

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών ΤΜΗΜΑ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση γάστρας πλοίου στο χώρο με χρήση του πακέτου λογισμικού Autoship



Βουτέρης Γεώργιος Εισηγητής: Δρ. Γεροστάθης Θ. «Οι ανάγκες για ένα θαλάσσιο ταξίδι είναι ένα πλοίο, ένας καπετάνιος, ένα πηδάλιο και ένας ευνοϊκός άνεμος. Πρέπει να καταλάβει κανείς, ξεκάθαρα, ότι αυτό το ανθρώπινο σώμα είναι το καταλληλότερο πλοίο για να διασχίσουμε τον ωκεανό της άγνοιας, ο πνευματικός δάσκαλος είναι ο καλύτερος καπετάνιος, οι γραφές είναι το πηδάλιο και το έλεος του Κυρίου είναι ο τέλειος άνεμος. Αν δεν διασχίσουμε τον υλικό ωκεανό της άγνοιας, επωφελούμενοι από αυτές τις άριστες συνθήκες, τότε γινόμαστε ο χειρότερος εχθρός του εαυτού μας.»

Σρίμαντ Μπάγκαβαταμ 11.20.17

Περιεχόμενα	Σελίδα
1. Εισανωνή	1
	-
2. Σγεδίαση γάστρας με τη βρήθεια Η/Υ	2
2.1 Πακέτα λονισμικού	2
2.1.1 Auto ship	2
2 1 2 Maxsurf	3
2 1 3 IntelliShip	4
2 1 4 NAPA	4
2.1.5 Tribon	7
2.1.6 AeroHydro Inc. Marine design	11
2.1.7 FORAN	12
2 1 8 Wolfson	13
2 1 9 Proteus Fast Ship	13
2 1 10 Defcar	14
2.2 Αναπαράσταση καμπύλων	15
	15
2.2.2 Παραμετοική παράσταση καμπυλών	15
2.2.3 Παραμετρική εξίσωση της ευθείας	15
2.2.6 Παραμοιρική σορεμβολή	16
$2.2.5 \text{ K}_{\alpha\mu\pi\dot{\alpha}\dot{\beta}}$ Kapapana $2.2.5 \text{ K}_{\alpha\mu}$	16
2.2.5 1 Τετοαγωνικές καμπύλες Bézier	16
$2.2.5.1$ ropupulation β	17
2.2.5.2 Παραδείνματα καμπυλών Bézier	17
2.2.5.5 Παρασσηματά καμπολάν Βόελοι 2.2.5.4 Ομαλή ένωση δύο καμπιλών Bézier – Παραμετοική συνέγεια Cr	18
2.2.5.1 Ομαλή ενώση στο καμπολών Βορίοι - Παραμειρική συνεχεια ΟΓ	18
2.2.0 Kautovac B Spinie 2.2.7 Kautovac NURBS	19
2.3 Αναπαράσταση επιφανειών	22
2.3.1 Παραμετοική Παράσταση Επιφανειών	22
2.3.2 Επιφάγειες Βέζιες τανυστικό γινόμενο	22
2.3.2 Emigratolis Dezici tatootiko μ topoto 2.3.3 Emigratolis B-Spline tatootiko yivõijevo	24
2.3.4 Επιφάνειες NURBS	25
2.4 Παρεμβολή επιφάνειας σε σύνολο καιμπυλών	23
	20
3. Βασικά στοινεία της επιφάνειας εργασίας του Autoshin	31
5. Βασικά στοιχεία της επιφάνειας εργάσιας του Autosmp	51
Α Συρδίαση μάστομο βάσοι μομέρου	25
4. Δχεοιαση γαστρας ρασει νομεων	35
4.1 Αποτυπωση των νομεων	35
4.2 Εξομαλυνση των καμπυλων	36
4.3 Δημιουργια των Embedded	50
4.4 Παρεμβολη της επιφανειας	51
4.5 Εξομαλυνση της επιφανειας	53
4.6 Κατασκευη της γαστρας	59
4.6.1 Πρυμναιο τμημα	59
4.0.1.1 H ETIQUVEIA μ ETAZU TOV VO μ EOV 3 ¹ / ₂ Kal ¹ / ₄	61
4.0.1.2 Η επιφανεία μεταζύ των νομέων $\frac{1}{4}$ και AP	62
4.0.1.5 Η επιφανεία μεταζύ των νομέων ΑΡ και Β	/1
4.0.1.4 Η επιφανεία του καθρεφτη	12
4.6.2 Μεσο παραλληλο τμημα	86
4.0.3 Ενωση των τμηματων	88

Περιεχόμενα	Σελίδα
4.6.4 Φωτισμός αντικειμένου	92
5. Τα βασικά βήματα της γενικής μεθοδολογίας σχεδίασης	
επιφάνειας γάστρας βάσει νομέων	96
6. Συμπεράσματα	96
7. Προτάσεις επέκτασης της παρούσας εργασίας	97
8. Βιβλιογραφία	98

1. Εισαγωγή

Σκοπός της εργασίας είναι η διατύπωση μιας γενικής μεθοδολογίας σχεδίασης της επιφάνειας της γάστρας ενός πλοίου με δεδομένο το σχέδιο γραμμών, με τη βοήθεια ειδικευμένων πακέτων λογισμικού.

Η υλοποίηση της επιφάνειας της γάστρας σαν μαθηματικό μοντέλο είναι απαραίτητη για τη χρήση πακέτων λογισμικού για την μελέτη και τελικά στην κατασκευή, επισκευή ή μετασκευή του πλοίου διότι δίνει την δυνατότητα: α) μεγαλύτερης ακρίβειας στον έλεγχο και υπολογισμό των υδροστατικών χαρακτηριστικών, της ευστάθειας, της αντοχής, και της πρόωσης, β) μεγαλύτερης ακρίβειας και ευκολίας στην σχεδίαση του αναπτύγματος του εξωτερικού περιβλήματος και των άλλων ελασμάτων, των κατασκευαστικών και όλων των αναγκαίων σχεδίων, γ) εύκολου και γρήγορου μετασχηματισμού ή τροποποίησης της γάστρας για την μετασκευή πλοίου και την κατασκευή αδελφού πλοίου, καθώς επίσης και δ) αυτόματης προβολής της τρισδιάστατης εικόνας της μορφής της γάστρας στον χώρο.

Στην δεύτερη ενότητα γίνεται μια συνοπτική περιγραφή ορισμένων από τα πιο διαδεδομένα πακέτα λογισμικού για την σχεδίαση πλοίου και στην συνέχεια μια αναλυτική αναφορά στην παραμετρική αναπαράσταση καμπυλών και επιφανειών. Τέλος, γίνεται μια ανάλυση για την παρεμβολή επιφάνειας σε σύνολο καμπυλών και το πρόβλημα της αντίστροφης σχεδίασης.

Στην τρίτη ενότητα υπάρχει μια αναλυτική περιγραφή των βασικών στοιχείων της επιφάνειας εργασίας του Autoship.

Η τέταρτη ενότητα αποτελεί το κύριο μέρος της παρούσας εργασίας, στο οποίο γίνεται μια απόπειρα σχεδίασης της επιφάνειας της γάστρας ενός πλοίου με δεδομένο σχέδιο γραμμών, βάσει των νομέων. Αρχικά, γίνεται η αποτύπωση και η εξομάλυνση των νομέων, ακολουθεί η δημιουργία των βοηθητικών καμπυλών Embedded και η παρεμβολή της επιφάνειας και τέλος γίνεται η ανάλυση της διαδικασίας κατασκευής της επιφάνειας της γάστρας.

Στις τελευταίες ενότητες παραθέτονται τα βασικά βήματα της γενικής μεθοδολογίας σχεδίασης επιφάνειας γάστρας βάσει νομέων, τα συμπεράσματα, οι προτάσεις επέκτασης της εργασίας και η βιβλιογραφία.

2. Σχεδίαση γάστρας με τη βοήθεια Η/Υ

2.1 Πακέτα λογισμικού

Υπάρχουν αρκετά πακέτα λογισμικού για την σχεδίαση πλοίου (Computer Aided Ship Design). Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή ορισμένων από τα πιο διαδεδομένα από αυτά. Για περαιτέρω πληροφορίες μπορείτε να απευθυνθείτε στις αντίστοιχες ιστοσελίδες που παραθέτονται στην Βιβλιογραφία.

2.1.1 Auto ship



Το πακέτο αυτό, όπως άλλωστε και τα περισσότερα, χωρίζεται σε αυτόνομα ξεχωριστά προγράμματα.

- Auto ship: Σχεδίαση γάστρας και μοντελοποίηση επιφάνειας"
- Autohydro: Ανάλυση υδροστατικών και ευστάθειας
- Autopower: Πρόβλεψη αντίστασης και πρόωσης
- Autostructure: Σχεδίαση εσωτερικής κατασκευής. Αποτελείται από τα εξής:
 - Project Manager: Αρχειοθέτηση και διαχείριση βάσεων δεδομένων
 - Autostructure: Δουλεύει με τυποποιημένα ελάσματα, μορφωδοκούς και σωληνώσεις μέσα από μια ηλεκτρονική αποθήκη υλικών
 - Report Manager: Δίνει αναφορές βαρών και επιφανειών, σύμφωνα με την τυποποίηση του εμπορίου, μήκους συγκόλλησης, ανακυκλώσιμου σιδηρομεταλλεύματος (scrap), κ.α.
- **Production Manager:** Φώλιασμα¹ και υποστήριξη παραγωγής του *Autostructure*
- Autoplate: Σχεδίαση του αναπτύγματος του εξωτερικού περιβλήματος και διαχείριση ελασμάτων
- Autonest: Φώλιασμα για την βέλτιστη εκμετάλλευση της αποθήκης ελασμάτων, μορφωσιδήρων και σωληνώσεων

¹ Φώλιασμα ονομάζεται η διαδικασία της εύρεσης του ιδανικότερου τρόπου διευθέτησης των διαφόρων σχημάτων των ελασμάτων προς κοπή, μέσα στα όρια των διαστάσεων ενός τυποποιημένου ελάσματος.

• Astoyacht: Σχεδίαση γάστρας και μοντελοποίηση επιφάνειας για yacht

2.1.2 Maxsurf



- Maxsurf: Μοντελοποίηση γάστρας, υπερκατασκευών και εξαρτημάτων
- Hydromax: Ανάλυση υδροστατικών και ευστάθειας
- Workshop: Δεπτομερειακή κατασκευή και ανάπτυξη ελασμάτων



- Seakeeper: Πρόβλεψη επιδόσεων πλεύσης
- Hullspeed: Πρόβλεψη αντίστασης και ισχύος
- Span: Πρόβλεψη επιδόσεων ιστιοφόρων yacht

2.1.3 IntelliShip



Η ιδιαιτερότητα αυτού του προγράμματος είναι ότι εκτός από την σχεδίαση και την παραγωγή παρέχει την δυνατότητα διαχείρισης του κύκλου ζωής του πλοίου μέσα σε ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον.

2.1.4 NAPA (Naval Architectural Package)



- > Standard subsystems (Βασικά υποσυστήματα)
 - Ship Model: Μοντελοποίηση πλοίου
 - Hull Form Geometry: Γεωμετρία της μορφής της γάστρας
 - Hydrostatics: Υδροστατικά
 - Tank Capacities: Χωρητικότητα δεξαμενών
 - Loading Conditions: Καταστάσεις φόρτωσης
 - Damage Stability: Ευστάθεια μετά από βλάβη
 - Stability Criteria: Κριτήρια ευσταθείας
 - Launching: Καθέλκυση
- > Add-on Subsystems (Πρόσθετα υποσυστήματα)

Τα πρόσθετα υποσυστήματα είναι εξελιγμένα εργαλεία κατασκευασμένα για συγκεκριμένες ανάγκες και μπορούν να αποκτηθούν ανεξάρτητα.

- Container Loading: Φόρτωση εμπορευματοκιβωτίων
- Resistance and Propulsion: Αντίσταση και πρόωση
- General Seakeeping: Συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς
- Seakeeping 3D Panel Method: Συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς με την μέθοδο 3D Panel
- **CFD Wave Resistance:** Υπολογισμός της αντίστασης λόγω κυματισμών με μεθόδους της υπολογιστικής ρευστομηχανικής
- Manoeuvring: Ικανότητα ελιγμών
- Freeboard Calculation: Υπολογισμός του ύψους εξάλων
- Grain Stability: Ευστάθεια πλοίου χύδην φορτίου
- Weight Calculation: Υπολογισμός βαρών
- Offshore Structure Stability: Ευστάθεια πλωτής κατασκευής
- > Onboard-NAPA systems (Συστήματα επί του σκάφους)

• Onboard-NAPA

- Υπολογισμοί φόρτωσης
- Ανάλυση ευστάθειας μετά από βλάβη
- Πρόβλεψη επιδόσεων του πλοίου
- Υποστήριξη αποφάσεων
- Onboard-NAPA Power

Μειώνει το κόστος λειτουργίας του πλοίου. Δίνει την δυνατότητα προγραμματισμού των ταξιδιών έτσι ώστε να φτάνει στον προορισμό εγκαίρως με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

• NAPA CBT

Προσφέρει μια μέθοδο για την εκμάθηση και την επανεξέταση των βασικών στοιχείων της ευστάθειας και της ασφάλειας του πλοίου στην θάλασσα.





Το πακέτο Tribon M3 υποστηρίζει ολόκληρη την διαδικασία της ναυπήγησης, από την σύλληψη της ιδέας έως την παράδοση. Παρακάτω αναφέρονται μερικές από τις εφαρμογές του πακέτου σε κάθε στάδιο της ναυπήγησης.

