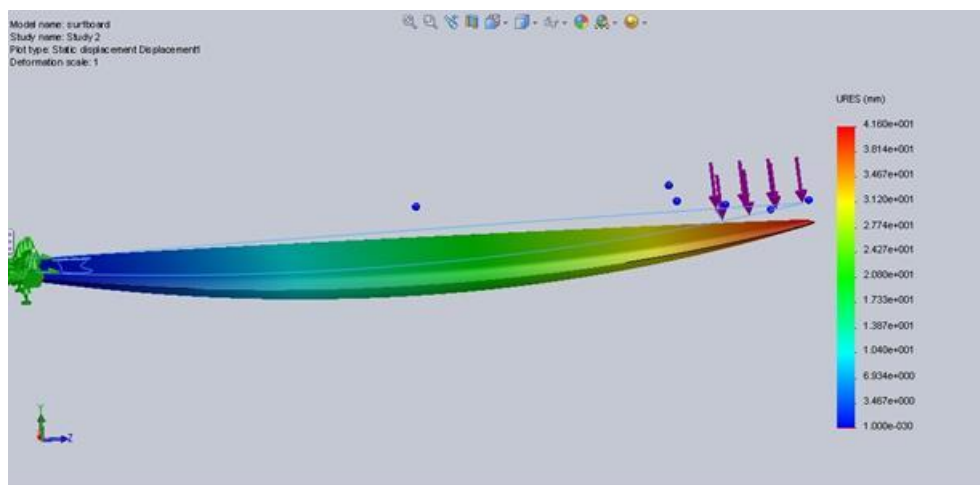
Εικόνα 35: μέγιστη παραμόρφωση

## 7.2 Αποτελέσματα Υπολογισμών για Μετατόπιση

### 7.2.1 Αποτελέσματα Μεθόδου Πεπερασμένων στοιχείων

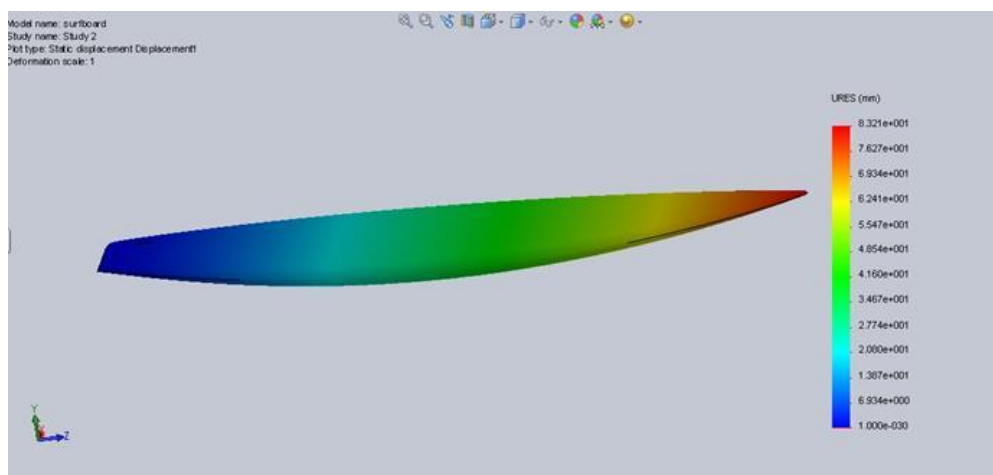
Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για το πείραμα της απομάκρυνσης στον υπολογιστή φαίνονται στις παρακάτω εικόνες. Έγιναν τρεις μετρήσεις με στατικό φορτίο 9 Kg, 18 Kg και 27 Kg. Η επιλογή των συγκεκριμένων φορτίων έγινε ώστε να πλησιάζει το φορτίο το οποίο έγινε το πείραμα στην πραγματικότητα και να μπορούν να συγκριθούν τα αποτελέσματα.

