

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

Θεωρία και Εφαρμογές
στη Σεισμική Μηχανική

Διεθνές Σύστημα Μονάδων

5^η Έκδοση

Anil K. Chopra

Πανεπιστήμιο της California στο Berkeley

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ:

Μιχαήλ Ν. Φαρδής

Ομότιμος Καθηγητής Τμήματος Πολιτικών
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Πατρών

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:

Αριστόνους Μ. Τροχάνης

Δρ. Πολιτικός Μηχανικός

 Εκδόσεις: **Μ. Γκιούρδας**

Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219

106 81 Αθήνα, 2021

www.mgiurdas.gr

Τίτλος Πρωτοτύπου:

DYNAMICS OF STRUCTURES

Theory and Applications to Earthquake Engineering

ISBN-13: 978-0-13-455512-6

ISBN-10: 0-13-455512-0

Copyright © 2017, 2012, 2007, 2001, 1995, Pearson Education,
Inc. Hoboken, NJ 07030, USA

Αποκλειστικότητα για την Ελληνική Γλώσσα

Εκδόσεις: **Μόσχος Γκιούρδας**



Ζωοδόχου Πηγής 70-74 - Τηλ.: 210 3630219

106 81 Αθήνα, 2021

www.mgiurdas.gr

ISBN: 978-960-512-705-3

Desktop Publishing: Κ. Καλαϊτζής, τηλ.: 210 2813066

Εκτύπωση: Ves Company, τηλ.: 210 5711700

Βιβλιοδεσία: Ηλιοπούλος Θ. - Ροδόπουλος Π. Ο.Ε., τηλ: 210 3477108

Αναδημοσίευση του βιβλίου σε οποιαδήποτε μορφή, ολόκληρου ή μέρους,
καθώς και των περιεχομένων προγραμμάτων, δεν επιτρέπεται χωρίς
την έγγραφη εξουσιοδότηση του εκδότη.

Αφιερωμένο στις Hamida και Nasreen με ευγνωμοσύνη για την έμπνευση της ιδέας της δημιουργίας ενός βιβλίου και με εκτίμηση που υπομονετικά ανέχτηκαν και μοιράστηκαν αυτά τα χρόνια προπαρασκευής μαζί μου. Η παρουσία τους και η ενθάρρυνσή τους έκαναν την ιδέα αυτή πραγματικότητα.

Συνοπτικά περιεχόμενα

| | | |
|-----------------|--|------------|
| ΜΕΡΟΣ Ι | Μονοβάθμια συστήματα | 1 |
| 1 | <i>Εξισώσεις κίνησης, διατύπωση του προβλήματος και μέθοδοι επίλυσης</i> | 3 |
| 2 | <i>Ελεύθερη ταλάντωση</i> | 37 |
| 3 | <i>Απόκριση σε αρμονικές και περιοδικές διεγέρσεις</i> | 63 |
| 4 | <i>Απόκριση σε αυθαίρετες, βαθμιδωτές και παλμικές διεγέρσεις</i> | 119 |
| 5 | <i>Αριθμητικός Υπολογισμός Δυναμικής Απόκρισης</i> | 157 |
| 6 | <i>Σεισμική Απόκριση Γραμμικών Συστημάτων</i> | 187 |
| 7 | <i>Σεισμική Απόκριση Ανελαστικών Συστημάτων</i> | 243 |
| 8 | <i>Γενικευμένα μονοβάθμια συστήματα</i> | 293 |
| ΜΕΡΟΣ ΙΙ | Πολυβάθμια συστήματα | 329 |
| 9 | <i>Εξισώσεις κίνησης, διατύπωση του προβλήματος και μέθοδοι επίλυσης</i> | 331 |
| 10 | <i>Ελεύθερη ταλάντωση</i> | 387 |
| 11 | <i>Απόσβεση στις κατασκευές</i> | 429 |
| 12 | <i>Δυναμική ανάλυση και απόκριση γραμμικών συστημάτων</i> | 451 |
| 13 | <i>Σεισμική Ανάλυση Γραμμικών Συστημάτων</i> | 493 |
| 14 | <i>Ανάλυση γραμμικών συστημάτων με μη κλασική απόσβεση</i> | 601 |
| 15 | <i>Μείωση βαθμών ελευθερίας</i> | 639 |

