

# Λογισμικό ανάλυσης- διαστασιολόγησης κτιριακών έργων Εξέλιξη - Έλεγχος - Προοπτικές \*)

του Ιωάννη Ε. Αβραμίδη (avram@civil.auth.gr)  
Καθηγητή Στατικής και Δυναμικής των Κατασκευών  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (www.civil.auth.gr)  
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

\*) Ομιλία στα πλαίσια της Ημερίδας "Μελέτες φέροντος οργανισμού κτιριακών έργων" που διοργάνωσαν το ΤΕΕ και ο ΟΑΣΠ στις 3 Απριλίου 2003 στην Αθήνα. Δημοσιεύθηκε στο Δελτίο του ΣΓΜΕ, Νο.306, Απρ. 2003, σελ. 42-48.

**Λογισμικό ανάλυσης- διαστασιολόγησης  
κτιριακών έργων**  
**Εξέλιξη - Έλεγχος - Προοπτικές**

**ΑΒΡΑΜΙΔΗΣ Ι. Ε.**  
Εργαστήριο Εφαρμοσμένης Στατικής  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών  
**Α.Π.Θ.**



Αθήνα, Απρίλιος 2003

Διαφάνεια 1

Αγαπητοί συνάδελφοι,

Φοβούμαι, ότι με αυτά στα οποία θα αναφερθώ στην ομιλία αυτή (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 1**), δεν θα σας πω κάτι που δεν γνωρίζετε ήδη. Εντούτοις, το βασικό θέμα που θα θίξουμε έχει μέγιστη πρακτική σημασία, και πιστεύω ότι θα συμφωνήσετε σ' αυτό μαζί μου. Πρόκειται για **το πρόβλημα της ελεγκσιμότητας των κυκλοφορούντων προγραμμάτων** που χρησιμοποιούνται για την εκπόνηση στατικών/αντισεισμικών μελετών και το οποίο έχει τεθεί επί τάπητος εδώ και πολλά χρόνια. Και

στην Ελλάδα, αλλά και σε πολλές άλλες προηγμένες χώρες. Και βέβαια δεν έχει μπορέσει να αντιμετωπισθεί ακόμη λυσιτελώς.

Στη χώρα μας, η πρώτη (και μοναδική μέχρι πρόσφατα) προσπάθεια μερικής έστω αντιμετώπισής του έγινε το 1990 από το ΤΕΕ με την σύσταση Ομάδας Εργασίας που είχε ως αντικείμενο αφενός την καταγραφή των δυνατοτήτων των τότε κυκλοφορούντων επαγγελματικών προγραμμάτων ανάλυσης και διαστασιολόγησης κατασκευών και αφετέρου την εκπόνηση δοκιμαστικών προβλημάτων με την βοήθεια των οποίων θα μπορούσε να ελεγχθεί σε κάποιο βαθμό η ορθότητα των στατικών αναλύσεων. Εντούτοις, και παρά την συνεχή πίεση εκ μέρους των χρηστών των επαγγελματικών προγραμμάτων που διαπίστωναν στην πράξη τα αναφερόμενα προβλήματα, δεν μπόρεσε να δοθεί συνέχεια στην πρωτοβουλία αυτή. Η **αίσθηση του 'μαύρου κουτιού'**, την οποία αποκόμιζε σχεδόν κάθε μελετητής από την χρήση του όποιου προγράμματος χρησιμοποιούσε, παρέμεινε αμετάβλητη.

Στην 10-ετία που μεσολάβησε από την πρώτη εκείνη προσπάθεια, οι ουσιαστικές αλλαγές στους Κανονισμούς και η παράλληλη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των υπολογιστών οδήγησαν σε μία δραματική αύξηση της πολυπλοκότητας των επαγγελματικών προγραμμάτων, χωρίς τα οποία βέβαια το πλέγμα των σύγχρονων Κανονισμών δεν θα ήταν εφαρμόσιμο. Άμεσο αποτέλεσμα ήταν τα 'μαύρα κουτιά' να γίνουν ακόμη πιο μαύρα, μια και η αξιοπιστία των προγραμμάτων παρέμενε ανεξέλεγκτη. Η δυσφορία των μελετητών εκφράσθηκε μεταξύ άλλων ακόμη και με σκωπτικά άρθρα στον ημερήσιο τύπο, όπως βλέπετε στη διαφάνεια αυτή (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 2**).

**Η ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ**  
Ημερήσια Πολιτική και Οικονομική Εφημερίδα

22 Σεπτεμβρίου 1999

### Αντισεισμικά προγράμματα «του αέρα»

Για να πουλήσει κανείς σήμερα λεμόνια σε μια λαϊκή αγορά, θα πρέπει να πάρει όχι μία, αλλά δύο και τρεις άδειες από τις αρμόδιες αρχές. Για να πουλήσει όμως, κάποιος προγράμματα υπολογισμού αντοχής κτιρίων σε σεισμό, δεν χρειάζεται άδεια! Το φτιάχνεις, το πουλάς σε τιμή 1-2 εκατ. και... αυτό είναι!

Ναι, όσο κι αν φαντάζει απίθανο, είναι πραγματικό!

Πάνε περίπου 20 χρόνια από τότε που οι πολιτικοί μηχανικοί στην Ελλάδα άρχισαν να χρησιμοποιούν τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές για να υπολογίσουν την αντοχή των κτιρίων από σπλιωμένο σκυρόδεμα.

Από τότε μέχρι και σήμερα, χρησιμοποιούνται προγράμματα που έχουν δημιουργήσει διάφορες ελληνικές εταιρείες.

