

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ:

«ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ ΙΙΙ»

**«Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στο ΤΕΙ Πάτρας»
MIS 383592**

Υποέργο	09
Τίτλος	Ανάπτυξη λογισμικού συνοριακών στοιχείων για την αριθμητική επίλυση προβλημάτων διάδοσης ρωγμών σε πραγματικές μηχανολογικές κατασκευές που υπόκεινται σε θερμομηχανικές φορτίσεις
Επιστημονικός Υπεύθυνος	Τσινόπουλος Στέφανος Επίκουρος Καθηγητής, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, ΤΕΙ Δυτ. Ελλάδας

Β΄ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ

ΕΚΘΕΣΗ ΠΡΟΟΔΟΥ ΦΥΣΙΚΟΥ

Περίοδος αναφοράς έκθεσης: **1/10/2012** έως **1/3/2015**

1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΥΠΟΕΡΓΟΥ

1.1 Θεματική προτεραιότητα ΠΠΚ στην οποία εντάσσεται η ενέργεια:

Επιστήμες Μηχανικών, Επιστήμες πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών

1.2 Επιστημονικός Υπεύθυνος Υποέργου

Όνοματεπώνυμο	Τσινόπουλος Στέφανος
Φορέας:	Τ.Ε.Ι. ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
Θέση:	Επίκουρος Καθηγητής, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ
Διεύθυνση:	Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, Τ.Ε.Ι. Δυτ. Ελλάδας, Ν. Αλεξάνδρου 1, 26334, Πάτρα
Τηλ.:	2610369073, 6977451388
E-mail:	stsinop@teipat.gr

1.3 Λοιπά μέλη Κύριας Ερευνητικής ομάδας

1. Καμβύσας Γρηγόριος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμ. Μηχανολόγων Μηχανικών ΤΕ, Τ.Ε.Ι. Δυτ. Ελλάδας
2. Καθρέπτας Νικόλαος, Καθηγητής, Τμ. Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ, Τ.Ε.Ι. Δυτ. Ελλάδας
3. Πολύζος Δημοσθένης, Καθηγητής, Τμ. Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών
4. Ανυφαντής Νικόλαος, Καθηγητής, Τμ. Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών
5. Σελλούντος Ευριπίδης, Μεταδιδακτορικός Ερευνητής, Πολυτεχνείο Λισσαβόνας Τμ. & Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών

1.4 Μέλη ομάδας εξωτερικών συνεργατών

1. Γκόρτσας Θεόδωρος, Υποψήφιος Διαδάκτορας Τμ. Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών
2. Διακίδης Ιωάννης, Υποψήφιος Διαδάκτορας Τμ. Μηχανολόγων & Αεροναυπηγών Μηχανικών, Παν/μιο Πατρών
Ανυφαντής Νικόλαος, Καθηγητής, Παν/μιο Πάτρας

1.5 Διάρκεια υποέργου

Ημερομηνία έναρξης	:	1/10/2012
Ημερομηνία λήξης	:	30/09/2015
Διάρκεια σε μήνες	:	36

2. ΦΥΣΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

2.1. Αναλυτική Περιγραφή των εργασιών των φάσεων που εκτελούνται ή ολοκληρώθηκαν και αποτελέσματα /παραδοτέα αυτών

Σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα υλοποίησης του φυσικού αντικειμένου, για το χρονικό διάστημα από 1/10/12 έως 31/12/13, οι εργασίες που εκτελέστηκαν, εντάσσονται κυρίως στα πακέτα εργασίας (ΠΕ) 1 και 2. Η αναλυτική περιγραφή των εργασιών ανά Πακέτο Εργασίας είναι η εξής:

ΠΕ 1: Ανάπτυξη κώδικα ταχείας πολυπολικής μεθόδου συνοριακών στοιχείων (ΤΠΜΣΣ) για τον υπολογισμό του τασικού πεδίου σε μη ρηγματωμένη κατασκευή που υπόκειται σε θερμομηχανική καταπόνηση

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό του έργου η διάρκεια των εργασιών του ΠΕ ήταν οκτώ (8) μήνες, ήτοι από 1/10/2012 έως 31/5/2013. Η κύρια εργασία που εκτελέστηκε ήταν πρώτον η επέκταση του υπάρχοντος κώδικα μεθόδου συνοριακών στοιχείων (ΜΣΣ) για την επίλυση προβλημάτων θερμομηχανικών καταπονήσεων και δεύτερον η ανάπτυξη κώδικα ταχείας πολυπολικής ΜΣΣ με απώτερο σκοπό την επίλυση πολύ μεγάλων προβλημάτων της τάξης του εκατομμυρίου βαθμών ελευθερίας. Για την επίτευξη των ανωτέρω έγιναν τα εξής:

- 1) Ενσωματώθηκαν στον υπάρχοντα κώδικα οι θεμελιώδεις λύσεις του διαφορικού τελεστή του θερμοελαστικού προβλήματος μόνιμης κατάστασης στις δύο και τρεις διαστάσεις.
- 2) Ενσωματώθηκαν στον υπάρχοντα κώδικα οι θεμελιώδεις λύσεις του διαφορικού τελεστή του θερμοελαστικού προβλήματος μεταβατικής κατάστασης στις δύο και τρεις διαστάσεις.
- 3) Υλοποιήθηκαν οι αριθμητικές ολοκληρώσεις των ανωτέρω θεμελιωδών λύσεων
- 4) Προκειμένου να επιτευχθεί σημαντικότερη επιτάχυνση του προβλήματος αναπτύχθηκαν μεθοδολογίες αναλυτικών ολοκληρώσεων οι οποίες αντικατέστησαν μέρος των αριθμητικών ολοκληρώσεων, η οποίας εκτός από πιο αργές είναι και λιγότερο ακριβείς.
- 5) Υλοποιήθηκε σε C++, ο κώδικας ταχείας πολυπολικής ΜΣΣ με δυνατότητα παράλληλων υπολογισμών σε ένα ή περισσότερους επεξεργαστές.

- 6) Παρόλο που δεν είχε προβλεφθεί στην αρχική πρόταση, υλοποιήθηκε, εκτός από ταχεία πολυπολική ΜΣΣ και η μέθοδος Adaptive Cross-Approximation Technique-BEM με σκοπό είτε οι δύο μέθοδοι να συνδυαστούν είτε να χρησιμοποιούνται ανεξάρτητα ανάλογα με το είδος του προβλήματος που επιλύεται.

Οι εργασίες του παρόντος ΠΕ ολοκληρώθηκαν επιτυχώς και το παραδοτέο που προέκυψε (“Technical report Nov-2013” by T. Gortsas, I. Diakidis, S.V. Tsinopoulos, E. Sellountos, N. Kathreptas, N. Anifantis and G. Kamnyssas) πιστοποιήθηκε από την επιτροπή πιστοποίησης παραδοτέων φυσικού αντικειμένου του υποέργου.

ΠΕ 2: Ανάπτυξη κώδικα ταχείας πολυπολικής διπλής μεθόδου συνοριακών στοιχείων (ΤΠΑΜΣΣ) για τον υπολογισμό του τασικού πεδίου σε ρηγματωμένη κατασκευή που υπόκειται σε θερμομηχανική καταπόνηση

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό του έργου η διάρκεια των εργασιών του ΠΕ ήταν έξι (6) μήνες, ήτοι από 1/6/2013 έως 30/11/2013. Η κύρια εργασία που εκτελέστηκε η ανάπτυξη κώδικα κώδικα ταχείας πολυπολικής διπλής ΜΣΣ για την επίλυση προβλημάτων θραυστομηχανικής με θερμομηχανικές καταπονήσεις. Στο πλαίσιο αυτό έγιναν τα εξής:

- 1) Υλοποίηση της διπλής ΜΣΣ (Dual BEM) στις δύο και τρεις διαστάσεις.
- 2) Συνδυασμός της διπλής ΜΣΣ και της ταχείας πολυπολικής ΜΣΣ ώστε να προκύψει ο κώδικας ΤΠΑΜΣΣ.
- 3) Ανάπτυξη μιας νέας υβριδικής μεθόδου ΜΣΣ και Μεθόδου Τοπικών Ολοκληρωτικών Εξισώσεων (Meshless) για την επίλυση θερμομηχανικών προβλημάτων.

Οι εργασίες του παρόντος ΠΕ ολοκληρώθηκαν επιτυχώς και το παραδοτέο που προέκυψε T. (Gortsas, S.V. Tsinopoulos, E. Sellountos and D. Polyzos, “Numerical solution of 2d steady-state thermoelastic problems through a new simple meshless Local Boundary Integral Equation (LBIE) method in combination with the Boundary Element Method (BEM)”, XIV International Conference on Boundary Element & Meshless Techniques, Ecole Polytechnique, Paris, France, July 16-18, 2013, pp. 358-363) πιστοποιήθηκε από την επιτροπή πιστοποίησης παραδοτέων φυσικού αντικειμένου του υποέργου.

ΠΕ 3: Ανάπτυξη νέου μεταβλητής τάξης, συνοριακού στοιχείου για τον υπολογισμό των συντελεστών έντασης τάσης.

