

Παράρτημα Γ

Το πρόγραμμα ALGOR και εφαρμογές σε ναυπηγικές κατασκευές

1. Εισαγωγή

Το σύνολο των προγραμμάτων ALGOR είναι ένα εργαλείο μελέτης (σχεδιασμού και ανάλυσης) κατασκευών και βασίζεται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στο παρόν Παράρτημα θα περιγραφεί ο τρόπος χρήσης του ALGOR κατά την εκπόνηση της μελέτης που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 8. Αναφέρονται επίσης παραδείγματα χρήσης του σε περιπτώσεις ανάλυσης συγκεκριμένων κατασκευών. Τέλος γίνεται μια προσπάθεια διερεύνησης των δυνατοτήτων του ALGOR για τη χρήση του σε ναυπηγικές κατασκευές.

2. Το περιβάλλον σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός της γεωμετρίας του μοντέλου που προσομοιώνει την κατασκευή πραγματοποιείται με χρήση του προγράμματος *superdraw*. Το περιβάλλον του προγράμματος αυτού είναι τύπου *CAD (computer-aided design)*. Έτσι διαθέτει μια πληθώρα από γεωμετρικά εργαλεία: σημείο, ευθύγραμμο τμήμα, κύκλος, τόξο, *polyline*, *spline*, *B-spline*, *NURBS*. Όλες αυτές οι οντότητες αποτελούν τα εργαλεία για τη γεωμετρική αναπαράσταση μίας κατασκευής. Σημειώνεται ότι ο σχεδιασμός τρισδιάστατων επιφανειών τύπου *NURBS* γίνεται με χρήση του προγράμματος *supersurf*.

Ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να περιστρέψει το μοντέλο, να κάνει μεγέθυνση και σμίκρυνση και να το μετακινήσει σε μια νέα θέση. Επίσης μπορεί να το δει από προκαθορισμένες όψεις, να ορίσει νέες όψεις και να χρησιμοποιήσει την εντολή *jetview* που επιτρέπει να γίνει ορατό το μοντέλο από οποιαδήποτε γωνία. Υπάρχει η δυνατότητα ορισμού γενικού ή τοπικού καρτεσιανού, πολικού και σφαιρικού συστήματος συντεταγμένων.

Φυσικά υπάρχουν και εντολές για απαλοιφή, αντιγραφή, και υποδιαίρεση σε ίσα μέρη των γεωμετρικών οντοτήτων. Η ημι-αυτόματη δημιουργία πλέγματος με χρήση της εντολής *construct mesh* επιτρέπει τη δημιουργία τριγωνικών και τετραγωνικών στοιχείων των οποίων οι διαστάσεις καθορίζονται από το χρήστη και μπορούν να μεταβάλλονται κατά αριθμητική και γεωμετρική πρόοδο.

Με τη χρήση του προγράμματος *supergen* μπορεί να διακριτοποιηθεί μία επιφάνεια αυτομάτως, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπόψη περιοχές με απότομη μεταβολή της γεωμετρίας και με οπές. Υπάρχει επίσης η δυνατότητα ανάπτυξης πλέγματος

για τρισδιάστατα τετραεδρικά ή εξαεδρικά στοιχεία. Σημειώνεται τέλος η δυνατότητα εισαγωγής της γεωμετρίας από αρχεία τύπου *dxf* καθώς και η δημιουργία τέτοιων αρχείων. Στο περιβάλλον *superdraw* εισάγονται οι οριακές συνθήκες και η φόρτιση του μοντέλου, το οποίο προορίζεται για ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το πρόγραμμα μπορεί να μοντελοποιήσει πολλών ειδών φορτίσεις:

- Συγκεντρωμένες δυνάμεις και ροπές
- Πιέσεις
- Υδροστατικές πιέσεις
- Φορτίσεις λόγω (αδρανειακών) επιταχύνσεων (π.χ. βάρος)
- Φυγοκεντρικά φορτία
- Θερμοκρασίες

Μπορεί επίσης να δεχθεί προκαθορισμένες τιμές μετατοπίσεων στους κόμβους.