Τα προγράμματα αυτά κατασκευάζονται συνήθως με προσαρμογή στους ελληνικούς κανονισμούς των φορτίσεων των έργων από σπλιωμένο σκυρόδεμα και του Αντισεισμικού Κανονισμού, καθώς και σχετικών προγραμμάτων από τις ΗΠΑ, τη Γερμανία και άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Για τη διάθεση στους μηχανικούς των προγραμμάτων αυτών, που η τιμή πώλησής τους φθάνει και τα 2 εκατ. δρχ. και από τα οποία εξαρτάται η αντοχή και η ασφάλεια των κτιρίων, δεν απαιτείται άδεια από το ΥΠΕΧΩΔΕ ή άλλη Αρχή ούτε τα τους από κάποιον έλεγχο για την ποιότητά τους από κάποιον πανεπιστημιακό ή άλλο φορέα!

Τα προγράμματα στατικών και αντισεισμικών υπολογισμών διαχωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Τα παλαιότερα, που δημιουργήθηκαν για τον υπολογισμό της αντοχής των κτιρίων με βάση τους προηγμένους κανονισμούς για οικοδομικά έργα από σπλιωμένο σκυρόδεμα και αντισεισμικό και τα σύγχρονα, με βάση τους νέους, μετά το 1996, κανονισμούς.

Με βάση τα παλαιότερα προγράμματα έχουν γίνει υπολογισμοί αντοχής για εκατοντάδες χιλιάδες κτίρια μέχρι το 1996, χρονιά εφαρμογής των νέων κανονισμών.

Τα προγράμματα που δημιουργήθηκαν βάσει των πελαϊκών κανονισμών έχουν χρησιμοποιηθεί για την αντοχή των κτιρίων σε ολόκληρη τη χώρα και είναι σήμερα ευκαιρία να ελεγχθούν από τους ειδικευμένους πολιτικούς μηχανικούς, που ασχολούνται με τις βλάβες των κτιρίων από τον τελευταίο σεισμό ή και με όσα κτίρια κατέρρευσαν. Για τα προγράμματα στα οποία θα εντοπισθούν λάθη ή παραλείψεις αναγκαίων ελέγχων αντοχής - και μάλλον πρόκειται σχεδόν για το σύνολο - απαιτείται ο επανέλεγχος στατικών και αντισεισμικών μελετών που έχουν συνταχθεί με αυτά.

Οι μελέτες βρίσκονται στα αρχεία των υπηρεσιών πολεοδομίας και οι σχετικοί έλεγχοι των μελετών μπορούν να γίνουν σε εύλογο χρόνο με πολύ μικρή δαπάνη.

Η αποκατάσταση της αντοχής του σκελετού των κτιρίων που επλήγησαν από το σεισμό, μπορεί έτσι να είναι πιο ορθολογική με μικρότερη δαπάνη και περισσότερη ασφάλεια, αφού θα γνωρίζουμε την αιτία για την οποία εμφανίσθηκαν οι βλάβες.

Τα προγράμματα που κατασκευάστηκαν σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς με τα οποία υπολογίζεται η αντοχή σε σεισμό όλων των κτιρίων που κατασκευάζονται σήμερα στη χώρα, πρέπει, χωρίς καθυστέρηση, να ελεγχθούν από τους αρμόδιους οργανισμούς και για όσα απ' αυτά κριθούν κατάλληλα να χορηγηθεί άδεια πώλησης στους πολιτικούς μηχανικούς. Για όσα κριθεί ότι δεν είναι κατάλληλα για τις στατικές ή αντισεισμικές μελέτες πρέπει να διακοπεί η πώλησή τους και να μη γίνονται δεκτές μελέτες στις υπηρεσίες πολεοδομίας για τη χορήγηση της οικοδομικής άδειας, μέχρις ότου διορθωθούν τα λάθη ή οι παραλείψεις τους και αποκτήσουν την απαραίτητη άδεια διάθεσής τους.

Προσωπικά βρίσκω αδόκιμο τον δημοσιογραφικό αυτόν τίτλο. Σήμερα διατίθενται στην ελληνική αγορά αξιόλογα προγράμματα από αξιόλογους οίκους λογισμικού. Εντούτοις, το θέμα της δυνατότητας ελέγχου των προγραμμάτων αυτών παραμένει. Και στο άρθρο αυτό διατυπώνεται η άποψη ότι η Πολιτεία, π.χ. το ΥΠΕΧΩΔΕ, θα πρέπει να δίνει σφραγίδα ποιότητας στα επαγγελματικά προγράμματα. Αυτή ήταν και ίσως ακόμη είναι μία άποψη αρκετά διαδεδομένη, που όμως εμφανίζει σειρά δυσκολιών υλοποίησης, γιαυτό και διεθνώς έχει εγκαταληφθεί.

Αντίθετα, ο έλεγχος των προγραμμάτων με τη βοήθεια **πρότυπων δοκιμαστικών παραδειγμάτων** μοιάζει να είναι ο προσφορότερος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος. Πράγματι, πρόσφατα ολοκληρώθηκε με χρηματοδότηση του ΟΑΣΠ - τον οποίο ευχαριστώ και από το βήμα αυτό - ένα ερευνητικό έργο με ακριβώς αυτόν τον στόχο, την δημιουργία δηλαδή 'εργαλείων' με τη βοήθεια των οποίων ακόμη και απλοί χρήστες προγραμμάτων θα μπορούν σε ικανό βαθμό να ελέγξουν την ορθότητα και την αξιοπιστία των χρησιμοποιούμενων προγραμμάτων.

Πριν προχωρήσω στην παρουσίαση αυτών των δοκιμαστικών παραδειγμάτων, επιτρέψτε μου να κάνω μία σύντομη αναδρομή στο πρόσφατο παρελθόν (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 3**).