| | | |
|---|--|------------|
| 16 | <i>Αριθμητικός Υπολογισμός Δυναμικής Απόκρισης</i> | 655 |
| 17 | <i>Συστήματα με Κατανεμημένη Μάζα και Ελαστικότητα</i> | 677 |
| 18 | <i>Εισαγωγή στη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων</i> | 707 |
| ΜΕΡΟΣ III Σεισμική Απόκριση, Σχεδιασμός και Αποτίμηση Πολυώροφων Κτηρίων | | 739 |
| 19 | <i>Σεισμική Απόκριση Γραμμικώς Ελαστικών Κτηρίων</i> | 741 |
| 20 | <i>Σεισμική Ανάλυση και Απόκριση Ανελαστικών Κτηρίων</i> | 757 |
| 21 | <i>Σεισμική Δυναμική Κτηρίων με Μονωμένη Βάση</i> | 833 |
| 22 | <i>Δυναμική των κατασκευών σε Κτηριακούς Κανονισμούς</i> | 857 |
| 23 | <i>Δυναμική των Κατασκευών σε Οδηγίες για Σεισμική Αποτίμηση Κτηρίων</i> | 883 |
| A | <i>Μέθοδος Ανάλυσης Απόκρισης στο Πεδίο των Συχνοτήτων</i> | 901 |
| B | <i>Συμβολισμοί</i> | 921 |
| Γ | <i>Απαντήσεις σε Επιλεγμένα Προβλήματα</i> | 933 |
| | <i>Ευρετήριο</i> | 949 |

Περιεχόμενα

| | |
|--|--------------|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | xxi |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | xxiii |
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | xxxι |
| ΜΕΡΟΣ Ι Μονοβάθμια συστήματα | 1 |
| 1 Εξισώσεις κίνησης, διατύπωση του προβλήματος και μέθοδοι επίλυσης | 3 |
| 1.1 ΑΠΛΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ | 3 |
| 1.2 ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ | 7 |
| 1.3 ΣΧΕΣΗ ΔΥΝΑΜΗΣ–ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ | 7 |
| 1.4 ΔΥΝΑΜΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 12 |
| 1.5 ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ: ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ | 13 |
| 1.6 ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΑΖΑΣ-ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ-ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑ | 18 |
| 1.7 ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ: ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ | 22 |
| 1.8 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΜΕΛΩΝ | 25 |
| 1.9 ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 26 |
| 1.10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ | 27 |
| 1.11 ΜΕΛΕΤΗ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ: ΟΡΓΑΝΩΣΗ | 31 |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΚΑΜΠΤΟΜΕΝΟΥ ΜΕΛΟΥΣ | 31 |
| 2 Ελεύθερη ταλάντωση | 37 |
| 2.1 ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 37 |
| 2.2 ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΙΞΩΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 45 |
| 2.3 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ | 53 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 2.4 | Η ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΗ COULOMB | 54 |
| 3 | Απόκριση σε αρμονικές και περιοδικές διεγέρσεις | 63 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΙΞΩΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ: ΒΑΣΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 63 |
| 3.1 | ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 63 |
| 3.2 | ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΙΞΩΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 70 |
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΙΞΩΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ | 82 |
| 3.3 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ | 82 |
| 3.4 | ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΑΠΟ ΑΡΜΟΝΙΚΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ | 84 |
| 3.5 | ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΚΑΙ ΜΟΝΩΣΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ | 87 |
| 3.6 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΚΑΙ ΜΟΝΩΣΗ ΤΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 88 |
| 3.7 | ΜΕΤΡΗΤΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ | 92 |
| 3.8 | ΑΠΩΛΕΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΟΓΩ ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 96 |
| 3.9 | ΙΣΟΔΥΝΑΜΗ ΙΞΩΔΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 99 |
| | ΜΕΡΟΣ Γ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΗ ΙΞΩΔΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 101 |
| 3.10 | ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΗ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ | 101 |
| 3.11 | ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ ΜΕ ΤΡΙΒΗ COULOMB | 104 |
| | ΜΕΡΟΣ Δ: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ | 108 |
| 3.12 | ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΕΙΡΩΝ FOURIER | 109 |
| 3.13 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ | 110 |
| | <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: ΧΑΡΤΙ ΤΕΤΡΑΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ</i> | 113 |
| 4 | Απόκριση σε αυθαίρετες, βαθμιδωτές και παλμικές διεγέρσεις | 119 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΥΘΑΙΡΕΤΑ ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΜΕ ΤΟΝ ΧΡΟΝΟ | 119 |
| 4.1 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΩΘΗΣΗ (UNIT IMPULSE) | 120 |
| 4.2 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΑΥΘΑΙΡΕΤΗ ΔΥΝΑΜΗ | 121 |
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΒΑΘΜΙΔΩΤΕΣ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΙΚΩΣ ΚΛΙΜΑΚΟΥΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ | 123 |
| 4.3 | ΣΤΑΘΕΡΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΑΙΦΝΙΔΙΩΣ ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΗ | 123 |
| 4.4 | ΟΜΑΛΑ ΚΛΙΜΑΚΟΥΜΕΝΗ Ή ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΑΥΞΑΝΟΜΕΝΗ ΔΥΝΑΜΗ | 125 |
| 4.5 | ΒΑΘΜΙΔΩΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΟ ΧΡΟΝΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ | 126 |