Μελέτη Προδιαγραφών Συμβολαίου (Contract Design)

> Tribon.com

 Διεθνής βάση δεδομένων προμηθευτών και τεχνικών πληροφοριών των προϊόντων

Initial Design

- Προμελέτη μορφής της γάστρας
- Στρέβλωση υπαρχόντων μορφών γάστρας
- Ορισμός καταστρωμάτων και φρακτών
- Τμηματοποίηση
- Υπολογισμοί αντίστασης και ισχύος
- Υπολογισμοί ικανότητας ελιγμών, πρόωσης και συμπεριφοράς του πλοίου σε κυματισμούς
- Υπολογισμοί ευστάθειας και χωρητικότητας (συμπεριλαμβανομένων σιτηρών και εμπορευματοκιβωτίων)
- Υπολογισμοί αντοχής
- Σχέδιο γραμμών
- Προσομοίωση συνεχούς εισροής νερού

> Basic Design

- Σχεδίαση διαμηκών κατασκευαστικών στοιχείων (ενισχυτικά, ελάσματα εξωτερικού περιβλήματος, σταθμίδες και καταστρώματα)
- Υπολογισμός ροπή αντίστασης
- Σχεδίαση εγκαρσίων κατασκευαστικών στοιχείων (φρακτές, έδρες και νομείς)
- Τοποθέτηση των κύριων εξαρτημάτων και σχεδίαση της διάταξης της μηχανικής εγκατάστασης
- Αυτόματη εξαγωγή σχεδίων από το Tribon PIM (εγκαρσίων τομών, μέσης τομής, τυπικών νομέων και καταστρωμάτων)
- Διαίρεση της μεταλλικής κατασκευής σε κύριους τομείς

> Drafting

• Δημιουργία σχεδίων γενικής διάταξης

> Pipe

- Προδιαγραφή των δικτύων σωληνώσεων
- Διαγράμματα των δικτύων σωληνώσεων

> Cable

• Διαγράμματα των ηλεκτρολογικών δικτύων

Design Manager

- Εκτίμηση βάρους των τομέων
- Επιθεώρηση σχεδίων από την διοίκηση του ναυπηγείου, τους νηογνώμονες και των πλοιοκτητών

Data Management

• Έλεγχος πρόσβασης, έγκριση και έκδοση των σχεδιαστικών δεδομένων

Βασικός Σχεδιασμός (Basic Design)

Initial Design

- Εξομάλυνση μορφής της γάστρας
- Σχέδιο Δεξαμενών
- Πίνακες χωρητικότητας
- Βιβλίο ευσταθείας (Stability booklet)
- Ντετερμινιστική και στοχαστική μελέτη της ευστάθειας μετά από βλάβη
- Υπολογισμοί καθέλκυσης
- Σχέδιο γραμμών
- Πίνακας offset

Basic Design

- Έκθεση βαρών και κέντρων βαρών
- Εκτίμηση απαιτούμενου χάλυβα
- Έξοδος των δεδομένων για πακέτα υπολογισμών με πεπερασμένα στοιχεία

> Drafting

- Έγκριση και σχέδια γενικής διάταξης
- Είσοδος από / Έξοδος σε DFX και IGES formats
- Έλεγχος υπερφόρτωσης στην γραμμή εργασίας

Μελέτη Λεπτομερούς Σχεδιασμού (Detailed Design)

> Initial Design

• Τελική εξομάλυνση γάστρας

> Hull

- Λεπτομερείς επίπεδες και κυρτές μεταλλικές κατασκευές
- Αυτόματη αρίθμηση των μερών
- Άνοιγμα οπών για τον εξοπλισμό
- Υπολογισμός περιοχών προς βαφή
- Φώλιασμα με σχέδιο καψίματος και πληροφορίες NC
- Πρότυπα κάμψης για ελάσματα εξωτερικού περιβλήματος

- Jigs για την συναρμολόγηση κυρτών μονάδων
- Κατάλογος χαλύβδινων υλικών

> Pipe

- Τοποθέτηση εξαρτύσεων
- Διέλευση σωληνώσεων
- Σχεδιάγραμμα σωληνώσεων
- Κατάλογος απαραίτητων υλικών

> Pipe Support

- Μοντελοποίηση της υποστήριξης σωληνώσεων
- Κατασκευή σχεδιαγράμματος

> Ventilation

- Τοποθέτηση εξαρτύσεων
- Διέλευση εξαερισμού
- Σχεδιάγραμμα εξαερισμού
- Κατάλογος απαραίτητων υλικών

> Cable

- Τοποθέτηση εξαρτύσεων
- Αγωγοί καλωδιώσεων
- Διέλευση καλωδιώσεων μέσα στους αγωγούς
- Κατάλογος όλων των καλωδίων και αγωγών

> Structure

- Μοντελοποίηση εξοπλισμού
- Κατασκευαστικές πληροφορίες

> Drafting

- Λεπτομερής σχεδίαση
- Έλεγχος υπερφόρτωσης στην γραμμή εργασίας

Factory Automation

- Σημάδεμα τριγώνων
- Έλεγχος γραμμής εργασιών
- Διασύνδεση με ρομπότ για την κοπή του προφίλ
- Δεδομένα για ρομπότ συγκολλήσεων
- Έλεγχος ακρίβειας του σημαδέματος των διαστάσεων

Design Manager

- Επιθεώρηση σχεδίων από την διοίκηση του ναυπηγείου, τους νηογνώμονες και των πλοιοκτητών
- Τιμολόγιο υλικών

Κατασκευή Μερών

> Developer's Toolkit

• Περιβάλλον ανάπτυξης νέων υποπακέτων λογισμικού για ειδικά προβλήματα

Συναρμολόγηση (γάστρας και εξοπλισμού) και Προγραμματισμός Παραγωγής

Assembly Planning

- Στρατηγική κτισίματος
- Ιεράρχηση μονάδας με χαρακτηριστικά (στάδιο συναρμολόγησης, χώρος εργασίας, θέση στο σχέδιο)
- Σχέδια μονάδων
- Κατάλογος μερών ανά μονάδα
- Υπολογισμός βάρους και κέντρου βάρους

➢ Weld Planning

- Αυτόματη δημιουργία γραμμής συγκόλλησης
- Διόρθωση των γραμμών συγκόλλησης

> Production Manager

- Επιθεώρηση των μερών και των μονάδων
- Αυτόματες γραπτές οδηγίες συναρμολόγησης

Προγραμματισμός Υλικών και Προμηθειών

> Basic Design

- Εκτίμηση απαιτούμενου χάλυβα
- > Hull
 - Προκαταρκτικός προσδιορισμός των υλικών
 - Κατάλογος χαλύβδινων υλικών

> Pipe

- Προκαταρκτικός προσδιορισμός των υλικών
- Κατάλογος απαραίτητων υλικών

> Ventilation

- Προκαταρκτικός προσδιορισμός των υλικών
- Κατάλογος απαραίτητων υλικών

> Cable

- Προκαταρκτικός προσδιορισμός των υλικών
- Κατάλογος όλων των καλωδίων και αγωγών

Διαχείριση Σχεδιαστικών Δεδομένων

- Data Management
 - Έλεγχος πρόσβασης
 - Θέση αντικειμένων
 - Πληροφορίες από τα αντικείμενα σε εξωτερικά έγγραφα
 - Χαρακτηριστικά οριζόμενα από τον χρήστη
 - Triggers (σημεία του συστήματος ροής, στα οποία αναπτυγμένες λειτουργίες μπορούν να προστεθούν τοπικά για τον εμπλουτισμό του συστήματος)

Developer's Toolkit

- Εξαγωγή δεδομένων από το Tribon PIM
- Ανάπτυξη επεκτάσεων προς το σύστημα Tribon
- Σύνδεση των παρόντων δεδομένων παραγωγής με την βάση δεδομένων Oracle

2.1.6 AeroHydro, Inc. Marine design



- MultiSurf: Πλήρης 3Δ σχεδίαση (γάστρα, κατάστρωμα, τρόπιδα, εσωτερικά, υπερκατασκευές)
- SurfaceWorks Marine: Ανανεωμένη έκδοση του MultiSurf LT
- Hydro: Υδροστατικοί υπολογισμοί
- **MSDEV:** Ανάπτυξη επίπεδων ελασμάτων
- **MSPLEX:** Ενιαία ανάπτυξη επίπεδων ελασμάτων
- AHVPP: Πρόβλεψη ταχύτητας ιστιοπλοϊκών
- CFD: Υδροδυναμικοί υπολογισμοί

- Hull Form: Σχεδίαση γάστρας
- Naval Architecture: Υδροστατικοί υπολογισμοί
- Hull Structure: Υπολογισμός αντοχής
- Machinery & Outfitting: Πλήρης υπολογισμός της 3Δ μορφής του πλοίου συμπεριλαμβανομένων των δικτύων σωληνώσεων και παραγωγή κατασκευαστικών σχεδίων
- Electrical: Ηλεκτρικά δίκτυα με 3Δ λεπτομέρειες
- Accommodation: 3Δ ενδιαίτηση
- Drafting: Παραγωγή τελικών σχεδίων
- Virtual Reality: Εικονική πραγματικότητα



- Information Management: Διαχείριση δεδομένων
- Production Links: Οργάνωση παραγωγής
- Management Links: : Γενική διαχείριση
- Interfaces: Σύνδεση με άλλα πακέτα
- **Development Toolkit:** Περιβάλλον ανάπτυξης νέων υποπακέτων λογισμικού για ειδικά προβλήματα



- General Marine Design Software Brochure: Ναυπηγικό σχέδιο
- HST Hydrostatics, Stability and Tank Capacities: Υδροστατικά, ευστάθεια και χωρητικότητα δεξαμενών
- HST Loading: Υπολογισμοί βαρών και φόρτωσης, διαμήκους αντοχής, μέγιστου KG, κριτήρια ευστάθειας άθικτου σκάφους και πείραμα ευσταθείας
- Floodable Lengths and Damage Stability: Κατακλύσιμα μήκη και ευστάθεια μετά από βλάβη
- ShipShape: Εξομάλυνση γραμμών
- Ship Motions: Ικανότητα ελιγμών
- **Propeller Design and Power Prediction Program:** Σχεδίαση προπέλας και πρόβλεψη ισχύος
- Windesign: Πρόβλεψη επιδόσεων yacht
- **GoPlot:** Plotting
- Onboard Loading and Damage: Φόρτωση και βλάβες επί του σκάφους

2.1.9 Proteus Fast Ship

- NavCad: Αντίσταση και πρόωση
- FastShip: Σχεδίαση γάστράς
- GRS: Ευστάθεια και υδροστατικά χαρακτηριστικά
- VisualSMP: Συμπεριφορά του πλοίου σε κυματισμούς
- AgileShip: Ικανότητα ελιγμών
- MAESTRO: Κατασκευή
- **EstiMate:** Εκτίμηση κόστους
- ShipConstructor: Μελέτη λεπτομερούς σχεδιασμού
- Perception: Οργάνωση παραγωγή

2.1.10 Defcar



- Hullform Design & Generation: Σχεδίαση και δημιουργία γάστρας
- Hydrostatics & Stability: Ανάλυση υδροστατικών και ευστάθειας
- Shell Expansion: Ανάπτυγμα εξωτερικού περιβλήματος
- Structural Steelwork: Μεταλλική κατασκευή
- Nesting & NC Cutting: Φώλιασμα και κόψιμο NC
- Piping and Plant Design: Σχεδίαση σωληνώσεων και μηχανικών εγκαταστάσεων

2.2 Αναπαράσταση καμπύλων

2.2.1 Ιστορικό

Η ανάγκη για τη μαθηματική αναπαράσταση πολύπλοκων καμπυλών και επιφανειών, κατάλληλη για την επεξεργασία τους με υπολογιστή, παρουσιάστηκε κατά τα μέσα της δεκαετίας του 1960 στην αυτοκινητιστική και αεροναυπηγική βιομηχανία. Μέχρι τότε οι ιδέες των σχεδιαστών για τη μορφή των αυτοκινήτων και των αεροπλάνων υλοποιούνταν μόνο προσεγγιστικά, καθώς δεν υπήρχαν ακριβείς μέθοδοι ορισμού τέτοιων σχημάτων. Περίπου εκείνη την εποχή όμως διαδόθηκάν στη βιομηχανία μηχανές που μπορούσαν να κατασκευάσουν αντικείμενα σύνθετης μορφής, καθοδηγούμενες από ηλεκτρονικό υπολογιστή, και έτσι έγινε απαραίτητο να βρεθούν κατάλληλοι τρόποι μαθηματικής περιγραφής τέτοιων αντικειμένων. Η παραμετρική αναπαράσταση των καμπυλών και επιφανειών που φέρουν το όνομα του δευτέρου και οι οποίες αποτελούν βασικό εργαλείο σχεδίασης σχημάτων ελεύθερης μορφής (φαίνεται ότι ο de Casteljau είχε προηγηθεί κάπως, αλλά η εργασία του δημοσιοποιήθηκε αργότερα).

2.2.2 Παραμετρική παράσταση καμπυλών

Στη μορφή αυτή οι συντεταγμένες κάθε σημείου της καμπύλης δίνονται ξεχωριστά, με την βοήθεια μιας ανεξάρτητης παραμέτρου, έστω t:

$$\begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \end{cases}$$

Η παράμετρος t μπορεί να παίρνει όλες τις πραγματικές τιμές t \in (- ∞ , + ∞), στην περίπτωση άπειρων καμπυλών όπως οι ευθείες, ή να είναι ορισμένη μέσα σε ένα παραμετρικό διάστημα της μορφής t \in [a, b], οπότε η καμπύλη έχει αρχή και τέλος.

