

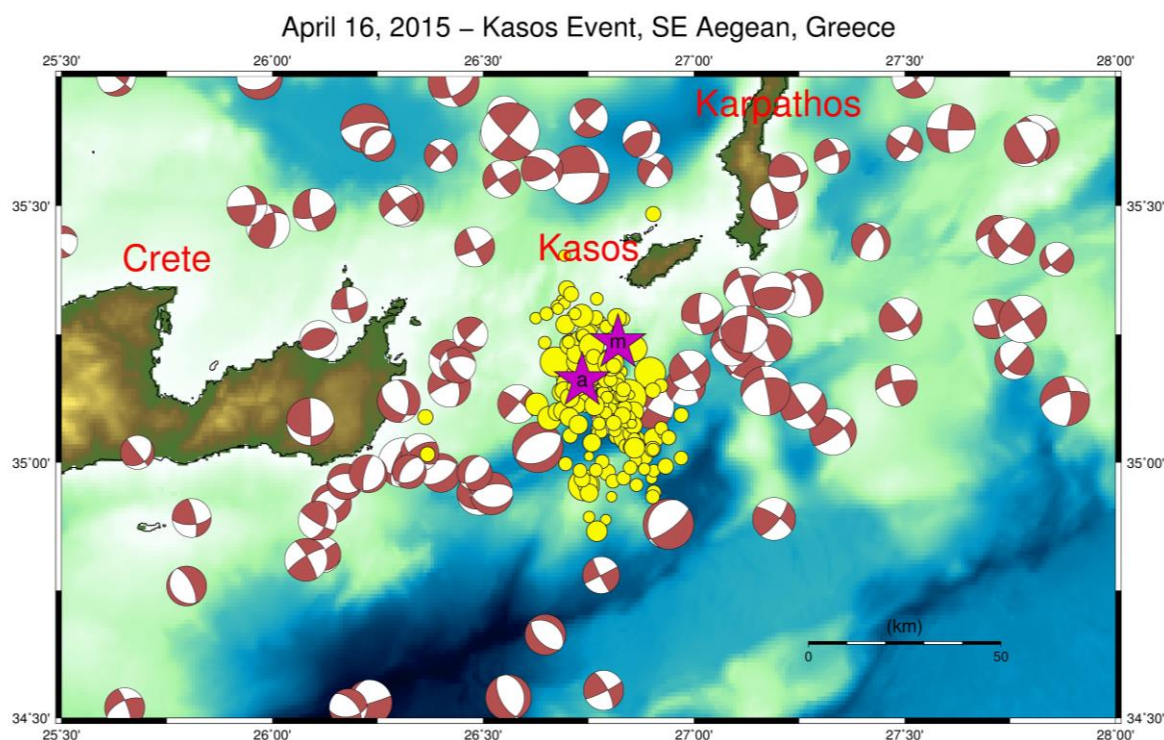
## ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΟ ΔΕΛΤΙΟ