| | |
|---|--|
| ΜΕΡΟΣ Γ: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΠΑΛΜΙΚΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ | 129 |
| 4.6 | ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ 129 |
| 4.7 | ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΣ ΠΑΛΜΟΣ 130 |
| 4.8 | ΠΑΛΜΟΣ ΜΙΣΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΗΜΙΤΟΝΟΥ 136 |
| 4.9 | ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΟΣ ΤΡΙΓΩΝΙΚΟΣ ΠΑΛΜΟΣ 141 |
| 4.10 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ ΒΡΑΧΕΙΣ ΠΑΛΜΟΥΣ 143 |
| 4.11 | ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΙΞΩΔΟΥΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ 146 |
| 4.12 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ 148 |
| 5 | Αριθμητικός Υπολογισμός Δυναμικής Απόκρισης 157 |
| 5.1 | ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ 157 |
| 5.2 | ΜΕΘΟΔΟΙ ΒΑΣΙΣΜΕΝΕΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ 159 |
| 5.3 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ 162 |
| 5.4 | ΜΕΘΟΔΟΣ NEWMARK 165 |
| 5.5 | ΕΥΣΤΑΘΕΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΣΦΑΛΜΑ 171 |
| 5.6 | ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΕΝΤΡΙΚΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ 173 |
| 5.7 | ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ: ΜΕΘΟΔΟΣ NEWMARK 174 |
| 6 | Σεισμική Απόκριση Γραμμικών Συστημάτων 187 |
| 6.1 | ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ 187 |
| 6.2 | ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ 193 |
| 6.3 | ΜΕΓΕΘΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 193 |
| 6.4 | ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 194 |
| 6.5 | ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 197 |
| 6.6 | ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ, ΨΕΥΔΟ-ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΨΕΥΔΟ-ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ 197 |
| 6.7 | ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 206 |
| 6.8 | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 210 |
| 6.9 | ΕΛΑΣΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ 217 |
| 6.10 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 226 |
| 6.11 | ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ 228 |
| 6.12 | ΦΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ 229 |

