

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΥΠΟ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

Κ. Β. Σπηλιόπουλος¹ και Α. Γ. Πολίτης²

¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πολυτεχνειούπολη Ζωγράφου, 15700 Αθήνα, Ελλάς

²Πολιτικός Μηχανικός, Υπ. Διδάκτωρ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το αντικείμενο του έργου είναι η ανάπτυξη μίας απλοποιημένης μεθόδου ελαστοπλαστικής ανάλυσης κατασκευών υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Οι απλοποιημένες μέθοδοι στηρίζονται στην προσπάθεια ευρέσεως της τελικής εντατικής καταστάσεως μετά την επιβολή πολλών κύκλων φορτίσεως χωρίς την προσφυγή σε βήμα προς βήμα υπολογιστικές διαδικασίες. Οι διαδικασίες αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τον μεγάλο όγκο αριθμητικών υπολογισμών το οποίο συνεπάγεται μεγάλο υπολογιστικό χρόνο αλλά και ταυτόχρονα δυσκολία κατανόησεως της ανελαστικής συμπεριφοράς. Με την προτεινόμενη μέθοδο αίρονται γενικώς τα προαναφερθέντα μειονεκτήματα και γίνεται δυνατή η προσέγγιση της περιοχής πάνω από το όριο της κοπώσεως των κατασκευών με αποτέλεσμα την θέσπιση καλύτερων και αντιπροσωπευτικότερων συντελεστών ασφαλείας.

Α. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Σκοπός είναι η ανάπτυξη μίας απλοποιημένης μεθόδου για την ανελαστική ανάλυση των κατασκευών υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση ούτως ώστε να γίνει κατανοητή η συμπεριφορά των κατασκευών πάνω από το όριο της κοπώσεως. Είναι απαραίτητο για τις κατασκευές να κινηθούμε σήμερα σε επίπεδα ανώτερα από το όριο κοπώσεως. Η προτεινόμενη μέθοδος στοχεύει στην κατανόηση της συμπεριφοράς η οποία με την σειρά της οδηγεί στον ασφαλέστερο σχεδιασμό τους.

Β. ΕΠΙΤΕΛΕΣΘΕΙΣΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στα πλαίσια αυτού του ερευνητικού προγράμματος αναπτύχθηκαν δύο αλγόριθμοι ευρέσεως του φορτίου καταρρέυσεως μίας κατασκευής. Ο πρώτος ανήκει στην κατηγορία των απ' ευθείας μεθόδων ευρέσεως του οριακού φορτίου όπου η διακριτοποίηση του φορέα οδηγεί σε ένα μαθηματικό πρόβλημα βελτιστοποίησης μίας γραμμικής συναρτήσεως η οποία υπόκειται σε γραμμικούς ή και μη γραμμικούς περιορισμούς αναλόγως με το αν έχει ή όχι γραμμικοποιηθεί η συνάρτηση διαρροής. Γενικά η μέθοδος αυτή έχει ως πλεονέκτημα ό,τι δεν έχει μεγάλο υπολογιστικό κόστος και δίνει γενικά μία καλή προσεγγιστική τιμή του οριακού φορτίου και παρέχει επίσης μία εικόνα του μηχανισμού καταρρέυσεως.

$$\begin{aligned} \text{ελαχ. της } \mu &= \sigma_y \cdot \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \lambda_m^k \cdot I_m \\ \text{υποκειμένης εις:} \\ \dot{\epsilon}_n - B_n \cdot \dot{d} &= 0 \\ \dot{\epsilon}_t - B_t \cdot \dot{d} &= 0 \\ \bar{F}^T \cdot \dot{d} &= 1 \\ \lambda_m^k &\geq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ελαχ. της } \mu &= 2 \cdot \sigma_y^2 \cdot \sum_{m=1}^M \lambda_m \cdot I_m \\ \text{υποκειμένης εις:} \\ \dot{\epsilon}_n - B_n \cdot \dot{d} &= 0 \\ \dot{\epsilon}_t - B_t \cdot \dot{d} &= 0 \\ \sigma_m^2 + 3 \cdot \tau_m^2 &= \sigma_y^2 \\ \bar{F}^T \cdot \dot{d} &= 1 \\ \lambda_m &\geq 0 \end{aligned}$$