### Σεισμός της 16<sup>ης</sup> Απριλίου 2015 στο θαλάσσιο χώρο ΝΔ της Κάσου

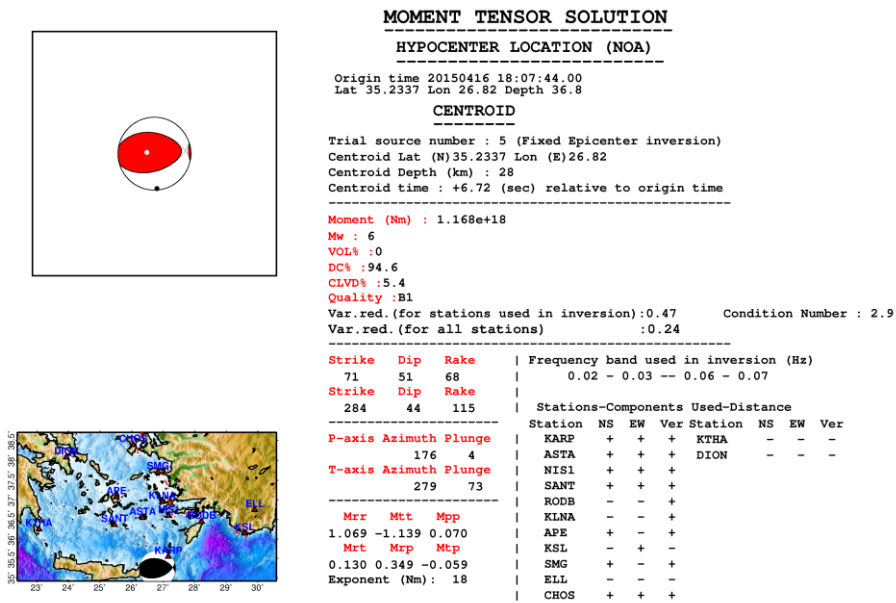
Ιωάννης Καλογεράς & Νικόλαος Μελής

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, Γεωδυναμικό Ινστιτούτο

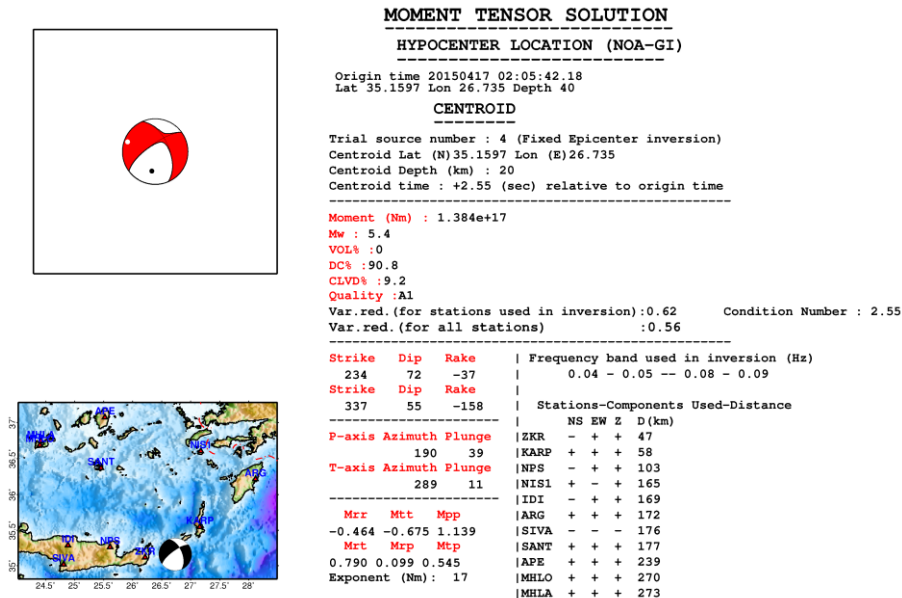
Στις 21:07 τοπική ώρα, της 16<sup>ης</sup> Απριλίου 2015, σημειώθηκε ισχυρή σεισμική δόνηση μεγέθους ML 6.1 (Mw 6.0), εστιακού βάθους 38km, στο θαλάσσιο χώρο 14km ΝΔ των ακτών της Κάσου (Εικόνα 1). Ο σεισμός έγινε αισθητός στην ευρύτερη περιοχή (Κρήτη, Δωδεκάνησα, Νότιες Κυκλάδες) χωρίς αναφορά ζημιών. Ο κύριος σεισμός ακολουθήθηκε από πλούσια μετασεισμική ακολουθία, η εξέλιξη της οποίας φαίνεται στην Εικόνα 1. Ο μεγαλύτερος μετασεισμός σημειώθηκε την 17<sup>η</sup> Απριλίου 2015, στις 05:05 τοπική ώρα, με μέγεθος ML 5.4 (Mw 5.4), εστιακό βάθος 40km, στο θαλάσσιο χώρο 25km ΝΔ της Κάσου.



**Εικόνα 1.** Χάρτης εξέλιξης της σεισμικής ακολουθίας της 16<sup>ης</sup> Απριλίου 2015 στην Κάσο όπως προσδιορίζεται από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο. Με μωβ άστρα σημειώνονται τα επίκεντρα του κύριου σεισμού (m) και του μεγαλύτερου μετασεισμού (a). Οι εστιακοί μηχανισμοί σεισμών της ευρύτερης περιοχής προέρχονται από τη βάση δεδομένων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου (2001 έως σήμερα).



(α)



(β)

**Εικόνα 2.** Η επίλυση των εστιακών μηχανισμών του κύριου σεισμού (α) και του μεγαλύτερου μετασεισμού (β) (πηγή Γεωδυναμικό Ινστιτούτο).

Το δίκτυο επιταχυνσιογράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου (<http://accelnet.gein.noa.gr>) κατέγραψε την ισχυρή σεισμική δόνηση. Τα δεδομένα των επιταχυνσιογράφων χρησιμοποιήθηκαν στην αυτόματη επίλυση του σεισμού, στην αναθεωρημένη επίλυση του σεισμού, στην επίλυση του εστιακού μηχανισμού και στον υπολογισμό των τιμών της μέγιστης εδαφικής δόνησης. Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι επιλύσεις των εστιακών μηχανισμών όπως προσδιορίστηκαν στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο.

Από τα εγκατεστημένα όργανα, που λειτουργούν μεταδίδοντας δεδομένα σε συνεχή καταγραφή, έγινε δυνατή η επεξεργασία καταγραφών ακόμα και των απομακρυσμένων

επιταχυνσιογράφων, αποδεικνύοντας ότι η αναβάθμιση του δικτύου με επιταχυνσιογράφους σύγχρονης τεχνολογίας που έγινε κατά τα τελευταία χρόνια δίνει τη δυνατότητα να εξαχθούν αναθεωρημένες αξιόπιστες σχέσεις απόσβεσης της ισχυρής σεισμικής δόνησης για τον Ελληνικό χώρο. Επιπλέον, η χρήση του δικτύου Δημόσιας Διοίκησης “Σύζευξις” στη μετάδοση των σεισμολογικών δεδομένων έχει βελτιώσει σημαντικά την αξιόπιστη λειτουργία των σεισμολογικών δικτύων και επομένως την ταχύτητα ενημέρωση Πολιτείας και κοινού.