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 7 | Σεισμική Απόκριση Ανελαστικών Συστημάτων | 243 |
| 7.1 | ΣΧΕΣΕΙΣ ΔΥΝΑΜΗΣ-ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ | 247 |
| 7.2 | ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ, ΜΕΙΩΤΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ | 250 |
| 7.3 | ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ | 251 |
| 7.4 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΔΙΑΡΡΟΗΣ | 252 |
| 7.5 | ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ | 258 |
| 7.6 | ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΑΠΟ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 262 |
| 7.7 | ΣΧΕΣΗ ΟΡΙΟΥ ΔΙΑΡΡΟΗΣ-ΠΛΑΣΤΙΜΟΤΗΤΑΣ | 263 |
| 7.8 | ΣΧΕΤΙΚΗ ΕΠΙΡΡΟΗ ΔΙΑΡΡΟΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 264 |
| 7.9 | ΑΝΑΛΙΣΚΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ | 266 |
| 7.10 | ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΑΝΑΛΩΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 268 |
| 7.12 | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ | 280 |
| 7.13 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ | 286 |
| 8 | Γενικευμένα μονοβάθμια συστήματα | 293 |
| 8.1 | ΓΕΝΙΚΕΥΜΕΝΑ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 293 |
| 8.2 | ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ | 295 |
| 8.3 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΜΑΖΑ ΚΑΙ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ | 297 |
| 8.4 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΩΝ ΜΑΖΩΝ: ΚΤΗΡΙΑ ΤΥΠΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΠΡΟΒΟΛΟΥ | 309 |
| 8.5 | ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ RAYLEIGH | 315 |
| 8.6 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ | 318 |
| | <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 8: ΑΔΡΑΝΕΙΑΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΠΟΛΥΤΩΣ ΣΤΕΡΕΩΝ ΣΩΜΑΤΩΝ</i> | 323 |
| ΜΕΡΟΣ II | Πολυβάθμια συστήματα | 329 |
| 9 | Εξισώσεις κίνησης, διατύπωση του προβλήματος και μέθοδοι επίλυσης | 331 |
| 9.1 | ΑΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ: ΔΙΩΡΟΦΟ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ | 331 |
| 9.2 | ΓΕΝΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 336 |
| 9.3 | ΣΤΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ (ή ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΠΑΛΟΙΦΗ) | 355 |
| 9.4 | ΕΠΙΠΕΔΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Ή ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ: ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ | 358 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 9.5 | ΜΟΝΩΡΟΦΑ ΚΤΗΡΙΑ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ | 363 |
| 9.6 | ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΗΡΙΑ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ | 368 |
| 9.7 | ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ | 372 |
| 9.8 | ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 376 |
| 9.9 | ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ | 377 |
| 9.10 | ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 377 |
| 9.11 | ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΚΙΝΗΣΗΣ: ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ | 378 |
| 10 | <i>Ελεύθερη ταλάντωση</i> | 387 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 388 |
| 10.1 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 388 |
| 10.2 | ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 390 |
| 10.3 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΑ ΜΗΤΡΩΑ | 392 |
| 10.4 | ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 392 |
| 10.5 | ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΤΗΣ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 393 |
| 10.6 | ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 394 |
| 10.7 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ | 404 |
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 405 |
| 10.8 | ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 405 |
| 10.9 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 408 |
| 10.10 | ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΗΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 408 |
| | ΜΕΡΟΣ Γ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 412 |
| 10.11 | ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΙΔΙΟΤΙΜΩΝ | 412 |
| 10.12 | ΤΟ ΠΗΛΙΚΟ ΤΟΥ RAYLEIGH | 413 |
| 10.13 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗΣ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ | 414 |
| 10.14 | ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΗ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗ ΜΕ ΜΕΤΑΘΕΣΕΙΣ: ΠΡΟΤΙΜΩΜΕΝΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ | 418 |
| 10.15 | ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ $k\phi = \omega^2 m\phi$ ΣΤΗΝ ΤΥΠΙΚΗ ΜΟΡΦΗ | 423 |
| 11 | <i>Απόσβεση στις κατασκευές</i> | 429 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΣΥΝΙΣΤΩΜΕΝΟΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΟΙ ΛΟΓΟΙ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 429 |
| 11.1 | ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ ΤΟΥ ΚΤΗΡΙΟΥ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ MILLIKAN | 429 |
| 11.2 | ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΛΟΓΩΝ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 434 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ ΜΗΤΡΩΟΥ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 438 |
| 11.3 | ΜΗΤΡΩΟ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 438 |
| 11.4 | ΚΛΑΣΙΚΟ ΜΗΤΡΩΟ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 438 |
| 11.5 | ΜΗ ΚΛΑΣΙΚΟ ΜΗΤΡΩΟ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ | 447 |
| 12 | <i>Δυναμική ανάλυση και απόκριση γραμμικών συστημάτων</i> | 451 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΥΟ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ | 451 |
| 12.1 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΔΥΟ ΒΑΘΜΩΝ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 451 |
| 12.2 | ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΩΝ Ή ΑΠΟΣΒΕΣΤΗΡΑΣ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΗΣ ΜΑΖΑΣ | 454 |
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ | 456 |
| 12.3 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 456 |
| 12.4 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 458 |
| 12.5 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ | 460 |
| 12.6 | ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 460 |
| 12.7 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ: ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 461 |
| | ΜΕΡΟΣ Γ: ΣΥΜΒΟΛΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 465 |
| 12.8 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΟΥ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΟΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ $p(t) = sp(t)$ | 465 |
| 12.9 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΙΑ $p(t) = sp(t)$ | 469 |
| 12.10 | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ | 470 |
| 12.11 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΕΣ ΑΠΟΚΡΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 472 |
| | ΜΕΡΟΣ Δ: ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ | 478 |
| 12.12 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΔΙΟΡΘΩΣΗΣ | 478 |
| 12.13 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ | 481 |
| 12.14 | ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΩΝ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ: ΑΥΘΑΙΡΕΤΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ | 482 |
| 13 | <i>Σεισμική Ανάλυση Γραμμικών Συστημάτων</i> | 493 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 494 |
| 13.1 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ | 494 |
| 13.2 | ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΗΡΙΑ ΜΕ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ | 500 |
| 13.3 | ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ | 519 |
| 13.4 | ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΤΗΡΙΩΝ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΤΟΨΗΣ | 529 |
| 13.5 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΓΙΑ ΠΟΛΛΑΠΛΕΣ ΔΙΕΓΕΡΣΕΙΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ | 533 |