<b>Εξέλιξη Κανονισμών &amp; Υπολογιστικών Μέσων</b>		
<i>Αντισεισμικοί Κανονισμοί</i>	<i>Υπολογιστικά μέσα</i>	<i>Μέθοδοι υπολογισμού στην καθημερινή πράξη</i>
<b>1959 Βασιλικό Διάταγμα</b>	Λογαριθμικός κανόνας Μηχανικές αριθμομηχανές 1972 : ηλεκτρονική αριθμομηχανή HP35  <b>1978 : πρώτοι PC</b> (Apple II, TRS-80, Commodore PET) 1981 : IBM PC με Intel 8086 1982 : Intel 80286	Στατική επίλυση δομικών <b>στοιχείων &amp; υποφορέων</b> (συνεχής δοκός, πέλδιλο, ...)  <b>Κατ' όροφο</b> αντισεισμικός έλεγχος (Ρουσόπουλος)
<b>1984</b> Τροποποιήσεις Β.Δ.	1984 : Macintosh 1985 : PC 80386 <b>1986 : πρώτα Windows</b>	Μοντέλο <b>επιπέδου πλαισίου</b> Πρώτες χωρικές αναλύσεις
<b>1992</b> NEAK	<b>1993 : πρώτος Pentium</b>	<b>Χωρική</b> στατική επίλυση γραμμικών προσομοιωμάτων
<b>1995</b> Τροποποιήσεις NEAK	1997 : Pentium II 1999 : Pentium III, 500 MHz 2001 : Pentium IV, >2 GHz	<b>Δυναμική</b> επίλυση Χρήση γραμμικών <b>και επιφανειακών</b> μοντέλων <b>Pushover analysis</b>
<b>2000</b> EAK		<b>Διαφάνεια 3</b>

Η τελευταία 15-ετία υπήρξε μία περίοδος μεγάλων μεταβολών στον τρόπο της μελέτης των κατασκευών, ειδικά όσον αφορά στο αντισεισμικό σκέλος. Όπως όλοι γνωρίζετε, από το 1984 μέχρι σήμερα επήλθαν έντονες αλλαγές στον Αντισεισμικό Κανονισμό (θέσπιση του NEAK το 1992, τροποποίησή του το 1995, πρόσφατη αναθεώρηση και μετονομασία του σε EAK το 2000).

Παράλληλες αλλαγές υπήρξαν και στον Κανονισμό Σκυροδέματος καθώς επίσης στους Ευρωκώδικες. Παρακολουθώντας στο διάστημα αυτό την εξέλιξη των 'εργαλείων', δηλαδή των Η/Υ και του λογισμικού, με τα οποία εφαρμόζουμε τις νέες γνώσεις στην πράξη διαπιστώνει κανείς ότι η αύξηση των απαιτήσεων και της πολυπλοκότητας των Κανονισμών συμβαδίζει κατά το μάλλον ή ήττον με την αύξηση των δυνατοτήτων των υπολογιστικών μέσων. Όμως δεν πρόκειται εδώ απλώς για μία παράλληλη πορεία. **Η εξέλιξη του εργαλείου, δηλ. των δυνατοτήτων Η/Υ και προγραμμάτων, σπρώχνει προς τα εμπρός την εξέλιξη των Κανονισμών** : Αν δεν υπήρχαν οι σημερινοί Η/Υ, δεν θα ήταν δυνατόν να εφαρμοσθεί η σύγχρονη αντισεισμική, και όχι μόνον, γνώση, όπως αυτή κωδικοποιείται π.χ. στον ΕΑΚ/2000. Και εδώ βρίσκεται η διττή δυσκολία : Οι μελετητές εκτός από τις απαραίτητες νέες γνώσεις που οφείλουν να αποκτήσουν, θα πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιούν σωστά και τα εργαλεία, δηλ. τα προγράμματα Η/Υ, με τα οποία και μόνον εφαρμόζονται αυτές οι γνώσεις στην πράξη. Διαφορετικά είναι έρμαιοι των 'μαύρων κουτιών' και αναλαμβάνουν ευθύνη για αποτελέσματα και για μελέτες που δεν είναι δυνατόν να ελέγξουν.

Στο σημείο αυτό επιτρέψτε μου την επισήμανση ενός θέματος που πιστεύω ότι δεν έτυχε ακόμη της δέουσας προσοχής (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 4**). Με πρώτο δεδομένο ότι οι σύγχρονοι κανονισμοί δεν εφαρμόζονται παρά απόκλειστικά και μόνον με τη βοήθεια προγραμμάτων και με δεύτερο δεδομένο ότι η ελληνική αγορά προγραμμάτων καλύπτεται από μικρό αριθμό οίκων λογισμικού, προκύπτει αβίαστα το συμπέρασμα ότι η **ποιότητα της συντριπτικής πλειοψηφίας των στατικών μελετών εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των λίγων κυκλοφορούντων επαγγελματικών προγραμμάτων**.

## **Παρατήρηση**

Επειδή :

- Οι σύγχρονοι Κανονισμοί δεν είναι εφαρμόσιμοι χωρίς προγράμματα Η/Υ
- Η ελληνική αγορά καλύπτεται από μικρό αριθμό Οίκων Τεχνικού Λογισμικού

**→ Η ποιότητα της συντριπτικής πλειοψηφίας των εκπονούμενων στατικών μελετών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των λίγων κυκλοφορούντων επαγγελματικών προγραμμάτων**

Άρα πρέπει να τα προσέξουμε αυτά τα προγράμματα. Αυτό σημαίνει καταρχάς ότι οι ευθύνες των οίκων λογισμικού για τον ποιοτικό έλεγχο των προϊόντων τους είναι οπωσδήποτε πολύ μεγάλες. Από την ποιότητα και την ορθότητα των προγραμμάτων τους εξαρτώνται πάρα πολλά. Αλλά και από την άλλη πλευρά, όλος ο τεχνικός κόσμος και η Πολιτεία πρέπει να στηρίξει το έργο των παραγωγών του τεχνικού λογισμικού με κάθε πρόσφορο τρόπο. Διότι εν προκειμένω δεν πρόκειται απλά για ένα τυχαίο εμπορεύσιμο προϊόν. Από το προϊόν αυτό, την ποιότητά του, την διαφάνειά του, την ελεγχιμότητά του, εξαρτώνται σε κάθε άλλο παρά αμελητέο βαθμό έως και ανθρώπινες ζωές.