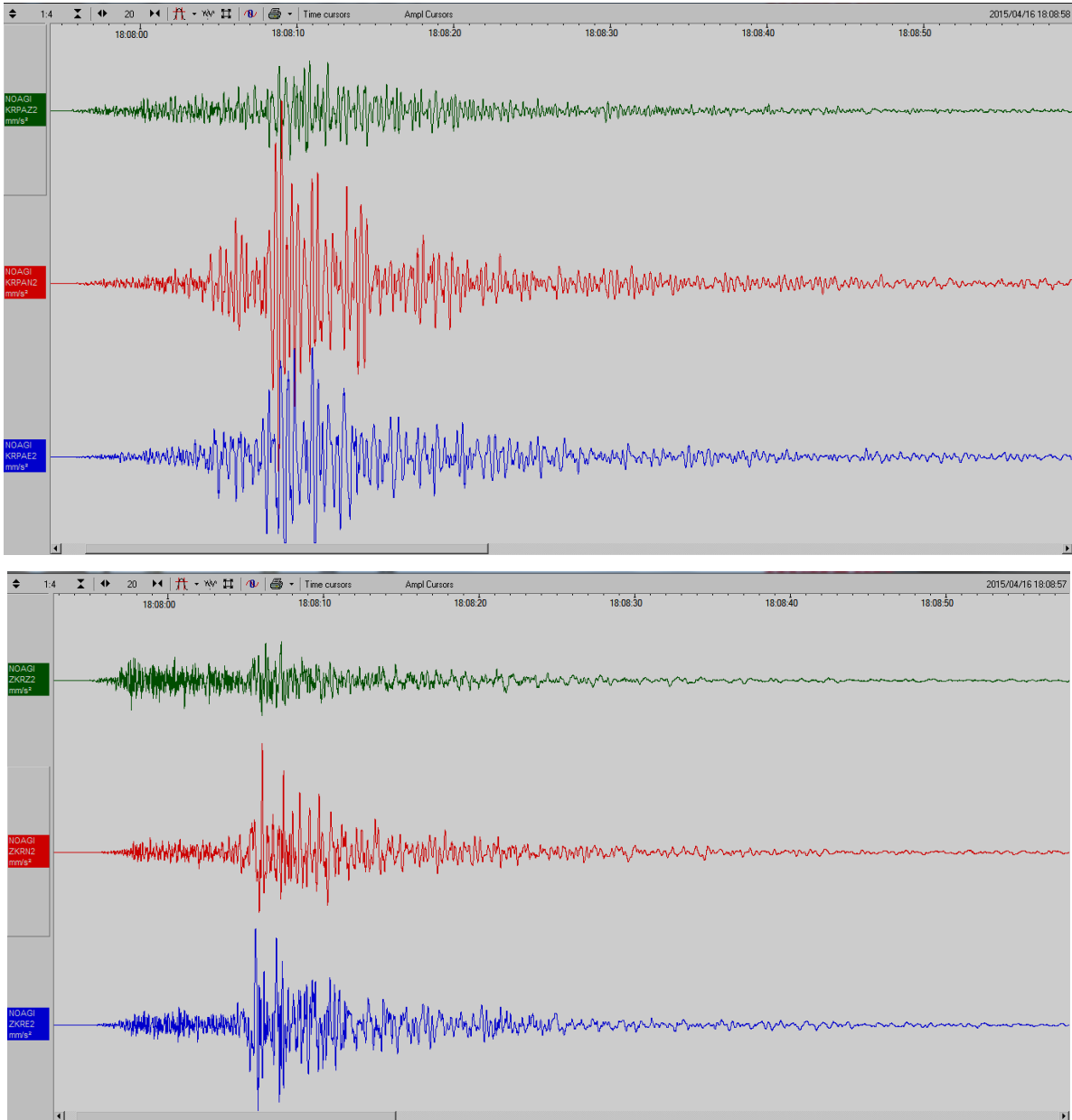
Η προκαταρκτική επεξεργασία περιέλαβε δεδομένα από επιταχυνσιογράφους που λειτουργούν σε απόσταση μέχρι περίπου 400km από το επίκεντρο και σε διαφορετικές εδαφικές συνθήκες. Ο Πίνακας 1 περιλαμβάνει τις τιμές PGA για κάθε καταγραφή. Ας σημειωθεί ότι καταγραφές επιταχυνσιογράφων υπάρχουν και από άλλες θέσεις, ωστόσο στην παρούσα ενημερωτική έκθεση περιλαμβάνονται ενδεικτικά οι συγκεκριμένες τιμές.

**Πίνακας 1.** Πληροφορίες για τους σταθμούς των επιταχυνσιογράφων και τις μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης που προέκυψαν από την προκαταρκτική ανάλυση των αντίστοιχων καταγραφών για τον κύριο σεισμό.

Κωδικός σταθμού	Θέση/κτήριο	Εδαφικές συνθήκες	Απόσταση km	PGA (cm/s <sup>2</sup> )		
				Z	X	Y
KRPA	Κάρπαθος, Δημαρχείο	Αλλούβια	47	25,60	83,25	98,54
ZKR	Ζάκρος, Κοινοτικό κτήριο	Βράχος	56	20,00	49,75	55,95
AGNA	Άγ. Νικόλαος, Ο.Τ.Ε.	Βράχος	100	5,90	11,84	19,27
IERA	Ιεράπετρα, Ο.Τ.Ε.	Αλλούβια	101	11,26	15,96	17,67
ASTA	Αστυπάλαια, Δημαρχείο	Αλλούβια	152	0,74	1,60	1,27
THRA	Σαντορίνη, Δημαρχείο	Αλλούβια	181	4,65	5,54	6,10
SIVA	Σίβας, ελεύθερο πεδίο	Βράχος	184	3,13	4,67	3,93
RODB	Ρόδος, Ξενοδοχείο Θέρμαι	Αλλούβια	185	1,33	2,00	2,62
KLNA	Κάλυμνος, Νοσοκομείο	Αλλούβια	192	1,79	1,66	1,07
RTHF	Ρέθυμνο, Δημοτικό κτήριο	Αλλούβια	213	2,00	2,96	3,47
CHNB	Σούδα, Δημαρχείο	Αλλούβια	251	1,66	5,02	4,17
GVD	Γάβδος, ελεύθερο πεδίο	Μαλακός βράχος	253	0,54	1,09	1,12
IKRA	Ικαρία, Δημαρχείο	Αλλούβια	268	0,40	0,64	0,64
KSL	Καστελόριζο, ελεύθερο πεδίο	Βράχος	270	0,17	0,25	0,22
TNSA	Τήνος, Δημαρχείο	Αλλούβια	296	0,21	0,27	0,36
ANKY	Αντικύθηρα, ελεύθερο πεδίο	Μαλακός βράχος	326	0,31	0,53	0,43
LVRA	Λαύριο, Δημαρχείο	Αλλούβια	370	0,10	0,14	0,20
KARA	Κάρυστος, Δημαρχείο	Αλλούβια	376	0,09	0,14	0,14
MNVA	Μονεμβασία, Δημαρχείο	Αλλούβια	377	0,23	0,22	0,23
YDRA	Ύδρα, Δημαρχείο	Αλλούβια	381	0,22	0,28	0,18
PSRA	Ψαρά, Δημαρχείο	Αλλούβια	384	0,22	0,30	0,46
ATHA	Νέο Ψυχικό, Ιδιωτική οικία	Μαλακός βράχος	410	0,23	0,13	0,15
NOAC	Θησείο, Σεισμολογ. Σταθμός	Βράχος	411	0,12	0,13	0,11
DRPA	Δραπετσώνα, Δημαρχείο	Αλλούβια	415	0,12	0,16	0,18
ACHA	Αχαρνές, Δημαρχείο	Αλλούβια	418	0,20	0,26	0,29
ELFA	Ελευσίνα, Δημαρχείο	Αλλούβια	428	0,15	0,20	0,16

