

**ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΗΣ ΔΟΜΙΚΗΣ ΒΛΑΒΗΣ
ΜΕ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ
ΜΕ ΒΑΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ
ΕΛΛΗΝΙΚΟΥΣ ΣΕΙΣΜΟΥΣ**

Εξαμηνιαία Έκθεση προόδου

ΟΕ ΤΕΕ /ΤΚΜ

Κάππος Ανδρέας	ΠΜ, Καθηγητής Α.Π.Θ.
Λεκίδης Βασίλειος	ΠΜ, Κύριος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ
Σαλονικιός Θωμάς	ΠΜ, Δόκιμος Ερευνητής ΙΤΣΑΚ
Αντωνιάδης Κωνσταντίνος	ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορας Α.Π.Θ.
Παρασκευόπουλος Ηλίας	ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορας Α.Π.Θ.

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2003

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια σημαντική παράμετρος στις μελέτες σεισμικής τρωτότητας είναι η συσχέτιση της δομικής βλάβης και της οικονομικής απώλειας (δαπάνης επισκευής). Η γνώση της σχέσης αυτής επιτρέπει την εκτίμηση της αναμενόμενης απώλειας με βάση πραγματικά στοιχεία βλαβών και επισκευών από προηγούμενους ελληνικούς σεισμούς, και μπορεί να συμβάλει σημαντικά στον καλύτερο προγραμματισμό των αναγκαίων ενεργειών και στη λήψη μέτρων από την Πολιτεία, με στόχο πάντα τη μείωση των αναμενόμενων απωλειών, αλλά και την αποτελεσματικότερη και πιο τεκμηριωμένη παρέμβαση στο επίκαιρο πρόβλημα της σεισμικής ασφάλισης. Μέσω της συσχέτισης των παραπάνω δύο παραμέτρων είναι δυνατή η θέσπιση συνοπτικής διαδικασίας έτσι ώστε να είναι δυνατή μια ταχεία και τυποποιημένη, αναπόφευκτα προσεγγιστική, αλλά ορθολογιστική και με κοινά βασικά κριτήρια προεκτίμηση του κόστους αποκατάστασης σεισμοπλήκτων κτιρίων (κυρίως των ασφαλισμένων) ως ποσοστό του κόστους ανακατασκευής τους. Βασικός στόχος αυτής της διαδικασίας είναι να προκύπτει από την προεκτίμηση ένα ποσό αποζημίωσης που να είναι ορθολογικό και αποδεκτό από τους ιδιοκτήτες του ασφαλισμένου κτιρίου, χωρίς βεβαίως να είναι υψηλότερο από το πραγματικό κόστος των απαιτούμενων επεμβάσεων.

Εξάλλου, στο σχέδιο Ξενοκράτης και στο κεφάλαιο της ετοιμασίας των υλικών και εξοπλισμού, μπορεί να γίνει συσχέτιση των αναμενόμενων απωλειών και της ποσότητας και κατανομής του εξοπλισμού για επιτυχέστερη αντιμετώπιση των καταστροφών. Αλλά και στις μετασεισμικές επεμβάσεις είναι απαραίτητο να είναι γνωστή η σχέση μεταξύ δομικής και οικονομικής απώλειας προκειμένου να καταστεί δυνατή μια ρεαλιστική εκτίμηση της χρηματοδότησης για αποκατάσταση των βλαβέντων κτιρίων.

Κύριο αντικείμενο της παρούσας ομάδας εργασίας (ΟΕ) που συστάθηκε από το ΤΕΕ Τμ. Κεν. Μακεδονίας με μέλη τους

Κάππο Ανδρέα	ΠΜ, Καθηγητή Α.Π.Θ.
Λεκίδη Βασίλειο	ΠΜ, Κύριο Ερευνητή ΙΤΣΑΚ
Σαλονικιό Θωμά	ΠΜ, Δόκιμο Ερευνητή ΙΤΣΑΚ
Αντωνιάδη Κωνσταντίνο	ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορα Α.Π.Θ.
Παρασκευόπουλο Ηλία	ΠΜ, Υποψ. Διδάκτορα Α.Π.Θ.

είναι η συλλογή στοιχείων βλαβών και επισκευών από πρόσφατους ελληνικούς σεισμούς, με έμφαση στη συσχέτιση του βαθμού βλάβης στα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία των κτιρίων με το αντίστοιχο κόστος επισκευής.

Στην Ελλάδα έχει εισαχθεί πρόσφατα (με την τροποποίηση της ΥΑ5172/ΑΖ5β/18.10.99) ένα ορθολογικό και σχετικά λεπτομερές σύστημα αξιολόγησης και χαρακτηρισμού των σεισμικών βλαβών, το οποίο εφαρμόζεται πλέον κατά το δευτεροβάθμιο έλεγχο. Η ΟΕ είχε στόχο να συλλέξει από τους φακέλους επισκευών ενός κατάλληλου αριθμού κτιρίων που πλήγηκαν από σεισμό αφενός μεν το χαρακτηρισμό των βλαβών από τη δευτεροβάθμια επιτροπή και αφετέρου το ύψος του προϋπολογισμού της επισκευής. Με κατάλληλη επεξεργασία των στοιχείων αυτών μπορεί να προκύψει ένα απλό μοντέλο συσχέτισης δομικής βλάβης και αντίστοιχης οικονομικής απώλειας (δαπάνης επισκευής). Κρίσιμη εν προκειμένω είναι η ανάπτυξη μιας μεθόδου (μοντέλου) βάσει ενός σχετικά απλού τρόπου αξιολόγησης

και περιγραφής της δομικής βλάβης (π.χ. εξετάζοντας μόνο τα στοιχεία του κρισιμότερου ορόφου ή και τις εξωτερικές όψεις του κτιρίου).

Δεδομένου ότι τα διαθέσιμα οικονομικά στοιχεία από ελληνικούς σεισμούς δεν είναι ιδιαίτερα πολλά (αναφερόμαστε σε στοιχεία επαρκή για τους προαναφερθέντες σκοπούς), ήταν ιδιαίτερα σημαντικό να αξιοποιηθούν και τα στοιχεία που προέκυψαν από τον παλαιότερο σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978), τα οποία μέχρι σήμερα είναι και τα μόνα τόσο λεπτομερή (προέκυψαν από παλιότερο ερευνητικό πρόγραμμα που είχε εκπονηθεί από το ΑΠΘ σε συνεργασία με την ΥΑΣΒΕ). Τα στοιχεία αυτά συνδυάζουν το κόστος επισκευής με έναν απλούστερο χαρακτηρισμό της βλάβης (πράσινο-κίτρινο-κόκκινο), ο οποίος έχει χρησιμοποιηθεί στους περισσότερους ελληνικούς σεισμούς. Θα γίνει επομένως προσπάθεια συσχέτισης της μεθόδου της προηγούμενης φάσης (που θα βασίζεται στο λεπτομερέστερο χαρακτηρισμό του βαθμού βλάβης) με εκείνη που βασίζεται στο απλούστερο σύστημα πράσινο-κίτρινο-κόκκινο.

Η συνολική διάρκεια δουλειάς της ΟΕ ήταν 12 μήνες, διαρθρωμένη χρονικά σε δύο φάσεις, ως εξής:

1ο εξάμηνο:

- Βιβλιογραφική τεκμηρίωση
- Συλλογή στοιχείων από πρόσφατους ελληνικούς σεισμούς
- Ανάπτυξη μοντέλου με βάση το δευτεροβάθμιο χαρακτηρισμό του βαθμού βλάβης
- Υποβολή εξαμηνιαίας έκθεσης προόδου

2ο εξάμηνο:

- Συλλογή και επανεπεξεργασία στοιχείων από το σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978)
- Συγκριτική μελέτη της λεπτομερέστερης και της απλούστερης μεθόδου συσχέτισης βαθμού βλάβης με κόστος επισκευής
- Σύνταξη τελικής έκθεσης.

Ειδικότερα, το κύριο αντικείμενο της πρώτης φάσης δουλειάς της ΟΕ αυτής ήταν η συλλογή στοιχείων βλαβών και επισκευών για κτίρια που επλήγησαν από το σεισμό της Πάρνηθας (7-9-1999), με έμφαση στη συσχέτιση του βαθμού βλάβης στα φέροντα και μη φέροντα στοιχεία των κτιρίων με το αντίστοιχο κόστος επισκευής. Τα παραπάνω στοιχεία συλλέχθηκαν από τα ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών (Μενιδίου).

Για τον υπολογισμό της δομικής βλάβης τα μέλη της ΟΕ βασίστηκαν στη μεθοδολογία υπολογισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας στοιχείου και στάθμης (ορόφου) που προτείνεται στην Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99. Οι οικονομικές απώλειες για κάθε κτίριο προέκυψαν από τον συνολικό προϋπολογισμό των επισκευών και ενισχύσεων που υπολογίστηκαν από τον υπεύθυνο μηχανικό και συνοδεύει τον αντίστοιχο φάκελο κάθε κτιρίου που είχε βλάβες.

2. ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΚΤΙΡΙΟΥ (ΥΑ 5172/ΑΖ5β/18.10.99)

Ο υπολογισμός της απομένουσας φέρουσας ικανότητας κτιρίου γίνεται με βάση την Υπουργική Απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99. Σύμφωνα με αυτή καθορίζονται οι διαδικασίες αποτίμησης των κτιρίων με βλάβες προκειμένου να προκύψουν οι απαιτούμενες επεμβάσεις για την αποκατάστασή τους. Ειδικότερα καθορίζονται κριτήρια κατάταξης των κτιρίων με βάση την επιρροή των βλαβών στη γενική ευστάθεια του κτιρίου. Στην περίπτωση που οι βλάβες περιορίζονται στις πλάκες και τις δοκούς (ελαφρές ή σοβαρές βλάβες), στο 30% των κατακόρυφων στοιχείων (ελαφρές βλάβες) και στους τοίχους πλήρωσης (ελαφρές ή βαριές), θεωρείται ότι δεν επηρεάζεται η γενική ευστάθεια του κτιρίου. Σε οποιαδήποτε άλλη δυσμενέστερη περίπτωση βλαβών θεωρείται ότι επηρεάζεται η γενική ευστάθεια του κτιρίου. Πρέπει να ερευνείται κατά πόσο οι βλάβες υποδηλώνουν:

- ότι υπάρχει πρόβλημα στη σύνθεση και σχεδιασμό του φορέα.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα του εδάφους θεμελίωσης.
- ότι υπάρχει κάποιο σφάλμα στον υπολογισμό του φορέα (αρχική μελέτη).
- ότι υπάρχει κάποιο σοβαρό πρόβλημα λόγω μη τήρησης της αρχικής μελέτης.
- ότι υπάρχει κάποιο πρόβλημα με την αντοχή του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση που η κατάταξη του κτιρίου δεν είναι δυνατή από την παρατήρηση των βλαβών, εκτιμάται η απομένουσα φέρουσα ικανότητα και η αντίστοιχη απώλεια στην κρίσιμη στάθμη. Θεωρείται ότι έχει επηρεασθεί η γενική ευστάθεια του κτιρίου όταν η απώλεια φέρουσας ικανότητας του κτιρίου, στην κρίσιμη στάθμη, είναι μεγαλύτερη ή ίση του 10% για κτίρια μικρής ηλικίας και του 15% για κτίρια μεγάλης ηλικίας. Μικρής ηλικίας είναι τα κτίρια της τελευταίας 25ετίας και μεγάλης ηλικίας τα κτίρια παλαιότερα της 30ετίας (για ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή).

Πίνακας 1. Απομένουσα Φέρουσα Ικανότητα (Φ.Ι.) Στοιχείου (ϕ_i) ως ποσοστό της αρχικής Φ.Ι.

	ΤΥΠΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΒΛΑΒΗΣ			
ΗΛΙΚΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	«Α»	«Β»	«Γ»	«Δ»
ΜΙΚΡΗ ΗΛΙΚΙΑ	0.95	0.75	0.45	0.15
ΜΕΓΑΛΗ ΗΛΙΚΙΑ	0.80	0.60	0.30	0

Μικρή ηλικία ≤ 25 ετών, μεγάλη ηλικία ≥ 30 ετών (ενδιάμεση ηλικία γίνεται γραμμική παρεμβολή)

Κακή κατάσταση ή κακή κατασκευή στοιχείου μείωση ϕ_i κατά 5%

Κακή κατάσταση **και** κακή κατασκευή στοιχείου μείωση ϕ_i κατά 15%

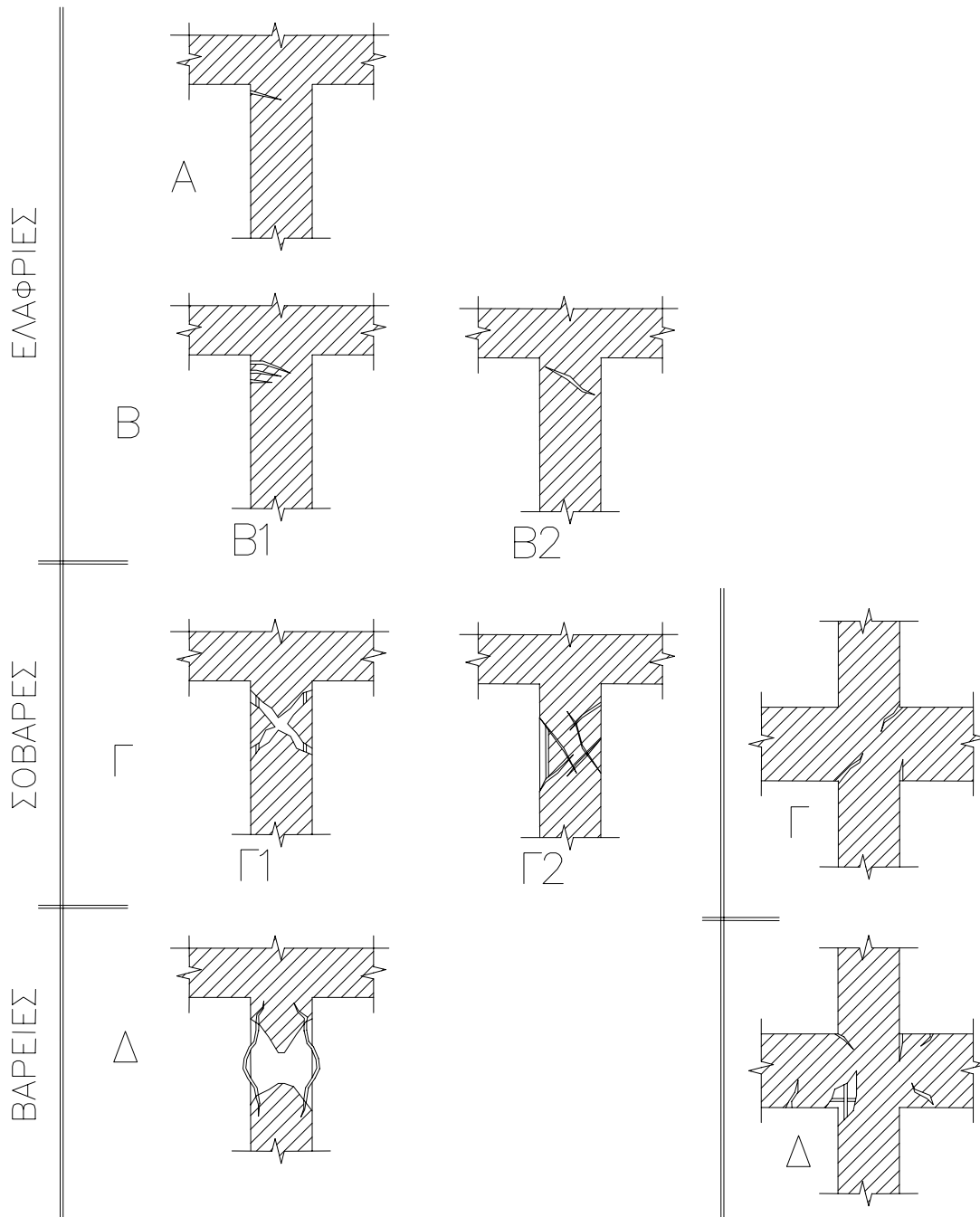
Ειδικότερα για τις βλάβες που αναπτύσσονται στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία αυτές λαμβάνουν τον χαρακτηρισμό από «Α» έως «Δ» ανάλογα με τον τύπο τους και το μέγεθός τους, σύμφωνα με το σχήμα 1. Έτσι στην περίπτωση που εμφανίζεται καμπτική ρηγματώση στο υποστύλωμα η οποία εκδηλώνεται με ένα ρήγμα θεωρείται ότι έχει αναπτυχθεί ελαφριά