3. Το περιβάλλον παρουσίασης αποτελεσμάτων

Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων γίνεται με το πρόγραμμα *superview*. Με το πρόγραμμα αυτό μπορεί επίσης να ελεγχθεί η γεωμετρία του μοντέλου, η φόρτιση που έχει επιβληθεί καθώς επίσης και οι συνοριακές συνθήκες. Υπάρχουν και εδώ όλες οι δυνατότητες καθορισμού της όψης του μοντέλου που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να δει το μοντέλο με τις τεχνικές *hidden lines* και *light* μαζί με άλλες δυνατότητες αναπαράστασής του.

Στα πλαίσια της γραμμικής ανάλυσης το πρόγραμμα μπορεί να δώσει γραφήματα με τις τάσεις, τις μετατοπίσεις και τις παραμορφώσεις της κατασκευής. Ειδικά για τις τάσεις και τις παραμορφώσεις δίνεται η δυνατότητα επιλογής αναπαράστασης των παρακάτω:

1. Της μέγιστης και της ελάχιστης κύριας τιμής,
2. Της ισοδύναμης τιμής κατά von Mises και
3. Της ισοδύναμης τιμής κατά Tresca

Χρήσιμη επίσης κρίνεται η δυνατότητα εκτίμησης της ακρίβειας των αποτελεσμάτων (με τη βοήθεια της εντολής *precision*). Τέλος, γιά να επιτευχθεί οπτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων (μετατοπίσεις), η κατασκευή μπορεί να αναπαρασταθεί σε παραμορφωμένη κατάσταση κάνοντας χρήση κατάλληλης κλίμακας.

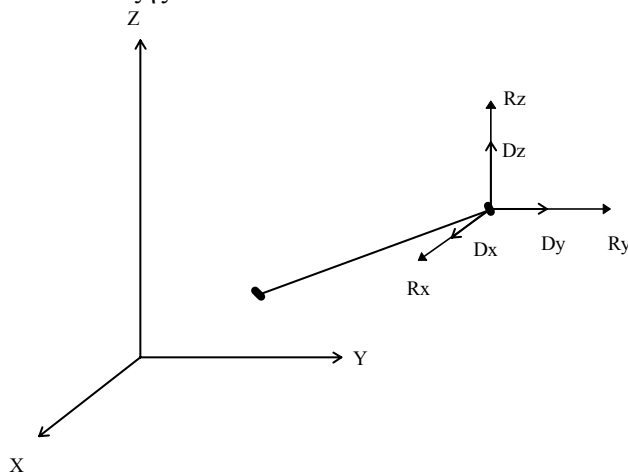
4. Παραδείγματα χρήσης του ALGOR

Το πακέτο ALGOR είναι γενικής χρήσης και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πληθώρα εφαρμογών:

- *Προβλήματα επίπεδης παραμόρφωσης.* Τέτοιου είδους προβλήματα συναντώνται σε περιπτώσεις κατασκευών με μεγάλα πάχη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η περίπτωση ενός φράγματος που εκτείνεται μεταξύ δύο ορεινών όγκων. Τα στοιχεία επίπεδης παραμόρφωσης χρησιμοποιούνται σε τέτοιες περιπτώσεις.
- *Προβλήματα δικτυωτών φορέων,* που αναπαριστώνται με στοιχεία-ράβδους και δοκούς. Ο μηχανικός αντιμετωπίζει συχνά προβλήματα φορέων που αντιμετωπίζονται σαν απλά δικτύωματα των οποίων τα μέλη μπορούν να φέρουν μόνο αξονικά ή και καμπτικά φορτία. Σαν δίκτυωμα μπορεί για παράδειγμα να προσομοιωθεί ο πλευρικός νομέας ενός σκάφους κατά τη μελέτη της αντοχής του.
- *Προβλήματα τρισδιάστατων συμπαγών κατασκευών.* Αυτή η κατηγορία προβλημάτων περιλαμβάνει για παράδειγμα το σχεδιασμό ενός μηχανολογικού εξαρτήματος όπως είναι ο στροφαλοφόρος άξονας της κύριας μηχανής πρόωσης ενός πλοίου. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται τετραεδρικά και εξαεδρικά στοιχεία.
- *Ενισχυμένες λεπτότοιχες κατασκευές.* Αυτή η κατηγορία προβλημάτων παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον για το ναυπηγό μηχανικό. Πράγματι η μεταλλική κατασκευή ενός σκάφους αποτελείται από λεπτά ενισχυμένα ελάσματα. Τέτοιες περιπτώσεις αντιμετωπίζονται με χρήση μοντέλων που αποτελούνται από στοιχεία ελάσματα-κελύφη και στοιχεία-δοκούς.