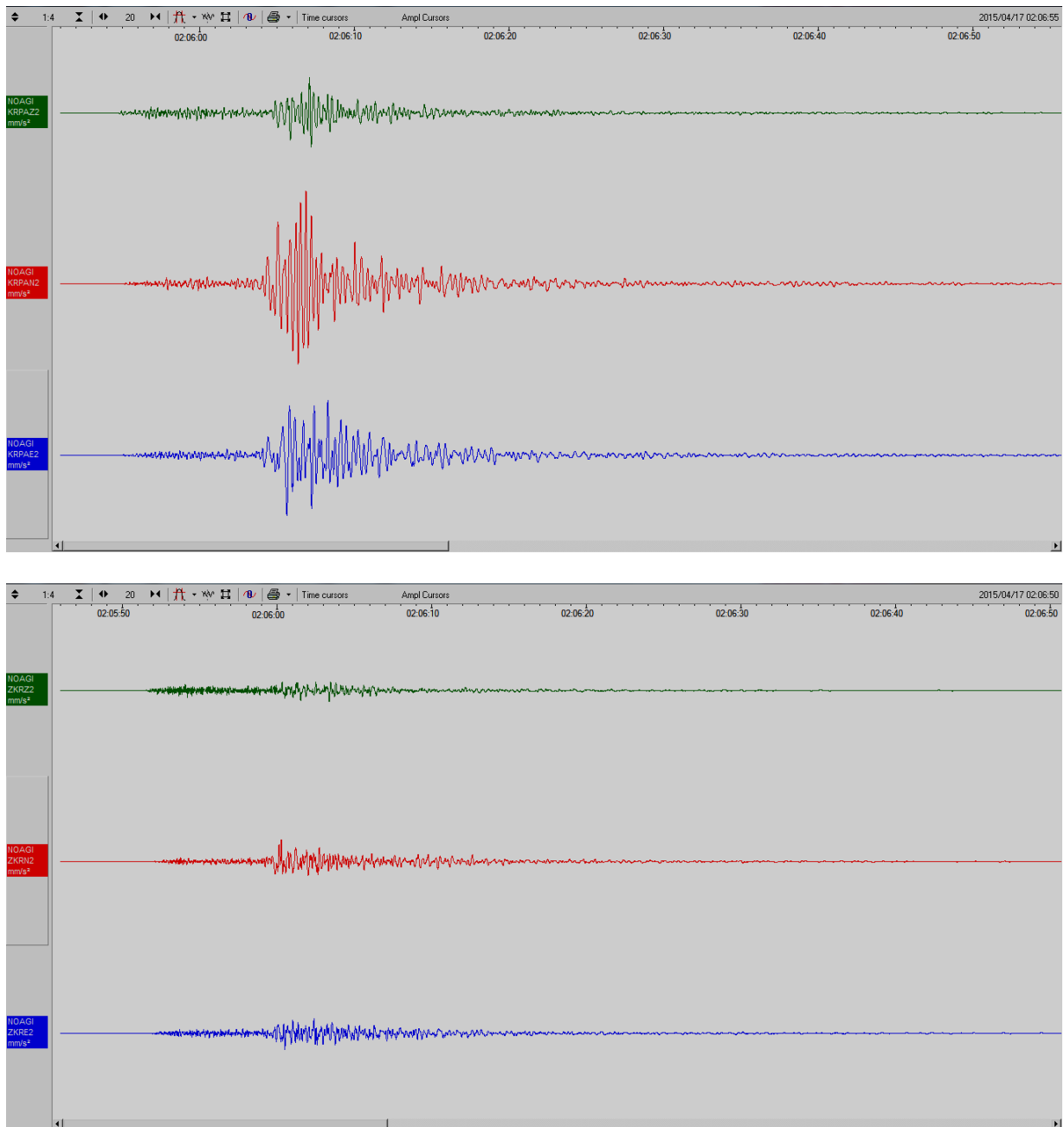
Οι μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης (PGA, cm/s<sup>2</sup>) που προέκυψαν κυμαίνονται από 98cm/s<sup>2</sup> στην πόλη της Καρπάθου (απόσταση περίπου 45km) και 56cm/s<sup>2</sup> στην Ζάκρο Λασιθίου (απόσταση περίπου 55km) μέχρι 0,1 – 0,2 cm/s<sup>2</sup> σε θέσεις της Αττικής (απόσταση περίπου 410-420 km).

Στην Εικόνα 3 παρουσιάζονται συγκριτικά οι καταγραφές των επιταχυνσιογράφων που έχουν τις μικρότερες επικεντρικές αποστάσεις εκατέρωθεν του επικέντρου του κύριου σεισμού (Κάρπαθος και Ζάκρος Λασιθίου).



**Εικόνα 3.** Καταγραφές των επιταχυνσιογράφων σε Κάρπαθο (πάνω) και Ζάκρο (κάτω) με όμοιες κλίμακες κατά πλάτος και χρόνο. Από πάνω προς τα κάτω οι 3 συνιστώσες (Z – πράσινο, Y – κόκκινο, X – μπλε). Στην Κάρπαθο ο επιταχυνσιογράφος είναι εγκατεστημένος στο Δημαρχείο, δώροφο κτήριο από Ω/Σ θεμελιωμένο σε αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ στη Ζάκρο σε ανακαινισμένο μονόροφο κτήριο από Ω/Σ θεμελιωμένο σε ασβεστόλιθο.

Ο Πίνακας 2 περιλαμβάνει τις τιμές μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για το μεγαλύτερο μετασεισμό από επιταχυνσιογράφους σε επικεντρική απόσταση μέχρι περίπου 200km και η Εικόνα 4 τις αντίστοιχες καταγραφές από την Κάρπαθο και τη Ζάκρο.