Για κάθε συγκεκριμένη τιμή του t μέσα στο πεδίο ορισμού της παραμέτρου η παραπάνω εξίσωση δίνει ένα σημείο της καμπύλης, το:

$$\mathbf{P}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}(t) \\ \mathbf{y}(t) \end{bmatrix}$$

2.2.3 Παραμετρική εξίσωση της ευθείας

Μια ευθεία που διέρχεται από δύο σημεία $P_1 = (x_1, y_1)$ και $P_2 = (x_2, y_2)$ έχει παραμετρική εξίσωση:

$$\begin{aligned} x(t) &= (1-t) x_1 + t x_2 \\ y(t) &= (1-t) y_1 + t y_2 \end{aligned} , \qquad \mu \varepsilon \ t \in (-\infty, +\infty)$$

ή σε συνοπτική μορφή:

$$P(t) = (1 - t) P_1 + t P_2 \qquad \mu \varepsilon t \in (-\infty, +\infty)$$

Παρατηρούμε ακόμα ότι για τα δύο σημεία που ορίζουν την ευθεία ισχύει $P(0) = P_1$ και $P(1) = P_2$. Επομένως, η εξίσωση

$$P(t) = (1 - t) P_1 + t P_2 \qquad \mu \varepsilon t \in [0, 1]$$

είναι η παραμετρική εξίσωση του προσανατολισμένου ευθυγράμμου τμήματος με άκρα τα σημεία P_1 και P_2 . Για t<0 κινούμαστε στην ευθεία πριν το P_1 , ενώ για t>1κινούμαστε πέρα από το P_2 (βλ. Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Παραμετρική αναπαράσταση της ευθείας

2.2.4 Γραμμική παρεμβολή

Η παραμετρική εξίσωση του ευθυγράμμου τμήματος μεταξύ δύο σημείων P_0 και P_1 είναι

$$P(t) = (1 - t) P_0 + t P_1 \qquad \mu \varepsilon t \in [0, 1]$$

Το ευθύγραμμο τμήμα αυτό παρεμβάλει γραμμικά τα δύο δοσμένα σημεία, ή με άλλα λόγια, η εξίσωση εκφράζει τη γραμμική παρεμβολή μεταξύ των σημείων αυτών.

2.2.5 Καμπύλες Bézier

2.2.5.1 Τετραγωνικές καμπύλες Bézier

Θεωρώντας τρία σημεία $P_0,\,P_1$ και $P_2,\,\mu\pi$ ορούμε να παρεμβάλουμε τα $P_0,\,P_1$ και τα $P_1,\,P_2$

$$\begin{split} P_0^1(t) &= (1-t) \ P_0 + t \ P_1 \\ &, \quad t \in [0, 1] \\ P_1^2(t) &= (1-t) \ P_1 + t \ P_2 \end{split}$$

Για κάθε τιμή του t μεταξύ 0 και 1, τα $P_0(t)$ και $P_1(t)$ είναι συγκεκριμένα σημεία των αντιστοίχων ευθυγράμμων τμημάτων. Μπορούμε λοιπόν, σαν δεύτερο βήμα, να παρεμβάλουμε τα σημεία αυτά

$$\begin{aligned} P_0^2(t) &= (1-t) P_0^1(t) + t P_1^2(t) \\ &= (1-t)^2 P_0 + 2t(1-t) P_1 + t^2 P_2 \\ &= \sum_{i=0}^2 \binom{2}{i} t^i (1-t)^{2-i} P_i \end{aligned}$$

(Σε όλα τα $P_i^r(t)$ παραπάνω, ο εκθέτης r αναφέρεται στο βήμα της παρεμβολής και ο δείκτης i στο πρώτο από τα δύο σημεία του προηγούμενου βήματος που παρεμβάλλονται)

Η δεύτερη από τις ισότητες μας δείχνει ότι το $P_0^2(t)$ διαγράφει μια τετραγωνική καμπύλη ως προς t καθώς το t μεταβάλλεται από 0 ως 1. Η καμπύλη αυτή είναι μια τετραγωνική καμπύλη Bézier (ή καμπύλη Bézier δευτέρου βαθμού) και συμβολίζεται $P^2(t)$. Τα αρχικά σημεία P_0 , P_1 και P_2 καλούνται σημεία ελέγχου (control points) αυτής της καμπύλης Bézier.

2.2.5.2 Καμπύλες Bézier βαθμού n

ή

$$\label{eq:stress} \begin{split} \Sigma \tau \eta & \text{general} \pi \epsilon \rho (n+1) & \text{shead} \epsilon \lambda \epsilon \gamma \chi \text{ou} & P_0, \ P_1, \dots, P_n & \mu \pi o \rho \epsilon i & \text{va} \\ \text{kataskeuastei} & \mu \text{ia kampúly Bézier βaθmoún, } P^n(t). H kampúly auth dívetai apó th scésh$$

$$P^{n}(t) = \sum_{i=0}^{n} {n \choose i} t^{i} (1-t)^{n-i} P_{i} , \quad \mu \varepsilon \ t \in [0, 1]$$
$$P^{n}(t) = \sum_{i=0}^{n} B_{i}^{n}(t) P_{i} , \quad \mu \varepsilon \ t \in [0, 1]$$

όπου $B_i^n(t)$ τα πολυώνυμα Bernstein βαθμού n

$$B_{i}^{n}(t) = {\binom{n}{i}} t^{i} (1-t)^{n-1}, {\binom{n}{i}} = \frac{n!}{i!(n-i)!}, i = 0, 1, 2, \dots, n$$

2.2.5.3 Παραδείγματα καμπυλών Bézier



Σχήμα 2α: Χαρακτηριστικά σχήματα καμπυλών Bézier για βαθμούς 1 και 2.



Σχήμα 2β: Χαρακτηριστικά σχήματα καμπυλών Bézier για βαθμούς 3 και 6.

2.2.5.4 Ομαλή ένωση δύο καμπυλών Bézier – Παραμετρική συνέχεια C^r

Ας υποθέσουμε, γενικά, ότι έχουμε δύο πολυωνυμικές καμπύλες στην παραμετρική τους μορφή, F(t) με $t \in [t_0, t_1]$ και G(t) με $t \in [t_1, t_2]$. Λέμε ότι οι δύο αυτές καμπύλες ενώνονται με παραμετρική συνέχεια C^r στο t_1 αν οι παράγωγοι τους r τάξης είναι ίσες στο t_1 :

 $\mathbf{F}^{\mathrm{r}}(\mathbf{t}_{1}) = \mathbf{G}^{\mathrm{r}}(\mathbf{t}_{1})$

Αποδεικνύεται ότι συνέχεια C^r σε ένα σημείο συνεπάγεται επίσης συνέχεια C^m στο σημείο αυτό για όλα τα $0 \le m < r$. Για παράδειγμα, αν η F(t) και η G(t) συνδέονται στο σημείο $t = t_1$ με συνέχεια C², τότε οι τιμές τους (C⁰), οι εφαπτόμενές τους (C¹), και οι δεύτερες παράγωγοί τους (C²) θα ταυτίζονται στο t_1 . Μία τέτοια ένωση των καμπυλών είναι «λεία», «ομαλή», καθώς στο σημείο συνένωσης δεν έχουμε απότομη μεταβολή της κλίσης της συνολικής καμπύλης.

2.2.6 Καμπύλες B-Spline

Παρόλη την απλότητα και την ευκολία τους, οι καμπύλες Bézier παρουσιάζουν σοβαρά μειονεκτήματα στην κατασκευή σύνθετης καμπύλης.

- Για την κατασκευή μιας σύνθετης καμπύλης Bézier απαιτείται η επίλυση ενός προβλήματος παρεμβολής και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα κάθε αλλαγή των σημείων ελέγχου της καμπύλης να συνεπάγεται (συνήθως) επαναληπτική εφαρμογή του σχήματος της παρεμβολής.
- Η παράσταση της σύνθετης καμπύλης αποτελείται από πολλές επιμέρους παραστάσεις και αυτό καθιστά δύσκολο τον χειρισμό της.

Τα σημαντικά μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι σύνθετες καμπύλες Bézier οδήγησαν στην δημιουργία των B-Spline.

Αντίστοιχα με τις καμπύλες Bézier, έτσι και οι B-Spline ορίζονται με βάση κάποια σημεία ελέγχου P_0 , P_1 ,..., P_n . Το πλήθος n+1 των σημείων ελέγχου είναι ανεξάρτητο από τον βαθμό d της καμπύλης, και εξαρτάται μόνο από τον πλήθος των πολυωνυμικών τμημάτων που την αποτελούν.

Τα πολύωνυμικά τμήματα που αποτελούν την καμπύλη ορίζονται σε παραμετρικά διαστήματα της μορφής $[t_i, t_{i+1}]$, και ένωση όλων αυτών είναι ένα παραμετρικό διάστημα της

μορφής [t_{min}, t_{max}], το οποίο είναι το διάστημα ορισμού της καμπύλης. Οι τιμές της παραμέτρου t_i στα όρια των υποδιαστημάτων ονομάζονται κόμβοι (knots) της καμπύλης. Το πλήθος των κόμβων εξαρτάται από τον βαθμό της καμπύλης και από το πλήθος των σημείων ελέγχου της και είναι m = n + d + 1.



Σχήμα 3: Μια χαρακτηριστική καμπύλη B-Spline

Έτσι μια καμπύλη B-Spline βαθμού d
 και πλήθους σημείων ελέγχου n+1 δίνεται από την σχέση

$$\mathbf{P}(t) = \sum_{i=0}^{n} \mathbf{N}_{i}^{d}(t) \mathbf{P}_{i}, \qquad t \in [a, b]$$

όπου $N_i^d(t)$ είναι οι συναρτήσεις βάσης (Basis Splines)

$$N_{i}^{k}(t) = \frac{t - t_{i}}{t_{i+k} - t_{i}} N_{i}^{k-i}(t) + \frac{t_{i+k+1} - t}{t_{i+k+1} - t_{i+1}} N_{i+1}^{k-1}(t),$$

όπου

2.2.7 Καμπύλες NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)

Είναι η εξέλιξη των καμπυλών B-Spline και είναι το βασικό εργαλείο σχεδίασης καμπυλών σε όλα σχεδόν τα σύγχρονα συστήματα σχεδίασης.

Βασικές ιδιότητες

- Μπορούν να αναπαραστήσουν επακριβώς οποιοδήποτε σχήμα, από σημεία, ευθείες και πολυγωνικές γραμμές έως κωνικές τομές (κύκλους, ελλείψεις, παραβολές και υπερβολές) και αυθαίρετες καμπύλες ελεύθερης μορφής.
- Δίνουν μεγάλο έλεγχο του σχήματος της καμπύλης.
- Μπορούν να αναπαραστήσουν πολύ περίπλοκα σχήματα με αξιοσημείωτα μικρή ποσότητα δεδομένων.
- Παραμένουν αναλλοίωτες σε συσχετισμένους μετασχηματισμούς περιστροφής, αλλαγής κλίμακας, μεταφοράς και προβολικούς μετασχηματισμούς

Μια καμπύλη NURBS βαθμού
d και πλήθους σημείων ελέγχου n+1 δίνεται από την σχέση

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^{n} w_i N_i^d(t) P_i}{\sum_{i=0}^{n} w_i N_i^d(t)}, \quad t \in [a, b]$$

ópou w_{i} to bároc pou antistoiceí se kábe shieío elégcou.

Όταν τα βάρη είναι όλα ίσα με την μονάδα η καμπύλη ταυτίζεται με μια B-Spline.

Η επίδραση των βαρών



Σχήμα 4: Το βάρος w_i του σημείου ελέγχου P_i επιδρά μόνο στο τμήμα που αντιστοιχεί στο παραμετρικό διάστημα $[t_i, t_{i+d+1}]$



Σχήμα 5: Όταν $w_i = 0$ το σημείο ελέγχου P_i δεν επιδρά στο σχηματισμό της καμπύλης



Schur 6: Otan to báros $\,w_{_i}\,$ auxánei η kampúly teínei pros to shmeío elégcou $\,P_{_i}\,$



Σχήμα 7: Όταν το βάρος w_i μειώνεται η καμπύλη απομακρύνεται από το σημείο ελέγχου P_i

Σημείωση: Όλα τα παραπάνω σχήματα είναι από τις διαφάνειες του κ. Γεροστάθη για το μάθημα «Εφαρμογές Η/Υ στην Ναυπηγική», ακαδημαϊκό έτος 2004-2005.

2.3 Αναπαράσταση επιφανειών

2.3.1 Παραμετρική Παράσταση Επιφανειών

Η παραμετρική εξίσωση μιας επιφάνειας έχει τη γενική μορφή

$$\begin{cases} x = x(t, u) \\ y = y(t, u) \\ z = z(t, u) \end{cases}$$

Για να εκφραστεί μια επιφάνεια σε παραμετρική μορφή απαιτούνται δύο παράμετροι, t και u, ενώ για τις καμπύλες (σε δύο ή τρεις διαστάσεις) χρειάζεται μόνο μία. Αυτό έχει μια απλή γεωμετρική εξήγηση: αν σταθεροποιήσουμε το u και αφήσουμε το t να μεταβάλλεται, τα σημεία (x(t,u),y(t,u),z(t,u)) θα διαγράψουν μια καμπύλη (ως προς t) στο χώρο. Αν στη συνέχεια αφήσουμε το u να μεταβάλλεται, κάθε σημείο αυτής της καμπύλης θα διαγράψει επίσης μια καμπύλη (ως προς u) στο χώρο και όλες μαζί αυτές οι καμπύλες σχηματίζουν την παραμετρική επιφάνεια που περιγράφει η παραπάνω εξίσωση.