5. Οι δυνατότητες διακριτοποίησης των ναυπηγικών κατασκευών

Με τη χρήση του ALGOR μπορούν να μοντελοποιηθούν τμήματα ή και ολόκληρη η μεταλλική κατασκευή ενός πλοίου. Οι μέθοδοι μοντελοποίησης που μπορεί να ακολουθηθούν είναι οι εξής:



Σχήμα Α1 Το στοιχείο-δοκός

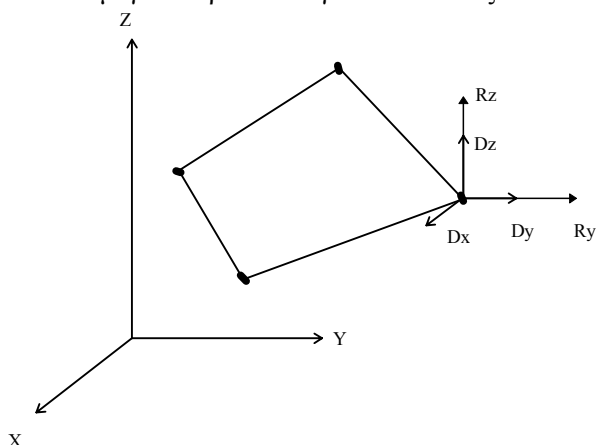
1. Δικτύωματα

Το έλασμα θεωρείται σαν πέλμα του ενισχυτικού με πλάτος ίσο με την απόσταση μεταξύ διαδοχικών ενισχύσεων. Έτσι ολόκληρη η μεταλλική κατασκευή μπορεί να προσομοιωθεί από ένα σύνολο στοιχείων-δοκών.

Τα στοιχεία-δοκοί (Σχήμα A1) στο ALGOR περιλαμβάνουν τρεις κόμβους. Οι δύο πρώτοι ορίζουν τα άκρα του στοιχείου ως προς το γενικό σύστημα αναφοράς ενώ ο τρίτος χρησιμοποιείται για τον προσανατολισμό της διατομής του ενισχυτικού στο χώρο. Σε κάθε έναν από τους κόμβους των άκρων του στοιχείου αντιστοιχούν έξι βαθμοί ελευθερίας: τρεις περιστροφές R_x, R_y, R_z περί τους άξονες X, Y, Z του γενικού συστήματος αναφοράς και τρεις μετατοπίσεις D_x, D_y, D_z στις διευθύνσεις X, Y, Z του γενικού συστήματος αναφοράς. Κάθε στοιχείο-δοκός μπορεί να παραλάβει ροπές και δυνάμεις τυχαίας διεύθυνσης σε κάθε κόμβο των άκρων του.

2. Στοιχεία ελάσματα-κελύφη

Ολόκληρη η μεταλλική κατασκευή διακριτοποιείται κάνοντας χρήση στοιχείων ελασμάτων-κελυφών. Τα ενισχυτικά μπορούν επίσης να αναπαρασταθούν με στοιχεία-ελάσματα, που έχουν το πάχος του κορμού και του πέλματος του ενισχυτικού. Η μέθοδος αυτή είναι και η ακριβέστερη επειδή προσομοιώνεται με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια η πραγματική κατασκευή. Προφανώς είναι και η πιο επίπονη ενώ ταυτόχρονα έχει και το μεγαλύτερο υπολογιστικό κόστος.



