

# **The impact of seismicity and geohazards of SE Europe on the safety and the cost of onshore and offshore energy projects**

Prodromos Psarropoulos<sup>1\*</sup>, Yiannis Tsompanakis<sup>2</sup>, Andreas Antoniou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Civil Engineer, PhD, Senior Teaching and Research Associate,  
National Technical University of Athens, Greece

<sup>2</sup>Civil Engineer, PhD, Associate Professor,  
Technical University of Crete, Greece

\*email: prod@central.ntua.gr

## **Abstract**

As energy is very important in our modern society, many energy projects have been constructed worldwide, while many others are expected to be constructed in the future. The term "energy projects" is used to describe all onshore and offshore structures and infrastructures related to the following industries: (a) electrical power, (b) coal, (c) nuclear power, (d) renewable energy (i.e. hydroelectric power, wind power, solar power), and (e) oil & gas (such as platforms, pipelines, refineries, etc.).

It is worthy to mention that South-Eastern Europe has recently attracted the attention of the oil & gas industry due to (a) the discovery of new gas fields at Eastern Mediterranean (e.g. Cyprus, Israel, Egypt), and (b) the need for transportation of hydrocarbons from Middle East, North Africa and Mediterranean to central and northern Europe.

Since society demands increasing availability and reliability of energy supply, together with improved environmental standards, the structural design of any onshore or offshore energy project (including its foundation) may be very demanding, depending on the circumstances. It is evident that in the case of long energy projects that traverse remote regions with extreme terrains and/or seabeds, such as a gas pipeline or a cable, the design may be more challenging due to the variety of geotechnical conditions and the potential geohazards along the routing. Nevertheless, in areas that are characterized by moderate or high seismicity the design of energy projects may be more complicated due to the various types of seismic loading. The seismic loading may be either dynamic due to the inertial forces developed on the mass of the structure(s) and/or quasi-static due to the permanent ground displacements caused by various earthquake-related geohazards, such as active-fault ruptures, slope instabilities, and soil liquefaction phenomena.

The current paper tries through case studies to shed some light on these interesting issues of geotechnical earthquake engineering from a structural and a geotechnical perspective. Emphasis is given on the risk assessment which may be reliable only after the realistic quantitative assessment of the geohazards and the estimation of the corresponding structural vulnerability.

## Ο ρόλος της σεισμικότητας και των γεωκινδύνων της ΝΑ Ευρώπης στην ασφάλεια και στο κόστος χερσαίων και υποθαλάσσιων ενεργειακών έργων

Πρόδρομος Ψαρρόπουλος<sup>1\*</sup>, Γιάννης Τσομπανάκης<sup>2</sup>, Ανδρέας Αντωνίου<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Ε.Δι.Π., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

<sup>2</sup>Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Αναπληρωτής Καθηγητής, Πολυτεχνείο Κρήτης

\*email: prod@central.ntua.gr

### Περίληψη

Καθώς η ενέργεια είναι πολύ σημαντική στη σύγχρονη κοινωνία μας, πολλά ενεργειακά έργα έχουν κατασκευαστεί παγκοσμίως, ενώ πολλά άλλα αναμένεται να κατασκευαστούν στο μέλλον. Ο όρος "ενεργειακά έργα" χρησιμοποιείται για την περιγραφή όλων των χερσαίων και υπεράκτιων δομών και υποδομών που σχετίζονται με τις ακόλουθες βιομηχανίες: (α) ηλεκτρική ενέργεια, (β) άνθρακας, (γ) πυρηνική ενέργεια, (δ) ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. υδροηλεκτρική ενέργεια, αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια) και (ε) πετρέλαιο και φυσικό αέριο (όπως πλατφόρμες, αγωγοί, διυλιστήρια κ.λπ.).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Νοτιοανατολική Ευρώπη προσέλκυσε πρόσφατα την προσοχή της βιομηχανίας πετρελαίου και φυσικού αερίου λόγω (α) της ανακάλυψης νέων πεδίων φυσικού αερίου στην Ανατολική Μεσόγειο (π.χ. Κύπρος, Ισραήλ, Αίγυπτος) και (β) της ανάγκης για τη μεταφορά υδρογονανθράκων από τη Μέση Ανατολή, τη Βόρεια Αφρική και τη Μεσόγειο προς την Κεντρική και τη Βόρεια Ευρώπη.

Δεδομένου ότι η κοινωνία μας απαιτεί αυξημένη διαθεσιμότητα και αξιοπιστία του ενεργειακού εφοδιασμού, καθώς και αυστηρές περιβαλλοντικές απαιτήσεις, ο σχεδιασμός κάθε ενεργειακού έργου στην ξηρά ή στη θάλασσα (συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης) μπορεί να είναι πολύ απαιτητικός ανάλογα με τις περιστάσεις. Είναι προφανές ότι στην περίπτωση μεγάλων ενεργειακών έργων που διασχίζουν απομακρυσμένες περιοχές με ανώμαλες εκτάσεις ή / και πυθμένες, όπως ένας αγωγός φυσικού αερίου ή ένα καλώδιο, ο σχεδιασμός μπορεί να είναι πιο σύνθετος λόγω της ποικιλίας των γεωτεχνικών συνθηκών και των πιθανών γεωκινδύνων κατά μήκος της διαδρομής. Εντούτοις, σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από μέτρια ή υψηλή σεισμικότητα, ο σχεδιασμός ενεργειακών έργων μπορεί να είναι πιο περίπλοκος λόγω των διαφόρων τύπων σεισμικής φόρτισης. Η σεισμική φόρτιση μπορεί να είναι είτε δυναμική λόγω των αδρανειακών δυνάμεων που αναπτύσσονται στη μάζα της κατασκευής (ή της υποδομής), είτε οιονεί στατική λόγω των μόνιμων μετατοπίσεων του εδάφους που προκαλούνται από διάφορους γεωκινδύνους που σχετίζονται με τον σεισμό, όπως διαρρήξεις ενεργών ρηγμάτων, τις αστάθειες πρανών και τα φαινόμενα ρευστοποίησης του εδάφους.

Η παρούσα εργασία προσπαθεί μέσω περιστατικών να ρίξει φως σε αυτά τα ενδιαφέροντα ζητήματα της γεωτεχνικής σεισμικής μηχανικής από δομοστατική και γεωτεχνική άποψη. Έμφαση δίνεται στην εκτίμηση της διακινδύνευσης και του κόστους, η οποία μπορεί να είναι αξιόπιστη μόνο μετά από ρεαλιστική ποσοτική εκτίμηση των γεωκινδύνων και εκτίμηση της αντίστοιχης δομοστατικής τρωτότητας.