Σχήμα 8: Παραμετρική επιφάνεια (Θεοχάρης 1999)

Η διαδικασία αυτή είναι συμμετρική, δηλαδή αν σταθεροποιήσουμε πρώτα t και μετά το u καταλήγουμε στην ίδια επιφάνεια. Οι καμπύλες που αντιστοιχούν στην σταθερά t ή u ονομάζονται ισοπαραμετρικές καμπύλες της επιφάνειας.

2.3.2 Επιφάνειες Bézier τανυστικό γινόμενο (Tensor product Bézier surfaces)

Στον παραπάνω ορισμό της παραμετρικής επιφάνειας, αν υποθέσουμε ότι η αρχική καμπύλη είναι μια καμπύλη Bézier βαθμού m ως προς t, τότε θα δίνεται από τη σχέση

$$P^{m}(t) = \sum_{i=0}^{m} B_{i}^{m}(t)P_{i}, \quad t \in [0,1]$$

για κάποια (m+1) σημεία ελέγχου P_i , i = 0, 1,...,m. Ας υποθέσουμε επίσης ότι κάθε σημείο ελέγχου P_i διαγράφει μία καμπύλη Bézier βαθμού n ως προς u, έστω

$$P_{i}^{n}(u) = \sum_{i=0}^{m} B_{j}^{n}(u) P_{ij}, \quad t \in [0,1]$$

για κάποια (η+1) σημεία ελέγχου P_{ij} , j = 0, 1, ..., n. Τότε και κάθε σημείο της αρχικής καμπύλης θα διαγράφει μία καμπύλη Bézier βαθμού n. Η παραμετρική επιφάνεια που

παράγεται με τη διαδικασία αυτή ονομάζεται επιφάνεια Bézier τανυστικό γινόμενο (tensor product Bézier surface).

Η εξίσωση της επιφάνειας αυτής προκύπτει αν αντικαταστήσουμε στην πρώτη από τις παραπάνω σχέσεις τα σημεία P, με τις αντίστοιχες καμπύλες $P_i^n(u)$ που αυτά διαγράφουν, από τη δεύτερη σχέση. Έτσι η εξίσωση της επιφάνειας Bézier τανυστικό γινόμενο, βαθμού m ως προς t και η ως προς u, είναι:

$$\begin{split} \mathbf{P}^{m,n}(\mathbf{t},\mathbf{u}) &= \sum_{i=0}^{m} \mathbf{B}_{i}^{m}(\mathbf{t}) \left(\sum_{j=0}^{n} \mathbf{B}_{j}^{n}(\mathbf{u}) \mathbf{P}_{ij} \right) \\ &= \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} \mathbf{B}_{i}^{m}(\mathbf{t}) \mathbf{B}_{j}^{n}(\mathbf{u}) \mathbf{P}_{ij}, \quad \mathbf{t} \in [0,1] \end{split}$$

Η αρχική καμπύλη Bézier είναι η ισοπαραμετρική καμπύλη που αντιστοιχεί στο u = 0, και τα σημεία ελέγχου της είναι τα $P_i = P_{i0}$, i = 0, 1,...,m.

Οι καμπύλες Bézier που χρησιμοποιήσαμε για τον ορισμό της επιφάνειας Bézier έχουν συνολικά (m+1) × (n+1) σημεία ελέγχου P_{ij} , i = 0, 1,...,n, j = 0,1,...,n. Τα σημεία αυτά είναι τα σημεία ελέγχου της επιφάνειας Bézier τανυστικό γινόμενο και μπορούν να αναγραφούν για καλύτερη εποπτεία σε μία τετραγωνική διάταξη:

	u→		
t ↓	P ₀₀	P ₀₁	 P_{0n}
	P ₁₀	P ₁₁	 P_{1n}
	P_{m0}	P_{m1}	 \mathbf{P}_{mn}

Οι ισοπαραμετρικές καμπύλες που αντιστοιχούν στα u = 0, u = l, r = 0, r = i είναι τα όρια της επιφάνειας Bézier και ονομάζονται συνοριακές (boundary) καμπύλες της επιφάνειας.



Σχήμα 9: Επιφάνεια Bézier τανυστικό γινόμενο βαθμών m=2 και n=3 (Θεοχάρης 1999)

Από την τελευταία ισότητα φαίνεται καθαρά και η συμμετρία της διαδικασίας κατασκευής της επιφάνειας Bézier: η εξίσωση παραμένει η ίδια αν αλλάξουμε τη σειρά των αθροίσεων και των συντελεστών (πολυωνύμων Bernstein) αντίστοιχα, ή με άλλα λόγια, αν σχηματίσουμε πρώτα μία καμπύλη για t = 0 και κατόπιν τις καμπύλες για τα u. Γενικότερα, μπορεί να επαληθευτεί ότι στην ίδια μορφή της καμπύλης θα καταλήγαμε αν

ξεκινούσαμε από οποιαδήποτε άλλη από τις συνοριακές καμπύλες της εκτός της u = 0 που χρησιμοποιήσαμε παραπάνω.

Ψευδο-τοπικός έλεγχος

Οι επιφάνειες Bézier τανυστικό γινόμενο δεν διαθέτουν τοπικό έλεγχο, δηλαδή μία αλλαγή σε ένα σημείο ελέγχου τους έχει επίδραση στο σχήμα ολόκληρης της επιφάνειας. Παρόλα αυτά, η αλλαγή σε ένα σημείο ελέγχου P_{ij} , της επιφάνειας έχει επίδραση κυρίως στην περιοχή της επιφάνειας γύρω από το σημείο της που αντιστοιχεί στο ζεύγος των παραμέτρων (i/m, j/n), δηλαδή η επιφάνεια εμφανίζει ψευδο-τοπικό έλεγχο.

2.3.3 Επιφάνειες Β -Spline τανυστικό γινόμενο

Οι επιφάνειες Bézier τανυστικό γινόμενο που αναλύσαμε στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάζουν, όπως είδαμε, κοινές ιδιότητες με τις καμπύλες Bézier αναπόφευκτα έχουν και ανάλογα μειονεκτήματα, με κυριότερο την ανάγκη χρησιμοποίησης επιφανειών υψηλού βαθμού για την προσέγγιση πολλών σημείων και για την περιγραφή πολύπλοκων σχημάτων.

Οι επιφάνειες B-Spline τανυστικό γινόμενο βαθμού k ως προς t και ℓ ως προς u αποτελούνται από επιμέρους παραμετρικές επιφάνειες βαθμού k ως προς t και ℓ ως προς u που συνενώνονται μεταξύ τους με συνέχεια C^{k-1} ως προς t και C^{\ell-1} ως προς u. Παράγονται με τη βοήθεια καμπυλών B-Spline, με τρόπο αντίστοιχο αυτού που κατασκευάσαμε επιφάνειες Bézier τανυστικό γινόμενο με τη βοήθεια καμπυλών Bézier: ξεκινούμε από μία καμπύλη B-Spline βαθμού k ως προς t, της οποίας τα σημεία θεωρούμε ότι διαγράφουν καμπύλες B-Spline βαθμού ℓ ως προς υ· η επιφάνεια που ορίζουν αυτές οι καμπύλες είναι η ζητούμενη επιφάνεια B-Spline τανυστικό γινόμενο.

Μία επιφάνεια B-Spline τανυστικό γινόμενο ορίζεται, σε αναλογία με τις επιφάνειες Bézier τανυστικό γινόμενο, από ένα τετραγωνικό πίνακα σημείων ελέγχου P_{ij} , i = 0, 1,...,m, j = 0, 1,...,n διαστάσεων (m+1) × (n+1). Όπως και στις καμπύλες B-Spline, τα m και n είναι ανεξάρτητα από τους βαθμούς k (ως προς t) και ℓ (ως προς u) της επιφάνειας.

Η εξίσωση της επιφάνειας είναι

$$Q^{m,n}(t,u) = \sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} N_{i}^{k}(t) N_{j}^{\ell}(u) P_{ij}$$

Στον ορισμό της επιφάνειας υπεισέρχονται, εκτός από τα σημεία ελέγχου, δύο ακολουθίες κόμβων που απαιτούνται για τον ορισμό των αντίστοιχων συναρτήσεων B-Spline: η ακολουθία κόμβων ως προς t περιέχει (m+k) κόμβους t₁, t₂,...,t_{m+k} και η ακολουθία κόμβων ως προς u περιέχει (n+ ℓ) κόμβους u₁, u₂,...,u_{n+ ℓ} (Για τον ορισμό των N^k_i(t) και N^k_i(t) απαιτούνται βεβαία και οι «πλασματικοί» κόμβοι t₀, t_{m+k+1}, u₀, u_{n+ $\ell+1}$, που δεν επηρεάζουν σχήμα της επιφάνειας). Οι δύο αυτές ακολουθίες κόμβων είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους. Τα στοιχεία ελέγχου (κόμβοι και σημεία ελέγχου) της επιφάνειας B-Spline τανυστικό γινόμενο φαίνονται στην επόμενη διάταξη:</sub>

		u_1	 u_n	 $u_{n+\ell}$
	P ₀₀	P ₀₁	 \mathbf{P}_{0n}	
t_1	P_{10}	P ₁₁	 P_{1n}	
t_m	P _{m0}	P _{m1}	 P _{mn}	
t_{m+k}				

Η επιφάνεια είναι ορισμένη στο παραμετρικό διάστημα $[t_k, t_{m+1}] \times [u_\ell, u_{n+1}]$.

2.3.4 Επιφάνειες NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines)

ı.

Μια επιφάνεια NURBS ορίζει, με μοναδικό τρόπο, κάθε τετραγωνικό εκατοστό μιας ορθογωνικά τμηματοποιημένης μεμβράνης. Συνήθως, για να μπορεί να υποστεί επέμβαση, αναπαριστάται στην οθόνη από ένα πλέγμα γραμμών πάνω στην επιφάνεια, οι οποίες ονομάζονται γραμμές και στήλες. Η επιφάνεια ορίζεται από τα σημεία τομής των γραμμών και των στηλών (σημεία ελέγχου), τα οποία δεν βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια, αλλά είναι οργανωμένα σε ένα καλούπι ή πλέγμα.

Έτσι, μια επιφάνεια NURBS δίνεται από τη σχέση

$$Q^{m,n}(t,u) = \frac{\sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} w_{ij} N_{i}^{k}(t) N_{j}^{\ell}(u) P_{ij}}{\sum_{i=0}^{m} \sum_{j=0}^{n} w_{ij} N_{i}^{k}(t) N_{j}^{\ell}(u)}$$

Για να καταλάβει και να χρησιμοποιήσει κανείς τις επιφάνειες NURBS αποτελεσματικά, πρέπει να ξέρει με ποιους τρόπους μπορεί να ελέγξει την μορφή τους : σημεία ελέγχου, βαθμός, κόμβοι και βάρη.

Σημεία ελέγχου

Η βασική μορφή μιας επιφάνειας NURBS ορίζεται από το πλέγμα των σημείων ελέγχου, τα οποία δεν βρίσκονται απαραιτήτως πάνω στην επιφάνεια. Όταν μετακινούμε ένα από τα σημεία ελέγχου, η επιφάνεια ελκύεται προς την κατεύθυνση της κίνησης του σημείου, σαν να είναι αναρτημένη στο σημείο με ένα ελατήριο.



Σχήμα 10: Παράδειγμα μετακίνησης ενός σημείου ελέγχου καμπύλης NURBS

Η επιφάνεια δεν μετακινείται όσο το σημείο ελέγχου και η αλλαγή επηρεάζει μόνο μια μικρή περιοχή κοντά στο σημείο αυτό. Το μέγεθος της επιρροής εξαρτάται από τον βαθμό της επιφάνειας : μικρότερος βαθμός συνεπάγεται μικρότερη περιοχή επιρροής και μεγαλύτερος βαθμός, μεγαλύτερη περιοχή επιρροής. Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι:

- 1. Είναι πιο δύσκολο να φέρουμε την επιφάνεια ακριβώς εκεί που την θέλουμε.
- 2. Το πλέγμα των σημείων ελέγχου κρύβει το σχήμα της επιφάνειας.

Μια άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε τα σημεία παρεμβολής, τα οποία βρίσκονται πάνω στην επιφάνεια. Για κάθε οριζόμενο σημείο ελέγχου υπάρχει και ένα αντίστοιχο σημείο πάνω στην επιφάνεια. Οι δύο κοινοί τρόποι να εφαρμόσουμε αυτήν την μέθοδο είναι ο τοπικός και ο ψευδο-τοπικός έλεγχος.

Στον τοπικό έλεγχο όταν μετακινούμε ένα σημείο (ελέγχου ή παρεμβολής) πάνω στην επιφάνεια, είναι εγγυημένο ότι η αλλαγή θα επηρεάσει την επιφάνεια μόνο σε μια μικρή περιοχή γύρω από το σημείο αυτό.



