

  
**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
 Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
 Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

---

**ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΑΓΩΓΩΝ ΜΕ ΕΥΚΑΜΠΤΟΥΣ ΚΟΜΒΟΥΣ ΥΠΟ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΑΡΡΗΞΗ ΟΡΙΖΩΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ**  
 Βασίλειος Ε. Μελισσανός, Χάρης Ι. Γαντές, Παύλος Αστερίου, Κωνσταντίνος Καλοχαυρέτης

---

Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών Ε.Μ.Π.  
 Αθήνα, Οκτώβριος 2015







**Περιεχόμενα**

- ο Εισαγωγή
- ο Προκαταρκτικά αποτελέσματα
- ο Αγωγοί με κόμβους
- ο Αβεβαιότητα θέσης ρήγματος
- ο Συμπεράσματα

**ΑΡΙΣΤΕΙΑ II**

«Πρότυπες έννοιες σχεδιασμού μεταλλικών κατασκευών για τον ενεργειακό τομέα με τη χρήση σύγχρονων υλικών»




Gazprom

---

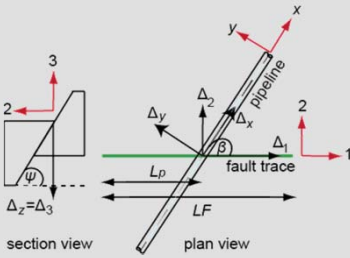
Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολίσθησης  
 Β.Ε. Μελισσανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης

2



**Εισαγωγή**

**Γεωμετρία διασταύρωσης αγωγού – ρήγματος**




- Καθολικό (ρήγμα) σύστημα συντεταγμένων (1,2,3)
- Τοπικό (αγωγός) σύστημα συντεταγμένων (x,y,z)

---

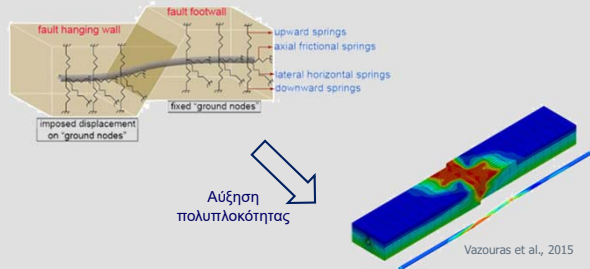
Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολίσθησης  
 Β.Ε. Μελισσανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης

3



**Εισαγωγή**

**Αριθμητική προσομοίωση αγωγού**



Αύξηση πολυπλοκότητας

Στοιχεία δοκού

← Αγωγός →

Επιφανειακά στοιχεία

Μη-γραμμικά ελατήρια

← Έδαφος →

Χωρικά στοιχεία

---

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολίσθησης  
 Β.Ε. Μελισσανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης

4



**Εισαγωγή**

**Προτεινόμενο μέτρο προστασίας αγωγού**







---

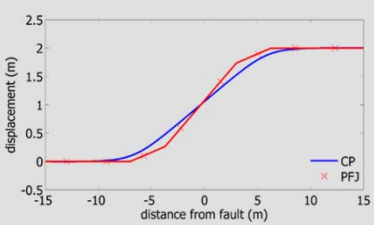
Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολίσθησης  
 Β.Ε. Μελισσανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης

5



**Προκαταρκτικά Αποτελέσματα**

**Επιρροή κόμβων στην απόκριση αγωγού**

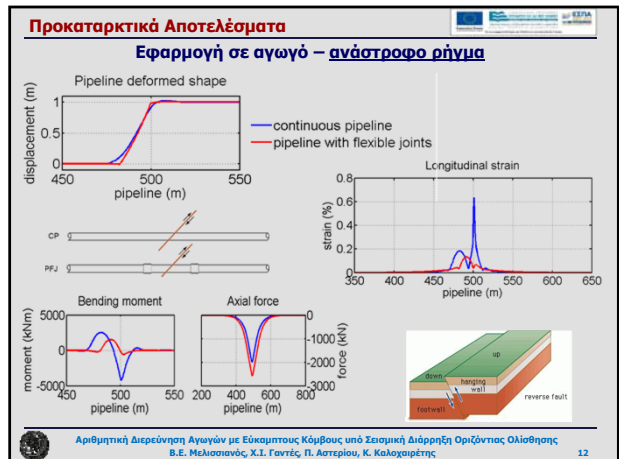
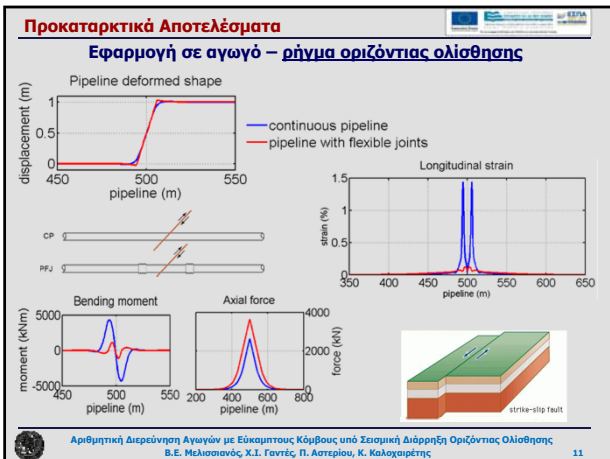
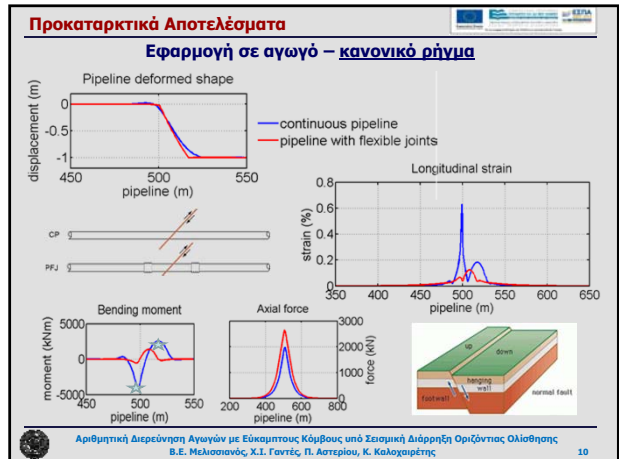
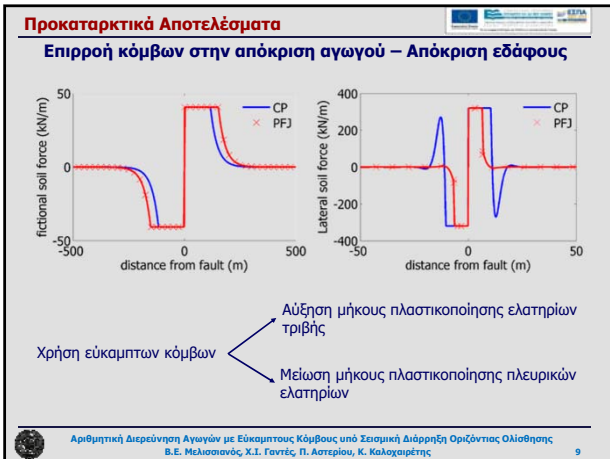
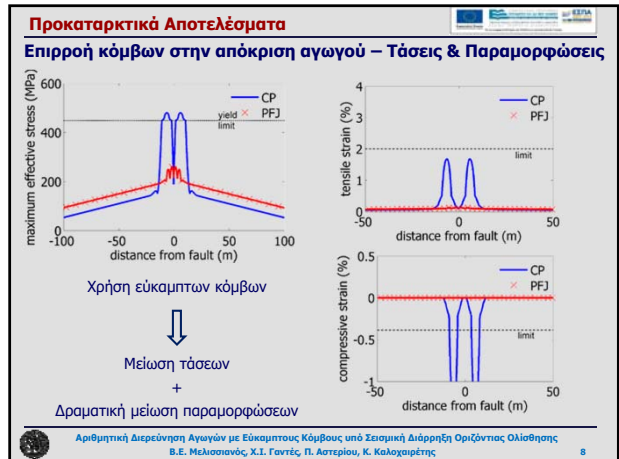
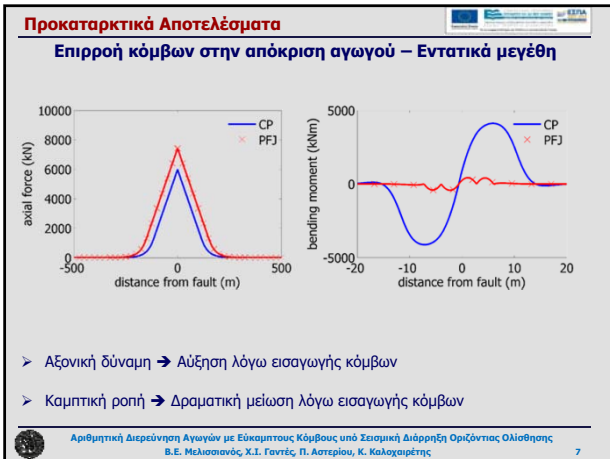