βλάβη και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Α». Στην περίπτωση που αναπτύσσονται περισσότερα από ένα καμπτικά ρήγματα στο υποστύλωμα ή διατμητικό ρήγμα σε μία διεύθυνση, θεωρείται ότι οι βλάβες είναι ελαφριές και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Β» (B1 ή B2 σύμφωνα με το σχήμα). Στην περίπτωση που αναπτύσσονται διαγώνια ρήγματα στο υποστύλωμα και στις δύο διευθύνσεις, οι βλάβες θεωρείται ότι είναι σοβαρές και δίνεται ο χαρακτηρισμός «Γ» (Γ1 ή Γ2 σύμφωνα με το σχήμα). Στην περίπτωση που υπάρχουν διαγώνια ρήγματα, το ρηγματωμένο σκυρόδεμα έχει συντριβεί και έχουν λυγίσει οι διαμήκεις ράβδοι του οπλισμού οι βλάβες θεωρείται ότι είναι βαριές και χαρακτηρίζονται ως βαθμού «Δ». Ανάλογα με τον χαρακτηρισμό των βλαβών από «Α» έως «Δ», την ηλικία και την ποιότητα κατασκευής του δομικού στοιχείου προκύπτει από τον πίνακα 1 η απομένουσα φέρουσα ικανότητά του. Για τις επεμβάσεις καθορίζονται οι βασικές αρχές σύμφωνα με τις οποίες το κτίριο αντιμετωπίζεται ως τρισδιάστατος φορέας, δεν αλλοιώνονται τα δυναμικά χαρακτηριστικά του, αποφεύγεται η απότομη μεταβολή της αντοχής και ακαμψίας μεταξύ των ορόφων, προσδιορίζονται και “θεραπεύονται” τα ενδογενή αίτια βλάβης, χρησιμοποιούνται μέθοδοι και υλικά επισκευής με ευκολία εφαρμογής, τα οποία εύκολα ελέγχονται ποιοτικά. Τα ενισχυόμενα καθώς και τα πρόσθετα δομικά στοιχεία διαστασιολογούνται με τους σύγχρονους κανονισμούς υλικών (NEKOS, κλπ.). Στην περίπτωση που οι βλάβες δεν επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου δεν απαιτούνται αναλύσεις του φορέα του κτιρίου, αλλά γίνονται τοπικοί υπολογισμοί με απλουστευμένες μεθόδους. Στην περίπτωση που οι βλάβες επηρεάζουν τη γενική ευστάθεια του κτιρίου απαιτούνται οι παρακάτω τρεις αναλύσεις:

- Επίλυση του υφιστάμενου φορέα χωρίς τις βλάβες
- Επίλυση του φορέα με τις ελάχιστες επεμβάσεις στα βλαβέντα δομικά στοιχεία (ακολουθεί επιλογή απαιτούμενων επεμβάσεων και προσθήκη νέων στοιχείων)
- Επίλυση του φορέα με τις ενισχύσεις και τα νέα στοιχεία που προτείνονται

Ο τελικός έλεγχος αντοχής γίνεται τόσο για τα μη επισκευασμένα / μη ενισχυόμενα δομικά στοιχεία με τη μέθοδο των μερικών συντελεστών ασφάλειας για την οριακή κατάσταση αστοχίας (κεφ. 10, 11, 12 του NEKOS) χωρίς να λαμβάνονται υπόψη οι ελάχιστες απαιτήσεις διαστάσεων και οπλισμών που προβλέπονται από τον ΝΕ.Κ.Ο.Σ. Η διαστασιολόγηση των επισκευασμένων / ενισχυόμενων και των νέων στοιχείων, γίνεται με τον ισχύοντα σήμερα κανονισμό οπλισμένου σκυροδέματος (NEKOS), σε συνδυασμό με τις σχετικές οδηγίες επισκευών. Για κτίρια που μελετήθηκαν με κανονισμό προγενέστερο του ισχύοντος τα σεισμικά φορτία συνιστάται να λαμβάνονται από τη σχέση: $E=1.75 \varepsilon (G+\psi_2Q)$ και η κατανομή τους καθ' ύψος είναι ορθογωνική στην περίπτωση που η αρχική μελέτη έγινε με τον αντισεισμικό κανονισμό του 1959 (ή νωρίτερα) ή τριγωνική, εφόσον είχε μελετηθεί μετά την ισχύ των πρόσθετων διατάξεων του 1984. Για τους μη σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων λαμβάνονται κατακόρυφα φορτία όπως προκύπτουν από τη σχέση: $1.35G+1.50Q$ ενώ για τους σεισμικούς συνδυασμούς δράσεων τα φορτία προκύπτουν από τη σχέση $G+\psi_2Q\pm E$.

ΤΥΠΙΚΟΙ ΒΑΘΜΟΙ ΒΛΑΒΩΝ



Σχήμα 1. Τυπικοί βαθμοί βλάβης

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΑΠΩΛΕΙΑΣ ΦΕΡΟΥΣΑΣ
ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΚΡΙΣΙΜΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΚΤΙΡΙΟΥ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΣΕΙΣΜΟ

ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ Ο/Σ

ΚΤΙΡΙΑ ΑΠΟ Φ/Τ

A. ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΔΕΝ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

$\varphi_{στ} < 10\% \varphi_{αρχ}$ (μικρή ηλικία ≤ 25 έτη)
 $\varphi_{στ} < 15\% \varphi_{αρχ}$ (μεγάλη ηλικία ≥ 30 έτη)

$\varphi_{στ} < 10\% \varphi_{αρχ}$ (μικρή ηλικία ≤ 50 έτη)
 $\varphi_{στ} < 15\% \varphi_{αρχ}$ (μεγάλη ηλικία ≥ 75 έτη)

B. ΒΛΑΒΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΓΕΝΙΚΗ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ

$\varphi_{στ} > 10\% \varphi_{αρχ}$ (μικρή ηλικία ≤ 25 έτη)
 $\varphi_{στ} > 15\% \varphi_{αρχ}$ (μεγάλη ηλικία ≥ 30 έτη)

$\varphi_{στ} > 10\% \varphi_{αρχ}$ (μικρή ηλικία ≤ 50 έτη)
 $\varphi_{στ} > 15\% \varphi_{αρχ}$ (μεγάλη ηλικία ≥ 75 έτη)

ΤΥΠΟΛΟΓΙΑ ΒΛΑΒΩΝ

- * ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ (Α, Β, Γ, Δ, Ε)
- * ΚΟΜΒΟΙ (Γ, Δ, Ε)
- * ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ [(Α, Β) \Rightarrow Γ, (Γ, Δ) \Rightarrow Δ]

- * ΦΕΡΟΥΣΕΣ ΤΟΙΧΟΠΟΙΗΣΕΙΣ (Α, Β, Γ, Δ)

ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

$$\varphi_i = f \left(\begin{array}{c} \text{τυπικός βαθμός βλάβης} \\ \text{ηλικία} \\ \text{κακοτεχνίες, φυσική φθορά} \end{array} \right)$$

$$\varphi_i = f \left(\begin{array}{c} \text{τυπικός βαθμός βλάβης} \\ \text{ηλικία} \end{array} \right)$$

ΑΠΩΛΕΙΑ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

$$\alpha_i = 1 - \varphi_i$$

$$\alpha_i = 1 - \varphi_i$$

ΑΠΟΜΕΝΟΥΣΑ ΦΕΡΟΥΣΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΤΑΘΜΗΣ

$$\varphi_{στ} \equiv \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} \quad 1 \geq \varphi_i \geq 0$$

$$\varphi_x \equiv \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad 1 \geq \varphi_x \geq 0.25$$

ΑΠΩΛΕΙΑ ΦΕΡΟΥΣΑΣ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑΘΜΗΣ

$$\alpha_{στ} = 1 - \varphi_{στ}$$

Ανά διεύθυνση $\alpha_{χ} = 1 - \varphi_{χ}$

3. ΜΕΘΟΛΟΓΙΑ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ

3.1. Στατιστικό δείγμα

Για την πραγματοποίηση της έρευνας και τη συλλογή των στοιχείων που αφορούσαν την απώλεια φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης και την οικονομική απώλεια χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία των ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών. Ελέγχθηκαν 116 περιπτώσεις κτιρίων από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με βλάβες, στην περιοχή Άνω Λιοσίων, από τα οποία τα 64 είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα, 20 με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν, ενώ 32 είχαν από μηδενικές έως ελαφρές και επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό και είχαν χαρακτηριστεί με πράσινο χρώμα. Στην περιοχή του Δήμου Αχαρνών ελέγχθηκαν 100 περιπτώσεις κτιρίων με βλάβες, από τα οποία τα 54 είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα, τα 22 με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν, ενώ 24 είχαν από μηδενικές έως ελαφρές και επισκευάσιμες βλάβες στον φέροντα οργανισμό. Σε αυτά τα 24 κτίρια, εμφανίστηκαν κυρίως βλάβες στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Το χρώμα χαρακτηρισμού των κτιρίων αναφέρεται στον χαρακτηρισμό της επιτροπής δευτεροβάθμιου ελέγχου για τα κίτρινα και τα κόκκινα. Ο υπολογισμός της απώλειας της φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης δεν βρέθηκε σε όλους τους φακέλους που ανοίχθηκαν. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι υπολογισμοί έγιναν επί τόπου από τα μέλη της ομάδας εργασίας, με βάση το φωτογραφικό υλικό κάθε φακέλου και την τεχνική περιγραφή των βλαβών που είχε γίνει από τους μηχανικούς κάθε έργου. Προκειμένου να συγκεντρωθούν τα στοιχεία του δείγματος εξετάστηκαν περίπου 700 φάκελοι οι οποίοι δεν χρησιμοποιήθηκαν όλοι επειδή είτε είχαν ως αντικείμενο κτίρια από τοιχοποιία είτε δεν είχαν επαρκή στοιχεία βλαβών. Για τη συλλογή των στοιχείων συντάχθηκε ειδικό έντυπο (σελίδα 10), στα πλαίσια της ομάδας εργασίας.

3.2. Έντυπα συλλογής στοιχείων

Στα έντυπα συλλογής στοιχείων συμπληρώθηκαν πληροφορίες σχετικά με το κάθε κτίριο στο οποίο παρουσιάστηκαν βλάβες και έγιναν επισκευές και ενισχύσεις. Τα στοιχεία αυτά είναι:

- Ο αριθμός φακέλου που δόθηκε σε κάθε περίπτωση από την αντίστοιχη υπηρεσία ΤΑΣ. Αυτό το στοιχείο θεωρήθηκε απαραίτητο προκειμένου να είναι δυνατό να προσδιορισθεί ο συγκεκριμένος φάκελος στην περίπτωση που χρειασθεί να γίνει συμπληρωματική εξέταση του φακέλου (από την ΟΕ).
- Η χρονολογία μελέτης και κατασκευής του κτιρίου προκειμένου να προκύψει αφενός μεν ο κανονισμός με βάση τον οποίο έγινε η στατική του μελέτη, αφετέρου δε η ηλικία του κτιρίου.
- Το εμβαδό κάθε ορόφου του κτιρίου (χωρίς τους εξώστες) καθώς και της θεμελίωσης. Επίσης αναφέρεται ποιες ήταν οι στάθμες με τις περισσότερες βλάβες (κρίσιμες στάθμες). Τα στοιχεία του εμβαδού των ορόφων κρίθηκαν απαραίτητα προκειμένου να προκύψει το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά μονάδα επιφανείας.
- Το πλήθος και ο τύπος (υποστυλώματα και τοιχώματα κατά X ή Y) των κατακόρυφων δομικών στοιχείων της κρίσιμης στάθμης.

- Το κανονιστικό πλαίσιο σύνταξης της μελέτης επισκευών και ενισχύσεων (π.χ. ΕΑΚ, ΕΚΟΣ ή $1.75 \varepsilon (G+\psi_2Q)$, $1.35G+1.50Q$, $G+\psi_2Q\pm E$). Σύμφωνα με την υπουργική απόφαση 5172/ΑΖ5β/18.10.99 επιτρέπεται η χρήση διαφόρων συνδυασμών κατακόρυφων και σεισμικών φορτίων. Πρέπει να συσχετιστεί ο συνδυασμός φορτίων που επιλέχθηκε με το κόστος επισκευής.
- Το πλήθος και ο τύπος των στοιχείων με βλάβες στην κρίσιμη στάθμη. Είναι πιθανό σε κτίρια μικρής ηλικίας λόγω του ικανοτικού σχεδιασμού των κόμβων δοκών υποστυλωμάτων να αναπτύσσονται βλάβες κυρίως σε δοκούς και όχι σε υποστυλώματα. Καθώς ο υπολογισμός της απομένουσας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης βασίζεται στις βλάβες που ανέπτυξαν τα υποστυλώματα είναι δυνατό να δημιουργούνται σημαντικές αποκλίσεις (προς τα επάνω) στο κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο κατά τη συγκέντρωση των βλαβών κυρίως στις δοκούς.
- Οι στάθμες με βλάβες (πλήθος, θέση), στις οποίες έγιναν επεμβάσεις (θεωρώντας και τη θεμελίωση στην περίπτωση που έγιναν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση).
- Ο δείκτης βλάβης του κρίσιμου ορόφου.
- Το συνολικό κόστος των επεμβάσεων

Επίσης σημειώθηκε σε κάθε περίπτωση ποιά ήταν η μέθοδος επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκε. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο υπολογισμός της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης δεν βρέθηκε σε κάθε φάκελο καθώς δεν ήταν υποχρεωτική η εφαρμογή του. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι υπολογισμοί έγιναν από τα μέλη της Ο.Ε. που έκαναν την αποτίμηση και το χαρακτηρισμό των βλαβών με βάση την τεχνική έκθεση του υπεύθυνου μηχανικού, το φωτογραφικό υλικό και τα σκαριφήματα των εντύπων σύνταξης του προϋπολογισμού.

Το κόστος επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο προκύπτει από το λόγο του συνολικού κόστους των επεμβάσεων προς το συνολικό εμβαδό των σταθμών με βλάβες όπου έγιναν επεμβάσεις (συνυπολογίζοντας και τη θεμελίωση στις περιπτώσεις που έγιναν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση) και των σταθμών για τις οποίες προέκυψε υπολογιστικά ότι έπρεπε να γίνει ενίσχυση.

Τα έντυπα που συμπληρώθηκαν παρουσιάζονται στο τελευταίο τμήμα αυτού του τεύχους. Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα για τη συσχέτιση της απώλειας της φέρουσας ικανότητας και του κόστους επισκευής και ενίσχυσης ανά τετραγωνικό μέτρο και για τις μεθόδους επισκευής που εφαρμόστηκαν.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Τυπολογία βλαβών

Από τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν στα έντυπα, προκύπτουν πληροφορίες σχετικά με τον τύπο των βλαβών και τον τύπο των δομικών στοιχείων στα οποία αυτές συγκεντρώθηκαν. Παρακάτω περιγράφονται οι περιπτώσεις όπου οι βλάβες επηρέαζαν την γενική ευστάθεια του κτιρίου. Οι βλάβες που παρατηρήθηκαν ήταν κυρίως διατμητικού τύπου ενώ ήταν σπάνιες οι περιπτώσεις με βλάβες καμπτικού τύπου. Στα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν με κίτρινο χρώμα υπήρχαν περιπτώσεις που παρατηρήθηκαν διατμητικά ρήγματα μιας διεύθυνσης και περιπτώσεις με διατμητικά ρήγματα σε δύο διευθύνσεις. Πολύ λίγες ήταν οι περιπτώσεις στις οποίες παρατηρήθηκε λυγισμός των διαμήκων ράβδων. Βλάβες αναφέρονται σε κόμβους δοκών υποστυλωμάτων οι οποίες κυμαίνονται από ελαφριές μέχρι βαριές. Στις περιπτώσεις με βαριές βλάβες κόμβων γίνεται λόγος για αποδιοργάνωση του σκυροδέματος και σπανιότερα για λυγισμό διαμήκων ράβδων. Λίγες είναι οι περιπτώσεις κτιρίων όπου παρουσιάζονται βλάβες σε δοκούς στον κρίσιμο όροφο. Επίσης παρατηρήθηκαν βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης οι οποίες κυμαίνονταν από ελαφριές (επισκευάσιμες) έως βαριές. Στην τελευταία περίπτωση παρατηρήθηκαν περιπτώσεις με συντριβή των τούβλων και μερικές ή ολικές καταρρεύσεις τοιχοπληρώσεων. Πρέπει να τονισθεί εδώ ότι η χρήση των τοιχωμάτων ήταν γενικά περιορισμένη ενώ πολλές ήταν οι περιπτώσεις κτιρίων χωρίς τοιχώματα. Η κατασκευή των κλιμακοστασίων γινόταν με γραμμικά δομικά στοιχεία χωρίς την κατασκευή πυρήνων τοιχωμάτων. Σε αρκετές περιπτώσεις παρατηρήθηκαν βλάβες στην πλάκα οροφής ισογείου.