➤ **Μέτρηση με φορτίο 9 Kg**



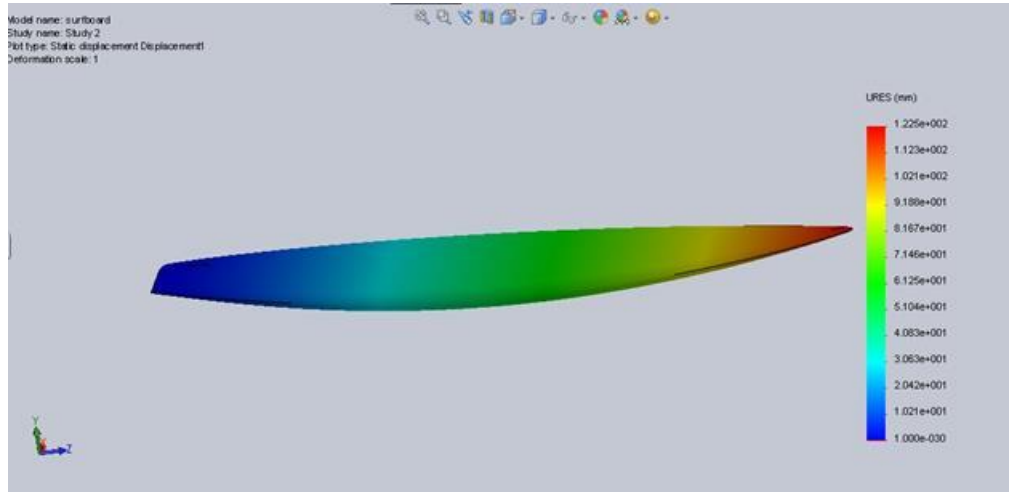
Εικόνα 36: μετατόπιση με βάρος 9 Kg

➤ **Μέτρηση με φορτίο 18 Kg**



Εικόνα 37: μετατόπιση με βάρος 18 Kg

➤ **Μέτρηση με φορτίο 27 Kg**



**Εικόνα 38: μετατόπιση με βάρος 27 Kg**

Από τα αποτελέσματα που φαίνονται στις Εικόνα 36, Εικόνα 37 και Εικόνα 38 προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

	<b>Φορτίο (Kg)</b>	<b>Μετατόπιση (mm)</b>
<b><u>Εικόνα 36</u></b>	9	4.16
<b><u>Εικόνα 37</u></b>	18	8.32
<b><u>Εικόνα 38</u></b>	27	12.25

**Πίνακας 4**

### 7.2.2 Αποτελέσματα μέσω Πειράματος

Στις επόμενες φωτογραφίες παρουσιάζεται το πείραμα για την απομάκρυνση, καθώς και ο τρόπος πάκτωσης της σανίδας. Για φορτίο χρησιμοποιήθηκαν μπουκάλια νερού.



### Πάκτωση σανίδας

Στην Εικόνα 40 φαίνεται η σανίδα πακτωμένη. Χρησιμοποιήθηκαν 4 μέγγκενες για την συγκράτηση της σανίδας. Οι 2 χρησιμοποιήθηκαν για να πακτωθεί η σανίδα και οι άλλες 2 για την συγκράτηση του κομματιών που συγκρατούσαν την σανίδα όπως φαίνεται στην Εικόνα 39.



Εικόνα 39: τρόπος πάκτωσης της σανίδας



**Εικόνα 40: η σανίδα πακτωμένη**

Η μέτρηση της μετατόπισης έγινε με ένα μαρκαδόρο στερεωμένο στην μύτη της σανίδας και ενός σωλήνα στον οποίο σημάδευε ο μαρκαδόρος την μετατόπιση για κάθε φορτίο.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται παρακάτω:

➤ **Μέτρηση με φορτίο 9 Kg**



**Εικόνα 41: τοποθέτηση βάρους 9kg**

➤ Μέτρηση με φορτίο 18 Kg

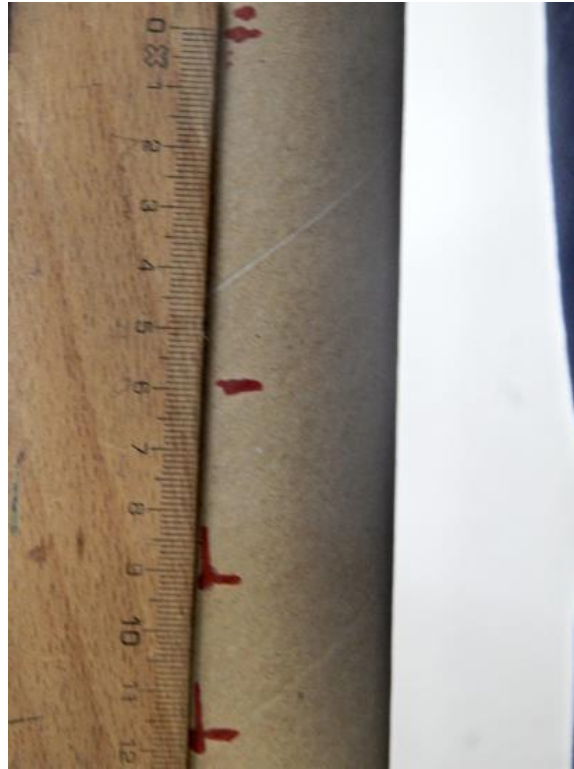


Εικόνα 42: τοποθέτηση βάρους 18kg

➤ Μέτρηση με φορτίο 27 Kg



Εικόνα 43: τοποθέτηση βάρους 27kg



**Εικόνα 44: μέτρηση μετατοπίσεων**

Τα αποτελέσματα των μετατοπίσεων φαίνονται στην Εικόνα 44. Συγκεντρωτικά παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα για κάθε μια περίπτωση.

	<b>Φορτίο (Kg)</b>	<b>Μετατόπιση (mm)</b>
<b><u>Εικόνα 41</u></b>	9	5.8
Εικόνα 37	18	9.1
<b><u>Εικόνα 43</u></b>	27	11.7

**Πίνακας 5**

## 8 Συζήτηση για τα αποτελέσματα.

Συμφώνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στους Πίνακας 4 και Πίνακας 5 μπορούμε να ελέγξουμε την απόκλιση που έχουμε σε κάθε μέτρηση.

### Υπολογισμός Σφάλματος στο πείραμα απομάκρυνσης

- Για την πρώτη περίπτωση με φορτίο 9 Kg έχουμε:

$$\frac{5.8-4.16}{5.8} * 100\% = 28\% \text{ σφάλμα}$$

- Για την δεύτερη περίπτωση με φορτίο 18 Kg έχουμε:

$$\frac{9.1-8.32}{9.1} * 100\% = 8.5\% \text{ σφάλμα}$$

- Για την τρίτη περίπτωση με φορτίο 27 Kg έχουμε:

$$\frac{12.25-11.17}{12.25} * 100\% = 8.8\% \text{ σφάλμα}$$

Συμφώνα με τις παραπάνω τιμές σφαλμάτων προκύπτει μια μέση τιμή σφάλματος:

$$\frac{28\% + 8.5\% + 8.8\%}{3} = 15.1\%$$

Η τιμή του σφάλματος που προκύπτει είναι αποδεκτή και δείχνει ότι τα υπολογιστικά αποτελέσματα με τα πραγματικά είναι σχετικά κοντά.

## 9 Συμπεράσματα

Η μέση τιμή του σφάλματος που αναφέρεται παραπάνω θεωρείται ικανοποιητική. Για τον λόγο αυτό μπορούμε να θεωρήσουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών που έγιναν στον υπολογιστή και για τις δυο περιπτώσεις (επιφανειακής πίεσης και μετατόπισης) σωστά. Σύμφωνα λοιπόν με τις τιμές αυτές, για αναβάτη 80 κιλών που έχει γίνει η μελέτη, η σανίδα δεν θα παρουσιάσει παραμορφώσεις τέτοιες που να επηρεάσουν την πάνω πλευρά της σανίδας.

## 10 Παράρτημα:- Αναφορά αποτελεσμάτων solidworks

### 10.1 Description

Summarize the FEM analysis on surfboard

### 10.2 Assumptions

### 10.3 Model Information

Document Name	Configuration	Document Path	Date Modified
surfboard	Default	C:\Users\User\Desktop\surfboard.SLDPRT	Sat Apr 26 10:41:20 2014

### 10.4 Study Properties

Study name	Study 2
Analysis type	Static
Mesh Type:	Mixed Mesh
Solver type	FFEPlus
Inplane Effect:	Off
Soft Spring:	Off
Inertial Relief:	Off

Thermal Effect:	Input Temperature
Zero strain temperature	298.000000
Units	Kelvin
Include fluid pressure effects from SolidWorks Flow Simulation	Off
Friction:	Off
Ignore clearance for surface contact	Off
Use Adaptive Method:	Off

## 10.5 Units

Unit system:	SI
Length/Displacement	mm
Temperature	Kelvin
Angular velocity	rad/s
Stress/Pressure	N/m <sup>2</sup>

## 10.6 Material Properties

### 10.6.1 Solid Bodies

No.	Body Name	Material	Mass	Volume
1	SolidBody 3(Split Line3)	POLYURETHANE (11671)	0.724707 kg	0.0402615 m <sup>3</sup>