Τι θα πει όμως 'ποιότητα ενός προγράμματος'; Προς αποφυγή παρεξηγήσεων, θα πρέπει να διακρίνει κανείς δύο διαφορετικά θέματα (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 5**):

## Ποιότητα λογισμικού <°° > Χρήση λογισμικού

**1. Ποιότητα του προγράμματος**  
(πληρότητα, ορθότητα, ευχρηστία, κτλ.)

**ΠΡΟΒΛΗΜΑ : Πώς ελέγχεται η ορθότητα ;**  
*Σημ. : Προγράμματα με λάθη οδηγούν στον σχηματισμό εσφαλμένου **στατικού αισθητηρίου** !!!*

**2. Ορθή χρήση του προγράμματος**

- κανόνας **GIGO** (Garbage In – Garbage Out)
- διαφορετικές **ενσωματωμένες** παραδοχές σε διάφορα προγράμματα

Σύνολο παραδοχών προγράμματος **A**

Σύνολο παραδοχών προγράμματος **B**

Σύνολο παραδοχών προγράμματος **Γ**

Καλή χρήση (με κατανόηση) → μελέτες (& άδειες)  
Κακή χρήση (ως black box) → “άδειες”

Διαφάνεια 5

(α) Τίθεται κατ'αρχάς το πρόβλημα της ποιότητας ενός προγράμματος, δηλ. της πληρότητάς του, της ορθότητάς του, της ευκολίας χρήσης του κτλ. Πώς μπορεί κανείς να ελέγξει π.χ. την ορθότητα ενός πολύπλοκου και πολυδαίδαλου προγράμματος, όπως είναι τα σημερινά επαγγελματικά προγράμματα; Το ζήτημα αυτό απασχολεί, όπως προαναφέρθηκε, την ελληνική αλλά και διεθνή κοινότητα των μηχανικών εδώ και πολλά χρόνια, και αντιμετωπίζεται εν μέρει με τον τρόπο που θα σας παρουσιάσω σε λίγο, δηλαδή με τη βοήθεια δοκιμαστικών παραδειγμάτων.

(β) Πέραν όμως από το πρόβλημα της ποιότητας τίθεται και το πρόβλημα της ορθής χρήσης ενός προγράμματος. Και το πλέον αξιόπιστο πρόγραμμα μπορεί στα χέρια αδαών να οδηγήσει σε αδόκιμα ή και τελείως λανθασμένα αποτελέσματα. Και το καλύτερο αυτοκίνητο, με τις καλύτερες προδιαγραφές, μπορεί ένας αρχάριος οδηγός να το ρίξει πάνω σ' έναν τοίχο. Σε κάθε περίπτωση

ισχύει αυτό που οι αγγλοσάξωνες ονομάζουν 'κανόνα' **GiGo** : **G**arbage **i**n - **G**arbage **o**ut. Η ποιότητα των εξαγομένων δεν μπορεί να είναι καλύτερη από την ποιότητα των εισαγομένων. Εν προκειμένω, τα εισαγόμενα είναι οι παραδοχές και τα αριθμητικά δεδομένα που εισάγει στο πρόγραμμα ο μελετητής. Λανθασμένα δεδομένα ή αδόκιμες παραδοχές οδηγούν σε αντίστοιχης ποιότητας αποτελέσματα.

Πέραν τούτου όμως, **τα επαγγελματικά προγράμματα δεν είναι τελείως ουδέτερα**. Αντίθετα, είναι αναπόφευκτο (για μία σειρά από λόγους) να περιέχουν δικές τους παραδοχές, που είναι διαφορετικές από πρόγραμμα σε πρόγραμμα. Γι' αυτό, άλλωστε, είναι αδύνατον να επιτευχθούν ταυτόσημα αποτελέσματα για το ίδιο πρόβλημα με χρήση δύο διαφορετικών προγραμμάτων. Οι παραδοχές αυτές πρέπει να είναι γνωστές στον μελετητή-χρήστη του προγράμματος, αν θέλει να διατηρεί τον έλεγχο της μελέτης του. Αξίζει, τέλος, να επισημανθεί, ότι η πολύχρονη χρήση προγραμμάτων που περιέχουν είτε λάθη είτε 'κρυφές' και άγνωστες στον χρήστη παραδοχές μπορεί να οδηγήσει στον σχηματισμό εσφαλμένου στατικού αισθητηρίου!

Πώς λοιπόν ελέγχεται η ορθότητα ενός σύγχρονου, πολυσύνθετου προγράμματος; (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 6**). Όπως προκύπτει από τον διεθνή επί του θέματος αυτού προβληματισμό, ένας από τους προσφορότερους τρόπους για την αντιμετώπιση του προβλήματος της ελεγχιμότητας προγραμμάτων Η/Υ είναι η ανάπτυξη έγκυρων **δοκιμαστικών προβλημάτων**, δηλαδή πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων, από αναγνωρισμένα και γενικώς αποδεκτά από τον τεχνικό κόσμο ανεξάρτητη (από τους οίκους λογισμικού) πηγή.