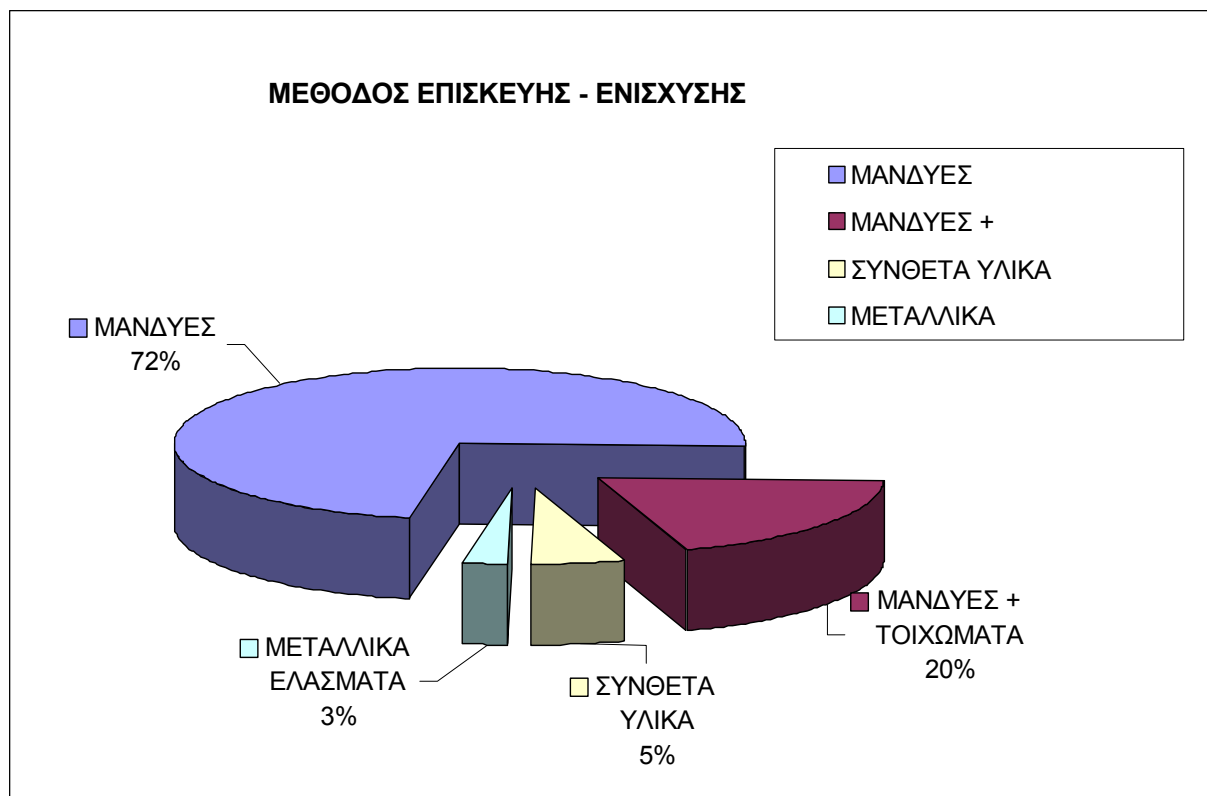
Στα κτίρια όπου οι βλάβες στον φέροντα οργανισμό ήταν από ανύπαρκτες έως πολύ μικρές θεωρείτο ότι δεν επηρεαζόταν η γενική ευστάθειά τους και προτεινόταν μέθοδος επισκευής χωρίς την εκτέλεση υπολογισμών. Σε πολλές από αυτές τις περιπτώσεις υπήρχαν βλάβες σημαντικές στις τοιχοποιίες πλήρωσης.

Στα κτίρια που χαρακτηρίστηκαν με κόκκινο χρώμα και επρόκειτο να ανακατασκευασθούν παρατηρήθηκαν σημαντικές βλάβες στα κατακόρυφα δομικά στοιχεία του ισογείου που συνοδεύονταν από συντριβή του σκυροδέματος στην κεφαλή και τον πόδα των υποστυλωμάτων, αποφλοΐωση και λυγισμό των οπλισμών, παραμένουσα παραμόρφωση στο ισόγειο, απόκλιση από την κατακόρυφο και σημαντικές βλάβες στις τοιχοποιίες πλήρωσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι βλάβες εκτείνονταν και στον υπερκείμενο όροφο οι οποίες ήταν σημαντικά μειωμένες και περιορίζονταν κυρίως στις τοιχοποιίες πλήρωσης.

4.2. Μέθοδοι επισκευής – ενίσχυσης

Για την επισκευή και ενίσχυση των κτιρίων της πλειόσειστης περιοχής που παρουσίασαν βλάβες εφαρμόστηκαν διάφορες τεχνικές. Κυρίως χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος επισκευής με ρητινενέσεις και ενίσχυσης με προσθήκη οπλισμών και κατασκευή μανδύων σκυροδέματος. Οι μανδύες που κατασκευάστηκαν ήταν από έγχυτο ή εκτοξευόμενο σκυρόδεμα. Αυτοί εφαρμόστηκαν σχεδόν σε όλο το ύψος του κρίσιμου ορόφου και στα στοιχεία του υπερκείμενου ορόφου στα οποία είτε σημειώθηκε βλάβη, είτε προέκυπτε από τους υπολογισμούς ότι έπρεπε να ενισχυθούν. Οι μανδύες συνεχίζονταν μέχρι τη θεμελίωση όπου είτε απλώς αγκυρώνονταν, είτε συνδέονταν με την ενίσχυση του πεδίου (αύξηση

διαστάσεων) στις περιπτώσεις που προβλεπόταν κάτι τέτοιο. Επίσης εφαρμόστηκαν και άλλες μέθοδοι ενίσχυσης όπως είναι η μέθοδος των μεταλλικών ελασμάτων και η μέθοδος των σύνθετων υλικών (ανθρακούφασματα, υαλοϋφάσματα). Στο διάγραμμα του σχήματος 2 παρουσιάζονται οι μέθοδοι επισκευής που εφαρμόστηκαν ως ποσοστό των περιπτώσεων που ελέγχθηκαν. Το δείγμα που χρησιμοποιήθηκε αφορά κυρίως τα κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα. Όπως προκύπτει, στην πλειοψηφία των κτιρίων εφαρμόστηκε η μέθοδος επισκευής με ρητινενέσεις και ενίσχυσης με μανδύες εκτοξευόμενου ή έγχυτου σκυροδέματος σε ποσοστό 72%. Στο 20% των περιπτώσεων εφαρμόστηκαν μανδύες σκυροδέματος και προσθήκη τοιχωμάτων. Επισκευή και ενίσχυση με σύνθετα υλικά εφαρμόστηκε στο 5% των κτιρίων με βλάβες στον φέροντα οργανισμό, ενώ η μέθοδος των μεταλλικών ελασμάτων εφαρμόστηκε στο 3% των περιπτώσεων.



Σχήμα 2. Τύποι επεμβάσεων που εφαρμόστηκαν στα κτίρια των Άνω Λιοσίων και Αχαρνών

4.3. Συσχέτιση δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας

Από τα έντυπα που συμπληρώθηκαν προέκυψαν τα στοιχεία συσχετισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας κρίσιμης στάθμης (δομική βλάβη) με το κόστος επισκευής ανά τετραγωνικό μέτρο επισκευασμένης – ενισχυμένης επιφάνειας (οικονομική απώλεια). Ο υπολογισμός της δομικής βλάβης, στον κρίσιμο όροφο, έγινε σύμφωνα με τη μεθοδολογία της Υπουργικής Απόφαση που περιγράφηκε στο δεύτερο κεφάλαιο της έκθεσης. Η οικονομική απώλεια σε κάθε κτίριο προέκυψε ως ο λόγος του συνολικού προϋπολογισμού των επεμβάσεων προς το εμβαδό των σταθμών όπου έγιναν επεμβάσεις (συνυπολογίζοντας και τη θεμελίωση όταν γινόταν επεμβάσεις σε αυτή τη θέση). Σε αυτό το διάγραμμα για μικρή απώλεια της φέρουσας ικανότητας (μικρή δομική βλάβη – χαρακτηρισμός με πράσινο

χρώμα) έως μηδενική, οι οικονομικές απώλειες δεν μηδενίζονται καθώς υπάρχουν περιπτώσεις χωρίς βλάβες στον φέροντα οργανισμό αλλά με βλάβες στον οργανισμό πλήρωσης. Επίσης για υψηλές τιμές της δομικής βλάβης η οικονομική απώλεια είναι πολύ υψηλή και προκύπτει ίση με το κόστος ανακατασκευής κτιρίου όγκου ίσου με αυτόν του κτιρίου που κατεδαφίστηκε. Η καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων στην περιοχή της μικρής δομικής βλάβης έχει μικρή κλίση η οποία αυξάνει στην περιοχή της μέσης δομικής βλάβης. Η αύξηση στην περιοχή της υψηλής δομικής βλάβης είναι αρκετά μεγαλύτερη. Η κλίση της καμπύλης σε αυτή την περιοχή αυξάνει σημαντικά, δηλώνοντας την αντίστοιχη μεταβολή της οικονομικής απώλειας με την αύξηση της δομικής βλάβης. Για τις περιπτώσεις των κτιρίων που είχαν χαρακτηριστεί με κόκκινο χρώμα και ανακατασκευάστηκαν ο υπολογισμός της οικονομικής απώλειας έγινε με βάση το άθροισμα των επιμέρους γινομένων των εμβαδών κύριων χώρων και κοινοχρήστων (των αρχικών κτιρίων) με το αντίστοιχο κόστος στεγαστικής συνδρομής διαιρεμένο με το συνολικό εμβαδό. Ως τεταγμένη στα διαγράμματα χρησιμοποιήθηκε ο λόγος του κόστους επισκευής προς το μέσο κόστος ανακατασκευής.

5. ΣΧΕΣΕΙΣ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΑΠΩΛΕΙΩΝ

5. 1 Μελέτες πάνω στη σχέση δομικού – οικονομικού δείκτη βλάβης

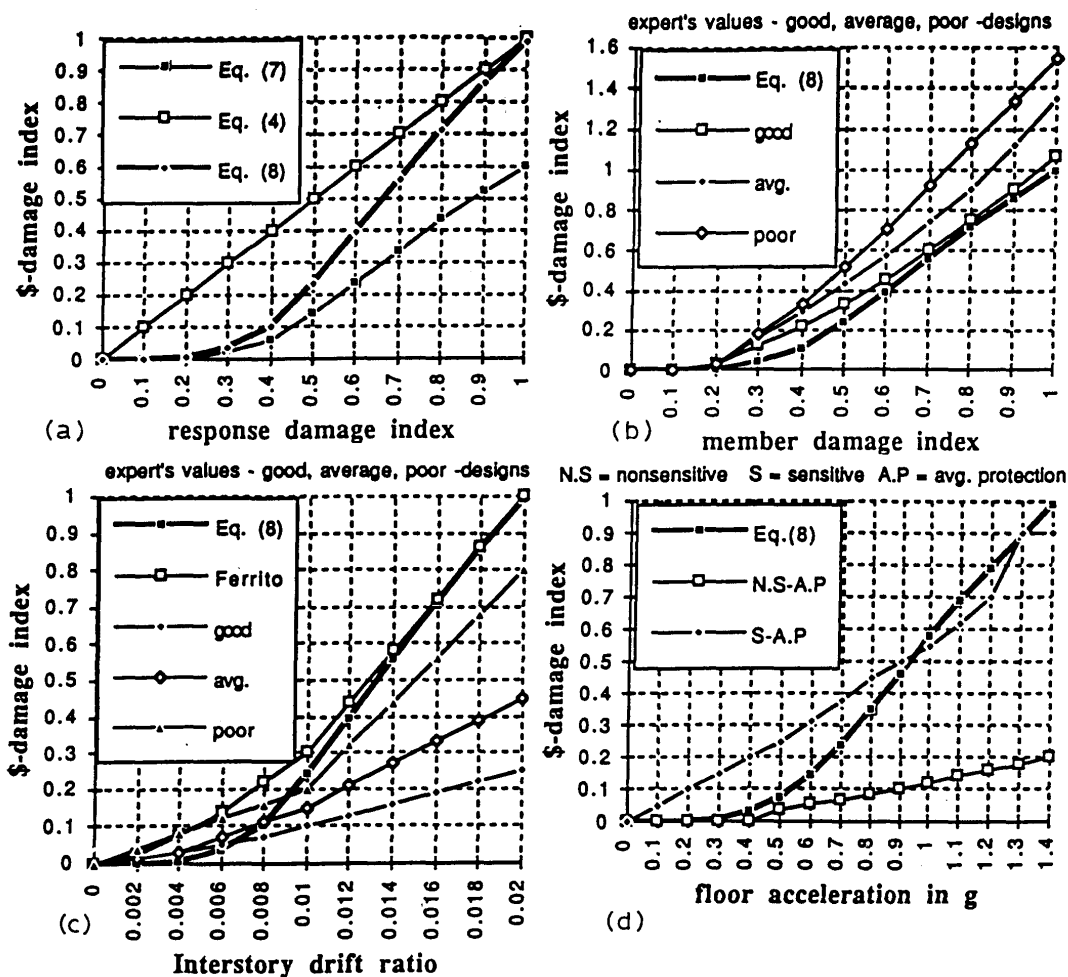
Ο συνδυαστικός κρίκος μεταξύ δομικής τρωτότητας και διακινδύνευσης είναι η έκφραση του δομικού δείκτη βλάβης σε όρους απωλειών (δραχμικών, με έμμεση συνεκτίμηση παραγόντων όπως η απώλεια ζωής), ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της διακινδύνευσης για κάθε επιμέρους στοιχείο που εκτίθεται στο σεισμικό κίνδυνο. Ο καθορισμός αυτού του συνδυαστικού κρίκου αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα βήματα στην αναλυτική εκτίμηση της διακινδύνευσης.

Μια σειρά από διαφορετικές προσεγγίσεις έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί για τη μετατροπή του αναλυτικά υπολογιζόμενου δομικού δείκτη βλάβης σε οικονομικό δείκτη βλάβης, δηλ. σε απώλειες, εκφρασμένες είτε απευθείας σε χρήμα ή σε λόγους κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής.

- 1) Στη δυσμενέστερη περίπτωση που δεν διατίθενται καθόλου σχετικά στοιχεία, μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι ο οικονομικός δείκτης βλάβης, δηλ. η απώλεια (C), ισούται προς το δομικό δείκτη βλάβης, ήτοι $C=d$. Αυτό οδηγεί συνήθως σε υπερεκτίμηση των απωλειών για χαμηλές τιμές του d και υποεκτίμηση των απωλειών για υψηλές τιμές του d , δεδομένου ότι το κόστος επισκευής μπορεί να φθάσει το κόστος ανακατασκευής ενώ η κατασκευή δεν έχει ακόμη καταρρεύσει (δηλ. $C=1$ για $d<1$).
- 2) Για πολλούς τύπους δομικών στοιχείων διατίθενται σήμερα πειραματικά αποτελέσματα από δοκιμές σε μονότονη και σε ανακυκλιζόμενη φόρτιση και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συσχέτισμό του βαθμού βλάβης με τις απώλειες, εφόσον βεβαίως γίνουν οι κατάλληλες παραδοχές. Για παράδειγμα, οι Gunturi & Shah (1992) μετεπεξεργάστηκαν δεδομένα από 403 δοκιμια στοιχεία Ο/Σ που είχαν αρχικά συλλέξει οι Park et al. (1985), κάνοντας τις παραδοχές ότι $C=0$ όταν η πιθανότητα αστοχίας του δοκιμίου είναι μηδενική και $C=1$ όταν η πιθανότητα αστοχίας είναι 1, καθώς και ότι η κατανομή της πιθανότητας αστοχίας είναι κανονική λογαριθμική. Με τις παραδοχές αυτές κατέληξαν στην καμπύλη (7) του Σχήματος 3(α), η οποία κατόπιν μετατοπίστηκε

(λίγο-πολύ αυθαίρετα) προς τα πάνω (καμπύλη (8) του σχήματος) ώστε να προκύψει μια πιο ρεαλιστική σχέση d και C . Ακόμη και μετά απ' αυτή την προσαρμογή, η παραδοχή $C=1$ για $d=1$ μπορεί να είναι υπερσυντηρητική, όπως ήδη αναφέρθηκε.

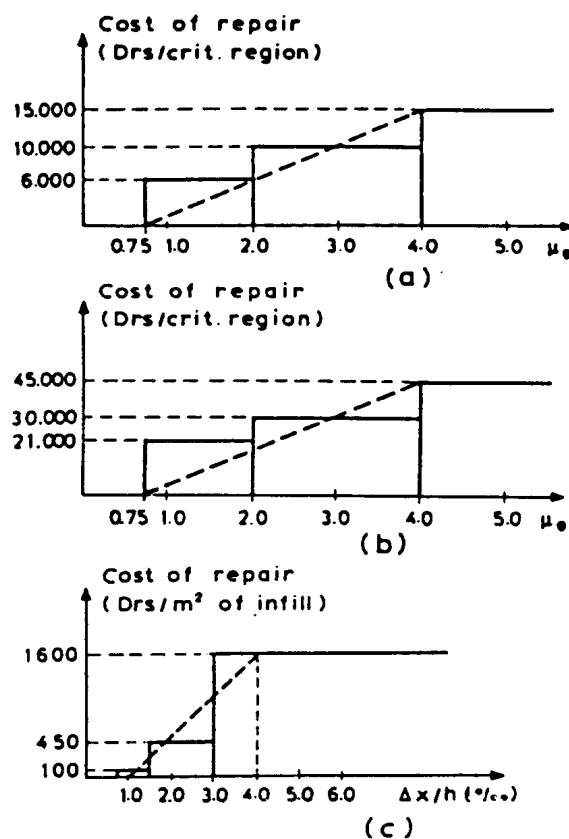
- 3) Μια άλλη προσέγγιση βασίζεται στην «έμπειρη γνώση» (expert knowledge), όπου ζητείται από έναν αριθμό ειδικών επί του θέματος να δώσουν, συνήθως με ανεπίσημο τρόπο (συμπλήρωση ερωτηματολογίου ή συνέντευξη), την εκτίμησή τους σχετικά με το πρόβλημα που τους τίθεται, εν προκειμένω τη σχέση μεταξύ δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης. Παραδείγματα εφαρμογής μεθόδων έμπειρης γνώσης στον προσδιορισμό της σχέσης δείκτη βλάβης σε δομικά στοιχεία και σε αρχιτεκτονικά στοιχεία, και απωλειών, δίνονται στα σχήματα 3(b) και 3(c) (Gunturi & Shah 1992). Οι πολύ χαμηλές τιμές απωλειών που αντιστοιχούν σε τιμές σχετικών βελών ορόφων γύρω στο 2% (Σχ. 3c) για αρχιτεκτονικά στοιχεία καλής και μέσης ποιότητας, δεν φαίνονται κατάλληλες για την περίπτωση των τυπικών διαχωριστικών στοιχείων στην Ελλάδα και τη Ν. Ευρώπη, που είναι οι τοίχοι από οπτοπλινθοδομή.



Σχήμα 3: Συσχέτιση δομικού και οικονομικού δείκτη βλάβης:

- (a) Γενική σχέση, (b) Βλάβη σε δομικά στοιχεία, (c) Βλάβη σε αρχιτεκτονικά στοιχεία, (d) Βλάβη στο περιεχόμενο του κτιρίου.