Σχήμα 11: Παράδειγμα τοπικού ελέγχου

Το πρόβλημα είναι ότι όταν μετακινούμε ένα από τα σημεία πάνω στη επιφάνεια με αυτήν την μέθοδο, παρασύρονται και μερικά από τα γειτονικά σημεία παρεμβολής, τα οποία ορίζουν την καμπύλη! Αυτή η μέθοδος έχει το ίδιο αποτέλεσμα αν μετακινήσουμε τα σημεία ελέγχου. Η μόνη διαφορά είναι ότι μετακινούμε τα αντίστοιχα σημεία πάνω στην επιφάνεια.

Στον ψευδο-τοπικό έλεγχο όταν μετακινούμε ένα από τα σημεία ορισμού της καμπύλης, δεν επηρεάζεται κανένα άλλο. Αυτή ονομάζεται η τεχνική της πλήρους παρεμβολής επιφάνειας NURBS.



Σχήμα 12: Παράδειγμα ψευδο-τοπικού ελέγχου

Όσο το επιλεγμένο σημείο ορισμού κινείται, επηρεάζεται το σχήμα ολόκληρης της καμπύλης, αλλά η επιρροή ελαττώνεται δραματικά όσο το σημείο απομακρύνεται από την αρχική του θέση.

Παρόλο που η προσέγγιση της παρεμβολής της επιφάνειας είναι ολική, δίνει τον πιο ακριβή και άμεσο έλεγχο πάνω στην επιφάνεια., διότι έχουμε άμεσο έλεγχο του σχήματος και μόνο το επιλεγμένο σημείο ορισμού κινείται.

Τα σημεία της επιφάνειας μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στον χώρο και είναι ο σημαντικότερος παράγοντας ελέγχου του σχήματος.

> Βαθμός

Μια επιφάνεια NURBS αναπαριστάται μαθηματικά από μια πολυωνυμική συνάρτηση της μορφής

 $a + bx + cx^2 + dx^3 + \dots$

Ο μεγαλύτερος εκθέτης του πολυωνύμου (3 στην περίπτωση αυτή) είναι ο βαθμός του πολυωνύμου. Οι καμπύλες NURBS ορίζονται με μια πολυωνυμική συνάρτηση ενώ οι επιφάνειες με δύο (μία για κάθε διεύθυνση του πλέγματος – γραμμή / στήλη). Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός του πολυωνύμου, τόσο μεγαλύτερη ευκαμψία έχει η επιφάνεια (ή καμπύλη) αλλά και τόσο πιο δύσκολο έλεγχο. Τα κυβικά ή 3^{ου} βαθμού πολυώνυμα θεωρείται ότι έχουν την ιδανικότερη ισορροπία μεταξύ ευκαμψίας και δυσκαμψίας. Είναι ο βαθμός που χρησιμοποιείται συνήθως στα προγράμματα CAD. Οι τετραγωνικές ή 2^{ου} βαθμού καμπύλες και επιφάνειες είναι πιο δύσκαμπτες και πιο ομαλές από τις κυβικές, αλλά η έκταση των σχημάτων που μπορούν να αναπαραστήσουν είναι πολύ πιο περιορισμένη. Πολλά προγράμματα CAD προκαθορίζουν τον βαθμό να είναι πάντα 3.

Κόμβοι (Non-Uniform = Ανομοιομερείς)

Οι καμπύλες και οι επιφάνειες NURBS είναι πολυώνυμα, τα οποία συνενώνονται με κόμβους ή ένα κομβοδιάνυσμα. Οι καμπύλες χρησιμοποιούν ένα κομβοδιάνυσμα και οι επιφάνειες δύο (ένα για κάθε διεύθυνση του πλέγματος). Οι κόμβοι ορίζουν το πώς ενώνονται τα πολυωνυμικά τμήματα με την κατάλληλη ομαλότητα. Τα περισσότερα προγράμματα δίνουν στον χρήστη μόνο έμμεσο έλεγχο αυτού του σχηματικού παράγοντα. Είναι επίσης η αιτία πολλών προβλημάτων μορφοποίησης και εξομάλυνσης καμπυλών και επιφανειών.

Ένα ομοιομερές (uniform) κομβοδιάνυσμα (με σταθερή ισαπόσταση κόμβων) είναι η πιο κοινή τεχνική και στις περισσότερες περιπτώσεις η πιο αποτελεσματική. Ένα πρόγραμμα μπορεί να προσαρμόζει αυτόματα την ισαπόσταση των κόμβων στο κομβοδιάνυσμα (non-uniform spacing = ανομοιομερής ισαπόσταση) για να εξισορροπήσει την ανομοιόμορφη ισαπόσταση των γραμμών και των στηλών της επιφάνειας, αλλά αυτό μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στην συνένωση επιφανειών. Επίσης, μερικά προγράμματα χρησιμοποιούν τους κόμβους για τον ορισμό «σπασίματος» ή άρθρωσης της επιφάνειας.

Το πρόβλημα με τους κόμβους είναι ότι έχουν μερική επίδραση στο σχήμα της επιφάνειας. Αν προσαρμόσουμε την ισαπόσταση των κόμβων στην διεύθυνση των γραμμών, τότε το σχήμα της επιφάνειας αλλάζει καθ΄ όλο το μήκος της, επηρεάζοντας μερικές στήλες. Επιπροσθέτως, αν υπάρχει μια επιφάνεια προσαρτημένη στο τέλος των γραμμών, τότε θα πρέπει να χρησιμοποιεί την ίδια ισαπόσταση κόμβων ώστε να διατηρήσει το ίδιο σχήμα στην άκρη. Αυτό είναι το σημαντικότερο πρόβλημα των κόμβων. Όχι μόνο έχουν ολική επίδραση στην επιφάνεια, αλλά μπορούν και να απαιτήσουν αλλαγές στις προσαρτημένες επιφάνειες!

Πολλά προγράμματα αποφεύγουν αυτά τα προβλήματα προκαθορίζοντας η ισαπόσταση των κόμβων να είναι ομοιομερής για όλες τις επιφάνειες. Αυτή είναι μια εύλογη

λύση, αλλά συνεπάγεται ότι ο χρήστης θα πρέπει να δημιουργεί επιφάνειες με ίδια ισαπόσταση γραμμών και στηλών.

> Βάρη

Σε κάθε σημείο ελέχου της καμπύλης και επιφάνειας NURBS αντιστοιχεί μια τιμή βάρους, η οποία επηρεάζει το σχήμα τοπικά κοντά στο σημείο. Αυτή η τιμή βάρους είναι το αποτέλεσμα της ρητής (rational) φύσης των NURBS, που σημαίνει ότι η εξίσωση ορίζεται σαν πηλίκο ή λόγος (ratio) πολυωνύμων. Ο σκοπός των βαρών είναι να επιτρέψουν ακριβείς περιγραφές κωνικών τομών και να δώσουν στον χρήστη μεγαλύτερο έλεγχο πάνω στο σχήμα της επιφάνειας.

Παρόλο που κάθε σημείο ελέγχου έχει το δικό του βάρος και παρόλο που κάθε βάρος έχει τοπική επίδραση στην επιφάνεια, μια αλλαγή στο βάρος ενός σημείου (η προεπιλογή είναι 1.0) δεν αλλάζει απαραίτητα την επιφάνεια με τον τρόπο που θέλουμε. Στην πράξη, η αλλαγή της τιμής βάρους μπορεί να προκαλέσει περισσότερα προβλήματα στην εξομάλυνση. Η καλύτερη εφαρμογή των βαρών είναι να γίνουν αλλαγές μόνο προς το τέλος της διαδικασίας της σχεδίασης για την επίτευξη πολύ συγκεκριμένων τοπικών αποτελεσμάτων.

Είναι προτιμότερο να αποφεύγουμε να χρησιμοποιούμε τα βάρη για την δημιουργία σχημάτων που μπορούν να επιτευχθούν με μετακίνηση των σημείων ελέγχου ή παρεμβολής. Μερικά προγράμματα CAD περιορίζουν αυστηρά τον έλεγχο του χρήστη πάνω στις τιμές των βαρών λόγω αυτών των προβλημάτων. Οι περισσότερες μορφές γάστρας μπορούν να οριστούν και να εξομαλυνθούν χωρίς την αλλαγή των τιμών των βαρών.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι αν ένα πρόγραμμα χρησιμοποιεί ομοιομερή ισαπόσταση κόμβων και προκαθορίζει τα βάρη στο 1.0, τότε αυτό θα ήταν μια απλή ομοιομερής B-Spline (καμπύλη ή επιφάνεια). Τότε γιατί τα προγράμματα CAD χρησιμοποιούν NURBS; Επιπλέον, μπορεί να υποστηριχθεί με καλά επιχειρήματα ότι οι NURBS δεν είναι απαραίτητες ούτε καν για τις κωνικές τομές. Ο πιο πιθανός λόγος είναι ότι οι NURBS μορφοποιούν ένα υπερσύνολο πολλών διαφορετικών τεχνικών τμηματικών καμπυλών ή επιφανειών και είναι μια καλή λύση για την μεταβίβαση της γεωμετρίας επιφανειών μεταξύ προγραμμάτων.

2.4 Παρεμβολή επιφάνειας σε σύνολο καμπυλών

Η εξαγωγή μιας τρισδιάστατης μορφής από τα δισδιάστατα σχέδια γραμμών ονομάζεται αντίστροφη σχεδίαση. Δεν υπάρχει μια μοναδική λύση για το ακριβές ταίριασμα τρισδιάστατων μαθηματικών επιφανειών σε ένα σύνολο καμπυλών και συντεταγμένων σημείων (offsets). Στην πραγματικότητα, το σχέδιο γραμμών και τα δεδομένα των offset μπορεί να μην συμφωνούν. Η παραδοσιακή προσέγγιση του σχεδίου γραμμών με το χέρι απαιτεί από τον σχεδιαστή να σχεδιάσει ομαλές καμπύλες και να σιγουρέψει ότι οι καμπύλες συμπίπτουν στις τρεις κύριες όψεις σχεδίασης. Γενικά, μπορεί να διαπιστώσει κανείς μελετώντας σχέδια γραμμών στα βιβλία ότι μπορεί οι καμπύλες να φαίνονται ομαλές, αλλά οι γραμμές δεν συμφωνούν ακριβώς στις τρεις όψεις. Και επιπλέον, ο σχεδιαστής δημιουργεί τους παραδοσιακούς πίνακες των offset μετρώντας υπό κλίμακα τα ημιπλάτη και τα ύψη από το σχέδιο γραμμών.

Με λίγη τύχη, τα σφάλματα θα είναι μέσα στα πλαίσια των κατασκευαστικών ανοχών. Αλλά αν μιλήσει κανείς με σαλαδόρους, οι οποίοι έχουν δουλέψει με αυτούς τους πίνακες των offset θα ακούσει σπουδαίες ιστορίες. Αφού αντιμετωπιστούν τα πιθανά σφάλματα στους πίνακες των offset, υπάρχει η διαφοροποίηση μεταξύ των σαλαδόρων όσον αφορά τον τρόπο παρεμβολής της επιφάνειας της γάστρας μεταξύ των ορισμένων σημείων και καμπυλών. Αν δώσεις ένα πίνακα offset και ένα σχέδιο γραμμών σε πέντε διαφορετικούς σαλαδόρους, θα καταλήξεις με πέντε διαφορετικά πλοία. Ένα άλλο πρόβλημα παρουσιάζεται κατά την διάρκεια της παρεμβολής, όταν ξεκινά η ανάπλαση και η εξομάλυνση των καμπυλών σε πλήρες μέγεθος. Τσιμπάς λίγο από δω και εξομαλύνεις λίγο από κει και πριν το καταλάβεις, το πλοίο αλλάζει μορφή! Μια φορά, όταν ένας σχεδιαστής γύρισε πίσω να ελέγξει τα τελικά σχέδια της εξομάλυνσης σε πλήρες μέγεθος, είπε στον σαλαδόρο: «Είναι μια ωραία, ομαλή γάστρα, αλλά αυτό δεν είναι το πλοίο μου!»

Αυτά τα παραδοσιακά προβλήματα της σχεδίασης με το χέρι και της παρεμβολής είναι σημαντικά διότι είναι ακριβώς τα ίδια προβλήματα που παρουσιάζονται όταν προσπαθούμε να αναπλάσουμε την τρισδιάστατη μορφή της επιφάνειας της γάστρας στον υπολογιστή. Ονομαστικά, με δεδομένο ένα περιορισμένο σύνολο δισδιάστατων καμπυλών και offset μιας γάστρας, δεν υπάρχει μοναδικός τρόπος να ταιριάζουμε μια τρισδιάστατη επιφάνεια με αυτή τη συλλογή καμπυλών και σημείων. Δεύτερον, αφού ταιριάζουμε μια επιφάνεια με τα αρχικά δεδομένα καμπυλών και offset, υπάρχει μεγάλη τάση να αλλάξουμε το σχήμα της γάστρας κατά την διάρκεια της τελικής μορφοποίησης και εξομάλυνσης. Το λογισμικό πρόγραμμα δεν είναι αρκετά έξυπνο να κάνει αυτήν την τελική μορφοποίηση μόνο του. Χρειάζεται την κρίση ενός έμπειρου σχεδιαστή ή ναυπηγού.

Παρακάτω αναφέρονται μερικές τεχνικές με τις εφαρμογές τους στην αντίστροφη σχεδίαση μιας επιφάνειας γάστρας.