| | | |
|---|---|------------|
| 13.6 | ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ | 539 |
| ΜΕΡΟΣ Β: ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ | | 539 |
| 13.7 | ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΑΠΟ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 539 |
| 13.8 | ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΗΡΙΑ ΜΕ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ | 544 |
| 13.9 | ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΜΗ ΣΥΜΜΕΤΡΙΚΗ ΚΑΤΟΨΗ | 556 |
| 13.10 | ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΑ ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΩΝ ΑΠΟΚΡΙΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 563 |
| 13.11 | ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 571 |
| 13.12 | ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΕΔΑΦΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ | 579 |
| 14 | <i>Ανάλυση γραμμικών συστημάτων με μη κλασική απόσβεση</i> | 601 |
| ΜΕΡΟΣ Α: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΚΛΑΣΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ: ΕΠΑΝΑΔΙΑΤΥΠΩΣΗ | | 602 |
| 14.1 | ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 602 |
| 14.2 | ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ | 602 |
| 14.3 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΩΘΗΣΗ | 604 |
| 14.4 | ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ | 605 |
| ΜΕΡΟΣ Β: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΗ ΚΛΑΣΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | | 605 |
| 14.5 | ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 605 |
| 14.6 | ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 607 |
| 14.7 | ΕΛΕΥΘΕΡΗ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗ | 610 |
| 14.8 | ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΣΕ ΜΟΝΑΔΙΑΙΑ ΩΘΗΣΗ | 615 |
| 14.9 | ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ | 619 |
| 14.10 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΙΜΕΣ | 621 |
| 14.11 | ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ | 629 |
| 14.12 | ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 629 |
| | <i>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 14: ΑΠΟΔΕΙΞΕΙΣ</i> | 630 |
| 15 | <i>Μείωση βαθμών ελευθερίας</i> | 639 |
| 15.1 | ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΟΙ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ | 639 |
| 15.2 | ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΤΗΣ ΜΑΖΑΣ ΣΕ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΟΥΣ ΒΑΘΜΟΥΣ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ | 640 |
| 15.3 | ΜΕΘΟΔΟΣ RAYLEIGH-RITZ | 641 |
| 15.4 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΩΝ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ RITZ | 644 |
| 15.5 | ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΩΝ RITZ | 650 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 16 | Αριθμητικός Υπολογισμός Δυναμικής Απόκρισης | 655 |
| 16.1 | ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΡΟΝΙΚΩΝ ΒΗΜΑΤΩΝ | 655 |
| 16.2 | ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΜΗ ΚΛΑΣΣΙΚΗ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 656 |
| 16.3 | ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 663 |
| 17 | Συστήματα με Κατανεμημένη Μάζα και Ελαστικότητα | 677 |
| 17.1 | ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ: ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ | 678 |
| 17.2 | ΕΞΙΣΩΣΗ ΚΙΝΗΣΗΣ ΧΩΡΙΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ: ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ | 679 |
| 17.3 | ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΤΑΛΑΝΤΩΣΗΣ | 680 |
| 17.4 | ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 687 |
| 17.5 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 688 |
| 17.6 | ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 695 |
| 17.7 | ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 699 |
| 17.8 | ΔΥΣΚΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ | 702 |
| 18 | Εισαγωγή στη Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων | 707 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΜΕΘΟΔΟΣ RAYLEIGH-RITZ | 707 |
| 18.1 | ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ | 707 |
| 18.2 | ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΡΧΗΣ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΩΝ ΕΡΓΩΝ | 711 |
| 18.3 | ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ RAYLEIGH-RITZ | 712 |
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | 713 |
| 18.4 | ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ | 713 |
| 18.5 | ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ | 714 |
| 18.6 | ΒΑΘΜΟΙ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ | 716 |
| 18.7 | ΜΗΤΡΩΟ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ | 718 |
| 18.8 | ΜΗΤΡΩΟ ΜΑΖΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ | 718 |
| 18.9 | ΜΗΤΡΩΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΥΣΚΑΜΨΙΑΣ ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ | 720 |
| 18.10 | ΔΙΑΝΥΣΜΑ (ΕΠΙΒΑΛΛΟΜΕΝΩΝ) ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΟ | 720 |
| 18.11 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΛΥΣΕΩΝ ΜΕ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕ ΑΚΡΙΒΕΙΣ ΛΥΣΕΙΣ | 729 |
| 18.12 | ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ | 730 |

| | | |
|------------------|--|------------|
| ΜΕΡΟΣ III | Σεισμική Απόκριση, Σχεδιασμός και Αποτίμηση Πολυώροφων Κτηρίων | 739 |
| 19 | Σεισμική Απόκριση Γραμμικώς Ελαστικών Κτηρίων | 741 |
| 19.1 | ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, ΦΑΣΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 741 |
| 19.2 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΩΝ T_1 ΚΑΙ ρ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ | 746 |
| 19.3 | ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑΣ | 747 |
| 19.4 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ T_1 ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 748 |
| 19.5 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ρ ΣΤΗΝ ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 751 |
| 19.6 | ΚΑΘ' ΥΨΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΤΩΝ ΑΝΩΤΕΡΩΝ ΙΔΙΟΜΟΡΦΩΝ | 752 |
| 19.7 | ΠΟΣΕΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΝΑ ΣΥΜΠΕΡΙΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ | 754 |
| 20 | Σεισμική Ανάλυση και Απόκριση Ανελαστικών Κτηρίων | 757 |
| | ΜΕΡΟΣ Α: ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 758 |
| 20.2 | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕΙΣΜΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΛΗΦΘΟΥΝ ΥΠΟΨΗ | 759 |
| 20.3 | ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΧΕΤΙΚΩΝ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΕΩΝ ΟΡΟΦΩΝ | 763 |
| 20.4 | ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΓΙΑ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ | 768 |
| | ΜΕΡΟΣ Β: ΣΤΑΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ | 770 |
| 20.5 | ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ | 770 |
| 20.6 | ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ | 771 |
| 20.7 | ΙΞΩΔΗΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗ | 776 |
| | ΜΕΡΟΣ Γ: ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΕΛΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ | 784 |
| 20.8 | ΦΑΣΜΑ-ΣΤΟΧΟΣ | 784 |
| 20.9 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΕΥΡΟΥΣ | 789 |
| 20.10 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΜΕΣΟ ΦΑΣΜΑ-ΣΤΟΧΟ ΚΑΙ ΣΤΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΟΥ | 792 |
| 20.11 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ GM ΚΑΙ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΣΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ | 794 |
| 20.12 | ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ | 800 |
| 20.13 | ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ GM ΚΑΙ ΤΗΣ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ | 806 |