- CP: συνεχής αγωγός → ομαλή καμπύλη
- PFJ: αγωγός με κόμβους → αλληλουχία περίπου ευθύγραμμων τμημάτων

---

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολίσθησης  
 Β.Ε. Μελισσανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης

6



### Αγωγοί με Κόμβους

#### Διαδικασία χωροθέτησης κόμβων

- 1<sup>ο</sup> βήμα: επίλυση συνεχούς αγωγού
- 2<sup>ο</sup> βήμα: θέση μέγιστης ροπής συνεχούς αγωγού

3<sup>ο</sup> βήμα: διερεύνηση εναλλακτικών περιπτώσεων θέσεων και πλήθους κόμβων

Case	Number of joints	Joints location
2PF-J	2	$-L_j, +L_j$
3PF-J	3	$-L_j, 0, +L_j$
4PF-J(1)	4	$-L_j, -L_j/2, +L_j/2, +L_j$
4PF-J(2)	4	$-2L_j, -L_j, +L_j, +2L_j$
6PF-J(1)	6	$-3L_j/2, -L_j/2, -L_j, +L_j/2, +L_j$
6PF-J(2)	6	$-2L_j, -L_j, -L_j/2, +L_j/2, +L_j, +2L_j$

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθήσης  
 Β.Ε. Μελοισανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Καλοκαιρέτης 13

### Αγωγοί με Κόμβους

#### Διαδικασία χωροθέτησης κόμβων

- 4<sup>ο</sup> βήμα: επιλογή βέλτιστου συνδυασμού

Βέλτιστος συνδυασμός → 4 συνολικά κόμβοι στις θέσεις  $-L_j, -L_j/2, +L_j/2, +L_j$

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθήσης  
 Β.Ε. Μελοισανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Καλοκαιρέτης 14

### Αγωγοί με Κόμβους

#### Μελέτη αγωγού υπό διάρρηξη οριζόντιας ολισθήσης

$\beta < 90^\circ \rightarrow$  αγωγός υπό κάμψη και εφελκυσμό  
 επιθυμητό κατά το σχεδιασμό

$\beta > 90^\circ \rightarrow$  αγωγός υπό κάμψη και θλίψη  
 μη επιθυμητό κατά το σχεδιασμό

- ενδέχεται να προκύψει, λόγω:
- αβεβαιότητα συμπεριφοράς ρήγματος
- εξωγενείς περιορισμοί κατά το σχεδιασμό της οδεύσης

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθήσης  
 Β.Ε. Μελοισανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Καλοκαιρέτης 15

### Αγωγοί με Κόμβους

#### Αγωγός υπό κάμψη και εφελκυσμό ( $\beta < 90^\circ$ )

αύξηση μετακίνησης ρήγματος

εφελκυστικές παραμορφώσεις

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθήσης  
 Β.Ε. Μελοισανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Καλοκαιρέτης 16

### Αγωγοί με Κόμβους

#### Αγωγός υπό κάμψη και θλίψη ( $\beta > 90^\circ$ )

αύξηση μετακίνησης ρήγματος

θλιπτικές παραμορφώσεις

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθήσης  
 Β.Ε. Μελοισανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Καλοκαιρέτης 17

### Αγωγοί με Κόμβους

#### Επιρροή του λόγου D/t

$\beta = 70^\circ, \Delta = 1.0m$

Αύξηση t & σταθερό D → αύξηση έντασης αγωγού

$\beta < 90^\circ \rightarrow$  κυριαρχία εφελκυσμού → οριακή υπέρβαση θλιπτικών παραμορφώσεων

Αποδοτικότητα κόμβων → σχεδόν ανεξάρτητη του λόγου D/t

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθήσης  
 Β.Ε. Μελοισανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Καλοκαιρέτης 18

### Αγωγοί με Κόμβους

#### Επιρροή του βάθους ταφής H

- β=70°, Δ=1.0m

- Αύξηση H → αύξηση δυσκαμψίας εδάφους → αύξηση έντασης αγωγού
- β<90° → απουσία κινδύνου τοπικού λυγισμού
- Αποδοτικότητα κόμβων → σχεδόν ανεξάρτητη του βάθους ταφής

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολισθησης  
B.E. Μετσίσιανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης 19

### Αβεβαιότητα Θέσης Ρήγματος

- Αβεβαιότητα θέσης ρήγματος → ελλιπή σεισμολογικά και γεωτεχνικά δεδομένα  
στρωματογραφία εδαφικών επιχώσεων κοντά στην επιφάνεια
- Διερεύνηση πιθανών εναλλακτικών θέσεων ίχνους ρήγματος