Πριν ξεκινήσει κανείς ξεκαθαρίζοντας τι θέλει να κάνει με την γάστρα αφού την περάσει στον υπολογιστή. Αυτό επηρεάζει, πραγματικά, την προσπάθεια που πρέπει να καταβάλει για το έργο του. Η δουλειά μπορεί να χωριστεί στα εξής επίπεδα δυσκολίας:

Μόνο υπολογισμοί

Αν θέλουμε να περάσουμε την μορφή του σκάφους στον υπολογιστή για να κάνουμε μερικούς υπολογισμούς, το μόνο που χρειάζεται είναι να ορίσουμε την μορφή μιας σειράς νομέων κατά μήκος του πλοίου. Αυτοί οι νομείς δεν χρειάζεται να είναι τέλεια εξομαλυσμένοι διότι όλα τα προγράμματα υπολογισμών για υδροστατικά, ευστάθεια και αντίσταση δεν είναι ευαίσθητα στην ομαλότητα της γάστρας. Ένα σφάλμα της τάξεως του 1–3% είναι απολύτως αποδεκτό. Όλα τα υπολογιστικά προγράμματα είναι βασισμένα στην μορφή των νομέων συνεπώς δεν χρειάζεται να μετατρέψουμε τους νομείς σε ένα πλήρες μοντέλο επιφάνειας για να εκτελέσουμε τους υπολογισμούς τους. Η μετατροπή από τους νομείς (ή άλλες καμπύλες) σε ένα πλήρες μοντέλο επιφάνειας είναι το σημείο που ξεκινούν τα προβλήματα. Δεν χρειάζεται ένα πρόγραμμα εξομάλυσης γάστρας αν θέλουμε να κάνουμε μόνο υπολογισμούς!

Παρεμβολή επιφάνειας

Χρειάζεται να μετατρέψουμε τους νομείς σε ένα πλήρες μοντέλο επιφάνειας για να εκμεταλλευτούμε τις δυνατότητες ενός προγράμματος μοντελοποίησης και εξομάλυνσης της επιφάνειας της γάστρας. Αυτό σημαίνει ότι χρειαζόμαστε κάποιο πρόγραμμα CAD, το οποίο θα μας επιτρέπει να «πετσώσουμε», να παρεμβάλουμε ή να ταιριάξουμε επιφάνειες στους δεδομένους νομείς ή καμπύλες που χαρακτηρίζουν την γάστρα. Όπως προαναφέραμε, εδώ ξεκινούν τα προβλήματα. Τα περισσότερα προγράμματα επιφανειών χρησιμοποιούν επιφάνειες NURBS για να αναπαραστήσουν την μορφή της γάστρας. Χρειάζεται κάποια εμπειρία για να ανακαλύψει κανείς τον καλύτερο τρόπο να περάσει την επιφάνεια από τις καμπύλες. Παρατηρείται ότι η ποιότητα της εφαρμογής της επιφανειών και την ποιότητα και ποσότητα των καμπυλών που εισάγουμε.

Καθάρισμα επιφάνειας

Εφόσον έχουμε περάσει από τις καμπύλες μία ή περισσότερες επιφάνειες NURBS, θα πρέπει να καθαρίσουμε ή να εξομαλύνουμε την μορφή, ακριβώς όπως κάνει ο σαλαδόρος. Το πόσο καθάρισμα πρέπει να κάνουμε εξαρτάται από το τι θέλουμε να κάνουμε με την γάστρα. Αν θέλουμε να την τεντώσουμε ή να την τροποποιήσουμε σημαντικά, τότε μάλλον δεν θέλουμε να σπαταλήσουμε τον χρόνο καθαρίζοντας την αρχική μορφή της. Θα πρέπει να

περιμένουμε μέχρι να κάνουμε όλες τις τροποποιήσεις και καταλήξουμε στην τελική μορφή.

Εξομάλυνση επιφάνειας

Αν θέλουμε να αναπλάσουμε την αρχική γάστρα, αλλά δεν μας ενδιαφέρει να είναι τέλεια, τότε μπορούμε να προχωρήσουμε χρησιμοποιώντας τα εργαλεία μορφοποίησης και εξομάλυνσης του προγράμματος και να εξομαλύνουμε την γάστρα.

Ακρίβεια επιφάνειας

Αν, όμως, θέλουμε να αναπαράγουμε τις αρχικές γραμμές και τα offset με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια, τότε θα πρέπει να κάνουμε την τελική μορφοποίηση και εξομάλυνση αλλάζοντας την γάστρα όσο το δυνατόν λιγότερο. Αυτό απαιτεί ακριβώς την ίδια κρίση με αυτήν του σαλαδόρου στο δάπεδο της σάλας. Χρησιμοποιώντας ένα λογισμικό πρόγραμμα, υπάρχει μεγάλη τάση αλλαγής του σχήματος κατά την διάρκεια της διαδικασία της τελικής εξομάλυνσης. Ένας τρόπος να ελέγξουμε αυτήν την διαδικασία είναι να κρατάμε τις αρχικές καμπύλες γραμμές μέσα στο πρόγραμμα για να βλέπουμε πόσο αλλάζουμε το σχήμα της γάστρας. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ κρίσιμη. Κανένα λογισμικό πρόγραμμα δεν μπορεί να κρατήσει την ισορροπία μεταξύ ακρίβειας και σχήματος.

3. Βασικά στοιχεία της επιφάνειας εργασίας του Autoship

Παρακάτω, γίνεται μια αναλυτική περιγραφή των βασικών στοιχείων της επιφάνειας εργασίας του Autoship, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



Επιφάνεια εργασίας

🔍 🔍 Εργαλεία ζουμ
🔸 📜 🖼 🗊 🏷 Εργαλεία απόκρυψης / εμφάνισης γεωμετρικών αντικειμένων
Eναλλαγή κομβικών σημείων (edit points) και σημείων ελέγχου (control points)
Εναλλαγή γραμμών και στηλών σημείων ελέγχου επιφάνειας
Η Απομόνωση γραμμής ή στήλης σημείων ελέγχου
া Προβολή του πλέγματος παραμετρικών καμπυλών επιφάνειας (mesh)
Προβολή ισοσταθμικών καμπυλών επιφάνειας (contours)

Μροβολή καμπυλότητας (curvature) και αυξομείωσή της

Surf: BOW Γραμμή αναφοράς επιλεγμένου αντικειμένου και πρόσβαση στις ιδιότητες του
Snap ^{0.1000} ▲ Ρύθμιση του βήματος του κέρσορα
 F110.8055 F1.9411 F1.9411 U0.0002 Συντεταγμένες επιλεγμένου σημείου, με δυνατότητα διόρθωσης
WL 1.000 Βάρος επιλεγμένου σημείου
L Τ S12.0589 V U9.7002 Συντεταγμένες κέρσορα
✓ Vert 0 Επιλογή σημείου καμπύλης
Επ ιλογή γραμμής και στήλης επιφάνειας
Πληροφορίες αντικειμένου
🖿 Εμφάνιση των χαρακτηριστικών διαστάσεων επιφάνειας
Στιγμιαία υδροστατικά
SSide Πλάγια όψη
Κάτοψη
Front Πρόσοψη
Ρara. Τρισδιάστατη όψη

4 View Ταυτόχρονη προβολή και των τεσσάρων όψεων
Το πρόγραμμα αυτό έχει τρεις βασικές λειτουργίες, οι οποίες αντιστοιχούν και στα τρία σύνολα εργαλείων της εργαλειοθήκης:

> Δημιουργία γεωμετρικών αντικειμένων (Create Mode)



σημείο, καμπύλη, επιφάνεια σημείο, καμπύλη οριζόμενα με κλικ, φωτισμός τρίγωνο, τετράγωνο, κύκλος τετράεδρο, κύβος, σφαίρα πολύεδρο, κύλινδρος, κείμενο

Διόρθωση των αντικειμένων (Edit Mode)

Διόρθωση καμπυλών



προσθήκη, αφαίρεση σημείου ελέγχου, άρθρωση (συνέχεια C⁰) ευθυγράμμιση σημείων ελέγχου, υποδιαίρεση καμπύλης σύνδεση, αποσύνδεση σημείου-καμπύλης, αντιστροφή των άκρων γωνία με ακτίνα, κλείσιμο καμπύλης, ένωση καμπυλών

• Διόρθωση επιφανειών

k	Ť	ъ
14	×	X
V	€	≽
X	X	t
₿	Ъ	₽

προσθήκη, αφαίρεση γραμμής ή στήλης, ακμή (συνέχεια C⁰) ευθυγράμμιση σημείων ελέγχου, υποδιαίρεση επιφάνειας σύνδεση, αποσύνδεση επιφάνειας-καμπύλης, αντιστροφή των στηλών κλείδωμα, ξεκλείδωμα επιφάνειας, αντιστροφή γραμμών

> Μετασχηματισμός των αντικειμένων (Select Mode)



μετατόπιση, αντιγραφή, αλλαγή κλίμακας περιστροφή, οριζόντια, κάθετη αναστροφή παράταξη (array), οριζόντια, κάθετη στρέβλωση σημείο βάσης, σβήσιμο, ιδιότητες τομή επιφανειών, μετατροπή σε πολυαντικείμενο, ψαλίδισμα

4. Σχεδίαση γάστρας βάσει νομέων

4.1 Αποτύπωση των νομέων

Για την αποτύπωση των νομέων χρησιμοποιούμε (Create Mode) την καμπύλη Lofted (Παρεμβολής) δίνοντας τις συντεταγμένες (offset) της, τον βαθμό και το όνομά της. Για να είναι ομαλή (λεία) δίνουμε βαθμό τουλάχιστον 3, έτσι ώστε η συνέχεια να έχει συνέχεια τουλάχιστον C^2 . Επίσης, αν υπάρχουν σημεία-αρθρώσεις (συνέχεια C^0), μπορούμε να τα προκαθορίσουμε.

Συνήθης πρακτική είναι να εισάγει κανείς τις συντεταγμένες των νομέων, πρώτα, σε ένα ξεχωριστό αρχείο (π.χ. λογιστικό φύλλο Excel) έτσι ώστε στην συνέχεια να μπορεί να τις εισάγει με αντιγραφή (Copy-Paste) στο Autoship και να τις έχει αποθηκευμένες σε ηλεκτρονική μορφή για κάθε περίπτωση. Οι συντεταγμένες δίνονται σε τριάδες όπου η πρώτη είναι η διαμήκης (Longitudinal), η δεύτερη η εγκάρσια (Transversal) και η τρίτη η κατακόρυφη (Vertical).



4.2 Εξομάλυνση των καμπυλών

Για να εξομαλύνουμε μια καμπύλη (π.χ. την καμπύλη του νομέα FP που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα), αφού την επιλέξουμε και ενεργοποιήσουμε την διόρθωση αντικειμένων (Edit Mode) (ή κατευθείαν με διπλό κλικ πάνω στην καμπύλη), χρησιμοποιούμε το εργαλείο της προβολής της καμπυλότητας (Curvature) και το διάγραμμα καμπυλότητας (Curvature Window από το μενού View).



Επιλέγοντας ένα βήμα κέρσορα (Snap) (π.χ. 0.01), μπορούμε να διορθώσουμε κάποια σημεία που έχουμε απότομη αλλαγή καμπυλότητας. Επιλέγοντας το σημείο (με F3, F4) μπορούμε να το μετακινήσουμε χρησιμοποιώντας τα βελάκια και για OK το Enter.

Είναι καλό να δημιουργήσει κανείς ένα αντίγραφο της καμπύλης (από την εργαλειοθήκη μετασχηματισμού – Edit Mode), πριν την εξομαλύνει, και να το χρησιμοποιήσει ως μέτρο σύγκρισης, έτσι ώστε να επιτευχθεί η ελάχιστη δυνατή αλλοίωση.



Μετά την μετακίνηση του σημείου 4 δύο βήματα αριστερά, βλέπουμε την διόρθωση της καμπυλότητας στην περιοχή του σημείου.



Η καμπύλη μετά την εξομάλυνση

Με τον ίδιο τρόπο εξομαλύνουμε και τις καμπύλες των υπολοίπων νομέων. Παρακάτω φαίνονται οι καμπυλότητές τους πριν και μετά την εξομάλυνση.



Νομέας Α



Νομέας ¼



Νομέας 1/2



Νομέας 3/4



Νομέας 1



Νομέας 1½



Νομέας 2



Νομέας $2\frac{1}{2}$



Νομέας 3



Nομείς $3^{1/2} - 6^{1/2}$



Νομέας 7



Νομέας 7½



Νομέας 8



Νομέας 8½



Νομέας 9



Νομέας 9¼



Νομέας 9½



Νομέας 9¾





4.3 Δημιουργία των Embedded

Ο μόνος τρόπος, με το παρόν λογισμικό, να γίνει η εξομάλυνση μιας επιφάνειας παρεμβολής, χωρίς να αλλοιωθούν οι καμπύλες που αυτή παρεμβάλει, είναι να χρησιμοποιήσει τις καμπύλες Embedded (ενσωματωμένες)².

Μια τέτοια καμπύλη, με τον τρόπο που την χρησιμοποιούμε εδώ, είναι ουσιαστικά ένα αντίγραφο της αρχικής και μας δίνεται δυνατότητα αλλαγής του αριθμού σημείων ελέγχου (και των κομβικών σημείων), του βαθμού και του αρχικού και τελικού σημείου αυτής. Όμως, η πιο σημαντική ιδιότητά της είναι ότι μπορούμε να μετακινούμε τα σημεία ελέγχου (και τα κομβικά) της χωρίς να αλλάζει η μορφή της καμπύλης και χωρίς να αλλάζει σημαντικά η κατανομή της καμπυλότητας της. Αυτό είναι σημαντικό διότι η επιφάνεια παρεμβάλει τις καμπύλες σύμφωνα με την κατανομή των κομβικών τους σημείων (Edit Points στο Autoship). Έτσι, για να επιτευχθεί ένα καλύτερο αποτέλεσμα, θα πρέπει τα σημεία αυτά των καμπυλών να είναι διατεταγμένα ομοιόμορφα στον χώρο. Επίσης, οι αρχικές μας καμπύλες (παρεμβολής) έχουν μεγάλο αριθμό σημείων ελέγχου (και κομβικών



² Οι καμπύλες αυτές είναι ενσωματωμένες από την άποψη ότι η μορφή τους είναι απολύτως εξαρτώμενη από την μορφή των πατρικών, αρχικών καμπυλών.