| | | |
|--|---|------------|
| 20.14 | ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ ΕΥΡΟΥΣ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ ΕΔΑΦΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ | 811 |
| ΜΕΡΟΣ Δ: ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ 812 | | |
| 20.15 | ΚΙΝΗΤΡΑ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΗ ΙΔΕΑ | 812 |
| 20.16 | ΑΣΥΖΕΥΚΤΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΟΝΟ-ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ | 814 |
| 20.17 | ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΙΑΚΗΣ ΩΘΗΣΗΣ (PUSHOVER) | 820 |
| 20.18 | ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΩΘΗΣΗΣ | 825 |
| 20.19 | ΑΠΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΟΡΙΑΚΗΣ ΩΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ | 830 |
| 21 | <i>Σεισμική Δυναμική Κτηρίων με Μονωμένη Βάση</i> | 833 |
| 21.1 | ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ | 833 |
| 21.2 | ΜΟΝΩΡΟΦΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΟΝΩΣΗ ΒΑΣΗΣ | 836 |
| 21.3 | ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΒΑΣΗΣ | 842 |
| 21.4 | ΠΟΛΥΩΡΟΦΑ ΚΤΙΡΙΑ ΜΕ ΣΕΙΣΜΙΚΑ ΜΟΝΩΜΕΝΗ ΒΑΣΗ | 845 |
| 21.5 | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΜΟΝΩΣΗΣ ΒΑΣΗΣ | 851 |
| 22 | <i>Δυναμική των κατασκευών σε Κτηριακούς Κανονισμούς</i> | 857 |
| ΜΕΡΟΣ Α: ΚΤΗΡΙΑΚΟΙ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ 858 | | |
| 22.1 | <i>ΔΙΕΘΝΗΣ ΚΤΗΡΙΑΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ</i> (INTERNATIONAL BUILDING CODE – ΗΠΑ), 2018 | 858 |
| 22.2 | ΕΘΝΙΚΟΣ ΚΤΗΡΙΑΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΑΝΑΔΑ, 2015 | 860 |
| 22.3 | <i>ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑΚΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΕΞΙΚΟΥ</i> , 2004 | 863 |
| 22.4 | <i>ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ</i> 8, 2004 | 865 |
| 22.5 | ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΤΗΡΙΑΚΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ | 868 |
| ΜΕΡΟΣ Β: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΚΤΗΡΙΑΚΩΝ ΚΑΝΟΝΙΣΜΩΝ 873 | | |
| 22.6 | ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΒΑΣΗΣ | 873 |
| 22.7 | ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΟΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΙΣΟΔΥΝΑΜΕΣ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ | 877 |
| 22.8 | ΡΟΠΕΣ ΑΝΑΤΡΟΠΗΣ | 879 |
| 22.9 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ | 882 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 23 | <i>Δυναμική των Κατασκευών σε Οδηγίες για Σεισμική Αποτίμηση Κτηρίων</i> | 883 |
| 23.1 | ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ: ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ | 884 |
| 23.2 | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ ΚΟΡΥΦΗΣ ΜΕ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟ ΣΥΣΤΗΜΑ | 885 |
| 23.3 | ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ | 888 |
| 23.4 | ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ | 893 |
| 23.5 | ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ ΣΧΟΛΙΑ | 899 |
| A | <i>Μέθοδος Ανάλυσης Απόκρισης στο Πεδίο των Συχνοτήτων</i> | 901 |
| B | <i>Συμβολισμοί</i> | 921 |
| Γ | <i>Απαντήσεις σε Επιλεγμένα Προβλήματα</i> | 933 |
| | <i>Ευρετήριο</i> | 949 |