## **ΠΡΟΒΛΗΜΑ :**

**Πώς ελέγχεται  
η ορθότητα  
σύνθετων  
προγραμμάτων ;**



video

**→ Ανάπτυξη έγκυρων  
«δοκιμαστικών παραδειγμάτων»  
(benchmarks)**



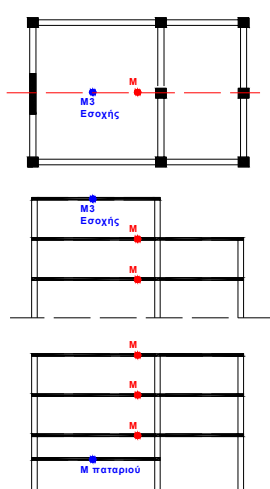
Τα πρότυπα αυτά παραδείγματα μπορούν να λειτουργήσουν **ως οιωνεί προδιαγραφές ελέγχου** των προγραμμάτων, προδιαγραφές οι οποίες σήμερα δεν υφίστανται. Και δεν υφίστανται όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και διεθνώς. Εξ ου και η αναγκαιότητα να γίνει μια αρχή σ' αυτό το θέμα. Έτσι, στα πλαίσια του προαναφερθέντος ερευνητικού έργου που χρηματοδότησε ο ΟΑΣΠ αναπτύχθηκε μία σειρά αριθμητικών παραδειγμάτων τα οποία στοχεύουν στον έλεγχο της ορθότητας των αναλύσεων σύμφωνα με τις επιταγές του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού ΕΑΚ/2000.

Τα παραδείγματα που επιλέχθηκαν είναι κατά κανόνα απλής μορφής προκειμένου:

- Να περιορισθεί ο όγκος εισαγομένων στοιχείων στον Η/Υ,
- Να αποφευχθούν προβλήματα ή ασάφειες που δεν αφορούν το πρόβλημα καθ' εαυτό,
- Να ελαχιστοποιηθούν τα προβλήματα προσομοίωσης,
- Να διατηρείται σε κάποιο βαθμό η δυνατότητα εποπτικού ελέγχου.

Παρά την σχετική απλότητά τους, τα παραδείγματα δεν είναι ακαδημαϊκού χαρακτήρα, αλλά ενσωματώνουν πολλά χαρακτηριστικά φορέων της πράξης. Στις επόμενες διαφάνειες θα σας παρουσιάσω ενημερωτικά ορισμένα από αυτά (ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ 7 έως 17). Τον πλήρη κατάλογο των εκπονηθέντων παραδειγμάτων μπορείτε να τον βρείτε στον διακτυακό τόπο [www.civil.auth.gr](http://www.civil.auth.gr), (υποκεφάλαιο ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ Η/Υ). Τα πλήρη δεδομένα και αποτελέσματα για κάθε ένα από τα δοκιμαστικά αυτά παραδείγματα υποθέτω ότι θα διατεθούν σύντομα στην κοινότητα των μηχανικών με πρωτοβουλία του ΟΑΣΠ.

## Παραδείγματα 16,17 (ΔΦΜ)

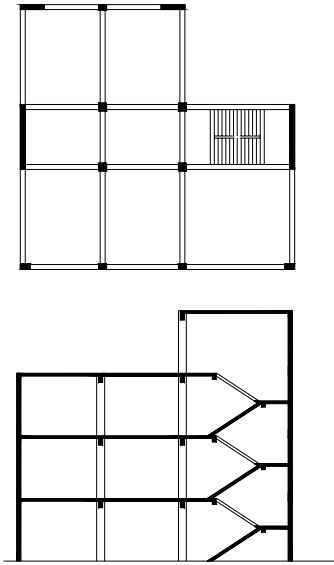


- Τριώροφο με εσοχή
- Τριώροφο με πατάρι

- Δημιουργία κοντού στύλου λόγω της ύπαρξης του ενδιάμεσου διαφράγματος στο πατάρι
- Πιθανό πρόβλημα προσομοίωσης του διαφράγματος του παταριού σε κάποια προγράμματα
- Αλλάζουν οι τυχηματικές εκκεντρότητες σε αυτές τις στάθμες

## Παράδειγμα 19 (ΔΦΜ)

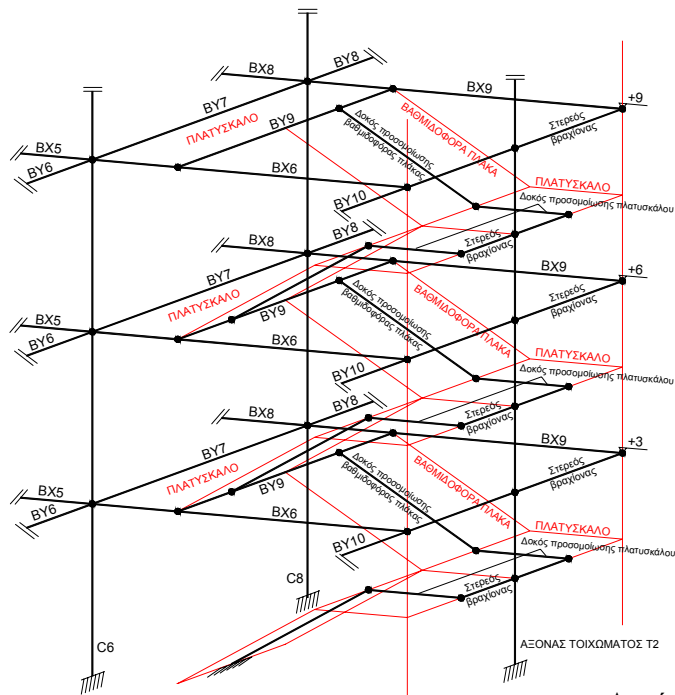
Τριώροφο με κλιμακοστάσιο,  
χωρίς περιμετρικά τοιχώματα



- Σύμφωνα με τον ΕΑΚ (Σ3.2.3[1]) η απουσία πυρήνα καθιστά απαραίτητη την προσομοίωση των βαθμιδοφόρων και πλατύσκαλων, λόγω πρόσθετων κινηματικών δεσμεύσεων που εισάγουν.