Επιλέξαμε πέντε κομβικά σημεία που είναι και η προεπιλογή

4.4 Παρεμβολή της επιφάνειας

Έπειτα από αρκετά πειράματα καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι το καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται εάν χωρίσουμε την επιφάνεια της γάστρας σε τρία τμήματα (πρωραίο, μέσο παράλληλο και πρυμναίο) και χρησιμοποιήσουμε την μέθοδο True Loft της επιφάνειας Loft (Παρεμβολής).

Πρωραίο τμήμα

Για να κλείσει η επιφάνεια μπροστά χρειάστηκε να μετρήσουμε από το σχέδιο γραμμών και να εισάγουμε την καμπύλη του προφίλ της πρώρας. Έτσι, αφού κατασκευάσουμε τις καμπύλες Embedded και κατανέμουμε ομοιόμορφα τα σημεία ελέγχου (ή παρεμβολής), περνάμε την επιφάνεια μας δίνοντας την σειρά με την οποία θέλουμε να παρεμβάλουμε τις καμπύλες (όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα).





Η επιφάνεια όπως φαίνεται με ενεργοποιημένο το Mesh και το Render (Ctrl+R)

4.5 Εξομάλυνση της επιφάνειας

Εκτός από το Mesh και το Render, υπάρχουν άλλα τρία χρήσιμα εργαλεία για την εξομάλυνση της επιφάνειας: Contours, Gaussian και Mean Curvature (από το μενού View). Αυτά τα εργαλεία μας βοηθούν να εντοπίσουμε τις ανωμαλίες τις επιφάνειας.

Με δεξί κλικ πάνω στο Contours μπορούμε να ορίσουμε μια ομάδα (Group) καμπυλών: Stations, Buttocks και Waterlines.



Εδώ επιλέξαμε Waterlines και στη συνέχεια επιλέγοντας το Group ορίσαμε την πρώτη καμπύλη (First) σε μηδενικό ύψος, την τελευταία (Last) σε ένα ύψος 16 m > D = 14.35 m και το βήμα (Step) στα 2 m.



Ενεργοποιώντας το Contours



Ενεργοποιώντας το Mean Curvature (από το μενού View)



Gaussian Curvature (από το μενού View)

Αρχικά, δουλεύουμε με το Mesh διότι μας δίνει γρήγορα μια σαφή και αναλυτική εικόνα της επιφάνειας στις τέσσερις όψεις. Έτσι, στις περιοχές που εντοπίζονται ανωμαλίες, μπορούμε να διορθώσουμε τα σημεία ελέγχου ή παρεμβολής των Embedded, με τον ίδιο τρόπο που εξομαλύναμε τις αρχικές καμπύλες.

Για την εξομάλυνση της επιφάνειας χρειάστηκε να επέμβουμε λίγο τις αρχικές καμπύλες των νομέων 6¹/₂ και 7 διότι δεν επαρκούσε η διόρθωση των Embedded. Αυτό έγινε βέβαια με πολύ προσοχή έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί η καμπύλη ουσιαστικά. Καθώς οι δύο αυτές καμπύλες είναι οι δύο τελευταίες πριν το μέσο παράλληλο τμήμα, οι διορθώσεις έγιναν μόνο στα σημεία που βρίσκονται πάνω στις ευθείες του πυθμένα και του πλευρού, έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί η καμπυλότητα της σεντίνας.



Η καμπυλότητα της σεντίνας του νομέα 7 είναι μεταξύ των σημείων 3 και 7

Όταν κάνουμε μια διόρθωση στις Embedded, για να διορθωθεί και η επιφάνεια πρέπει, αφού πρώτα την επιλέξουμε, να χρησιμοποιήσουμε το Regenerate Object (από το Edit). Το ίδιο ισχύει και όταν διορθώνουμε τις αρχικές καμπύλες διότι όταν τις διορθώνουμε αυτομάτως διορθώνονται και οι αντίστοιχες Embedded.

Στο παρακάτω παράδειγμα κατεβάσαμε το σημείο 2 της καμπύλης του νομέα 7 στην κάτοψη κατά 11 βήματα με Snap 0.1.



Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η αρχική και τελική μορφή της επιφάνειας, μετά την επιλογή του Regenerate Object.



Με τον ίδιο τρόπο διορθώνουμε σταδιακά την επιφάνεια μέσω των διαθέσιμων καμπυλών μέχρι να φτάσουμε σε ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα.



Η αρχική επιφάνια, μετά την παρεμβολή



Η τελική επιφάνεια, μετά την εξομάλυνση.



Η τελική επιφάνεια στις τέσσερις όψεις (με ενεργοποιημένο το Mesh και το Render)

4.6 Κατασκευή της γάστρας

4.6.1 Πρυμναίο τμήμα

Το πρυμναίο τμήμα, λόγω της απότομης μείωσης του όγκου και αλλαγής της μορφής της γάστρας στον νομέα ¹/₄ (βλ. Σχήμα 13), αναγκαστήκαμε να το χωρίσουμε σε τέσσερα τμήματα (βλ. Σχήμα 14), έτσι ώστε να πετύχουμε μια ομαλότερη επιφάνεια. Έτσι, χρησιμοποιώντας πάλι το True Loft, δημιουργήσαμε τρεις επιφάνειες κάνοντας παρεμβολή μεταξύ των νομέων 3¹/₂ και ¹/₄, ¹/₄ και AP, AP και B και τέλος για την δημιουργία του καθρέφτη χρησιμοποιήσαμε μια επιφάνεια Extrude.



Σχήμα 13: Απότομη μείωση του όγκου στην περιοχή του νομέα 1/4



Σχήμα 14: Τα τέσσερα τμήματα στα οποία χωρίσαμε την πρύμνη

4.6.1.1 Η επιφάνεια μεταξύ των νομέων 31/2 και 1/4

Για το πρώτο τμήμα (μεταξύ των νομέων 3¹/₂ και ¹/₄) περνάμε την επιφάνεια παρεμβολής True Loft, ακριβώς όπως και στο πρωραίο τμήμα.



4.6.1.2 Η επιφάνεια μεταξύ των νομέων ¼ και ΑΡ

Όπως στην πρώρα, ομοίως και εδώ χρειάζεται να εισάγουμε από το σχέδιο των γραμμών την καμπύλη του προφίλ της πρύμνης. Έτσι, χρησιμοποιούμε μια καμπύλη Lofted (Παρεμβολής) 2^{ου} βαθμού, δίνοντας τις συντεταγμένες των τεσσάρων απαραίτητων σημείων, εκ των οποίων τα δύο μεσαία καθορίζονται αρθρώσεις (Corner).



Στο σημείο 1 πρέπει, επίσης, να δώσουμε την ακτίνα καμπυλότητας της καμπύλης (2.5 m), χρησιμοποιώντας το Radius Corner.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τελική καμπύλη του προφίλ της πρύμνης, με την καμπυλότητά της στο σημείο 1.



Στη συνέχεια για να κατασκευάσουμε την επιφάνεια παρεμβολής μεταξύ των νομέων ¹/₄ και AP, θα πρέπει να προσθέσουμε στην καμπύλη του AP το τμήμα της καμπύλης του προφίλ έως την AP.

Για να το κάνουμε αυτό, πρέπει να τμήσουμε την καμπύλη του προφίλ με την AP, οι οποίες λόγω μετρητικών σφαλμάτων κατά την εισαγωγή της καμπύλης του προφίλ δεν τέμνονται.



Για να βρούμε το σημείο τομής τους, εφόσον η διαμήκης θέση της AP είναι στην αρχή των αξόνων, μπορούμε να μηδενίσουμε την διαμήκη συντεταγμένη του μεσαίου σημείου της Embedded του προφίλ.





Στη συνέχεια, διορθώνουμε την καθ΄ ύψος συντεταγμένη του σημείου 0 της ΑΡ.

Έπειτα, προσθέτουμε δύο σημεία (με το Add Control Pt) στην αρχή (σημείο 0) της AP, έτσι ώστε να μπορέσουμε να προσθέσουμε σε αυτήν το τμήμα της καμπύλης του προφίλ που μας ενδιαφέρει.



Το Add Control Pt εισάγει το νέο σημείο μεταξύ του σημείου που έχει επιλεγεί και του επόμενου, σε καθοριζόμενη ποσοστιαία αναλογία της απόστασης τους (η προεπιλογή είναι στη μέση της απόστασης).

Εμείς δίνουμε μηδενικό λόγο διότι θέλουμε τα νέα σημεία μας να συμπίπτουν με το αρχικό σημείο της καμπύλης, κάτι που, όπως βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα, δεν υλοποιείται απόλυτα.



Τώρα, μπορούμε να αλλάξουμε τις συντεταγμένες των σημείων 0, 1 και 2 της AP και να τα ταυτίσουμε με τα αντίστοιχα σημεία της αρχικής καμπύλης του προφίλ (χωρίς την καμπυλότητα στο σημείο 1). Τα σημεία 1 και 2 πρέπει να γίνουν αρθρώσεις (με το Toggle Corner).


Τέλος, δίνουμε την ακτίνα καμπυλότητας στο σημείο 1, ακριβώς όπως προηγουμένως στην καμπύλη του προφίλ.



Έχοντας, τώρα, την καμπύλη AP+Profil μπορούμε να περάσουμε την επιφάνεια παρεμβολής True Loft μεταξύ των νομέων ¹/₄ και AP, όπως έχουμε εξηγήσει παραπάνω.



4.6.1.3 Η επιφάνεια μεταξύ των νομέων ΑΡ και Β



Ομοίως, κατασκευάζουμε και την επιφάνεια μεταξύ των νομέων ΑΡ και Β.

4.6.1.4 Η επιφάνεια του καθρέφτη

Για την κατασκευή του καθρέφτη χρειάστηκε να μετρήσουμε και να εισάγουμε την καμπύλη του από το σχέδιο γραμμών.



Από αυτήν την καμπύλη θα δημιουργήσουμε μια επιφάνεια Extrude. Η επιφάνεια Extrude δημιουργείται από την μετατόπιση μίας υπάρχουσας καμπύλης κατά μήκος ενός δεδομένου διανύσματος στο χώρο (με συνιστώσες L,T,V).

Snap TRANSOM Help OK Cancel
L Sweep Tube Sweep Match Blend T Dimensions Extrude Rotate Rule Develop Offset Loft
Create a surface by extruding an existing curve along a vector
Land Curve UDSLSTERN
Vector Column Mesh Image: Decision of the second

Έτσι, δίνουμε την καμπύλη και την μετατόπιση -5.5 m κατά το κατακόρυφο.



Η επιφάνεια Extrude του καθρέφτη

Στην συνέχεια, θα πρέπει να προσδιορίσουμε το σημείο βάσης της επιφάνειας (από το Set Base Point) για να κάνουμε την απαραίτητη περιστροφή και μετατόπιση, έτσι ώστε να την φέρουμε στην σωστή θέση.



Τώρα, μπορούμε να κάνουμε την περιστροφή (Rotate), με ένα βήμα (Snap) 0.01 επιλέγουμε την ευθεία αναφοράς με ένα κλικ (βλ. Σχήμα 15) και με ένα δεύτερο κλικ προσδιορίζουμε την νέα θέση (βλ. Σχήμα 16).



Σχήμα 15: Επιλογή της ευθείας αναφοράς με ένα κλικ



Σχήμα 16: Προσδιορισμός της νέας θέσης με το δεύτερο κλικ

Παρομοίως, μπορούμε να μετατοπίσουμε την επιφάνεια επιλέγοντας το Move και απευθείας κλικάροντας στην νέα θέση.



Τώρα θα πρέπει να αφαιρέσουμε το τμήμα που περισσεύει πάνω από την Upper Deck Side Line.



Για να το κάνουμε αυτό, θα πρέπει να δημιουργήσουμε μια επιφάνεια Extrude από την καμπύλη UDSLSTERN και στην συνέχεια να κάνουμε μια τομή των δύο επιφανειών.

Autoship Pro 26_10_5.PR3	×
File Edit Arrange View Aux Report Settings Help	_1
Create surface Snap Snap Trim Help OK Cancel Sweep Tube Sweep Match Blend	
Dimensions Extrude Rotate Rule Develop Offset Loft	
Create a surface by extruding an existing curve along a vector	
Vector Column Mesh Number 2 Max Degree 1	
Units = m ; M H SSide Top Front Para. 4 View Carr	

Μετατοπίζουμε (Move) την επιφάνεια, έτσι ώστε να τέμνει ολόκληρη την επιφάνεια του καθρέφτη στην κάτοψη.



Για να κάνουμε την τομή των επιφανειών, τις επιλέγουμε μαζί κρατώντας πατημένο το Shift και χρησιμοποιούμε το Surf-Surf Intersection.