Πρόλογος

Η ανάγκη για την ύπαρξη ενός εγχειριδίου στην αντισεισμική μηχανική είχε πρώτη φορά επισημανθεί από τον διαπρεπή σύμβουλο μηχανικό, John R. Freeman (1855-1932). Μετά τον καταστροφικό σεισμό στη Santa Barbara, California, το 1925, άρχισε να ενδιαφέρεται για το θέμα και αναζήτησε στη Δημοτική Βιβλιοθήκη της Βοστώνης σχετική βιβλιογραφία. Βρήκε ότι όχι απλώς δεν υπήρχε κάποιο εγχειρίδιο για την αντισεισμική μηχανική, αλλά και ότι δεν γινόταν καμία νύξη επί του θέματος στα βιβλία της δομικής μηχανικής. Κοιτάζοντας πίσω, μπορούμε να δούμε ότι η εκπαίδευση των μηχανικών το 1925 δεν ήταν αναπτυγμένη, με τους υπολογισμούς να γίνονται με χρήση του λογαριθμικού κανόνα, ενώ τα μαθήματα δεν προετοίμαζαν τον φοιτητή για να κατανοήσει τη δυναμική των κατασκευών. Στην πραγματικότητα, δεν είχαν αναπτυχθεί όργανα για την καταγραφή ισχυρών εδαφικών κινήσεων και η κοινωνία φαινόταν να αδιαφορούσε για τον σεισμικό κίνδυνο.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εκδοθεί βιβλία για την αντισεισμική μηχανική και τη δυναμική των κατασκευών, αλλά το παρόν βιβλίο του Καθηγητή Anil K. Chopra καλύπτει ένα κενό που υφίσταται μεταξύ των περισσότερο στοιχειωδών βιβλίων και των βιβλίων για προχωρημένες μεταπτυχιακές σπουδές. Ο συγγραφέας είναι ένας πολύ γνωστός ειδικός στην αντισεισμική μηχανική και στη δυναμική των κατασκευών και το βιβλίο του θα είναι πολύτιμο σε φοιτητές όχι μόνο σε σεισμογενείς περιοχές αλλά και σε άλλα μέρη του κόσμου, καθώς οι γνώσεις για τη δυναμική των κατασκευών είναι απαραίτητες για τον σύγχρονο μηχανικό. Το βιβλίο παρουσιάζει ύλη για την ταλάντωση και για τη δυναμική των κατασκευών και επιδεικνύει την εφαρμογή σε κινήσεις κατασκευών που προκαλούνται από σεισμική εδαφική κίνηση. Η ύλη του βιβλίου παρουσιάζεται με σαφήνεια και με πολυάριθμα λυμένα επεξηγηματικά παραδείγματα, έτσι ώστε ακόμα και ένας φοιτητής σε πανεπιστήμιο όπου δεν διδάσκεται τέτοιο μάθημα να μπορεί να μελετήσει από μόνος του το βιβλίο. Αναγνώστες οι οποίοι ασκούν το επάγγελμα του μηχανικού δεν πρέπει να έχουν δυσκολίες στη μελέτη του αντικειμένου μέσω αυτού του βιβλίου. Ένα εξαιρετικά ενδιαφέρον γνώρισμα του βιβλίου είναι η εφαρμογή της θεωρίας της δυναμικής των κατασκευών σε σημαντικά θέματα στη σεισμική απόκριση και στον σχεδιασμό πολυώροφων κτηρίων. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται σ' αυτό το βιβλίο θα είναι πολύτιμες στους μηχανικούς που ασχολούνται με τον πραγματικό αντισεισμικό σχεδιασμό και επιθυμούν να κατανοήσουν περισσότερο το θέμα.

Παρότι το υλικό σ' αυτό το βιβλίο οδηγεί στην αντισεισμική μηχανική, οι παρουσιαζόμενες πληροφορίες είναι επίσης σχετικές με τις ταλαντώσεις κατασκευών λόγω ανέμου, όπως επίσης

και με κινήσεις ανθρώπινης προέλευσης όπως αυτές που προκαλούνται από σφύρες ελεύθερης πτώσης ή βαριά κυκλοφορία οχημάτων. Ως εγχειρίδιο για την ταλάντωση και τη δυναμική των κατασκευών, αυτό το βιβλίο δεν έχει ανταγωνιστές και συνιστάται στον σοβαρό σπουδαστή. Πιστεύω ότι αυτό είναι το βιβλίο που αναζητούσε ο John R. Freeman.