Λιαφάνεια 8

Χωρικό  
προσομοίωμα  
τριώροφου με  
κλιμακοστάσιο  
που δεν  
περιβάλλεται  
από τοιχώματα

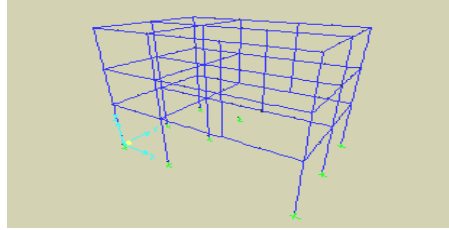
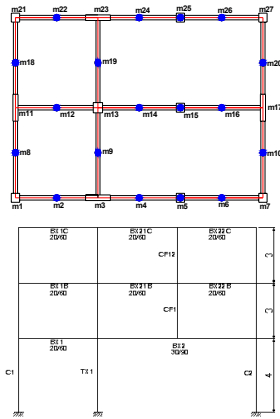


Λιαφάνεια 9



## Παράδειγμα 20 (ΔΦΜ)

Τριώροφο με φυτευτά υποστυλώματα –  
Κατακόρυφη σεισμική συνιστώσα



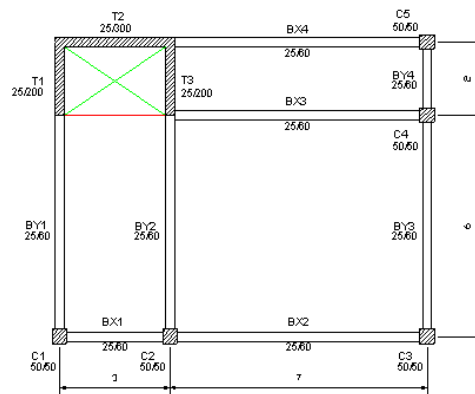
- Ζώνη III,IV – Φυτευτά υποστυλώματα . Ο ΕΑΚ επιβάλλει την θεώρηση και της κατακόρυφης συνιστώσας του σεισμού (ΕΑΚ 3.1.1.[5])
- Φάσμα κατακόρυφης συνιστώσας κατά ΕΑΚ ίσο με 0,7 των οριζοντίων και  $q_v = 0,5 q$
- Κατάλληλη προσομοίωση μαζών, με κριτήριο την απόδοση όλων των σημαντικών παραμορφώσεων και δυνάμεων αδρανείας.

Διαφάνεια 10

## Παράδειγμα 13 (ΔΦΜ&ΑΦΜ)

Ασύμμετρο πενταώροφο με έκκεντρο πυρήνα  
Προσομοίωση πυρήνα :

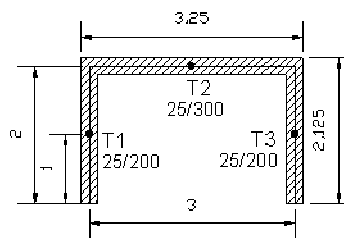
- α. με 3 ισοδ. στύλους
- β. με 1 ισοδ. στύλο
- γ. με επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία



Διαφάνεια 11

## α. Πυρήνας με 3 ισοδύναμους στύλους

- Ισοδύν. στύλος στο ΚΒ της διατομής του κάθε σκέλους με τα αντίστοιχα ελαστικά χαρακτηριστικά.
- **Απολύτως στερεοί βραχίονες** στις στάθμες των ορόφων.
- Η στρεπτική ροπή αδράνειας του βραχίονα πλάτης πεπερασμένη, ώστε να επιτρέπει την στρέβλωση.

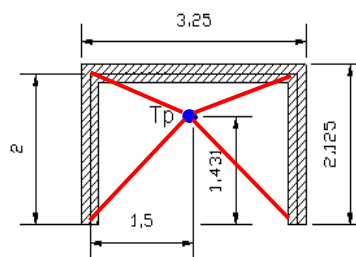


**Ικανοποιητική προσομοίωση του ανοικτού πυρήνα**

Διαφάνεια 12

## β. Πυρήνας με 1 ισοδύναμο στύλο

- 1 ισοδύναμος στύλος στο ΚΒ της διατομής του πυρήνα.
- Οι 4 γωνίες του πυρήνα (στις οποίες συμβάλλουν οι δοκοί του χωροπλαισίου) συνδέονται με **απολύτως στερεούς βραχίονες**.

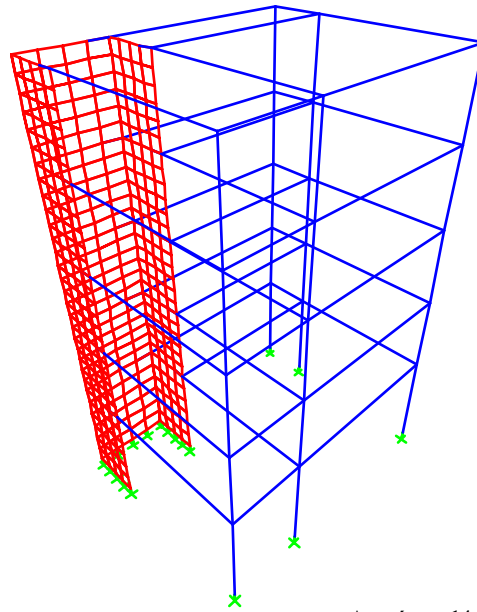


**Η στρέβλωση της διατομής του πυρήνα λόγω στρέψης δεν μπορεί να προσομοιωθεί.**

Διαφάνεια 13

### γ. Πυρήνας με επιφανειακά τεπερασμένα στοιχεία

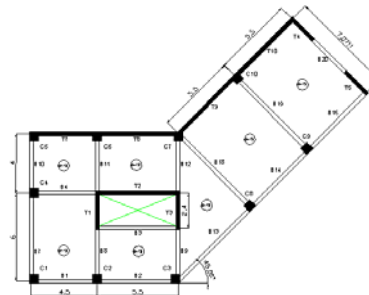
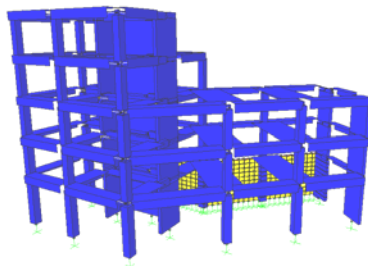
- Χρήση τετράκομβων στοιχείων κελύφους με 6 β.ε. ανά κόμβο.
- Βοηθητικές δοκοί σύνδεσης των δοκών με τον πυρήνα
- Γενικά πιο αξιόπιστο μοντέλο αλλά απαιτεί μετεπεξεργασία αποτελεσμάτων, έχει όγκο δεδομένων και η όλη ανάλυση είναι χρονοβόρα.