Ο δεύτερος αλγόριθμος βασίζεται στο κινηματικό θεώρημα ευρέσεως του άνω ορίου του φορτίου καταρρέυσεως της θεωρίας της πλαστικότητας και χρησιμοποιεί διαδοχικές ελαστικές επιλύσεις του φορέα με ενημέρωση του μητρώου ακαμψίας βάσει των διαδοχικών ελαστικών μέτρων που προκύπτουν στα διαρρέοντα στοιχεία και παρέχει ένα ασφαλές άνω όριο του οριακού φορτίου της κατασκευής. Αυτή η μέθοδος δύναται να τροποποιηθεί καταλλήλως ούτως ώστε να περιλαμβάνει και την περίπτωση της ανακυκλιζόμενης φορτίσεως και να παρέχει πλέον ένα άνω όριο του φορτίου στο οποίο η κατασκευή θεωρείται πως σταθεροποιείται, (shakedown).

$$E^{k+1} = a \cdot E^k \cdot \frac{\sigma_y}{\bar{\sigma}(\bar{\sigma}_{ij}^k)}$$

$$P_{UB}^k = \frac{\int_V \sigma_{ij}^{rc} \cdot \bar{\epsilon}_{ij}^k \cdot dV}{\int_S \bar{p}_i \cdot \bar{u}_i^k \cdot dS}$$

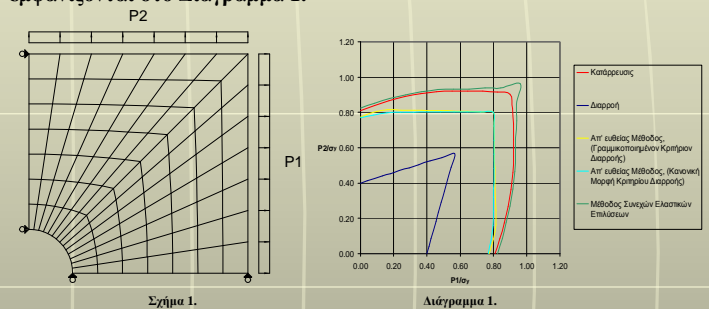
Το επόμενο βήμα ήταν η εξέταση του αναπτυχθέντος μέχρι σήμερα λογισμικού για την περίπτωση της ανακυκλιζόμενης φόρτισης

(χρήση προγραμ. ABAQUS) και η παραβολή των αποτελεσμάτων αυτών σε αντιστοιχία με αυτά που έχουν προκύψει από άλλους ερευνητές για συγκεκριμένα προβλήματα της βιβλιογραφίας.

Γ. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Γ1. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΟΡΙΑΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΕΩΣ

Επιλύθηκε ο φορέας του Σχήματος 1 με τους δύο παρουσιαζόμενους αλγόριθμους καθώς και με την μέθοδο βήμα προς βήμα, (ABAQUS), και τα αποτελέσματα που προέκυψαν εμφανίζονται στο Διάγραμμα 1.

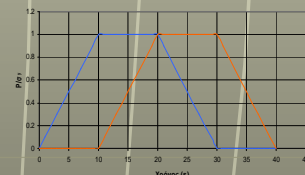


Σχήμα 1.

Διάγραμμα 1.

Γ2. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΑΝΑΚΥΚΛΙΖΟΜΕΝΗΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ

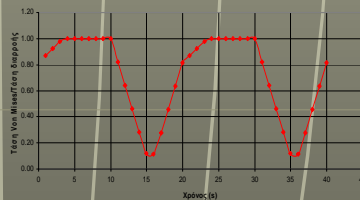
Ο ίδιος φορέας επιλύθηκε για ανακυκλιζόμενη φόρτιση της οποίας η μεταβολή στον χρόνο φαίνεται στο Διάγραμμα 2 και στα Διαγράμματα 3 και 4 παρουσιάζονται οι διακυμάνσεις της τάσεως von Mises και της ισοδύναμου πλαστικής τροπής αντιστοίχως.



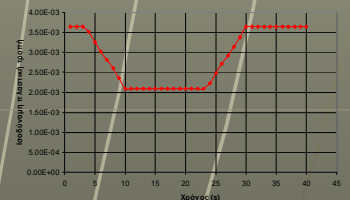
Διάγραμμα 2.

Στοιχείο 1 Σημείο Gauss 1

Στοιχείο 1 Σημείο Gauss 1



Διάγραμμα 3.



Διάγραμμα 4.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] On The Limit Analysis Of Plane Structures, K. V. Spiliopoulos and A. G. Politis, 7th National Congress On Mechanics, June 24 – 26 2004, Chania, Greece.
- [2] Numerical Advances In The Limit Analysis of Structures, K. V. Spiliopoulos and A. G. Politis, 5th GRACM International Congress On Computational Mechanics, Limassol, 29 June – 1 July 2005.