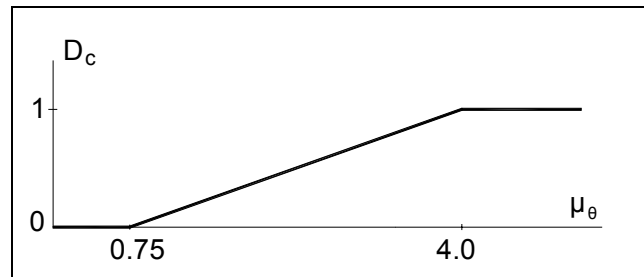
- 4) Για φέροντα και μη-φέροντα στοιχεία για τα οποία έχουν καθιερωθεί σαφείς διαδικασίες επισκευής στη διάρκεια προηγούμενων σεισμών, η σχέση $d - C$ μπορεί να προσδιοριστεί αναφορικά με το κόστος κάθε τεχνικής επισκευής ανηγμένο στις διαστάσεις των στοιχείων ή, βολικότερα, στον όγκο της κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση προτάθηκε από την ομάδα του ΑΠΘ (Kappos et al. 1991) που χρησιμοποίησε στοιχεία από τις επεμβάσεις σε κτίρια μετά το σεισμό της Θεσσαλονίκης (1978) για να αναπτύξει καταρχήν μοντέλα όπως αυτά του Σχήματος 4 για τα στοιχεία Ο/Σ και για τις τοιχοπληρώσεις. Οι δραχμικές τιμές του σχήματος αναφέρονται σε δεδομένα 1978 (τότε ισοτιμία: 1\$=36δρχ.). Τα τρία επίπεδα στα δύο πρώτα μοντέλα του σχήματος αντιστοιχούν σε τρεις τυπικές μεθόδους επισκευής στοιχείων Ο/Σ, συγκεκριμένα τη σφράγιση των ρωγμών με εποξειδικές ρητίνες, την τοποθέτηση μεταλλικών ελασμάτων, και το μανδύα Ο/Σ. Οι αντίστοιχες τεχνικές για τις τοιχοπληρώσεις είναι αποκατάσταση του επιχρίσματος, τοποθέτηση συρμάτινου πλέγματος, και ανακατασκευή της τοιχοπλήρωσης. Η γραμμικοποίηση των κλιμακωτής μορφής σχέσεων (βλ. Σχ. 4) μειώνει τις αβεβαιότητες που συνδέονται με τον ορισμό των ορίων της παραμέτρου βλάβης (πλαστιμότητα μ_θ ή σχετικό βέλος $\Delta x/h$) που αντιστοιχούν σε κάθε τεχνική και οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα (Kappos et al. 1991).



Σχήμα 4: Μοντέλα συσχέτισης παραμέτρου βλάβης και κόστους επισκευής ανά τύπο στοιχείου (a) Δοκοί και υποστυλώματα Ο/Σ, (b) τοιχώματα Ο/Σ, (c) Τοιχοπληρώσεις από οπτοπλινθοδομή.

Σε νεότερη μελέτη της ομάδας του ΑΠΘ (Kappos et al. 1998) τα μοντέλα του σχήματος 4 εκφράστηκαν σε αδιάστατη μορφή, με τεταγμένη το λόγο του κόστους επισκευής προς το

κόστος της ακριβότερης τεχνικής (π.χ. μανδύα Ο/Σ), άρα τιμές μεταξύ 0 και 1, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5: Μοντέλο συσχέτισης απαιτούμενης πλαστιμότητας στοιχείου Ο/Σ προς κόστος επισκευής (ανηγμένο ως προς το κόστος του μανδύα).

Ο τελικός συσχετισμός κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής γίνεται στην περίπτωση αυτή με εμπειρικές σχέσεις που βαθμονομήθηκαν βάσει των στατιστικών στοιχείων από το σεισμό της Θεσσαλονίκης, π.χ. για ψηλά κτίρια Ο/Σ (8-10 ορόφους) η σχέση που προέκυψε για το λόγο κόστους επισκευής προς κόστος ανακατασκευής ήταν

$$C = 0.30D_c + 0.08D_p \quad (1)$$

όπου D_c ο συνολικός οικονομικός δείκτης βλάβης (ως ποσοστό της ακριβότερης τεχνικής επισκευής) για όλα τα στοιχεία Ο/Σ και D_p ο αντίστοιχος δείκτης για τις τοιχοπληρώσεις. Επισημαίνεται ότι, με βάση τα διαθέσιμα στοιχεία κόστους για την Ελλάδα, ακόμη και αν οι δείκτες D_{cg} και D_{pg} είναι μονάδα (δηλ. επισκευή όλων των στοιχείων Ο/Σ με μανδύα και ανακατασκευή όλων των τοιχοπληρώσεων) το κόστος αποκατάστασης δεν ξεπερνά το 0.38 του κόστους ανακατασκευής, μ' άλλα λόγια η επισκευή, εφόσον είναι εφικτή, έχει πάντα χαμηλότερο κόστος από την ανακατασκευή, εκτός εάν ληφθεί υπόψη η μείωση της αξίας του κτιρίου λόγω παλαιότητας. Το συμπέρασμα αυτό δεν μπορεί προφανώς να γενικευθεί χωρίς περαιτέρω έρευνα.

Κρίσιμο στοιχείο σε σχέση με το αντικείμενο της Ομάδας Μελέτης (ΟΜ) είναι η αναγωγή του προβλήματος στην κλίμακα του (συνόλου του) κτιρίου, εκτός και αν προτιμηθεί η λογική της λεπτομερούς εξέτασης σε επίπεδο κρίσιμου ορόφου, για τα στοιχεία του οποίου θα εφαρμοστούν μοντέλα του τύπου των σχημάτων 3-5, ενώ για τους λοιπούς ορόφους θα γίνει χονδρική (και συγκριτική ως προς τον κρίσιμο) αποτίμηση του βαθμού βλάβης. Στην κατεύθυνση της λογικής του δείκτη κτιρίου, χρήσιμη είναι η σχέση που προέκυψε με βάση παλιότερα στοιχεία από τον Ελληνικό χώρο (Χρονόπουλος 1984)

$$C = \alpha \cdot D \cdot \beta \quad (2)$$

όπου D ο συνολικός βαθμός βλάβης του κτιρίου, $\alpha=1$ για νέα κτίρια και 0.75-0.8 για παλιά, ενώ $\beta=1.5-2.0$ για νέα κτίρια και 2.0-2.5 για παλιά. Σημειώνεται ότι για $\beta=2$, το κόστος ανακατασκευής γίνεται μονάδα όταν $D=0.5$ για νέα κτίρια και όταν $D=0.67$ για παλιά. Εξάλλου, χρήσιμα στοιχεία για το συσχετισμό του κόστους επισκευής με το χαρακτηρισμό του βαθμού βλάβης όπως αυτός γίνεται στα δελτία αυτοψίας (6 βαθμοί συνολικά, Β1 ως Β6) προέκυψαν από το σεισμό του Αιγίου (Καρέλα κ.ά. 1999).

Ο συνολικός βαθμός βλάβης D του κτιρίου μπορεί να εκτιμηθεί με σειρά διαφορετικών προσεγγίσεων. Στην ιδανικότερη περίπτωση που διατίθενται οι δείκτες βλάβης d_i για όλα τα στοιχεία του κτιρίου, ο συνολικός δείκτης δίνεται από τη σχέση

$$D = \sum_i \lambda_i d_i \quad (3)$$

όπου ο συντελεστής βαρύτητας λ_i για κάθε στοιχείο μπορεί να υπολογιστεί με βάση το ποσοστό της ενέργειας που αποσβένει (Park et al. 1985), το ποσοστό του συνολικού αξονικού φορτίου που φέρει (για κατακόρυφα στοιχεία), ή ακόμη και με βάση την (ανηγμένη) διατομή του.

Σημαντικά προβλήματα που πρέπει να επισημανθούν είναι:

- Η ενγένει ανεπαρκής βαθμονόμηση, κυρίως των συνολικών δεικτών D
- Η μεγάλη διασπορά και η ενίοτε μη-ομαλή μορφή της καμπύλης συσχέτισης C-d (ή C-D)
- Η ποικιλία των δομικών δεικτών που έχουν χρησιμοποιηθεί (για τους δείκτες βλάβης του δελτίου δευτεροβάθμιας αυτοψίας δεν υπάρχει, ουσιαστικά, βαθμονόμηση).

5.2 Πρόταση σχέσεων με βάση τα στοιχεία της παρούσα έκθεσης

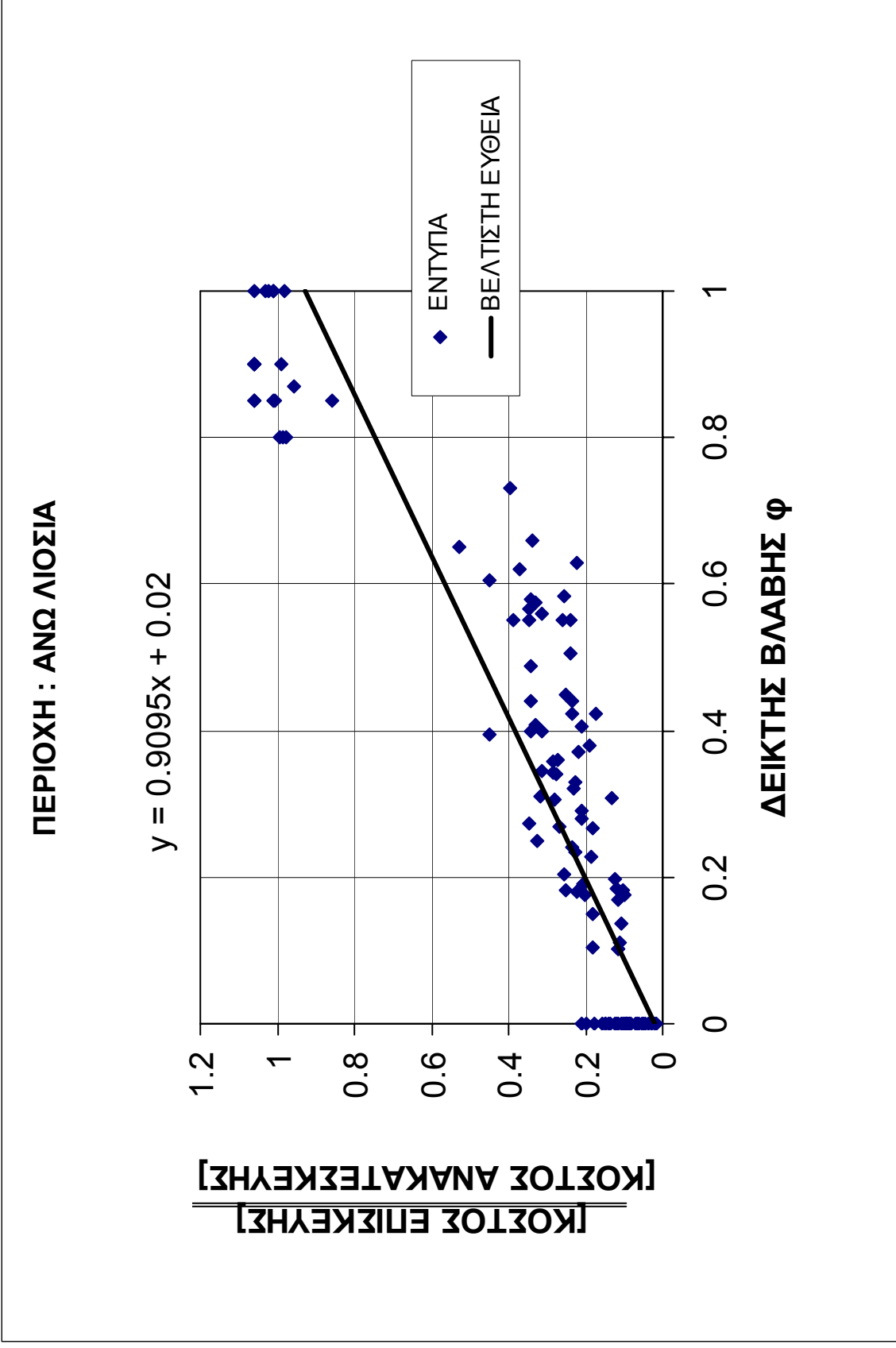
Στόχος της ΟΕ ήταν ο προσδιορισμός κατάλληλων εμπειρικών σχέσεων που να δίνουν τη συσχέτιση της δομικής βλάβης (απώλεια φέρουσας ικανότητας κρίσιμης στάθμης σύμφωνα με την προαναφερθείσα Υπουργική Απόφαση) με τις αναμενόμενες οικονομικές απώλειες (συνολικό κόστος επισκευής – ενίσχυσης ανηγμένο στο εμβαδό των σταθμών που παρουσίασαν βλάβες). Ως τεταγμένη λαμβάνεται η οικονομική απώλεια ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας διαιρεμένη με το μέσο συμβατικό κόστος ανακατασκευής ανά μονάδα επιφάνειας. Το συμβατικό αυτό κόστος λήφθηκε από τη μέση τιμή του κόστους ανακατασκευής για όλο το δείγμα και είναι ίσο με 360.48 ευρώ (122834 δρχ.).

Ο συσχετισμός γίνεται τόσο με τη θεώρηση των δειγμάτων χωριστά για κάθε περιοχή που εξετάστηκε (Δήμος Άνω Λιοσίων και Αχαρνών) όσο και με την ταυτόχρονη θεώρησή τους σε ένα διάγραμμα. Για κάθε περίπτωση γίνεται προσέγγιση μέσω της καμπύλης ελαχίστων τετραγώνων. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζεται ως πολυωνυμική πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού. Επίσης παρουσιάζονται προσεγγίσεις των στοιχείων που συλλέχθηκαν από εκθετική καμπύλη, καθώς και από την καμπύλη της σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (μια καμπύλη που χρησιμοποιείται συχνά σε μοντέλα σεισμικών βλαβών – τρωτότητας, CDF, πίνακας 2).

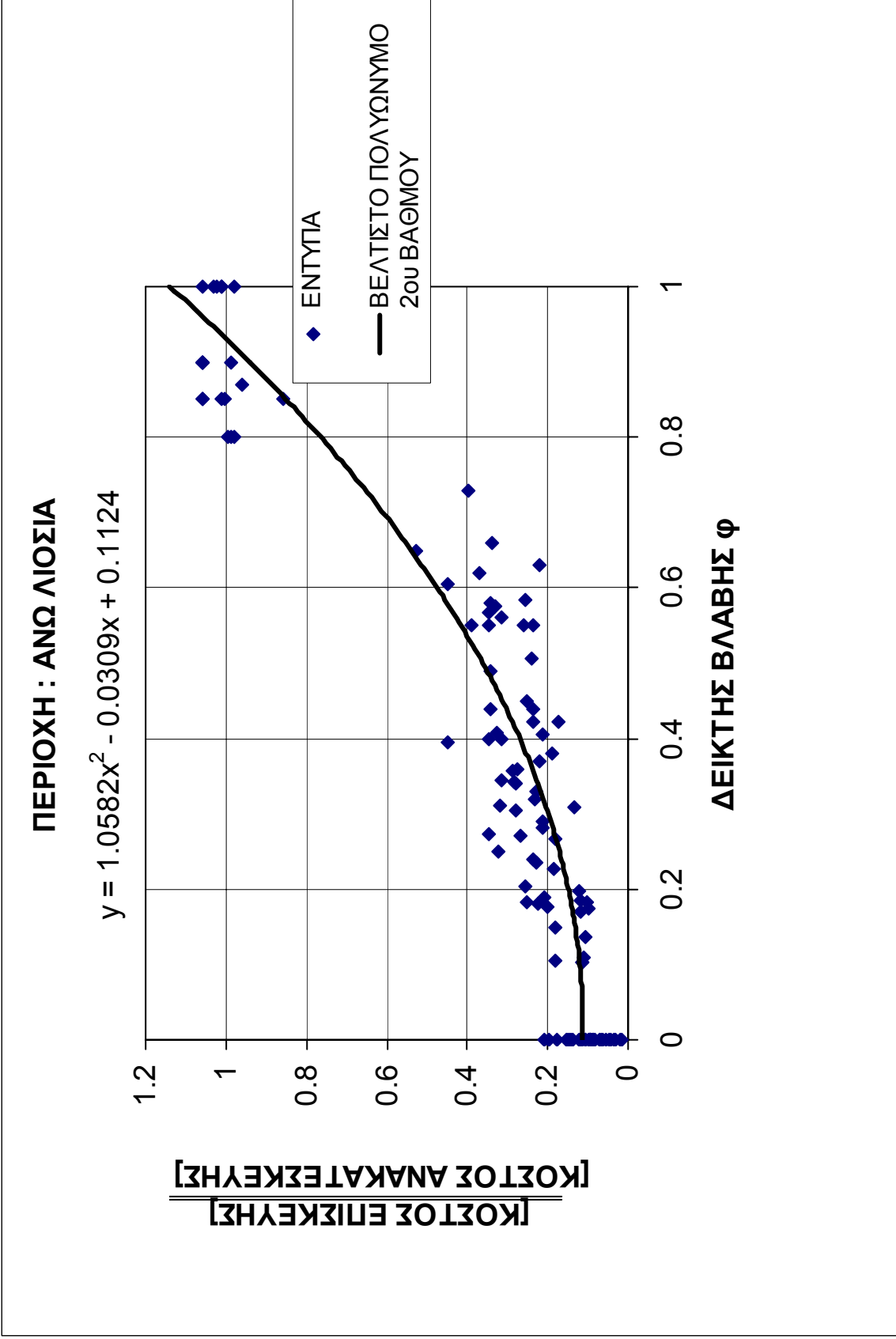
Τα μοντέλα που προέκυψαν παρουσιάζονται στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα καθώς και στα διαγράμματα που ακολουθούν (διαγράμματα 1 έως 18).