Διαφάνεια 14

### Παράδειγμα 22 (ΔΦΜ)

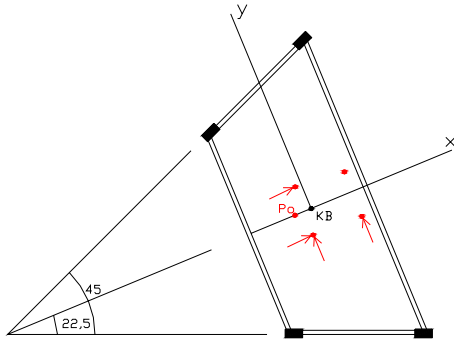
- Τυπικό πολυώροφο



- Διαφορετικές τυχ. εκκεντρότητες στα διαφράγματα και κατά τις δύο διευθύνσεις.
- Η αξιοπιστία της ΑΦΜ μειώνεται λόγω των έντονων ανισοκατανομών σε μάζες και δυσκαμψίες καθ' ύψος, ιδιαίτερα σε κτίρια με επάλληλες εσοχές όπως αυτό.

Διαφάνεια 15

## Παράδειγμα 12 (ΔΦΜ&ΑΦΜ)



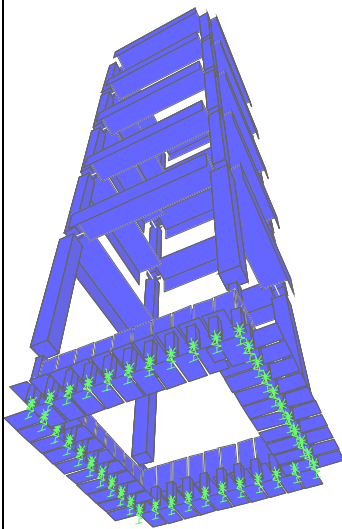
Μονώροφο με απλή  
συμμετρία  
Μη παράλληλη διάταξη

- Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται σε προγράμματα που δεν έχουν την δυνατότητα στροφής των τοπικών αξόνων των στοιχείων.

- Με την ΔΦΜ ο φορέας μπορεί να επιλυθεί με σεισμική διέγερση παράλληλη προς οποιοδήποτε ορθογώνιο σύστημα αξόνων. Αντίθετα με την ΑΦΜ απαιτείται φόρτιση παράλληλη προς τον άξονα συμμετρίας.

Διαφάνεια 16

## Παραδείγματα 4 & 5 (ΔΦΜ & ΑΦΜ)



3-ώροφο & 5-ώροφο με  
ταυτόχρονη προσομοίωση  
ανωδομής-θεμελίωσης

- Χρήση **ελατηρίων Winkler** για προσομοίωση εδάφους.
- Η τιμή του **δείκτη εδάφους** (σταθερά των ελατηρίων) επηρεάζει έντονα τα αποτελέσματα. (Γενικώς, μείωση εντάσεων και αύξηση μετακινήσεων)

Διαφάνεια 17

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στις **παραδοχές και στις λεπτομέρειες προσομοίωσης** των δεδομένων φορέων, διότι ο έλεγχος ορθότητας ενός προγράμματος Η/Υ αφορά κυρίως στην ορθή και πλήρη επίλυση του αυτού προσομοιώματος (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 18**). Διαφοροποιήσεις της μοντελοποίησης του ίδιου φέροντος οργανισμού είναι βέβαια θεμιτές, οδηγούν όμως σε

αποτελέσματα που ενδέχεται να είναι πολύ διαφορετικά. Στα παραδείγματα γίνεται χρήση συγκεκριμένων δόκιμων τρόπων προσομοίωσης που συνιστάται να χρησιμοποιούνται στην πράξη. Παρόλο που προβλήματα προσομοίωσης δεν αποτέλεσαν αντικείμενο του προαναφερθέντος ερευνητικού έργου, παρουσιάζονται σε ορισμένες περιπτώσεις (π.χ. πυρήνας, προσομοίωση μαζών ορόφων, κ.ά.) κάποιες εναλλακτικές προσομοιώσεις (και διενεργούνται οι αντίστοιχες επιλύσεις), λόγω του ότι αυτές χρησιμοποιούνται συχνά στην πράξη από πολλούς συναδέλφους. Με τον αναλυτικό τρόπο που παρουσιάζονται τα παραδείγματα αυτά δίνεται η δυνατότητα αφενός στους οίκους λογισμικού να προ-ελέγξουν τα προγράμματα που διοχετεύουν στην αγορά, και αφετέρου στους χρήστες-μηχανικούς να ελέγξουν τα προγράμματα που αγόρασαν ή σκοπεύουν να αγοράσουν. Προφανώς, ένας τέτοιος έλεγχος των προγραμμάτων μέσω έγκυρων αριθμητικών παραδειγμάτων δεν θα είναι, ούτε και θα μπορούσε να είναι, πλήρης και εξαντλητικός, **δρα εντούτοις κανονιστικά, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα ένα βασικό επίπεδο ασφάλειας και ορθότητας για τα ελεγχθέντα προγράμματα.**

### Τρόπος παρουσίασης των Παραδειγμάτων

- Δίδονται όλα τα δεδομένα ανωδομής, θεμελίωσης, φόρτισης κτλ.
- Δίδονται όλες οι **παραδοχές ελαστικής και αδρανειακής προσομοίωσης**, τυχόν απλοποιήσεις κτλ.
- Δίδονται πλήρη **σκαριφήματα προσομοιώματος** με αριθμούς κόμβων και στοιχείων, τοπικά συστήματα αναφοράς, ιδιότητες μελών, κτλ.
- Δίδονται τα πλήρη αρχεία δεδομένων (σε CD)