### 10.6.2 Shells

No.	Shell Name	Material	Formulation	Thickness	Mass/Volume
1	SurfaceBody 1(Surface- Top)	FCF	Thick	1.2 mm	1.06864 kg /0.00104768 m <sup>3</sup>
2	SurfaceBody	FF	Thick	0.8 mm	0.712516 kg



	2(Surface- Bottom)				/0.000698545 m <sup>3</sup>
--	-----------------------	--	--	--	--------------------------------

Material name:	POLYURETHANE (11671)
Description:	
Material Source:	
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress
Application Data:	

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	1e+009	N/m <sup>2</sup>	Constant
Poisson's ratio	0.4	NA	Constant
Mass density	18	kg/m <sup>3</sup>	Constant
Yield strength	1e+007	N/m <sup>2</sup>	Constant

Material name:	FCF
Description:	-
Material Source:	
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress
Application Data:	

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	1.75e+010	N/m <sup>2</sup>	Constant
Poisson's ratio	0.394	NA	Constant
Shear modulus	5e+009	N/m <sup>2</sup>	Constant
Mass density	1020	kg/m <sup>3</sup>	Constant
Tensile strength	3e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Yield strength	2.5e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Thermal conductivity	0.2256	W/(m.K)	Constant

Specific heat	1386	J/(kg.K)	Constant
---------------	------	----------	----------

Material name:	FF
Description:	-
Material Source:	
Material Model Type:	Linear Elastic Isotropic
Default Failure Criterion:	Max von Mises Stress
Application Data:	

Property Name	Value	Units	Value Type
Elastic modulus	5.24e+009	N/m <sup>2</sup>	Constant
Poisson's ratio	0.394	NA	Constant
Shear modulus	1.5e+009	N/m <sup>2</sup>	Constant
Mass density	1020	kg/m <sup>3</sup>	Constant
Tensile strength	3e+007	N/m <sup>2</sup>	Constant
Yield strength	2e+008	N/m <sup>2</sup>	Constant
Thermal conductivity	0.2256	W/(m.K)	Constant
Specific heat	1386	J/(kg.K)	Constant

## 10.7 Loads and Restraints

### 10.7.1 Fixture

Restraint name	Selection set	Description
Fixed-1 <surfboard>	on 1 Face(s) fixed.	

### 10.7.2 Load

Load name	Selection set	Loading type	Description
Force-1 <surfboard>	on 6 Face(s) apply normal force 900 N using uniform distribution	Sequential Loading	

## 10.8 Contact

Contact state: Touching faces - Free

Global Contact	Contact component: Bonded on surfboard
Description:	

## 10.9 Mesh Information

Mesh Type:	Mixed Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Smooth Surface:	On
Jacobian Check:	4 Points
Element Size:	37.379 mm
Tolerance:	1.8689 mm
Quality:	High
Number of elements:	8871
Number of nodes:	16414
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:07
Computer name:	DEFAULT-TOSH

## 10.10 Reaction Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N	0.018629	894.198	25.7312	894.568

### 10.10.1 Reaction Moments

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N-m	0	0	0	1e-033

## 10.11 Free-Body Forces

Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N	-4.79245e-006	-0.00100452	0.000113624	0.00101094