Πίνακας 2. Αναλυτικά μοντέλα συσχέτισης δομικής βλάβης – οικονομικής απώλειας επιφανείας, όπου έγιναν επεμβάσεις, ανηγμένης στο συμβατικό κόστος ανακατασκευής (360.48ευρώ)

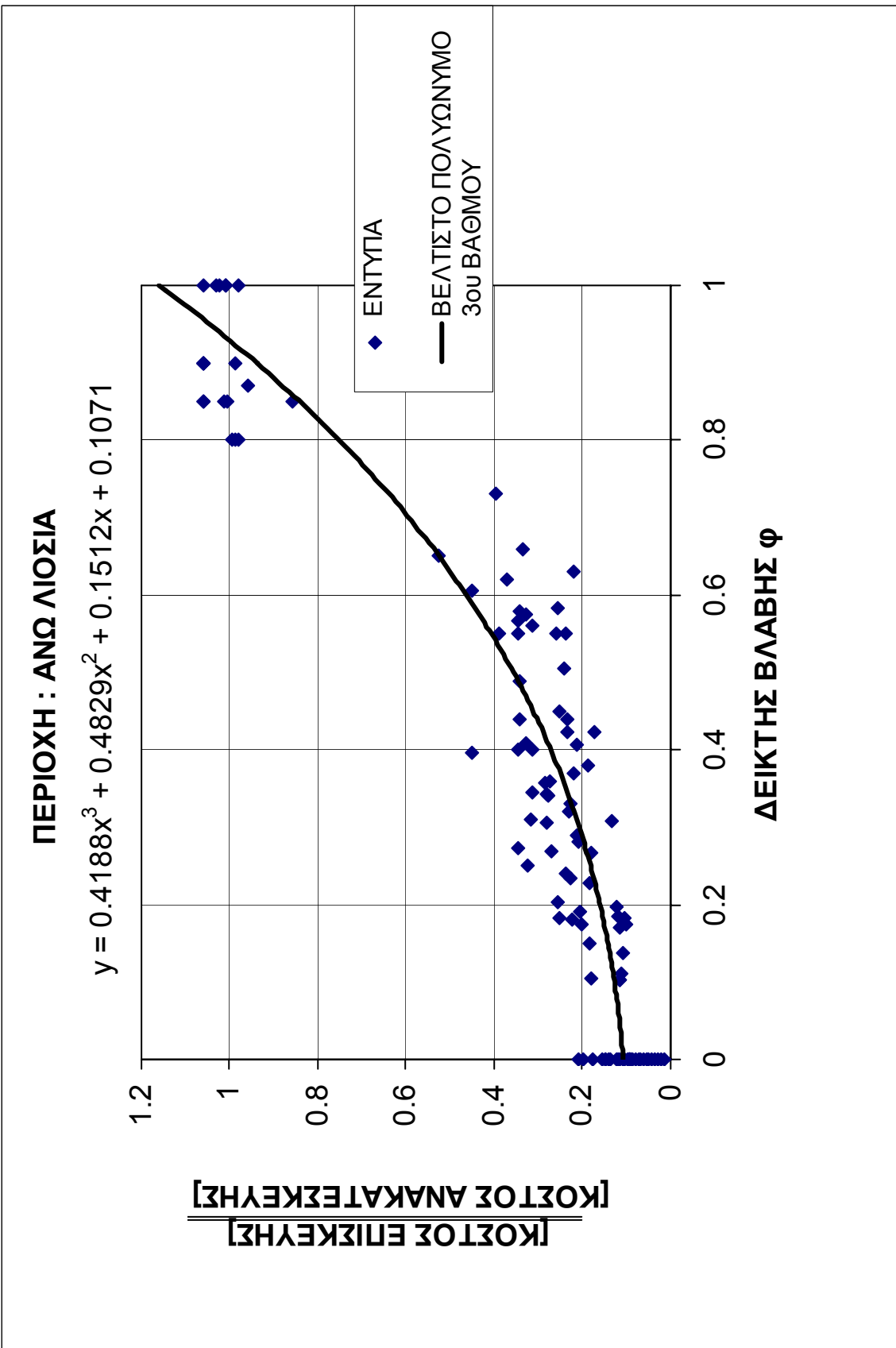
ΠΕΡΙΟΧΗ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ	ΕΞΙΣΩΣΗ	ΣΥΝΤ. ΣΥΣΧ.
ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	Πολυων. 1 ^{ου} βαθμου	$y=0.9095x+0.02$	$R^2 = 0.8136$
	Πολυων. 2 ^{ου} βαθμου	$y=1.0582x^2-0.0309x+0.1124$	$R^2 = 0.9057$
	Πολυων. 3 ^{ου} βαθμου	$y=0.4188x^3+0.4829x^2+0.1512x+0.1071$	$R^2 = 0.9065$
	Εκθετική	$y=0.0917e^{2.5828x}$	$R^2 = 0.8030$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+\text{Erf}[0.7682(1.4744+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4744 , stdev = 0.9205	
ΑΧΑΡΝΕΣ	Πολυων. 1 ^{ου} βαθμου	$y=0.9604x+0.0446$	$R^2 = 0.8274$
	Πολυων. 2 ^{ου} βαθμου	$y=0.775x^2+0.2474x+0.113$	$R^2 = 0.8617$
	Πολυων. 3 ^{ου} βαθμου	$y=0.3946x^3+0.2595x^2+0.3974x+0.1083$	$R^2 = 0.8620$
	Εκθετική	$y=0.0964e^{2.5983x}$	$R^2 = 0.7214$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+\text{Erf}[0.6942(1.4337+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4337 , stdev = 1.0180	
ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ & ΑΧΑΡΝΕΣ	Πολυων. 1 ^{ου} βαθμου	$y=0.9335x+0.0312$	$R^2 = 0.8165$
	Πολυων. 2 ^{ου} βαθμου	$y=0.9531x^2+0.0723x+0.115$	$R^2 = 0.8799$
	Πολυων. 3 ^{ου} βαθμου	$y=0.5335x^3+0.2351x^2+0.2927x+0.1082$	$R^2 = 0.8809$
	Εκθετική	$y=0.0938e^{2.5895x}$	$R^2 = 0.7604$
	Εξίσωση της CDF	$y = 0.5(1+\text{Erf}[0.7310(1.4556+\text{Ln}(x))])$	
	Παράμετροι της CDF	mean = -1.4556 , stdev = 0.9673	



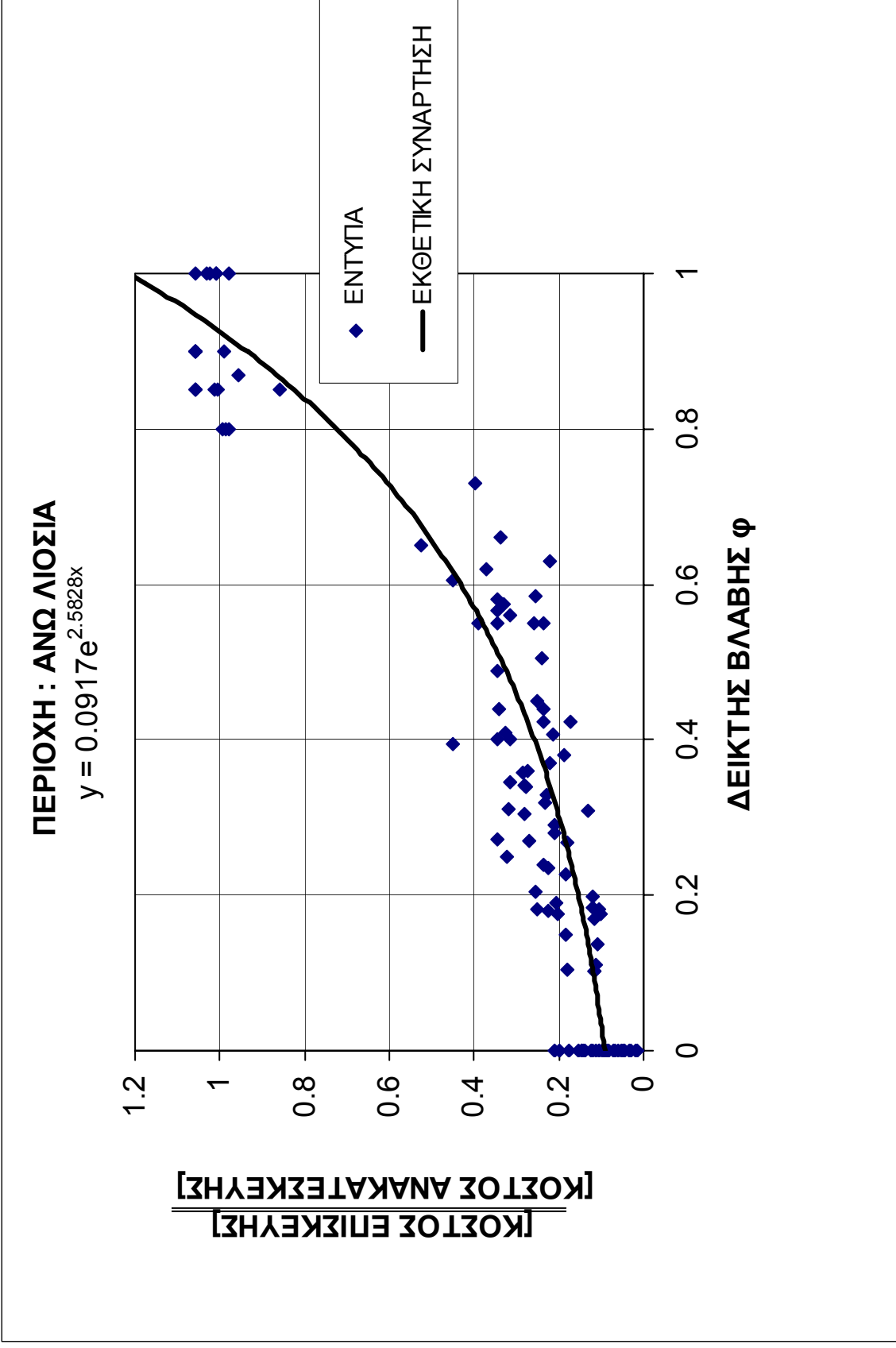
Διάγραμμα 1: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1^{ου} βαθμού)



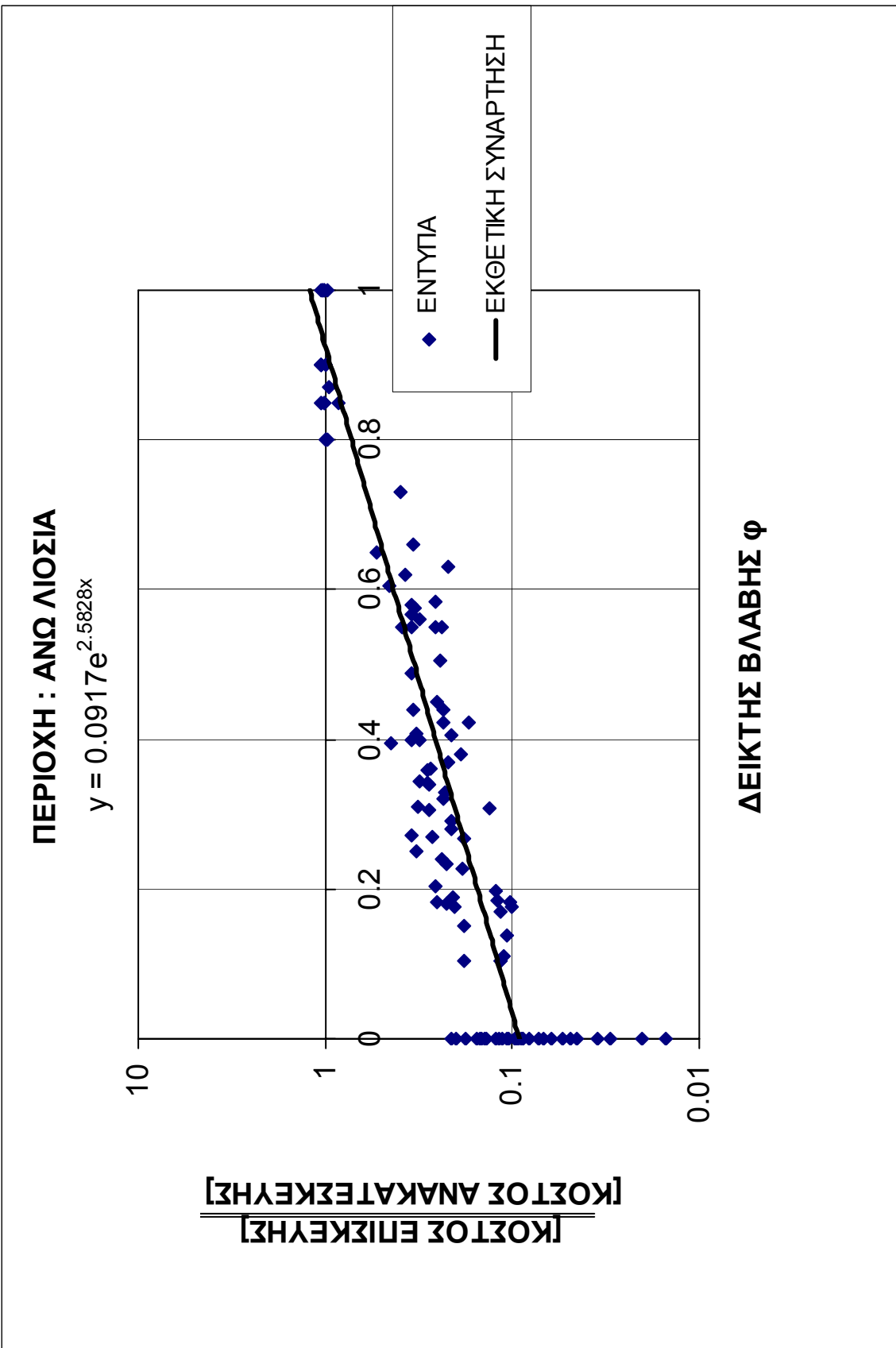
Διάγραμμα 2: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2^{ου} βαθμού)



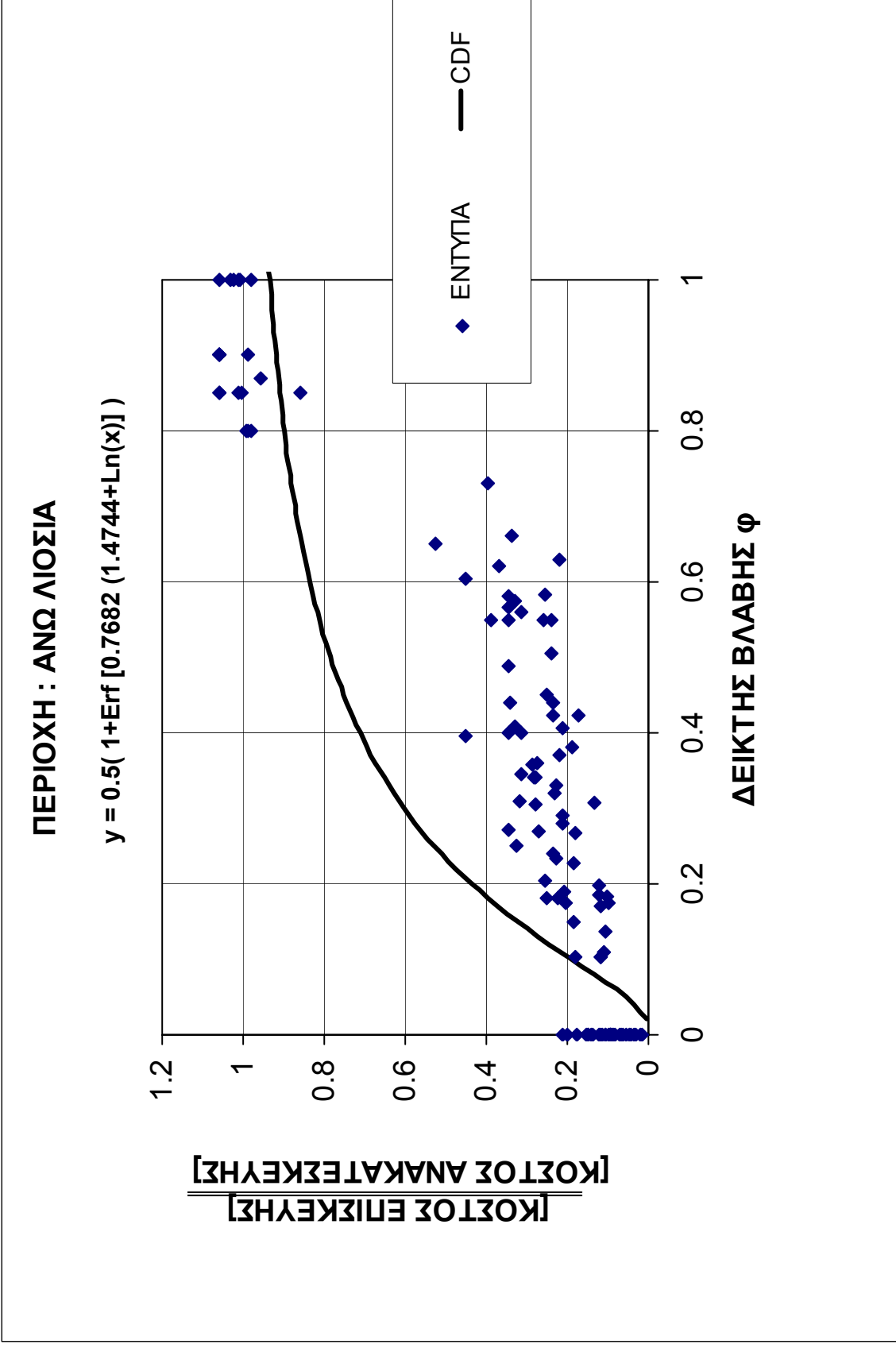
Διάγραμμα 3: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3^{ου} βαθμού)