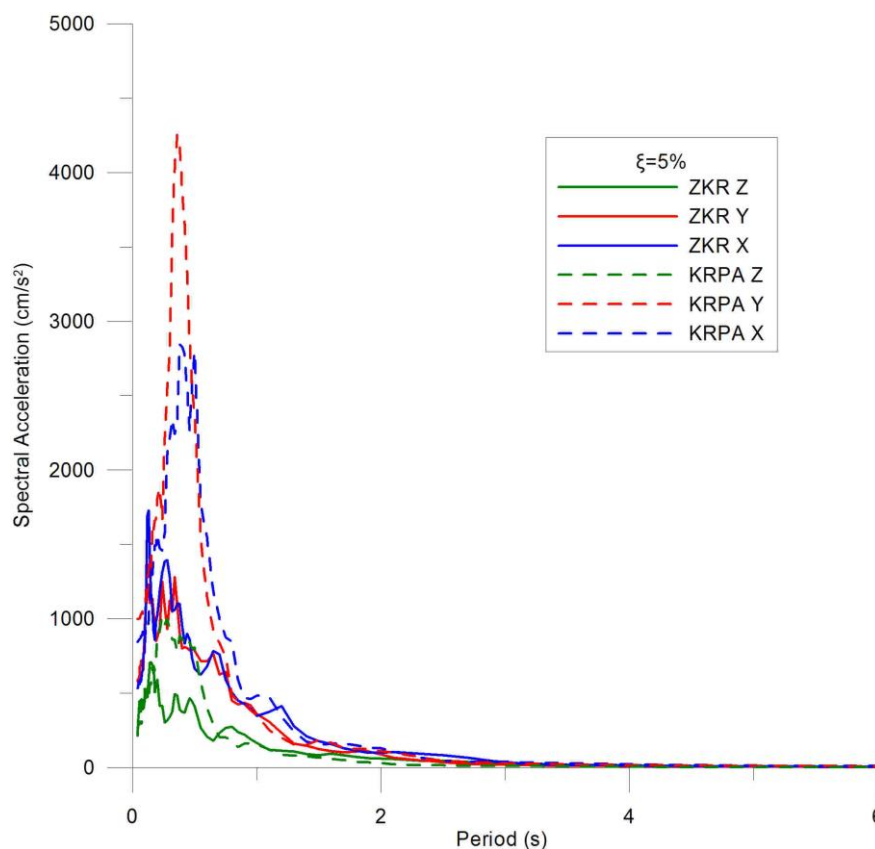


**Εικόνα 4.** Καταγραφές του μεγαλύτερου μετασεισμού των επιταχυνσιογράφων σε Κάρπαθο (πάνω) και Ζάκρο (κάτω) με όμοιες κλίμακες κατά πλάτος και χρόνο, όπως και στην Εικόνα 3. Από πάνω προς τα κάτω οι 3 συνιστώσες (Z – πράσινο, Y – κόκκινο, X – μπλε). Αν και η επίλυση του σεισμού εμφανίζει ότι η Ζάκρος είναι σε μικρότερη επικεντρική απόσταση από την Κάρπαθο, οι μέγιστες τιμές επιτάχυνσης παρατηρούνται και πάλι στον επιταχυνσιογράφο της Κάρπαθου.

**Πίνακας 2.** Πληροφορίες για τους σταθμούς των επιταχυνσιογράφων και τις μέγιστες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης που προέκυψαν από την προκαταρκτική ανάλυση των αντίστοιχων καταγραφών για το μεγαλύτερο μετασεισμό.

Κωδικός σταθμού	Θέση/κτήριο	Εδαφικές συνθήκες	Απόσταση km	PGA (cm/s <sup>2</sup> )		
				Z	X	Y
ZKR	Ζάκρος, Κοινοτικό κτήριο	Βράχος	47	5,52	8,21	11,25
KRPA	Κάρπαθος, Δημαρχείο	Αλλούβια	58	18,41	31,36	48,06
AGNA	Άγ. Νικόλαος, Ο.Τ.Ε.	Βράχος	92	1,12	2,50	3,12
ASTA	Αστυπάλαια, Δημαρχείο	Αλλούβια	158	1,12	0,48	0,34
SIVA	Σίβας, ελεύθερο πεδίο	Βράχος	176	0,41	0,66	0,64
THRA	Σαντορίνη, Δημαρχείο	Αλλούβια	182	0,99	1,86	1,65
RODB	Ρόδος, Ξενοδοχείο Θέρμαι	Αλλούβια	196	0,42	0,82	1,08
KLNA	Κάλυμνος, Νοσοκομείο	Αλλούβια	201	0,30	0,37	0,28