Σχήμα A2 Στοιχείο έλασμα-κέλυφος

Τα στοιχεία ελάσματα-κελύφη (Σχήμα A2) περιλαμβάνουν τρεις ή τέσσερις κόμβους, ανάλογα με τον αριθμό των πλευρών. Τα στοιχεία αυτά είναι επίπεδα ή τρισδιάστατα, ενώ κάθε κόμβος διαθέτει πέντε βαθμούς ελευθερίας: δύο περιστροφές R_y, R_z περί τους άξονες Y, Z του γενικού συστήματος αναφοράς και τρεις μετατοπίσεις D_x, D_y, D_z , ως προς τις διευθύνσεις X, Y, Z του γενικού συστήματος αναφοράς. Κάθε στοιχείο έλασμα-κέλυφος μπορεί να παραλάβει ροπές και δυνάμεις τυχαίας διεύθυνσης σε κάθε κόμβο. Έτσι είναι κατάλληλο για την περίπτωση ελασμάτων πλοίου που κάμπτονται στο επίπεδό τους. Τα στοιχεία ελάσματα-κελύφη

είναι τύπου QM5 και βασίζονται στη θεωρία λεπτότοιχων ελασμάτων κατά Veubeke.

3. Στοιχεία ελάσματα-κελύφη και δοκοί

Στη μελέτη που περιγράφεται στο Κεφάλαιο 8 τα ελάσματα της μεταλλικής κατασκευής αναπαριστώνται με στοιχεία ελάσματα-κελύφη ενώ τα ενισχυτικά μοντελοποιούνται με στοιχεία-δοκούς. Στη συνέχεια γίνεται συνδυασμός σε ένα σύνθετο μοντέλο που προσομοιώνει τη μεταλλική κατασκευή. Αυτή η μέθοδος ακολουθείται και στην παρούσα εργασία.

Το πακέτο ALGOR διαθέτει *άκαμπτα* στοιχεία, *ελαστικές στηρίξεις*, επεξεργαστές υπολογισμού του βάρους, των ροπών αδράνειας και των ιδιοσυχνοτήτων του μοντέλου. Επίσης υπάρχει δυνατότητα χρήσης *σύνθετων υλικών* που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για μικρά σκάφη. Τέλος η δυνατότητα επίλυσης προβλημάτων λυγισμού, κραδασμών, μη-γραμμικής ανάλυσης, απόκρισης σε φασματική διέγερση συμπληρώνουν το υπολογιστικό περιβάλλον του πακέτου.

Το βασικό μειονέκτημα του προγράμματος ALGOR για τη μελέτη ναυπηγικών κατασκευών είναι ότι δεν διαθέτει εύχρηστο τρόπο για την προσομοίωση των υδροστατικών φορτίων. Επίσης, δεν διαθέτει στοιχεία-ενισχυμένα ελάσματα όπως άλλα πακέτα που είναι εξειδικευμένα για ναυπηγικές χρήσεις ούτε στοιχεία-δοκούς που να είναι ειδικά σχεδιασμένα για ναυπηγικές εφαρμογές. Τέλος δεν διαθέτει στοιχεία-κελύφη μεγάλης καμπυλότητας που χρειάζονται στην ακριβέστερη μοντελοποίηση καμπύλων συνόρων. Παρόλα αυτά μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μελέτη ναυπηγικών κατασκευών αφού διαθέτει στοιχεία ελάσματα-κελύφη και στοιχεία δοκούς που είναι και τα κύρια δομικά στοιχεία των ναυπηγικών κατασκευών.

Βιβλιογραφία

1. Μπικάκη Γ. *Η μελέτη της μεταλλικής κατασκευής επιβατηγού-οχηματαγωγού με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων*. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Θαλασσίων Κατασκευών, Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 1996.