Διάγραμμα 4: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)



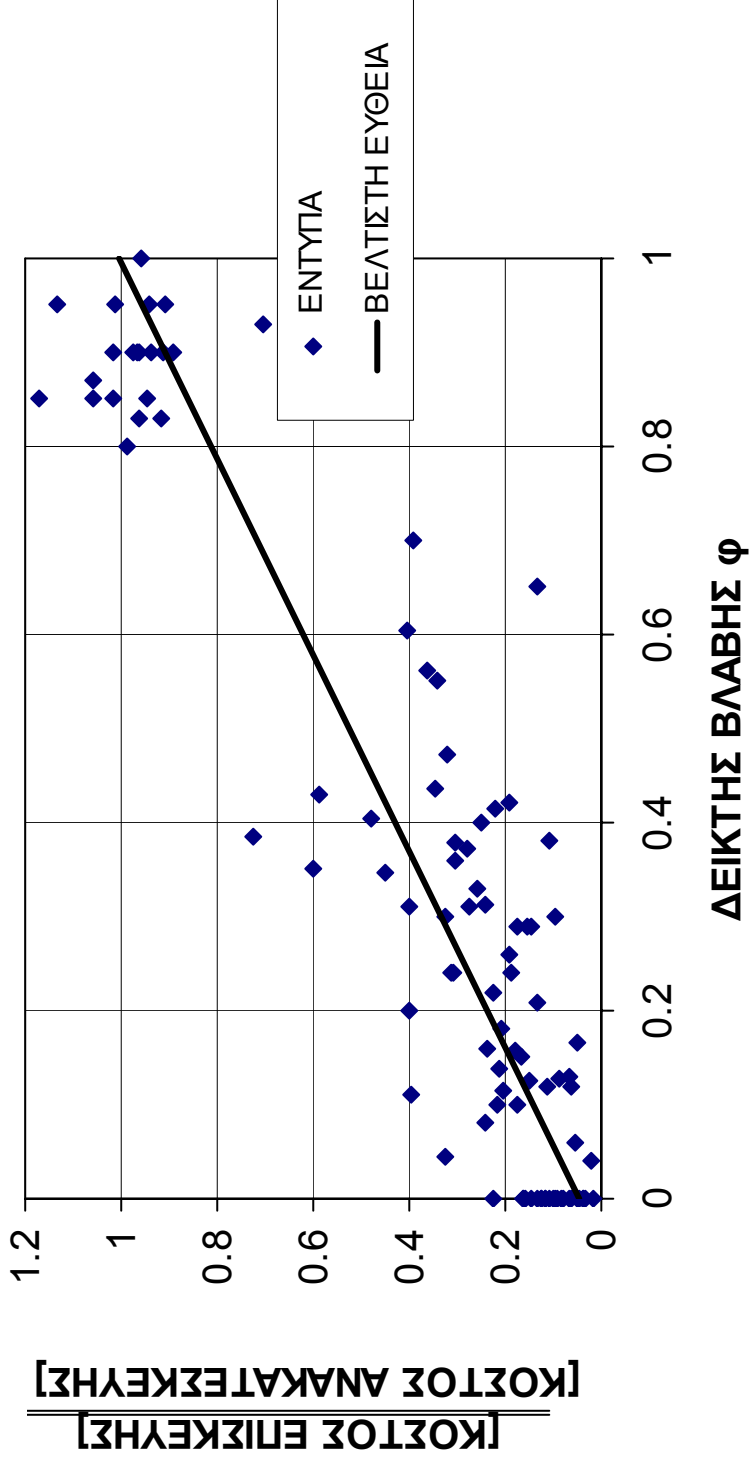
Διάγραμμα 5: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Y με λογαριθμική κλίμακα)



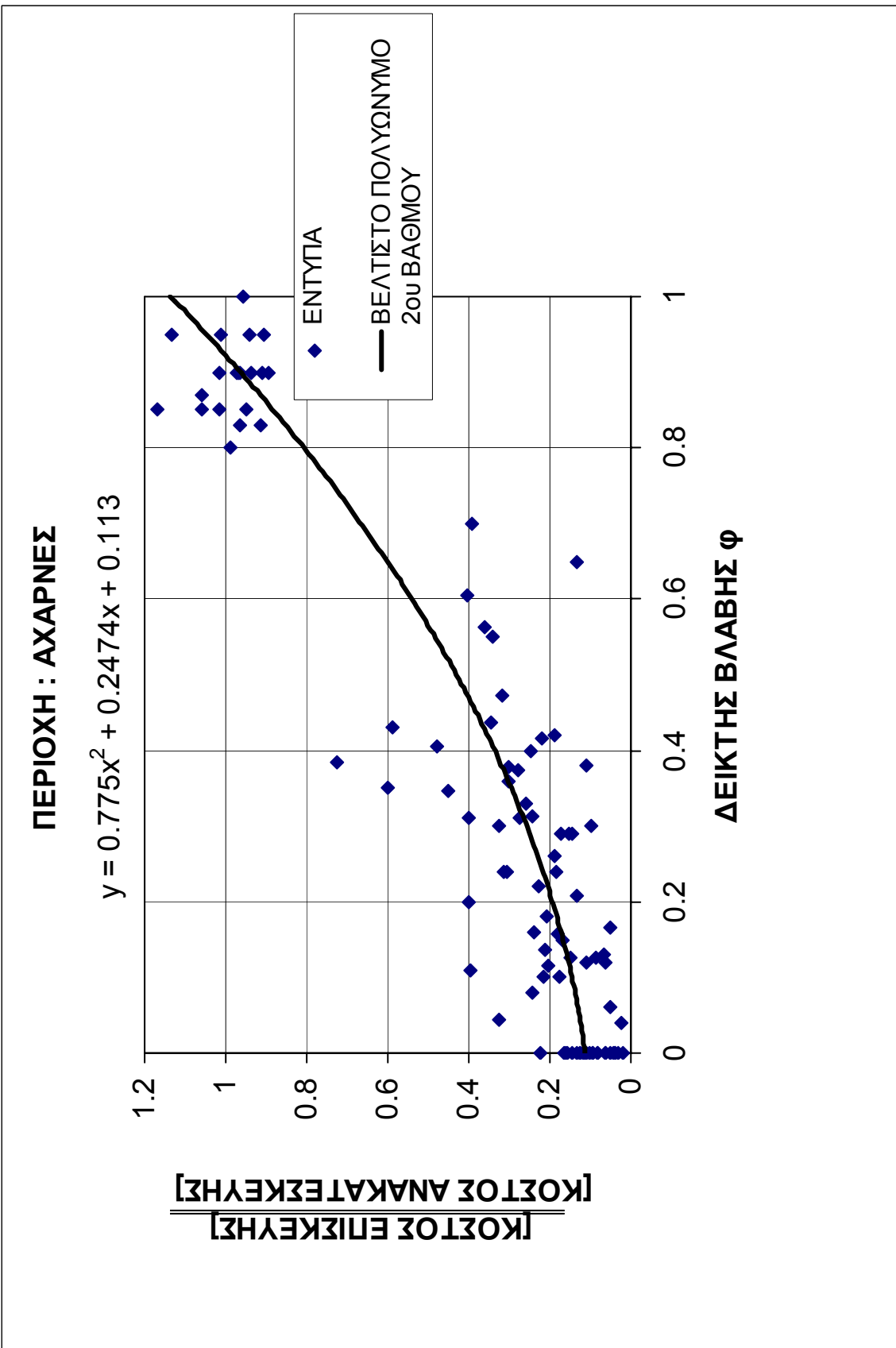
Διάγραμμα 6: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)

ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΧΑΡΝΕΣ

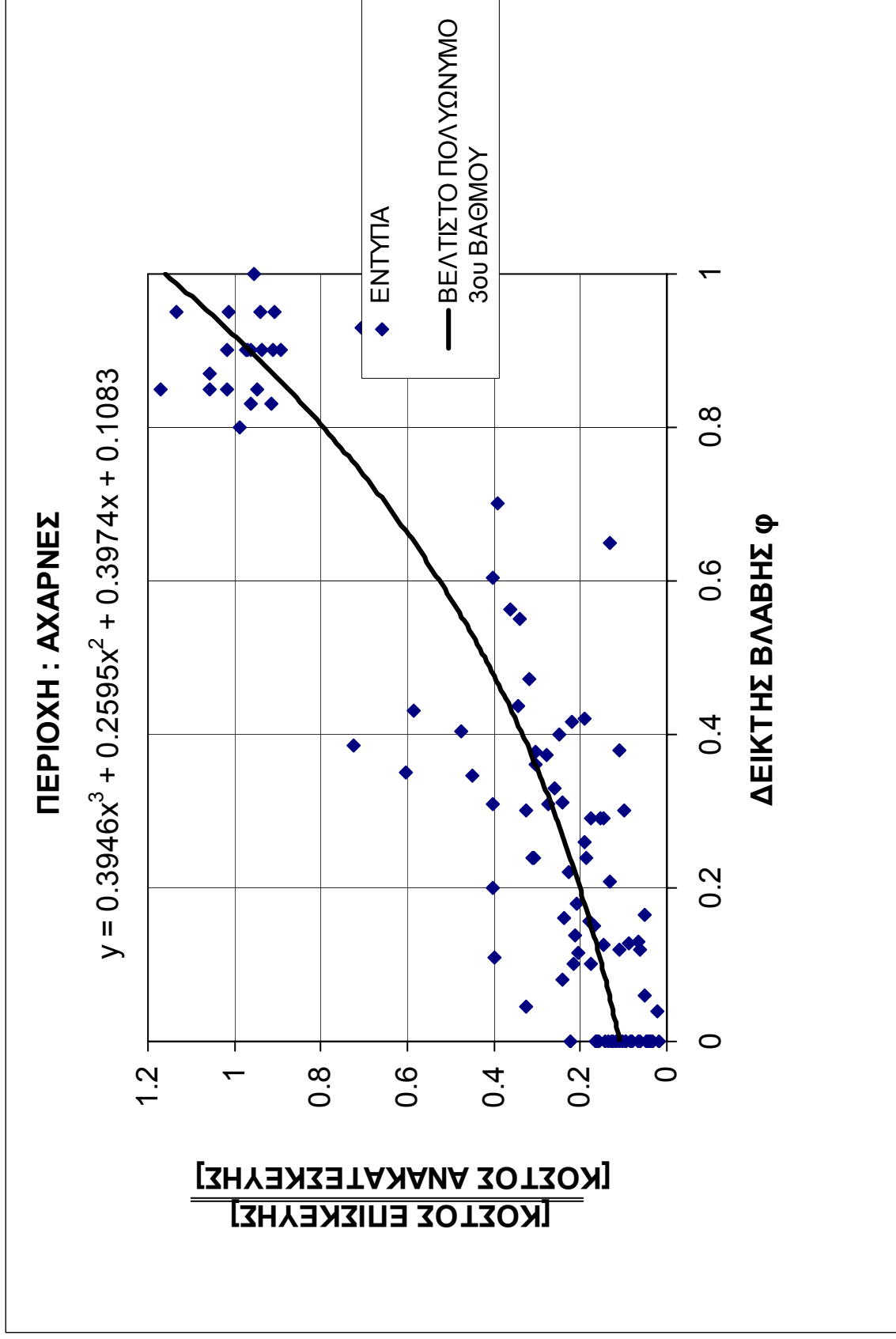
$$y = 0.9604x + 0.0446$$



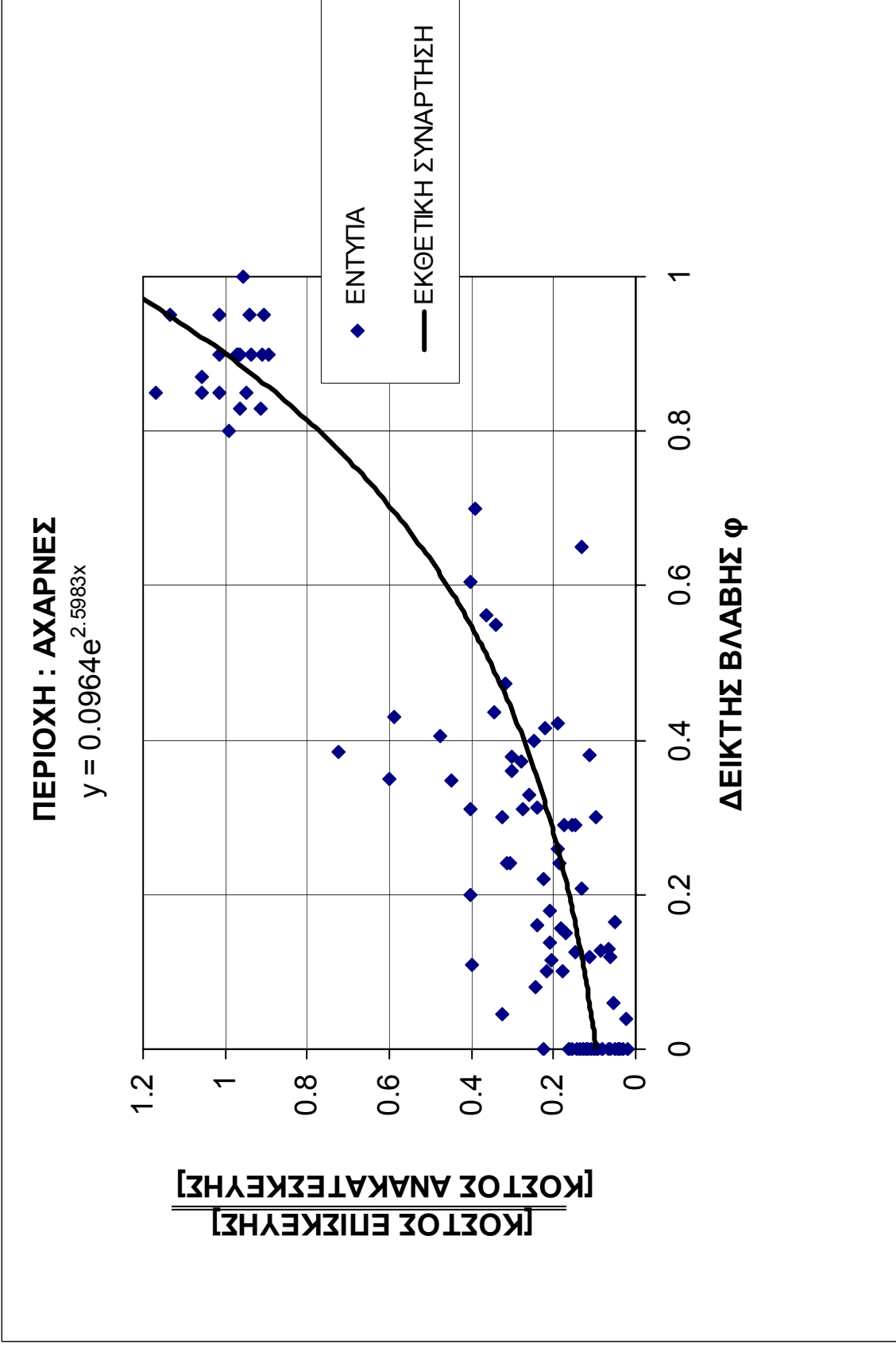
Διάγραμμα 7: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1^{ου} βαθμού)



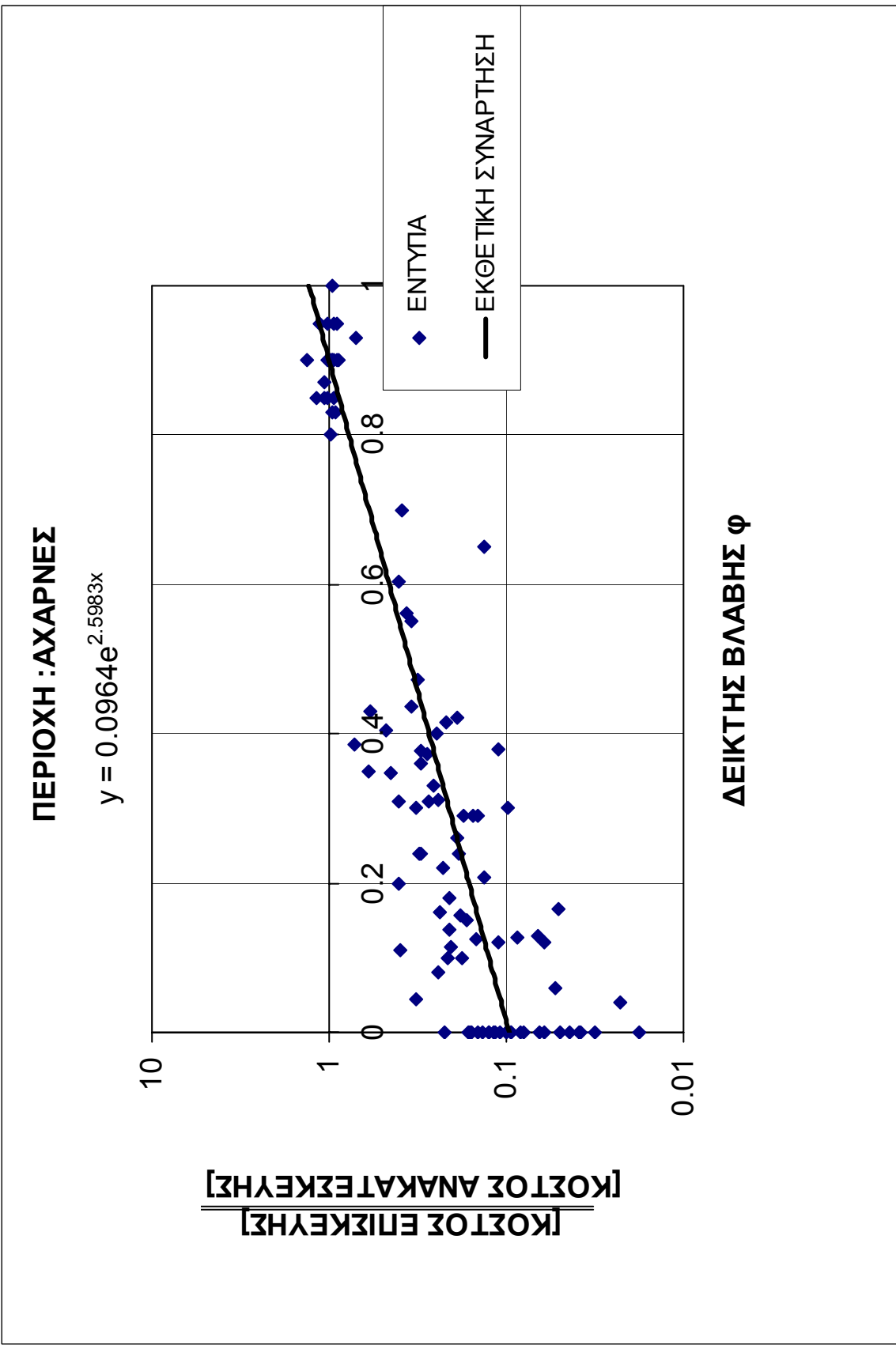
Διάγραμμα 8: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2^{ου} βαθμού)