### 10.11.1 Free-body Moments

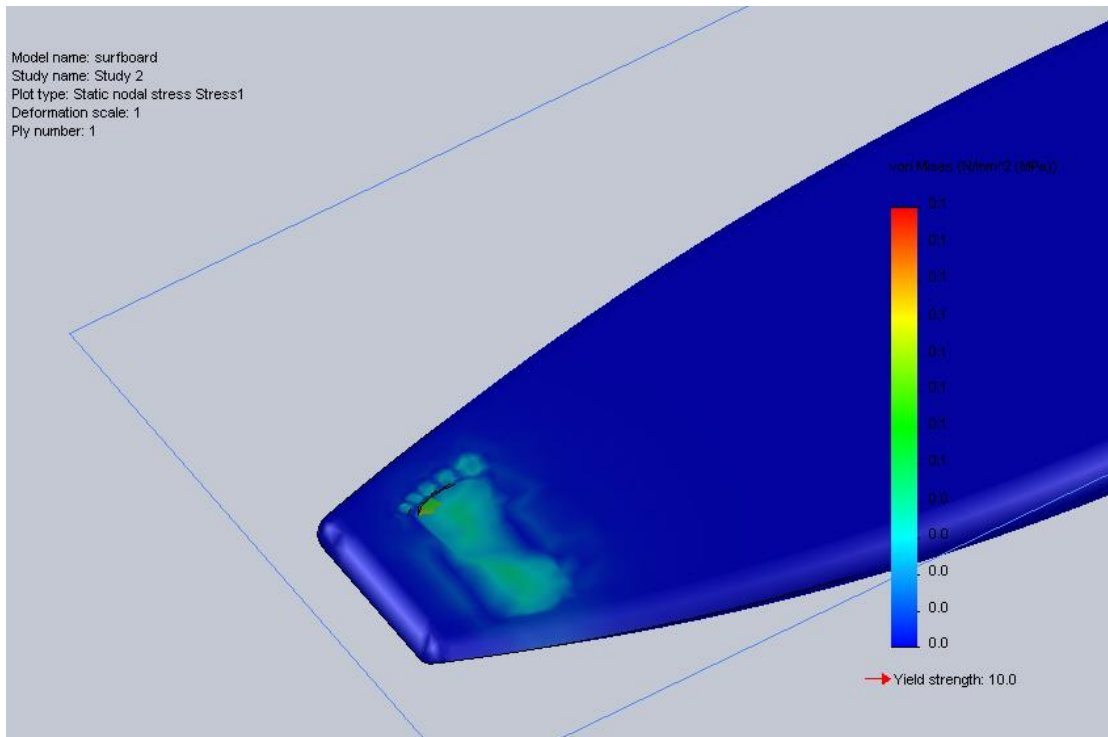
Selection set	Units	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultant
Entire Body	N-m	6.20505e-006	-2.31094e-006	1.92046e-005	2.0314e-005