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό του έργου η διάρκεια των εργασιών του ΠΕ ήταν τέσσερις (4) μήνες, ήτοι από 1/12/2013 έως 31/3/2014. Η κύρια εργασία που εκτελέστηκε ήταν η ανάπτυξη μονοδιάστατου συνοριακού στοιχείου στο οποίο η ιδιομορφία του τασικού πεδίου παρεμβάλεται με την βοήθεια ειδικά κατασκευασμένων συναρτήσεων μορφής. Το στοιχείο μπορεί να ενσωματώνει διαφορετικής τάξης ιδιομορφίες με αποτέλεσμα τον πιο ακριβή υπολογισμό των συντελεστών συγκέντρωσης τάσης στην κορυφή της ρωγμής. Ταυτόχρονα υλοποιήθηκε συμπληρωματικά μέθοδος υπολογισμού του συντελεστή συγκέντρωσης τάσης με την χρήση του επικαμπύλιου ολοκληρώματος J καθώς και με την χρήση των τιμών των μετατοπίσεων που προκαλούν το ανοίγμα της ρωγμής. Για την επίτευξη των ανωτέρω έγιναν τα εξής:

- 1) Αναπτύχθηκε αλγόριθμος εύρεσης παραμετρικών συναρτήσεων μορφής για μεταβλητής τάξης συνοριακό στοιχείο. Η τάξη του στοιχείου προκύπτει από την ζητούμενη ακρίβεια της αναπαράστασης του τασικού πεδίου κοντά στην ρωγμή.
- 2) Ενσωματώθηκε στον κώδικα η δυνατότητα υπολογισμού συντελεστών συγκέντρωσης τάσης με την χρήση του επικαμπύλιου ολοκληρώματος J καθώς και με την μεθοδο του ανοίγματος της ρωγμής.

Οι εργασίες του παρόντος ΠΕ ολοκληρώθηκαν επιτυχώς και το παραδοτέα που προέκυψαν: (T. Gortsas, S.V. Tsinopoulos, I. Diakides, D. Polyzos, "An ACA/BEM for solving wave propagation problems in non -homogeneous materials", proceedings of the 6th Conference on Emerging Technologies in Non-Destructive Testing(ETNDT6), Brussels, 27-29 May, 2015.) πιστοποιήθηκαν από την επιτροπή πιστοποίησης παραδοτέων φυσικού αντικείμενου του υποέργου.

ΠΕ 4: Επέκταστος κώδικα ΜΣΣΣ που αναπτύχθηκε, για την προσομείωση της βηματικής διάδοσης ρωγμής.

Σύμφωνα με τον προγραμματισμό του έργου η διάρκεια των εργασιών του ΠΕ ήταν οκτώ (8) μήνες, ήτοι από 1/4/2014 έως 31/3/2015. Η κύρια εργασία που εκτελέστηκε ήταν η ανάπτυξη μεθοδολογίας για την βηματική διάδοση της ρωγμής. Για την προσομείωση της

διάδοσης της ρωγμής αναπτύχθηκε επαναληπτική διαδικασία που περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα.

- 1) Επίλυση του ελαστικού προβλήματος και υπολογισμός του συντελεστή συγκέντρωσης τάσης χρησιμοποιώντας τις μεθόδους που αναπτύχθηκαν στο προηγούμενο πακέτο εργασίας.
- 2) Όταν η τιμή του συντελεστή συγκέντρωσης τάσης ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή γίνεται εύρεση της διεύθυνσης στην οποία μια ρωγμή μπορεί να διαδοθεί χρησιμοποιώντας τα κριτήρια που έχουν αναπτυχθεί στην υπάρχουσα βιβλιογραφία. (μεγιστες κύριες τάσεις, διεύθυνση ελαχιστοποίησης της ελαστικής ενέργειας κτλ).
- 3) Στην συνέχεια πραγματοποιείται διάδοση της ρωγμής στην διεύθυνση που έχει αποφασιστεί με βάση τα παραπάνω κριτήρια και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι την κατάσταση αστοχίας.
- 4) Η παραπάνω διαδικασία υλοποιήθηκε σε γλώσσα python εξωτερικά του κώδικα συνοριακών στοιχείων.

Οι εργασίες του παρόντος ΠΕ ολοκληρώθηκαν επιτυχώς και το παραδοτέα που προέκυψαν: (T. Gortsas, S.V. Tsinopoulos, D.Polyzos, "An advanced ACA/BEM for solving large-scale elastic problems", International Conference on Computational & Experimental Engineering and Sciences, Rheno, July 20-24, 2015.)

πιστοποιήθηκαν από την επιτροπή πιστοποίησης παραδοτέων φυσικού αντικείμενου του υποέργου.

ΣΧΟΛΙΑ - ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ - ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Για το χρονικό διάστημα από 1/10/12 έως 31/03/15 η πρόοδος της παρόντος υποέργου 09, συντελείται σύμφωνα με τον αρχικό προγραμματισμό τοῦ εγκεκριμένου Τεχνικού Δελτίου της Πράξης