	📃 Autoship Pro	26_10_5.PR3			
	File Edit Arrange	e View Aux	Report Settings Help		
	<u>R</u>	* 2.			Objec
	Snap 0.0100				
	L 0.0000 T 0.0000				
	0.0000				
	RAK				
	<u> 18 Ei</u>		/ / / Surf-Surf Intersect		
			Transom*7	ОК	
			Tolerance(m)	Cancel	
			0.0010	Help	
(N	-			
N	Vedate				
		L_L			
		A0 1600	T P1 0000 V		01/
	Units = m	i M H	SSide Top Front Para	. 4 View	Cancel

Ακριβώς μα τον ίδιο τρόπο κάνουμε και την τομή των επιφανειών του καθρέφτη και της AP-B.

📒 Autoship Pro		
File Edit Arrang	e View Aux Report Settings Help	Objec
Snap 0.1000 €		
	Surf-Surf Intersect	
	AP2-EB Transom*7 Tolerance(m) Cancel	
	0.0010 Help	
Update		
Units = m	L A8.8060 T P0.3890 V i M H SSide Too Front Para. 4 View	0% Cancel

Έχοντας, τώρα, τις καμπύλες των δύο τομών, μπορούμε να αφαιρέσουμε τα περιττά τμήματα του καθρέφτη (με το Trim) βάσει αυτών των καμπυλών.



Τέλος, δηλώνουμε πιο τμήμα θέλουμε να κρατήσουμε και απορρίπτουμε τα άλλα.





Η ένωση του καθρέφτη και της επιφάνειας μεταξύ των νομέων ΑΡ και Β

4.6.2 Μέσο παράλληλο τμήμα

Για την κατασκευή του μέσου παράλληλου τμήματος θα χρησιμοποιήσουμε πάλι μια επιφάνεια Extrude.4.1.6.4. Δίνουμε, λοιπόν, την καμπύλη του νομέα 3¹/₂, από τον οποίο ξεκινά το μέσο παράλληλο τμήμα, την μετατόπιση 45.354 m (μήκος παράλληλου τμήματος) κατά το διάμηκες και τον βαθμό.

File E Surfac	ce Name Help QK Cancel	
Snap Swee Dimens	ep Tube Sweep Match Blend sions Extrude Rotate Rule Develop Offset Loft Create a surface by extruding an existing curve along a vector	
	Curve 31/2	
	L 45.354 T 0.0000 V 0.0000	
Units = m	L A11.9000 J V 02.8000 09	4 ancel



Το μέσο παράλληλο τμήμα

4.6.3 Ένωση των τμημάτων

Έχοντας τα τέσσερα τμήματα που αποτελούν την πρύμνη, μπορούμε να τα ενωποιήσουμε επιλέγοντάς τα όλα μαζί κρατώντας πατημένο το Shift και δημιουργώντας ένα Group (από το Arrange). Το Group είναι κι αυτό ένα γεωμετρικό αντικείμενο, δηλαδή έχει την δυνατότητα να υποβληθεί σε μετασχηματισμούς και διορθώσεις.



Έπειτα, μπορούμε, με τον ίδιο τρόπο, να ομαδοποιήσουμε τα τρία τμήματα της γάστρας σε ένα Group. Αν, επιλέξουμε το Group Editor (από την γραμμή αναφοράς επιλεγμένου αντικειμένου ή το Attributes) και ενεργοποιήσουμε το Stbd + Port θα καθρεφτιστεί η επιφάνεια μας κι έτσι θα δούμε την ολόκληρη την γάστρα.

📒 Autoship Pro	Group Editor		
File Edit Arrang	Group Name	Help OK Cancel	
C V Vrew	Hull*1		Grou
Snap 0.1000	Objects	Front Finish	
L 0.0000	Select		
T 0.0000	O Curve O Group	E Back Einich	
	O Surface Del		
	Point 1		
TRE	Group:bow1	Material	
	Group:Stern*3	Spgr	-
명동선		None Thickness = 0.000	
		Edit Material	P H
▲ 40 8		X Sthd + Port	
Update			×
linite – m		Visible	0%
01112 = 11			Cancel



Η γάστρα μετά την ένωση των τμημάτων



Χρησιμοποιώτας το Contours, όπως έχουμε εξηγήσει στην αρχή της ενότητας 4.5, βλέπουμε τις γραμμές της γάστρας (Stations, Buttocks και Waterlines).

4.6.4 Φωτισμός αντικειμένου

Μπορούμε, επίσης, να αλλάξουμε τον φωτισμό της τρισδιάστατης όψης. Επιλέγοντας το Show Lights εμφανίζεται στην οθόνη η θέση της προεπιλεγμένης (default) πηγής φωτός.



Τώρα, επιλέγοντας την πηγή και κατόπιν το Attributes μπορούμε να τροποποιήσουμε τον φωτισμό.



Για παράδειγμα, μπορούμε να προσθέσουμε άλλη μία πηγή φωτός (με το Add)και να αλλάξουμε την θέση της (αλλάζοντας τις συντεταγμένες).





Η τρισδιάστατη όψη της γάστρας μετά την προσθήκη της νέας πηγής φωτός

5. Τα βασικά βήματα της γενικής μεθοδολογίας σχεδίασης επιφάνειας γάστρας βάσει νομέων

1. Εισαγωγή των συντεταγμένων (offset) των νομέων σε ένα ξεχωριστό αρχείο (π.χ. λογιστικό φύλλο Excel)

Η εισαγωγή των συντεταγμένων γίνεται με την σειρά που τις ζητά το πρόγραμμα σχεδίασης (π.χ. L, T, V στο Autoship)

2. Εισαγωγή των νομέων ως καμπύλες παρεμβολής (Lofted) Εισαγωγή των συντεταγμένων, με αντιγραφή (Copy-Paste) από το αρχείο των (του προηγούμενου βήματος), του βαθμού (τουλάχιστον 3) και του ονόματός της καμπύλης.

3. Εξομάλυνση των νομέων

Επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία μετακινούμε τα κομβικά σημεία ή τα σημεία ελέγχου, έτσι ώστε να πετύχουμε μια ομαλή κατανομή της καμπυλότητας (Curvature) της καμπύλης. Ο έλεγχος για την αποφυγή σημαντικής αλλοίωσης της καμπύλης γίνεται με την ταυτόχρονη προβολή ενός αντιγράφου της αρχικής καμπύλης.

4. Δημιουργία των βοηθητικών καμπυλών Embedded

Επιλογή εξομαλυσμένης καμπύλης, βαθμού (τουλάχιστον 3) και πλήθους σημείων ελέγχου (και κομβικών σημείων).

5. Ομοιόμορφη κατανομή των σημείων ελέγχου (ή κομβικών σημείων) σε όλους τους νομείς και όλες τις όψεις Επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία μετακινούμε τα κομβικά σημεία (ή τα σημεία ελέγχου) των βοηθητικών καμπυλών Embedded, έτσι ώστε να πετύχουμε μια

ομοιόμορφη κατανομή των σημείων σε όλους τους νομείς και όλες τις όψεις.

- 6. Παρεμβολή της επιφάνειας (Lofted) Εισαγωγή των καμπυλών Embedded με την σειρά που επιθυμούμε να τις παρεμβάλουμε.
- 7. Εξομάλυνση της επιφάνειας

Επαναληπτική διαδικασία κατά την οποία μετακινούμε τα κομβικά σημεία (ή τα σημεία ελέγχου) των Embedded καμπυλών, έτσι ώστε να πετύχουμε μια ομαλή κατανομή των ισοπαμετρικών καμπυλών (Mesh) της επιφάνειας. Ο έλεγχος της επιφάνειας γίνεται με την χρήση του εργαλείου επαναδημιουργίας αντικειμένου (Regenerate Object) πάνω σε αυτήν, και τέλος με την χρήση των εργαλείων προβολής καμπυλότητας Mean Curvature και Gaussian Curvature, καθώς επίσης και του Contours.

6. Συμπεράσματα

Όπως είδαμε στην διαδικασία της αντίστροφης σχεδίασης, δηλαδή της παρεμβολής της επιφάνειας από ένα σύνολο καμπυλών είναι αρκετά επίπονη σε σχέση με την διαδικασία της αρχικής σχεδίασης, η οποία ξεκινά από την δημιουργία και την διαμόρφωση της επιφάνειας και καταλήγει στην εξαγωγή του σχεδίου γραμμών.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε είναι πιο δύσκολη διότι μπαίνουν κάποιοι περιορισμοί. Οι γραμμές που χρησιμοποιούνται για την παρεμβολή της επιφάνειας πρέπει να εισαχθούν και να εξομαλυνθούν αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να γίνουν όσο το δυνατόν λιγότερες και μικρότερες αλλαγές, έτσι ώστε να μην ξεφύγουν πολύ από τα δεδομένα. Η ίδια δυσκολία, αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό, αντιμετωπίζεται και στην παρεμβολή και εξομάλυνση

της επιφάνειας. Ο βαθμός δυσκολίας αυξάνεται διότι υπάρχουν περισσότεροι παράμετροι, οι καμπύλες παρεμβολής έχουν ελάχιστο έως κανένα περιθώριο αναδιαμόρφωσης και η παραμικρή αλλαγή σε ένα σημείο της επιφάνειας ή μιας καμπύλης παρεμβολής επηρεάζει ολόκληρη την επιφάνεια.

Αυτές οι δυσκολίες μπορούν να αντιμετωπιστούν, εν μέρει, με την χρήση όσο το δυνατόν λιγότερων α) σημείων ελέγχου (και κομβικών σημείων) στην δημιουργία των βοηθητικών καμπυλών Embedded και β) καμπυλών παρεμβολής της επιφάνειας. Αυτό βέβαια, απαιτεί σωστή κρίση και πείρα, έτσι ώστε να επιτευχθεί μια ισορροπία ανάμεσα στην διευκόλυνση και ταχύτητα και την ακρίβεια.

Στην προσπάθεια μας, αναγκαστήκαμε να χωρίσουμε την επιφάνεια της γάστρας σε τρία τμήματα και στην συνέχεια το πρυμναίο τμήμα σε τέσσερα τμήματα. Το πρυμναίο τμήμα είναι συνήθως πιο ιδιόμορφο και απαιτεί αυτήν την τμηματοποίηση. Στο πρωραίο τμήμα, αν υπάρχει βολβός, χρειάζεται λίγη παραπάνω προσοχή.

7. Προτάσεις επέκτασης της παρούσας εργασίας

1. Σχεδίαση της επιφάνειας της γάστρας βάσει ισάλων

- Η σχεδίαση της επιφάνειας της γάστρας βάσει ισάλων αναμένεται να δώσει καλύτερα αποτελέσματα, αλλά η διαδικασία αναμένεται πιο επίπονη.
- Η γενική μεθοδολογία και σε αυτήν την περίπτωση θα είναι η ίδια. Δηλαδή, αν υπάρχει μέσο παράλληλο τμήμα, η επιφάνεια θα χωριστεί σε τρία τμήματα ή αλλιώς σε δύο. Το μέσο παράλληλο τμήμα μπορεί να κατασκευαστεί πάλι με μια επιφάνεια Extrude και το πρυμναίο και πρωραίο τμήμα με παρεμβολή των ισάλων.

2. Σύγκριση των δυνατοτήτων των πακέτων λογισμικού για την ναυπηγική βιομηχανία

Η σύγκριση μπορεί να γίνει σε επίπεδο σχεδίασης, υπολογισμών, οργάνωσης παραγωγής, διαχείριση ναυπηγείου, κ.τ.λ., με κριτήρια φιλικού και εύχρηστου περιβάλλοντος (interface), ευκολία και ταχύτητα υπολογισμών, δυνατότητας διασύνδεσης με άλλα πακέτα, κ.α.

3. Χρήση συνδυασμού πακέτων για την σχεδίαση της επιφάνειας της γάστρας

Για παράδειγμα, εισαγωγή και εξομάλυνση των καμπυλών στο Autoship και παρεμβολή και εξομάλυνση της επιφάνειας στο Rhinoceros.

8. Βιβλιογραφία

- 1. Γεροστάθης, Θ., Διαφάνειες του μαθήματος «Εφαρμογές Η/Υ στην Ναυπηγική», Τμήμα Ναυπηγικής, Σ.Τ.Εφ., ΤΕΙ Αθήνας, ακαδημαϊκό έτος 2004-2005.
- Θεοχάρης, Θ. & Μπερ, Α., 1999, «Γραφικά. Αρχές & Αλγόριθμοι», Εκδόσεις Συμμετρία.
- 3. Bartels, R. H.,Beatty, J. C., & Barsky, B.A., 1987, "An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling", Morgan Kaufman Publishers.
- 4. Farin, G., 1993, "Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design. A practical Guide", Third Edition, Academic Press.
- 5. Farin, G. E. & Hansford, D., 2000, "The Essentials of CAGD", A. K. Peters, Natick, Massachusetts.
- 6. Marsh, D., 1999, "Applied Geometry for Computer Graphics and CAD", Springer.
- 7. Shneider, P. J., 2004, "Develop, The Apple Technical Journal", Issue 25, Apple Computer, Inc.

> Ιστότοποι

Auto ship

http://cadcam.autoship.com/cadproductsservices/cadcamoverview.htm

Maxsurf

http://www.formsys.com/Maxsurf/MSIndex.html

IntelliShip

http://www.intergraph.com/marine/?go=collateral

NAPA http://www.napa.fi/

Tribon http://www.aveva.com/

AeroHydro, Inc. Marine design http://www.aerohydro.com/products.htm#Marine

FORAN http://www.foransystem.com/

Wolfson

http://www.wumtia.soton.ac.uk/software.html

Proteus Fast Ship http://www.proteusengineering.com/

Defcar http://www.defcar.com/