## 10.12 Study Results

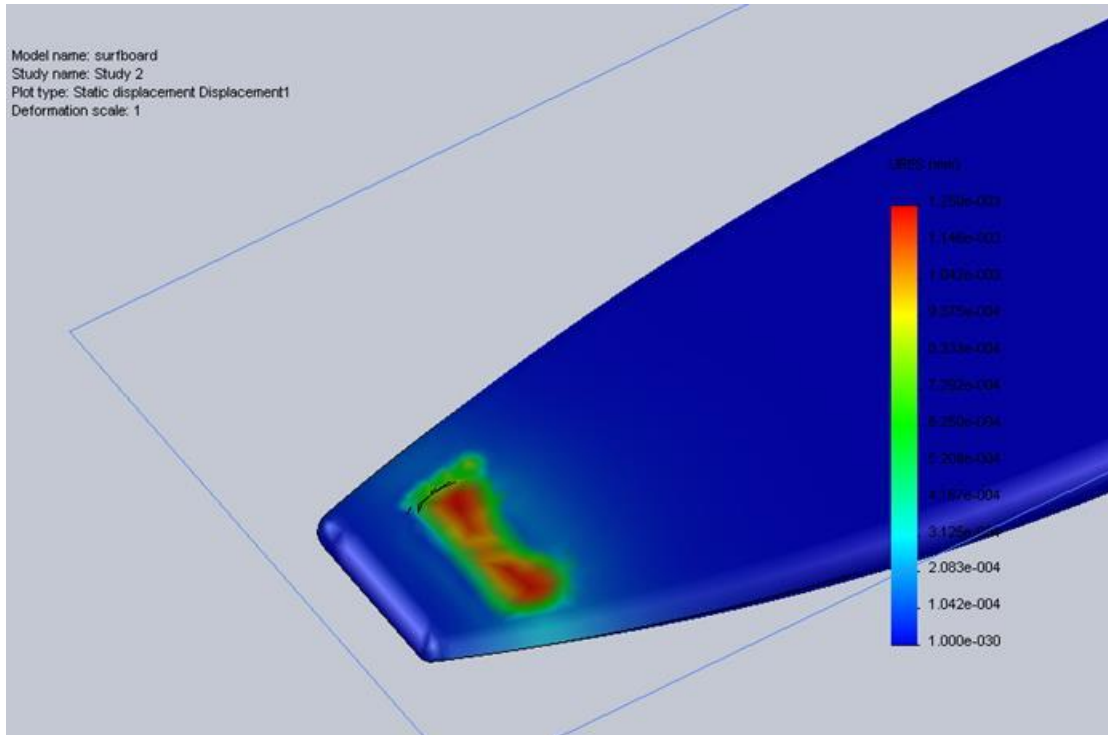
Default Results

Name	Type	Min	Location	Max	Location
Stress1	VON: von Mises Stress	1.15975e-010 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Node: 3143	(38.2504 mm, 3.79101 mm, 769.462 mm)	0.121304 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Node: 11773	(-56.3744 mm, -11.1628 mm, -874.793 mm)
Displacement1	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 639	(1.21921e-011 mm, 33.4162 mm, 939.968 mm)	0.00124999 mm Node: 1223	(48.4354 mm, -11.2451 mm, -871.943 mm)
Strain1	ESTRN: Equivalent Strain	1.46542e-013 Element:	(4.66888 mm, -13.5545	3.25579e-005 Element:	(-98.8878 mm, -25.3979

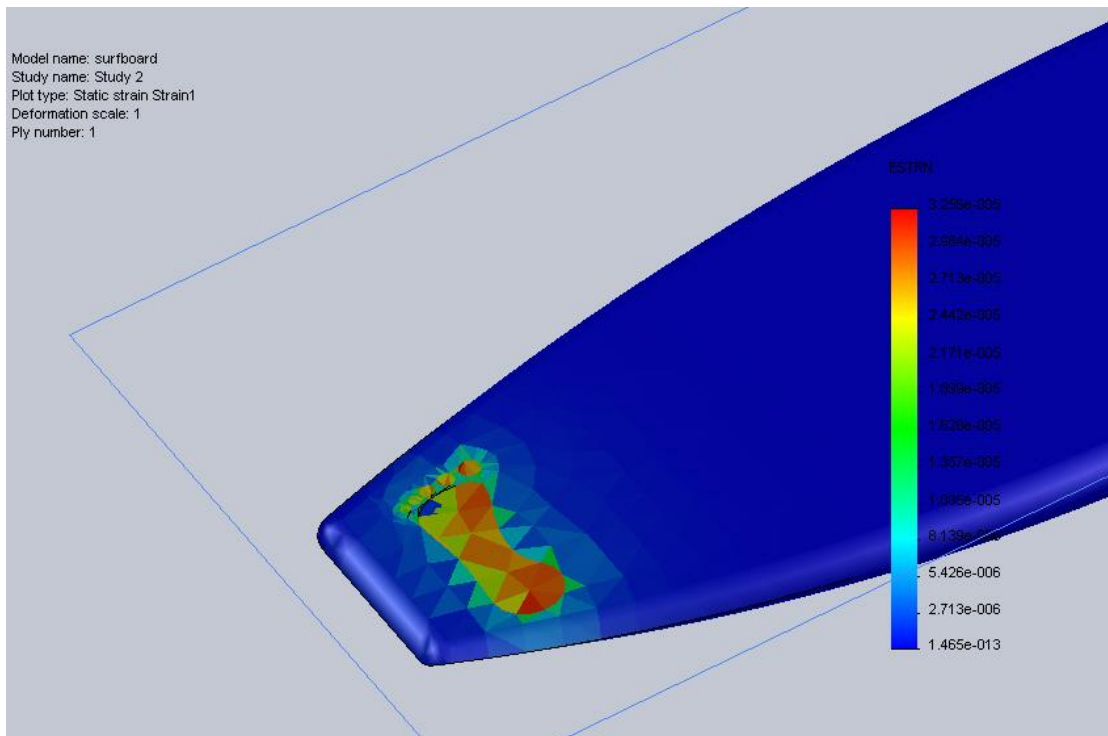
		3925	mm, 618.974 mm)	5655	mm, -885.476 mm)
Displacement2	URES: Resultant Displacement	0 mm Node: 639	(1.21921e- 011 mm, 33.4162 mm, 939.968 mm)	0.00124999 mm Node: 1223	(59.2199 mm, -206.499 mm, -866.094 mm)



surfboard-Study 2-Stress-Stress1



surfboard-Study 2-Displacement-Displacement1



surfboard-Study 2-Strain-Strain1

## 11 Βιβλιογραφία

- [http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_surfing](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_surfing)
- <http://www.surfscience.com>
- <http://www.clubofthewaves.com/surf-culture/history-of-the-surfboard.php>
- <http://www.tactics.com/info/epoxy-surfboard-construction>
- <http://www.greenlightsurfsupply.com/>
- <http://www.surfersteve.com/introduction.htm>