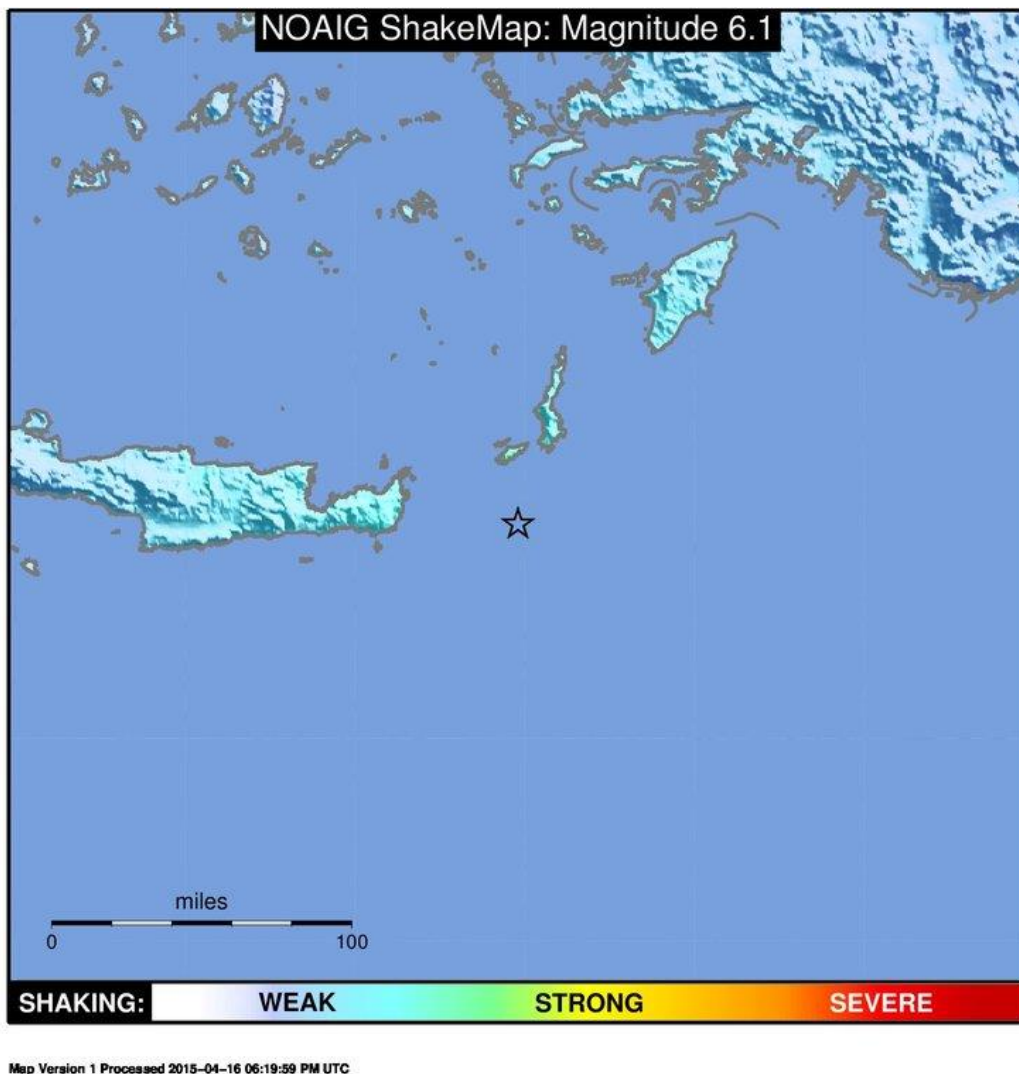
Στην Εικόνα 5, παρουσιάζονται οι φασματικές τιμές επιτάχυνσης για τον κύριο σεισμό της 16<sup>ης</sup> Απριλίου, για τις θέσεις της Καρπάθου και της Ζάκρου, όπου είναι εμφανείς όχι μόνο οι μεγαλύτερες τιμές για την πρώτη θέση, αλλά και η εμφάνιση αυτών των τιμών σε μεγαλύτερες περιόδους (0.5s στην Κάρπαθο έναντι 0.15s στο Ζάκρο).



**Εικόνα 5.** Τα φάσματα απόκρισης για τον κύριο σεισμό και για τους σταθμούς KRPA (διακεκομμένη γραμμή) και ZKR (συνεχής γραμμή) για συντελεστή απόσβεσης  $\xi=5\%$ .



Στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο έχει ξεκινήσει η πιλοτική εφαρμογή του εργαλείου ShakeMap® (Wald et al., 1999a, 1999b), το οποίο βασιζόμενο στις μεταδιδόμενες σε πραγματικό χρόνο καταγραφές σειсмоγραφικών οργάνων, δημιουργεί εκτός των άλλων προϊόντων και ένα χάρτη εδαφικής δόνησης, ο οποίος δυνητικά μπορεί να αποτελεί χάρτη των εκτιμώμενων επιπτώσεων ενός ισχυρού σεισμού. Η Εικόνα 6 είναι ο χάρτης αισθητότητας που προέκυψε από τα διαθέσιμα δεδομένα στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο για το σεισμό της 16<sup>ης</sup> Απριλίου 2015, από τον οποίο προκύπτει ο χαμηλός βαθμός αισθητότητάς του στις περιοχές γύρω από το επίκεντρο.



**Εικόνα 6.** Ο χάρτης αισθητότητας που προέκυψε από τα διαθέσιμα δεδομένα στο Γεωδυναμικό Ινστιτούτο για το σεισμό της 16<sup>ης</sup> Απριλίου 2015, από τον οποίο προκύπτει ο χαμηλός βαθμός αισθητότητας του συγκεκριμένου σεισμού στις περιοχές γύρω από το επίκεντρο.

Αντίστοιχη εφαρμογή υλοποιείται και στον Οργανισμό Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας (ΟΑΣΠ, <http://shakemaps.ingeoclouds.eu/auth2015h1cm/intensity.html>, πρόσβαση 21/4/2015). Η Εικόνα 7 είναι ένας χάρτης, όπου παρουσιάζεται η θέση του epicέντρου του κύριου σεισμού (μώβ αστέρι) και οι θέσεις των σταθμών παρατήρησης. Με πράσινα και μπλε τρίγωνα σημειώνονται οι θέσεις των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην αυτόματη επεξεργασία του λογισμικού ShakeMap από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και από

τον ΟΑΣΠ αντίστοιχα και με κόκκινους κύκλους οι θέσεις των επιταχυνσιογράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου του Πίνακα 1. Τα δεδομένα αυτά παρουσιάζονται συγκεντρωτικά στο γράφημα της Εικόνας 8 σε συνδυασμό με τη σχέση απόσβεσης (Skarlatoudis et al., 2003) για επιφανειακούς σεισμούς με εστιακό μηχανισμό thrust και για μέγεθος Mw 6.0. Με βαθύ κόκκινο χρώμα παρουσιάζεται η καμπύλη που αντιστοιχεί σε εδάφη (Soil) ενώ με αχνό κόκκινο χρώμα η  $\pm\sigma$  τυπική απόκλιση (+S, -S), ενώ με πράσινο χρώμα η καμπύλη που αντιστοιχεί σε βράχο (Rock) και με ανοιχτό πράσινο χρώμα η  $\pm\sigma$  τυπική απόκλιση (+R, -R), αντίστοιχα. Οι μπλε ρόμβοι αντιστοιχούν στις αυτόματα υπολογισμένες τιμές μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης (σε %g) από τα διαθέσιμα δεδομένα του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου και του ΟΑΣΠ, ενώ οι πορτοκαλί κύκλοι αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης που υπολογίστηκαν από την επεξεργασία των καταγραφών των επιταχυνσιογράφων που αναφέρονται στον Πίνακα 1. Από τη συγκριτική παρουσίαση των δεδομένων προκύπτουν τα εξής:

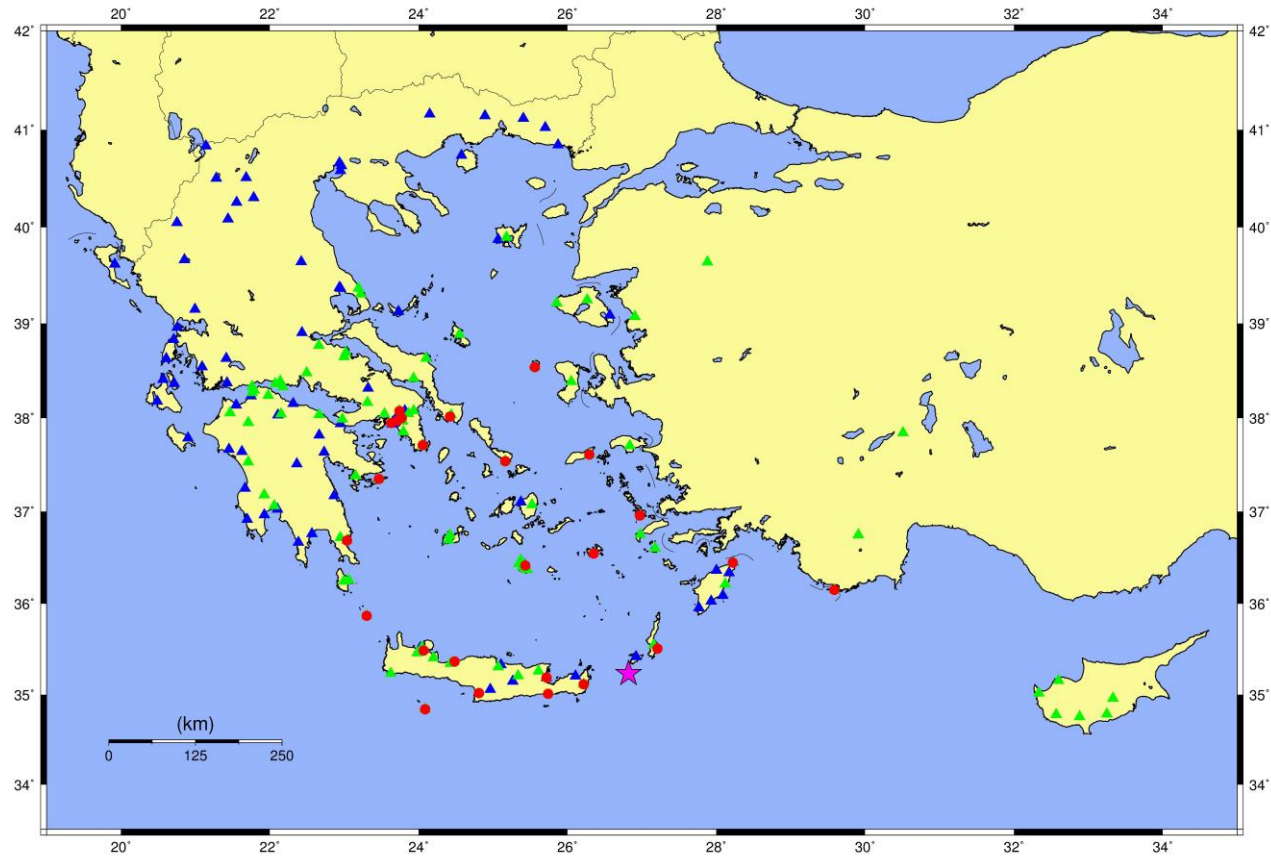
- Η συμφωνία της αυτόματα υπολογισμένης τιμής και της τιμής που προκύπτει από την επεξεργασία των καταγραφών για το σταθμό της Καρπάθου. Συγχρόνως και η ασυμφωνία των τιμών αυτών με τις καμπύλες απόσβεσης της εδαφικής επιτάχυνσης.
- Η ασυμφωνία της αυτόματα υπολογισμένης τιμής και της τιμής που προκύπτει από την επεξεργασία των καταγραφών για το σταθμό της Ζάκρου και συγχρόνως η ασυμφωνία των τιμών αυτών με τις καμπύλες απόσβεσης της εδαφικής επιτάχυνσης.
- Η γενική συμφωνία των τιμών μέγιστης εδαφικής επιτάχυνσης για επικεντρικές αποστάσεις μεγαλύτερες από 100km και μέχρι 200km.
- Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η σχέση απόσβεσης που βασίστηκε σε ένα συγκεκριμένο δείγμα Ελληνικών επιφανειακών σεισμών, παρέχει μια εικόνα της απομείωσης της ισχυρής σεισμικής δόνησης για επικεντρικές αποστάσεις μέχρι 200 km περίπου, ως αποτέλεσμα των μέχρι το έτος 2000 τεχνικών προδιαγραφών των επιταχυνσιογράφων. Με τους επιταχυνσιογράφους σύγχρονης τεχνολογίας οι σχέσεις απόσβεσης μπορούν να αναθεωρηθούν για επικεντρικές αποστάσεις μικρότερες (πραγματικά near-field γεγονότα), αλλά και μεγαλύτερες (όπως στην παρούσα περίπτωση). Από την εικόνα 8 γίνεται φανερό ότι απαιτείται η αναθεώρηση των σχέσεων απόσβεσης στα πλαίσια λειτουργίας του αναβαθμισμένου Εθνικού Δικτύου Επιταχυνσιογράφων.