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολισθησης  
B.E. Μετσίσιανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης 20

### Αβεβαιότητα Θέσης Ρήγματος

- Αποδοτικότητα κόμβων ως προς εναλλακτικές θέσεις ρήγματος
- β=70°, Δ=2.0m

- Δεδομένες θέσεις κόμβων + μετακίνηση ρήγματος → μείωση αποδοτικότητας κόμβων  
μη πρόκληση πρόσθετης έντασης  
«μετάθεση» αναπτυσσόμενης έντασης

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολισθησης  
B.E. Μετσίσιανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης 21

### Συμπεράσματα

- Αριθμητική διερεύνηση της αποτελεσματικότητας των εύκαμπτων κόμβων
- Αποτελεσματική προστασία του αγωγού έναντι εφελκυστικής θραύσης και τοπικού λυγισμού
- Δραστηκή μείωση των αναπτυσσόμενων διαμήκων παραμορφώσεων
- Θέση κόμβων → θέση μέγιστης ροής συνεχούς αγωγού
- Τουλάχιστον δύο κόμβοι σε κάθε πλευρά του αγωγού εκατέρωθεν του ρήγματος
- Σημαντική επιρροή της γωνίας β και του μεγέθους της μετακίνησης
- Αύξηση καμπτικής καταπόνησης αγωγού → αύξηση αποδοτικότητας κόμβων

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολισθησης  
B.E. Μετσίσιανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης 22

### Συμπεράσματα

- Ο λόγος διαμέτρου προς πάχος (D/t) δεν επηρεάζει την αποδοτικότητα
- Το βάθος ταφής του αγωγού δεν επηρεάζει την αποδοτικότητα
- Απαιτήση για προσθήκη επιπλέον κόμβων σε περίπτωση αβεβαιότητας ως προς τη θέση εμφάνισης της διάρρηξης στην επιφάνεια του εδάφους

#### Κατασκευαστικές οδηγίες

- Ειδική μερίμνα συγκόλλησης κόμβων αγωγών
- Προστασία κόμβων έναντι διάβρωσης και εξωτερικών δράσεων
- Ικανότητα διαδιάστατης σύγχρονης στροφής
- «Υπεραντοχή» ως προς τη μέγιστη στροφή έναντι μη αναμενόμενης μετακίνησης ρήγματος

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολισθησης  
B.E. Μετσίσιανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης 23

### Δημοσιεύσεις

- Melissianos, V.E. and Gantes, C.J., "On the Efficiency of Flexible Joints in Mitigating the Consequences of Seismic Fault Activation on Buried Pipelines", Qatar Foundation Annual Research Conference 2014, Doha, Qatar, November 18-19, 2014.
- Melissianos, V.E. and Gantes, C.J., "Failure mode evaluation of onshore buried steel pipelines with flexible joints due to faulting", SECED 2015 Conference: Earthquake Risk and Engineering towards a Resilient World, Cambridge, UK, July 9-10, 2015.
- Gantes, C.J., Bouckovalas, G.D., Melissianos, V.E. and Valsamis, A., "Pipeline – Fault Crossing: Structural Consideration on the Use of Flexible Joints for Mitigating a Potential Failure", Prof. Anagnostopoulos Honorary Volume, 2015.
- Melissianos, V.E., Vamvatsikos, D. and Gantes, C.J., "Probabilistic Assessment of Innovative Mitigating Measures for Buried Steel Pipeline – Fault Crossing", ASME 2015 Pressure Vessels & Piping Conference, Boston Park Plaza, USA, July 19-23, 2015.
- Melissianos, V.E., Korakitis, G.P., Gantes, C.J. and Bouckovalas, G.D., "Numerical Evaluation of Buried Pipelines with Flexible Joints in Strike-Slip Fault Crossings" (in progress).
- Melissianos, V.E., Vamvatsikos, D. and Gantes, C.J., "Probabilistic Assessment of Flexible Joints in Mitigating the Consequences of Faulting on Buried Steel Pipelines" (in progress).

Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Εύκαμπτους Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζώντιας Ολισθησης  
B.E. Μετσίσιανός, Χ.Ι. Γαντές, Π. Αστερίου, Κ. Καλοχαυρέτης 24

## Σας ευχαριστώ



Αριθμητική Διερεύνηση Αγωγών με Είκοσιπέντε Κόμβους υπό Σεισμική Διάρρηξη Οριζόντιας Ολισθησης  
Β.Ε. Μελισσανός, Χ.Ι. Γαντζής, Π. Αστερίου, Κ. Κολοχαρέτης