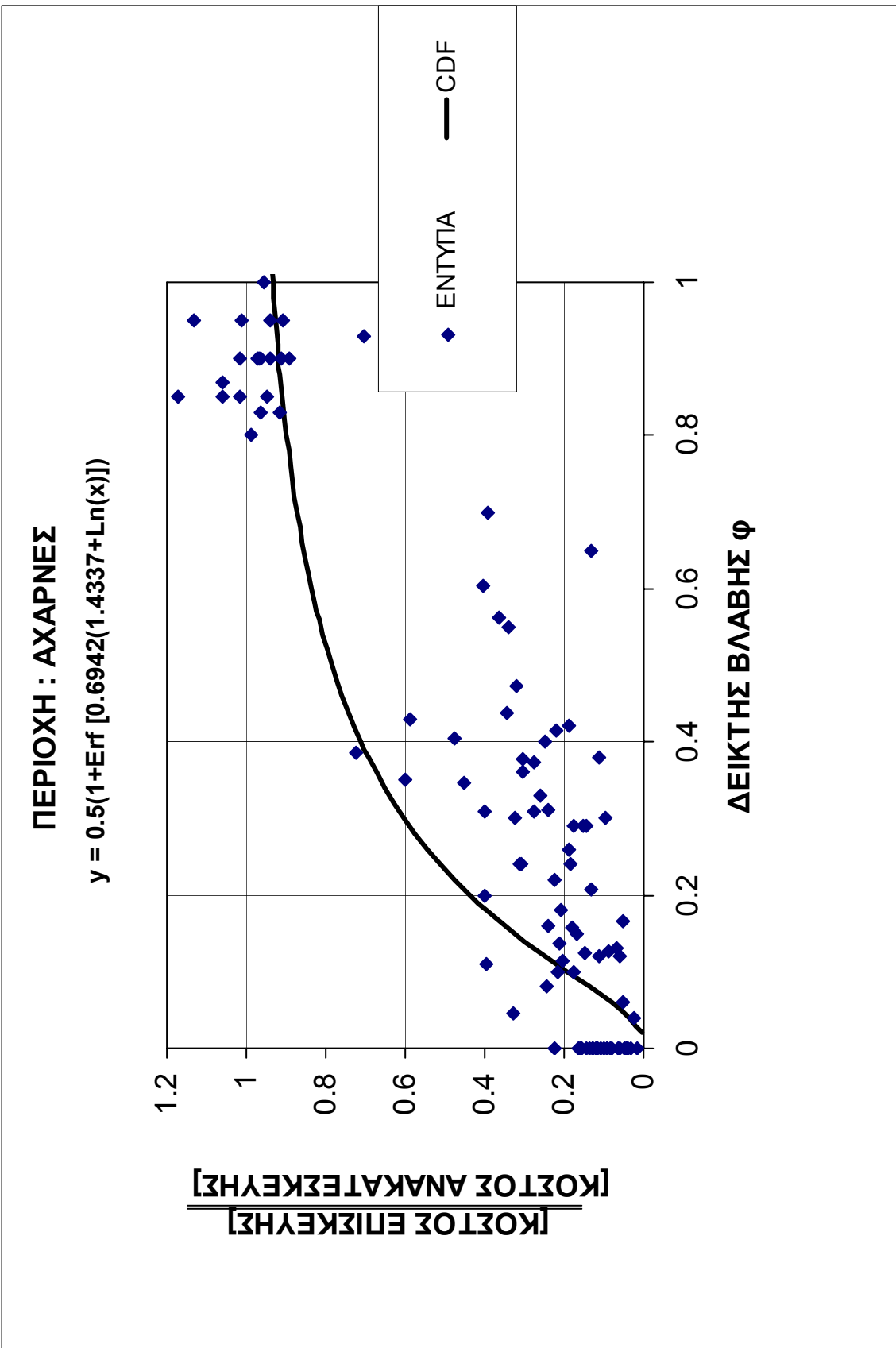
Διάγραμμα 9: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3^{ου} βαθμού)



Διάγραμμα 10: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)



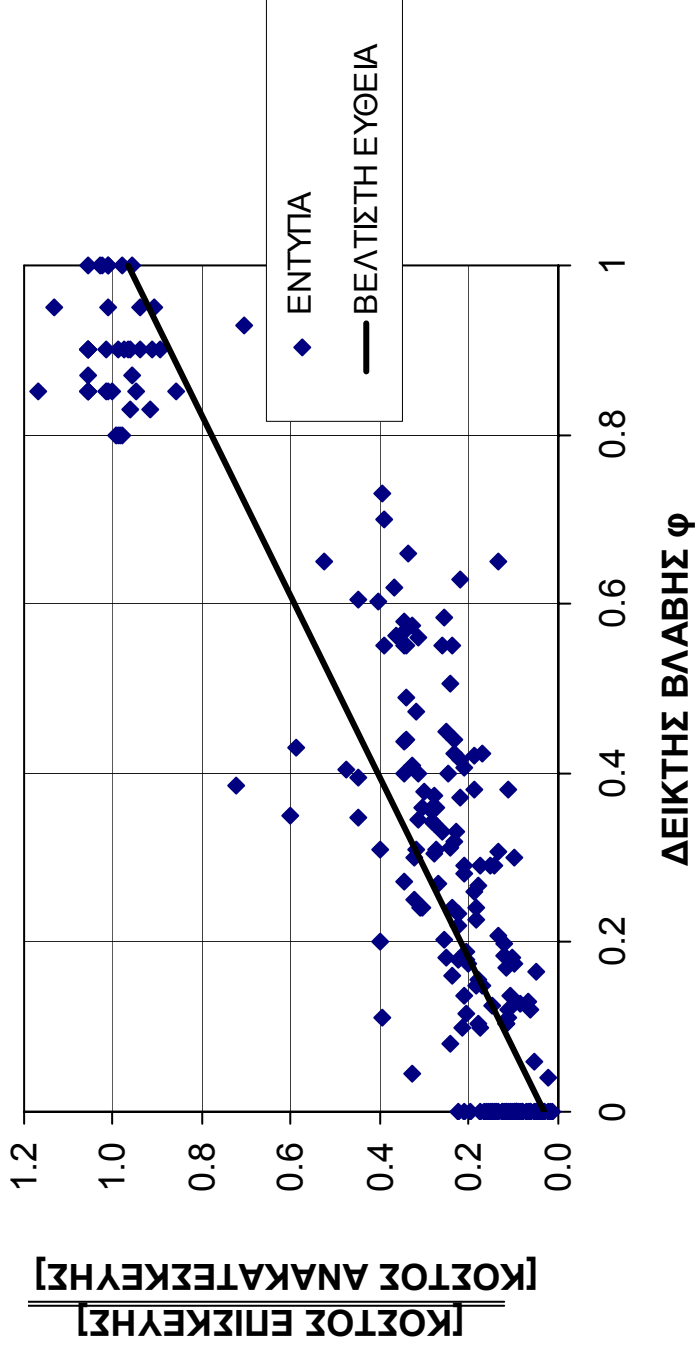
Διάγραμμα 11: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Y με λογαριθμική κλίμακα)



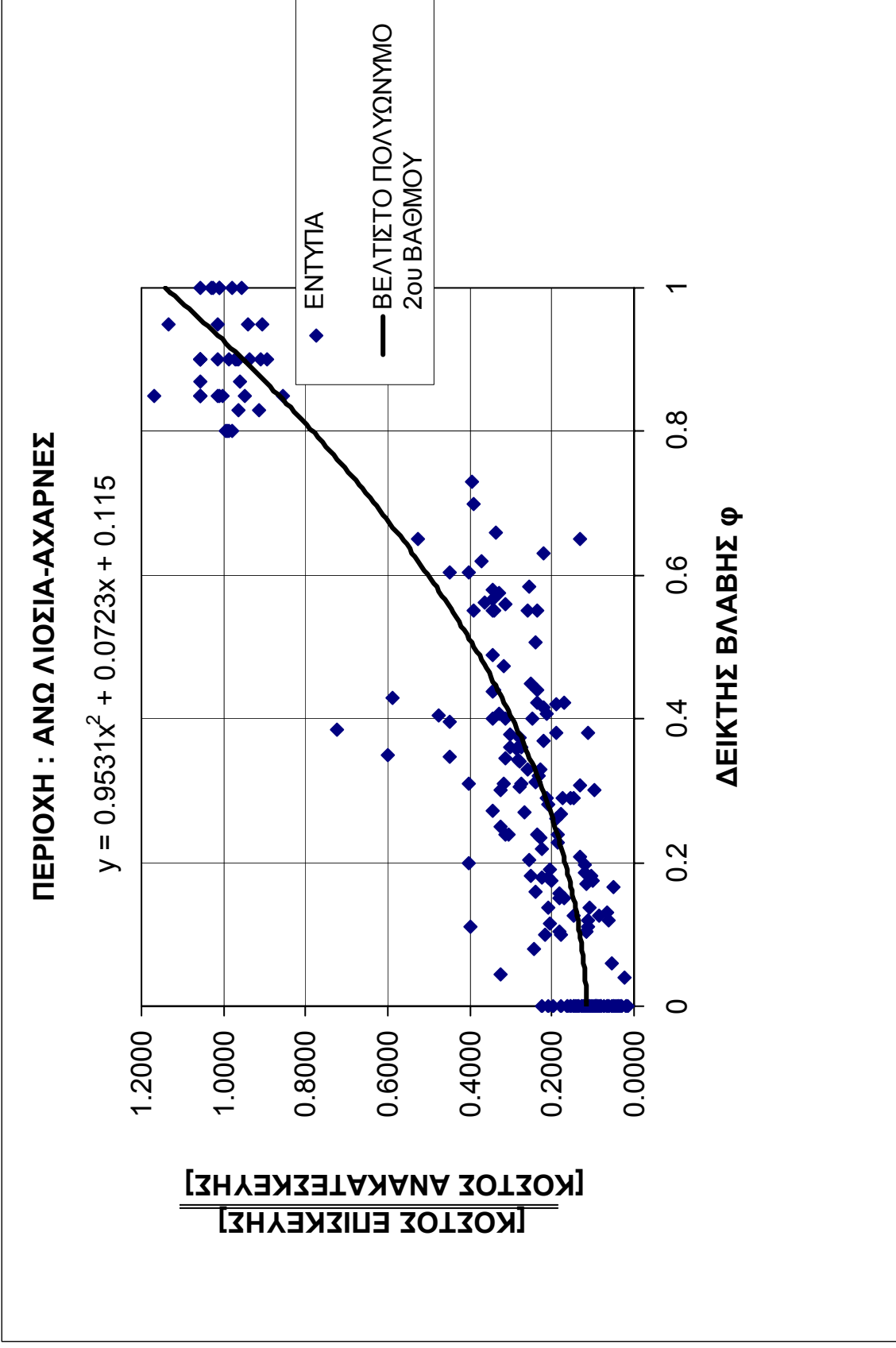
Διάγραμμα 12: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)

ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ-ΑΧΑΡΝΕΣ

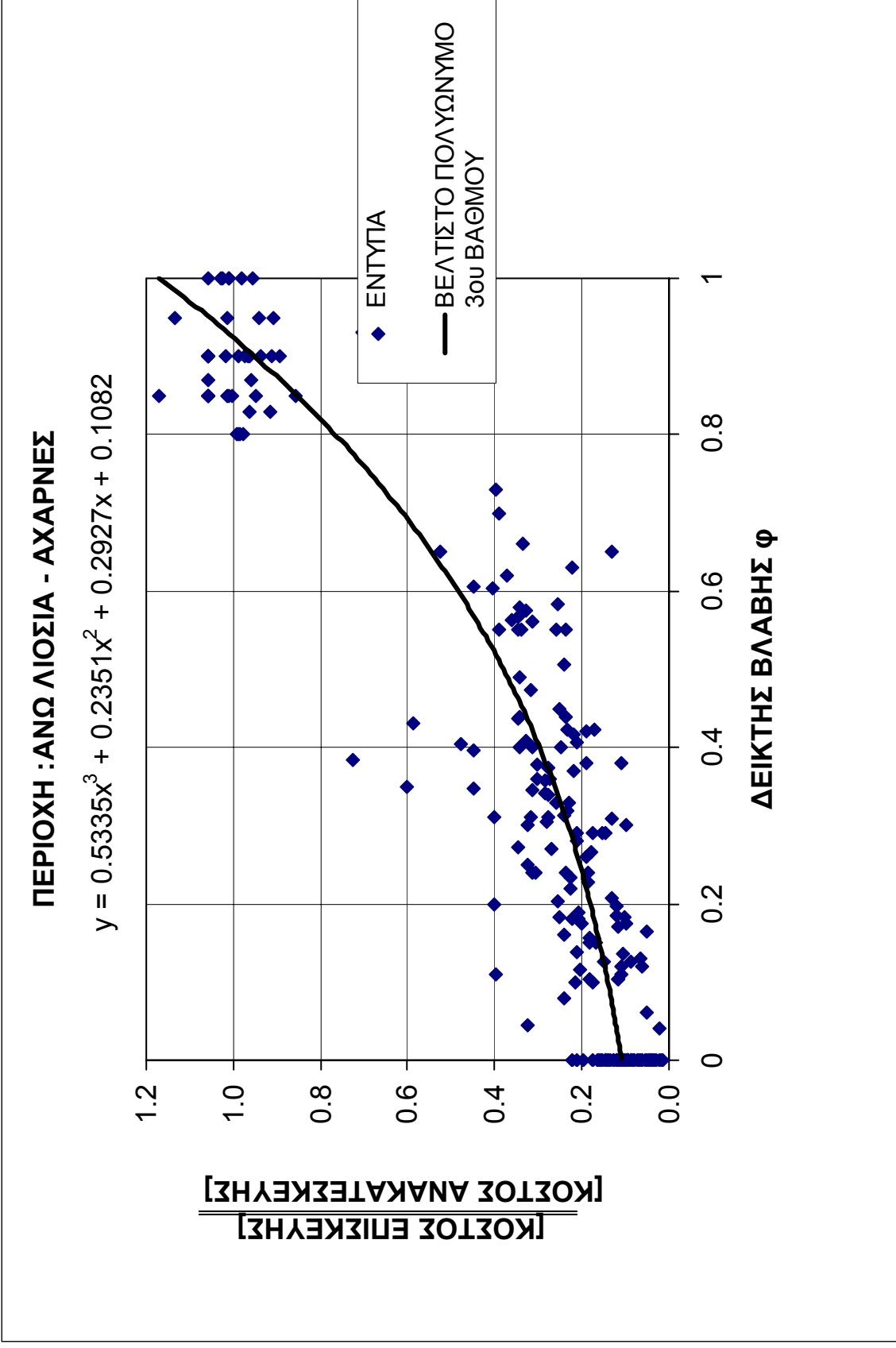
$$y = 0.9335x + 0.0312$$



Διάγραμμα 13: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 1^{ου} βαθμού)