**Λεπτομέρεια προσομοίωσης των πλαισιακών κόμβων**

Παραδοχή

**Λεπτομέρεια προσομοίωσης της θεμελίωσης**

Απολύτως στερεοί βραχίονες

**Διαφάνεια 18**

Ακολουθεί η αναλυτική παράθεση όλων των βασικών αποτελεσμάτων (εντάσεις και μετακινήσεις) (α) της ανάλυσης για κατακόρυφα στατικά φορτία, (β) της ιδιομορφικής ανάλυσης, (γ) της δυναμικής φασματικής ανάλυσης και (δ) της απλοποιημένης φασματικής ανάλυσης, μέχρι και των συνδυασμών εντατικών μεγεθών για τους οποίους πρέπει να γίνει η διαστασιολόγηση (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 19**).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 1. Στατική Ανάλυση

Εντατικά μεγέθη λόγω στατικών κατακόρυφων φορτίων  $G+0,3Q$ .

### 2. Σεισμική απόκριση

#### 2.1 Δυναμική Φασματική Μέθοδος

- Αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για τις 4 διαφορετικές θέσεις της μάζας (ιδιοπερίοδοι, ποσοστά συμμετοχής των μαζών κτλ.)
- Ιδιομορφικές τιμές μεγεθών απόκρισης
- Ακραίες τιμές μεγεθών έντασης και παραμόρφωσης
- Πιθανές ταυτόχρονες τιμές
- Ποσοστιαίοι συνδυασμοί
- Εντατικά μεγέθη λόγω του σεισμικού συνδυασμού δράσεων ( $G+0,3Q\pm E$ )

#### 2.2 Απλοποιημένη Φασματική Μέθοδος

- Συντεταγμένες του πλασματικού ελαστικού άξονα
- Γωνία προσανατολισμού του κύριου συστήματος
- Έλεγχος στρεπτικής ευαισθησίας
- Στατικές και τυχηματικές εκκεντρότητες, και εκκεντρότητες σχεδιασμού
- Ασύζευκτες ιδιοπερίοδοι
- Μεγέθη απόκρισης λόγω των ανεξάρτητων σεισμικών δυνάμεων κατά  $x$  και  $y$
- Πιθανές ταυτόχρονες τιμές μεγεθών απόκρισης
- Ποσοστιαίοι συνδυασμοί
- Εντατικά μεγέθη λόγω του σεισμικού συνδυασμού δράσεων ( $G+0,3Q\pm E$ )

Διαφάνεια 19

Και επανερχόμαστε στο αρχικό ερώτημα (**ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ 20**) : Πώς ελέγχεται η ορθότητα ενός επαγγελματικού προγράμματος ανάλυσης-διαστασιολόγησης κατασκευών;

## ΠΡΟΒΛΗΜΑ :

Πώς ελέγχεται η ορθότητα  
σύνθετων προγραμμάτων ;

- Ανάπτυξη έγκυρων «δοκιμαστικών παραδειγμάτων» (benchmarks)

( ΑΝΑΛΥΣΗ & ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ )

(v)

- Καθιέρωσή τους από την Πολιτεία ως ελάχιστων προδιαγραφών

?

Διαφάνεια 20



Σίγουρα, τα δοκιμαστικά παραδείγματα στα οποία αναφέρθηκα συνιστούν ένα πρώτο σκαλοπάτι. Σημειώστε, ότι αφορούν μόνον το σκέλος της ανάλυσης. Προφανώς, το σκέλος της διαστασιολόγησης είναι εξίσου σημαντικό. Επομένως, η προσπάθεια δεν σταματάει εδώ, θα πρέπει να έχει και συνέχεια, αν θέλουμε κάτι ολοκληρωμένο.

Κλείνοντας, επιτρέψτε μου την παρατήρηση, ότι **μένει βέβαια και η Πολιτεία (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΟΑΣΠ) να κάνει το κρίσιμο βήμα, απαιτώντας από τα κυκλοφορούντα προγράμματα να επιλύουν σωστά τουλάχιστον αυτά τα δοκιμαστικά παραδείγματα**. Μόνον έτσι ίσως η δουλειά που σας παρουσίασα θα συμβάλει στην βελτίωση των ευρέως χρησιμοποιούμενων επαγγελματικών προγραμμάτων και, κατά λογική συνέπεια, και στην ανύψωση του επιπέδου των εκπονουμένων στατικών/ αντισεισμικών μελετών.

Ευχαριστώ για την προσοχή σας.

#### BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ι. Ε. Αβραμίδης, Κ. Αναστασιάδης, Α. Αθανατοπούλου, Κ. Μορφίδης : "Ανάπτυξη πρότυπων αριθμητικών παραδειγμάτων για τον έλεγχο προγραμμάτων Η/Υ". Ανακοίνωση στο 2<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Αντισεισμικής Μηχανικής και Τεχνικής Σεισμολογίας, Θεσσαλονίκη, 28-29 Νοεμβρίου 2001.

[2] Ερευνητικό πρόγραμμα "Ανάπτυξη προτύπων αριθμητικών παραδειγμάτων για την υποστήριξη της ορθής εφαρμογής του ΕΑΚ 2000 και τον έλεγχο προγραμμάτων Η/Υ και Νέου κανονιστικού πλαισίου αντισεισμικής προστασίας κτιρίων και βελτίωση διατάξεων για τα φαινόμενα 2ης τάξης". Επιστ. Υπευθ. : Ι.Ε.Αβραμίδης & Κ. Αναστασιάδης. Φορέας χρηματοδότησης : Ο.Α.Σ.Π., 2000-2002.