### **Αναφορές**

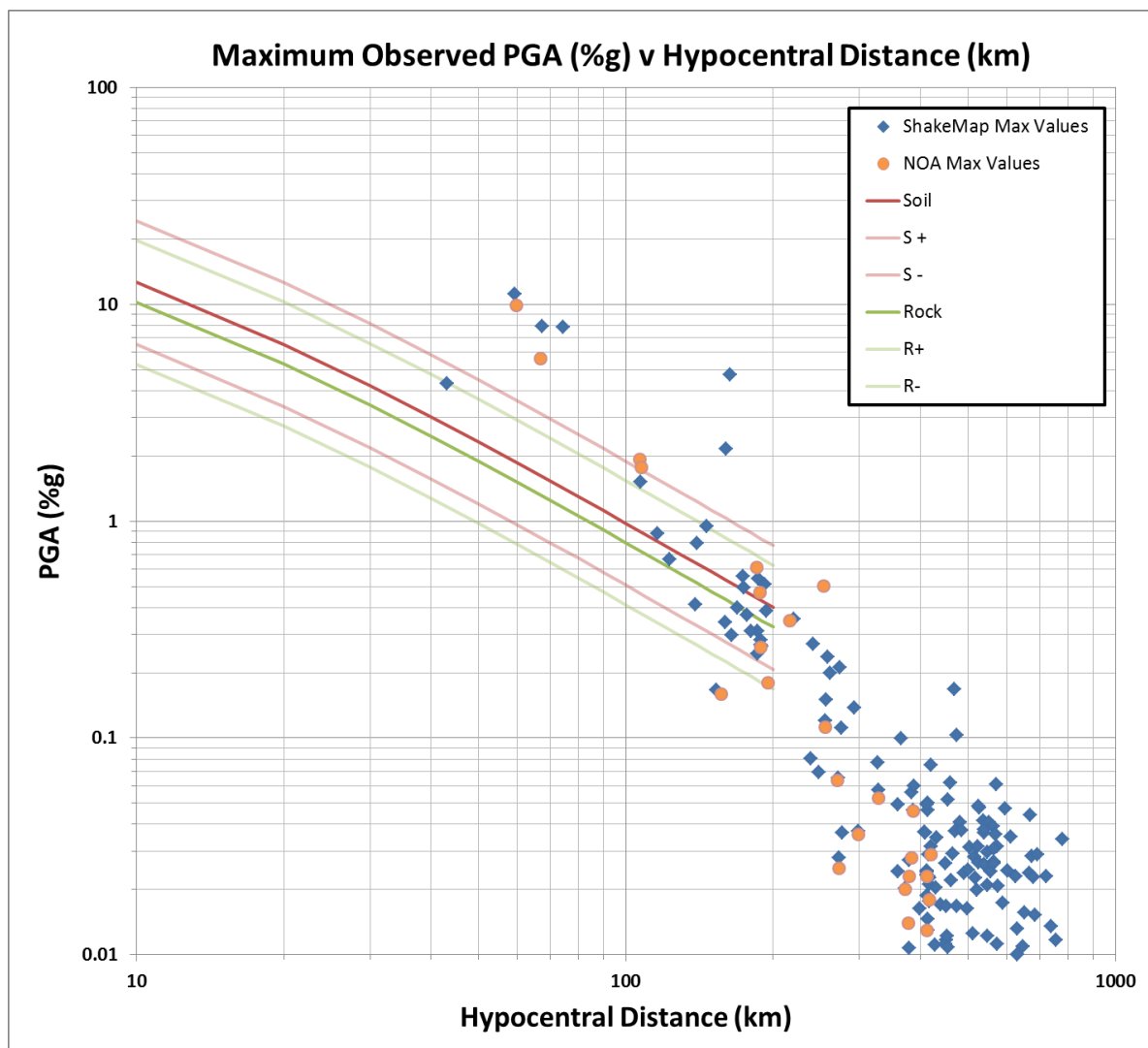
- ΟΑΣΠ-ΙΤΣΑΚ Εφαρμογή Shake Map Ιστοσελίδα: <http://shakemaps.ingeoclouds.eu/auth2015hlcm/intensity.html>
- Skarlatoudis A.A., Papazachos C.B., Margaris B.N., Theodulidis N., Papaioannou Ch., Kalogeras I., Scordilis M.E. & Karakostas V. 2003, Empirical Peak Ground-Motion Predictive Relations for Shallow earthquakes in Greece. Bull. Seism. Soc. Am. 93(6): 2591-2603.
- Wald, David, J., Vincent Quitoriano, Thomas H. Heaton, Hiroo Kanamori, 1999(a), Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra, 15, 557-564.
- Wald, David J., Vincent Quitoriano, Tom H. Heaton, Hiroo Kanamori, Craig W. Scrivner, and C. Bruce Worden, 1999(b), TriNet "ShakeMaps": Rapid Generation of Instrumental Ground Motion and Intensity Maps for Earthquakes in Southern California. Earthquake Spectra, 15, 537-556.



April 16, 2015 – Kasos Event, SE Aegean, Greece



**Εικόνα 7.** Χάρτης όπου παρουσιάζεται η θέση του επικέντρου του κύριου σεισμού (μώβ αστέρι) και οι θέσεις των σταθμών παρατήρησης. Με πράσινα και μπλε τρίγωνα σημειώνονται οι θέσεις των σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν στην αυτόματη επεξεργασία του λογισμικού ShakeMap από το Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και από τον ΟΑΣΠ αντίστοιχα και με κόκκινους κύκλους οι θέσεις των επιταχυνσιογράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου που αναφέρονται στον Πίνακα 1.



**Εικόνα 8.** Γράφημα για τη σύγκριση της σχέσης απόσβεσης των Skarlatoudis et al. (2003) για τον Ελληνικό χώρο, για επιφανειακούς σεισμούς (εστιακού μηχανισμού thrust) και μέγεθος  $M_w$  6.0 και των τιμών των μέγιστων οριζόντιων εδαφικών επιταχύνσεων που υπολογίστηκαν είτε με αυτόματο τρόπο (Γεωδυναμικό Ινστιτούτο και ΟΑΣΠ), είτε με επεξεργασία των καταγραφών των επιταχυνσιογράφων του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου, για τον κύριο σεισμό της Κάσου (για λεπτομέρειες βλ. κείμενο).