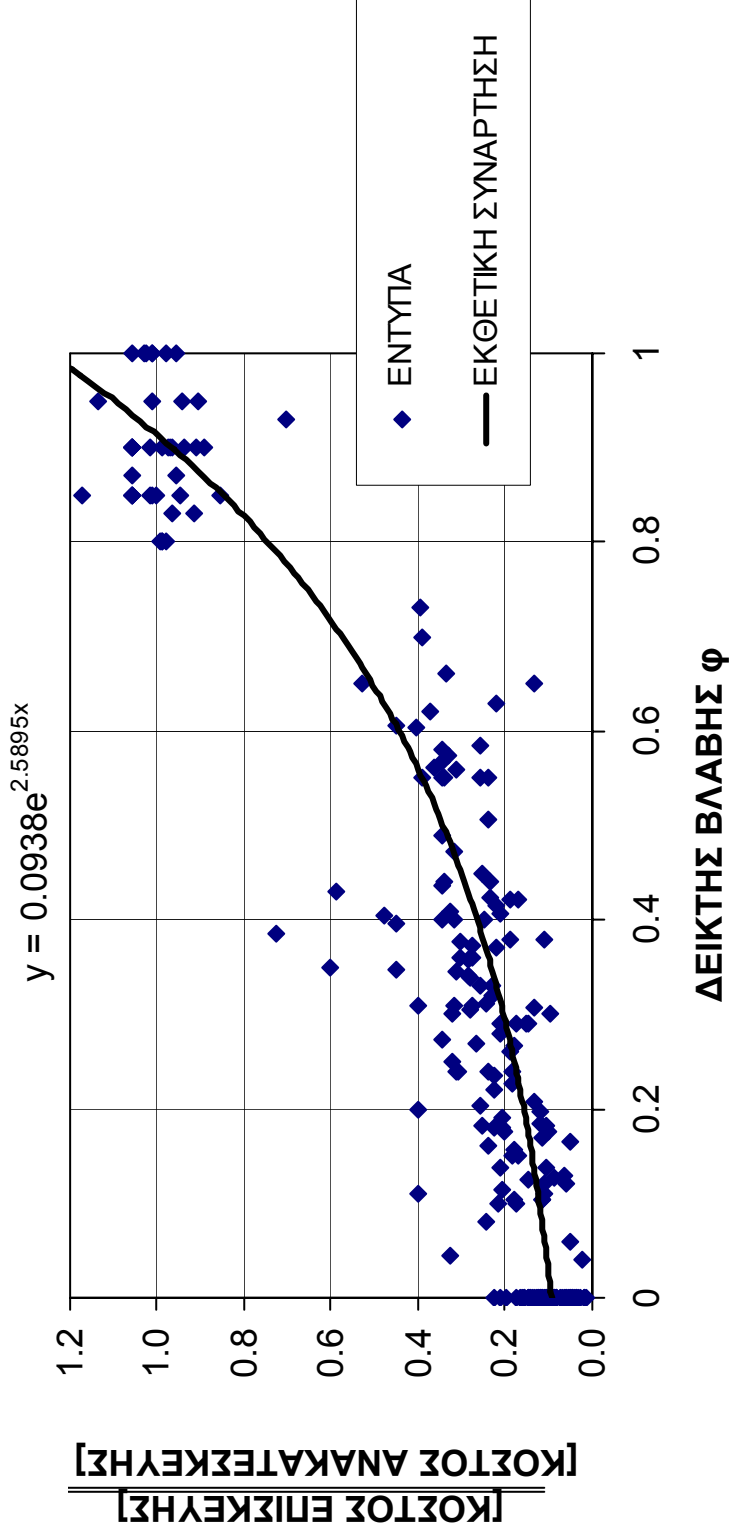


Διάγραμμα 14: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 2^{ου} βαθμού)

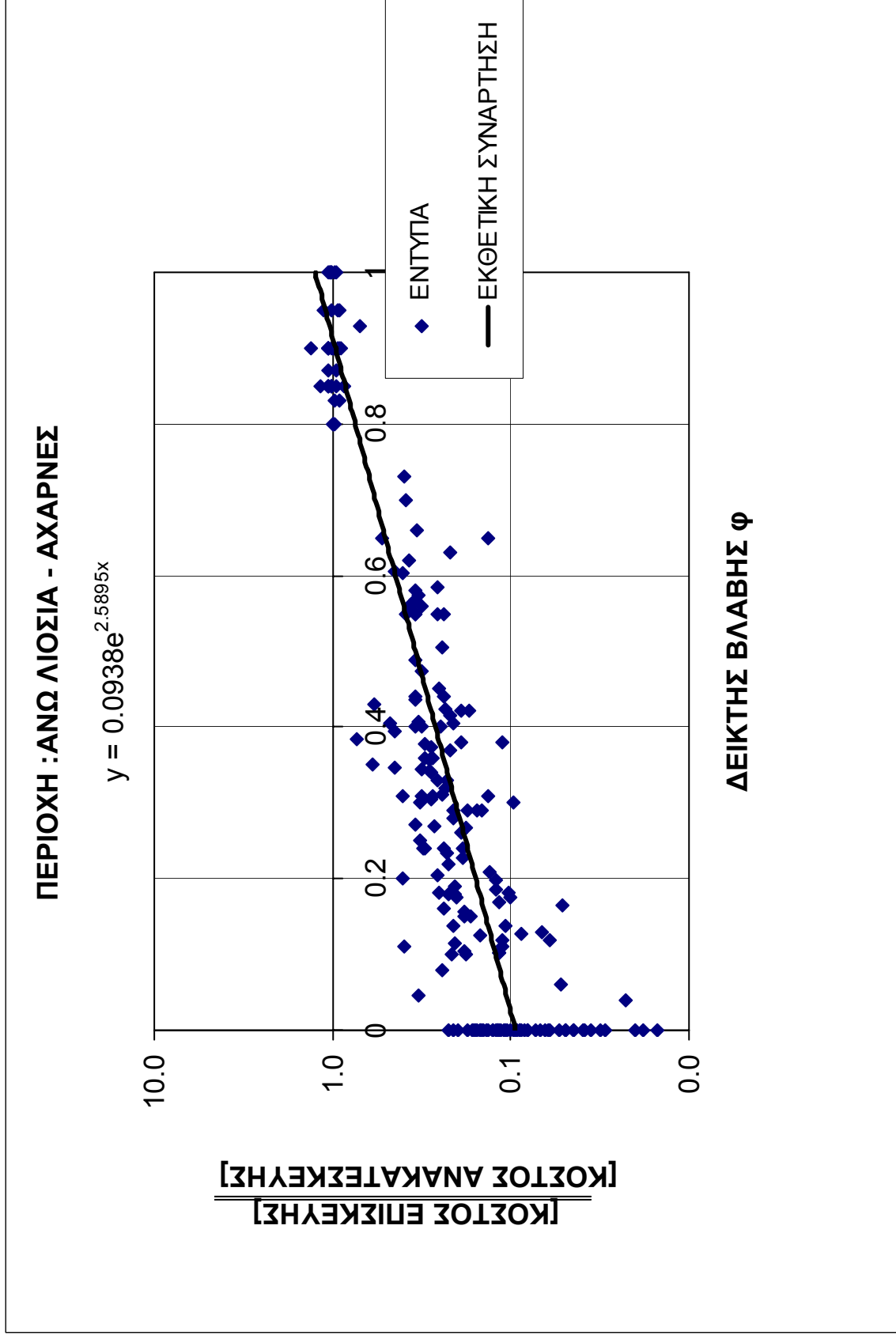


Διάγραμμα 15: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων 3^{ου} βαθμού)

ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ ΑΧΑΡΝΕΣ



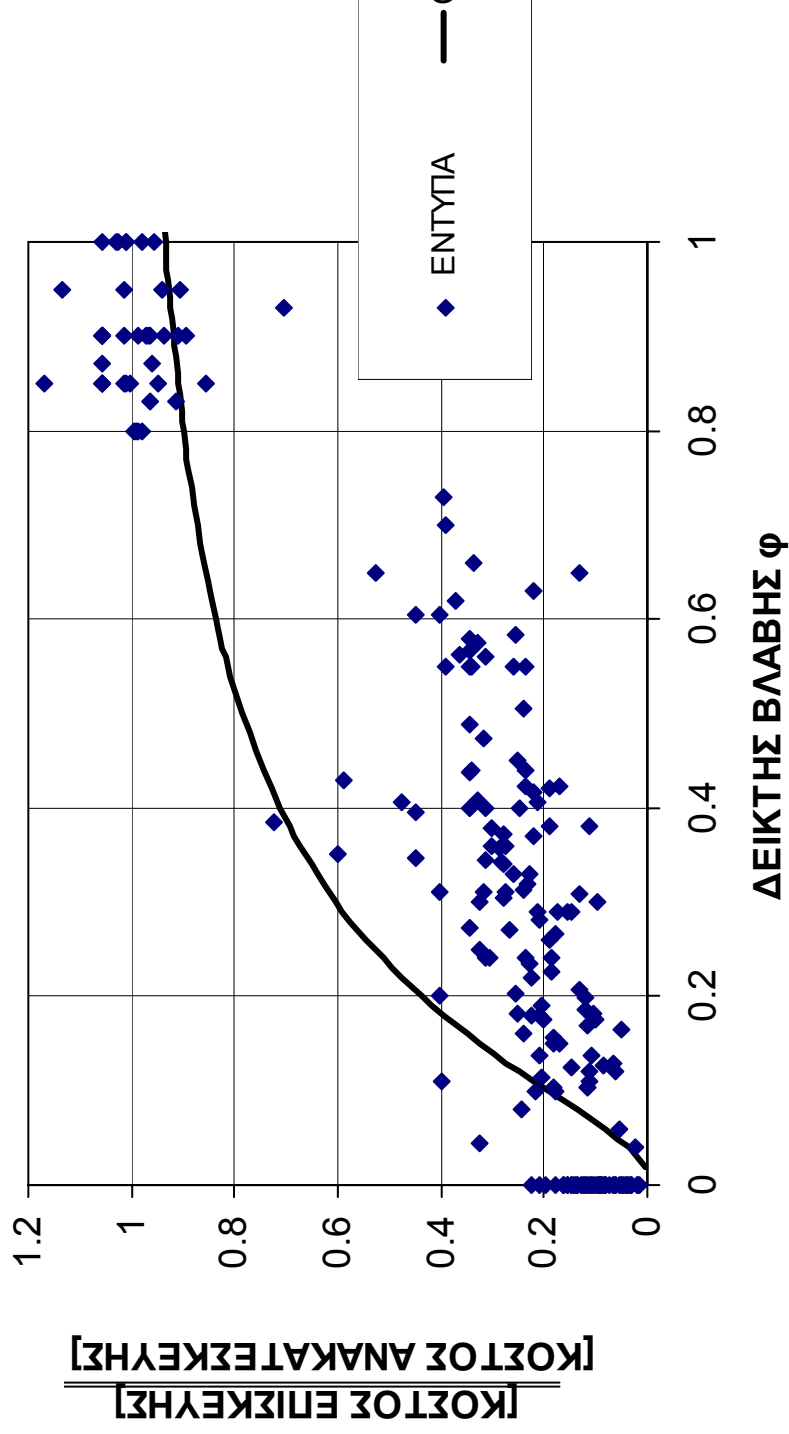
Διάγραμμα 16: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων)



Διάγραμμα 17: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (εκθετική καμπύλη ελαχίστων τετραγώνων, άξονας Y με λογαριθμική κλίμακα)

ΠΕΡΙΟΧΗ : ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ- ΑΧΑΡΝΕΣ

$$y = 0.5(1 + \text{Erf} [0.7310(1.4556 + L_n(x))])$$



Διάγραμμα 18: Συσχέτιση δομικής βλάβης με οικονομικές απώλειες (καμπύλη CDF)

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσω της μεθοδολογίας που προτείνεται στην Υ.Α. 5172/Α25β/18.10.1999 παρέχεται μια απλοποιημένη διαδικασία υπολογισμού της απώλειας φέρουσας ικανότητας της κρίσιμης στάθμης κτιρίων στα οποία έχουν αναπτυχθεί βλάβες από σεισμό. Με την εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας προέκυψαν τα στοιχεία που συνθέτουν τα διαγράμματα που παρουσιάζονται. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν επιστημονικά αποδεκτή μορφή. Η διασπορά που παρατηρείται οφείλεται σε παράγοντες όπως:

- Το εάν έγινε μόνο επισκευή, ή επισκευή και ενίσχυση.
- Το εάν έγινε ενίσχυση και στη θεμελίωση.
- Ο βαθμός βλάβης των τοιχοποιιών.
- Η μέθοδος επισκευής που εφαρμόστηκε

Η διασπορά αυτή είναι μεγαλύτερη στα κτίρια που είχαν χαρακτηριστεί με κίτρινο χρώμα καθώς σε αυτά κυρίως έγιναν επεμβάσεις στον φέροντα οργανισμό.

Από τις μεθόδους επισκευής και ενίσχυσης που εφαρμόστηκαν προκύπτει ότι εφαρμόστηκαν κυρίως οι παραδοσιακές μέθοδοι των ρητινενέσεων και των μανδυών, έναντι των μεθόδων με σύνθετα υλικά και μεταλλικά ελάσματα. Προφανώς αυτό οφείλεται αφενός μεν στο γεγονός ότι οι δύο τελευταίες μέθοδοι είναι σχετικά καινούριες και άρα λιγότερο γνωστές στους ιδιώτες, αφετέρου δε υπάρχει μεγαλύτερη προσφορά (στην τεχνική αγορά) σε συνεργεία επισκευής και ενίσχυσης με την «παραδοσιακή» μέθοδο των ρητίνων και μανδυών.

Από τα πολυωνμικά μοντέλα που προσδιορίστηκαν η καμπύλη πρώτου βαθμού έχει σημαντικές αποκλίσεις σε διάφορες περιοχές της. Οι πολυωνμικές καμπύλες δευτέρου και τρίτου βαθμού διέρχονται από τα σημεία του δείγματος παρουσιάζοντας μικρότερες αποκλίσεις. Δεν υπάρχει ουσιαστική διαφορά μεταξύ των καμπυλών δευτέρου και τρίτου βαθμού. Η καμπύλη τετάρτου βαθμού έχει την καλύτερη προσέγγιση, αλλά η ακρίβεια που επέρχεται κρίνεται ότι δεν έχει πρακτική σημασία λόγω της διασποράς των δεδομένων. Από την παρατήρηση της εκθετικής καμπύλης προκύπτει το συμπέρασμα ότι μέσω αυτής επιτυγχάνεται παρόμοια προσέγγιση με αυτή των πολυωνμικών καμπυλών δευτέρου και τρίτου βαθμού. Τέλος, κατάλληλης μορφής είναι και η καμπύλη της σωρευτικής συνάρτησης της λογαριθμικής κατανομής (CDF), η οποία μάλιστα παρουσιάζει μηδενική τιμή απώλειας (κόστους επέμβασης) για $D=0$ (μηδενική δομική βλάβη), άρα προσφέρεται περισσότερο για πρακτική εφαρμογή (δεν χρειάζεται δηλαδή πρόσθετος δείκτης περιγραφής της βλάβης στις τοιχοπληρώσεις). Στην καμπύλη αυτή παρατηρούνται σημαντικές αποκλίσεις από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν.

7. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ Β΄ ΦΑΣΗ

Με το παρόν υλικό ολοκληρώνεται η πρώτη φάση του έργου της ομάδας εργασίας όπως είχε εγκριθεί από τη Διοικούσα Επιτροπή του ΤΕΕ Τμ. Κεν. Μακεδονίας. Θα ακολουθήσει η Β΄ φάση κατά την οποία:

- Θα συμπληρωθεί περιορισμένος αριθμός εντύπων (για έλεγχο της σύμπτωσης) παρόμοιων με αυτά της πρώτης φάσης από κτίρια με βλάβες από τον σεισμό της Θεσσαλονίκης (έρευνα σε αρχεία ΥΑΣΒΕ).
- Θα αναπτυχθεί μέθοδος βάσει ενός σχετικά απλού τρόπου αξιολόγησης και περιγραφής της δομικής βλάβης (π.χ. εξετάζοντας μόνο τα στοιχεία του κρισιμότερου ορόφου ή και τις εξωτερικές όψεις του κτιρίου).
- Θα αξιοποιηθούν τα στοιχεία ερευνητικού προγράμματος (ΑΠΘ/ΥΑΣΒΕ) σχετικά με την εκτίμηση του κόστους επισκευής και τον συνδυασμό του με τον απλό χαρακτηρισμό της βλάβης με χρώματα (πράσινο, κόκκινο, κίτρινο). Στο ερευνητικό αυτό πρόγραμμα είχαν συλλεγεί στοιχεία από κτίρια με βλάβες στον σεισμό της Θεσσαλονίκης.

8. ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η συλλογή των στοιχείων έγινε από τα αρχεία των ΤΑΣ Άνω Λιοσίων και Αχαρνών. Εκφράζουμε τις ευχαριστίες μας στους διευθυντές και το προσωπικό αυτών των υπηρεσιών για τη συμβολή τους στην επιτυχία του έργου της Ομάδας Εργασίας.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

- Gunturi, S.K.V. and H.C. Shah 1992. Building Specific Damage Estimation. *Proceedings of 10th World Conf. on Earthq. Engng.* (July 1992, Madrid, Spain) Balkema, Rotterdam, Vol. 10, 6001-6006.
- Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and Penelis, G.G. (1991), “Analytical Prediction of the Response of Structures to Future Earthquakes”, *European Earthquake Engineering*, Vol. 5, No. 1, 1991, 10-21.
- Kappos, A.J., Stylianidis, K.C., and Pitilakis, K., 1998. Development of seismic risk scenarios based on a hybrid method of vulnerability assessment. *Natural Hazards*, **17**(2): 177-192.
- Park, Y-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K. (1985) “Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings”, *J. Str. Eng.*, ASCE, V. 111, No. 4, pp. 740-757.
- Park, Y-J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K. (1987) “Damage-limiting aseismic design of buildings”, *Earthquake Spectra*, V. 3, No. 1, 1-25.
- Καρέλα, Ν.Π., Δρίτσος, Σ.Η. κ.ά. (1999) Μετασεισμικές επεμβάσεις αποκατάστασης κτιρίων στην πόλη του Αιγίου, *13ο Ελλ. Συνέδριο Σκυροδέματος*, Ρέθυμνο, Οκτ. 1998, τ. Ι, σελ. 508-517.
- Χρονόπουλος, Μ.Π. (1984), “Βλάβες και κόστος επεμβάσεων”, *Πρακτ. Συνεδ. Σεισμοί και Κατασκευές* (Αθήνα), 459-469.