George W. Housner
California Institute of Technology
1994

Εισαγωγή

ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ

Το παρόν βιβλίο δυναμικής των κατασκευών προορίζεται για εγχειρίδιο μαθημάτων σε πολιτικούς μηχανικούς. Περιέχει πολλά θέματα που αφορούν στη θεωρία της δυναμικής των κατασκευών, και εφαρμογές αυτής της θεωρίας στη σεισμική ανάλυση, στην απόκριση, στον σχεδιασμό και στην αποτίμηση των κατασκευών. Καμία προηγούμενη γνώση πάνω στη δυναμική των κατασκευών δεν είναι απαραίτητη, ώστε να γίνει αυτό το βιβλίο κατάλληλο και για τον αναγνώστη που πρώτη φορά συναντά αυτό το θέμα. Η παρουσίαση του υλικού είναι επαρκώς λεπτομερής και προσεκτικά ολοκληρωμένη με παραπομπές, ώστε το βιβλίο να είναι κατάλληλο και για προσωπική μελέτη. Αυτό το χαρακτηριστικό του βιβλίου, σε συνδυασμό με μία πρακτικά προσανατολισμένη επιλογή θεμάτων, θα πρέπει να ενδιαφέρει επαγγελματίες μηχανικούς, ιδιαίτερα αυτούς που ασχολούνται με την ανάλυση και το σχεδιασμό κατασκευών σε σεισμογενείς χώρες.

Κατά τη συγγραφή του βιβλίου δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο να γίνει η δυναμική των κατασκευών ευκολότερα κατανοητή σε φοιτητές και επαγγελματίες μηχανικούς, επειδή πολλοί θεωρούν αυτό το θέμα δύσκολο. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, η παρουσίαση διαρθρώνεται γύρω από πολλά χαρακτηριστικά: Τα μαθηματικά έχουν μείνει όσο απλά επιτρέπει το κάθε θέμα. Αναλυτικές διαδικασίες έχουν συνοψισθεί, ώστε να δοθεί έμφαση στα επιμέρους βήματα και να διευκολυνθεί η εκτέλεσή τους από τον αναγνώστη. Αυτές οι διαδικασίες επεξηγούνται μέσω περισσότερων από 125 λυμένων παραδειγμάτων, συμπεριλαμβανομένων πολλών κατανοητών και ρεαλιστικών παραδειγμάτων, στα οποία δίνεται έμφαση στη φυσική ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Περίπου 600 σχήματα έχουν προσεκτικά σχεδιαστεί και υλοποιηθεί, ώστε να είναι παιδαγωγικά αποτελεσματικά, ενώ πολλά από αυτά αφορούν σε εκτεταμένες προσομοιώσεις της δυναμικής απόκρισης κατασκευών μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Περιλαμβάνονται επίσης φωτογραφίες από κατασκευές και κινήσεις κατασκευών που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια σεισμών, ώστε να συσχετισθεί η παρουσίαση με την πραγματικότητα.

Η προετοιμασία αυτού του βιβλίου είχε ως έμπνευση πολλούς στόχους:

- Να συσχετίσει τα μελετώμενα δομικά προσομοιώματα με τις ιδιότητες πραγματικών κατασκευών.
- Να παρουσιάσει τη θεωρία της δυναμικής απόκρισης των κατασκευών μ' έναν τρόπο που να δίνει έμφαση στη φυσική διαίσθηση πάνω σε αναλυτικές διαδικασίες.
- Να καταστήσει κατανοητές τις εφαρμογές της θεωρίας σε επιλύσεις προβλημάτων που προκύπτουν σε πρακτικές εφαρμογές.
- Να ερμηνεύσει τα θεωρητικά αποτελέσματα, ώστε να γίνει κατανοητή η απόκριση των κατασκευών σε ποικίλες δυναμικές διεγέρσεις, με έμφαση στις σεισμικές διεγέρσεις.

- Να εφαρμόσει τη θεωρία της δυναμικής των κατασκευών στη διενέργεια παραμετρικών μελετών που θα αναδείξουν διάφορα θεμελιώδη ζητήματα στη σεισμική απόκριση, τον σχεδιασμό και την αποτίμηση πολυώροφων κτηρίων.

Αυτή η μορφή παρουσίασης θα πρέπει να βοηθήσει τον αναγνώστη να αποκτήσει μία βαθύτερη γνώση του αντικειμένου και να εφαρμόσει με σιγουριά τη θεωρία της δυναμικής των κατασκευών στην επίλυση πρακτικών προβλημάτων, ιδιαίτερα στη σεισμική ανάλυση, στον σχεδιασμό και στην αποτίμηση κατασκευών, μειώνοντας έτσι το κενό ανάμεσα σε θεωρία και πράξη.

ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ

Μετά την πρώτη εμφάνιση του το 1995, το βιβλίο έχει αναθεωρηθεί και επεκταθεί με πολλούς τρόπους, με αποτέλεσμα την δεύτερη έκδοση (2001), την τρίτη έκδοση (2007) και την τέταρτη έκδοση (2012). Με αφορμή έναν αυξανόμενο αριθμό καταγραφών εδαφικών κινήσεων στην εγγύς περιοχή του γενεσιουργού ρήγματος, το Κεφάλαιο 6 επεκτάθηκε με σκοπό την αναγνώριση των ειδικών χαρακτηριστικών εδαφικών κινήσεων εγγύς του ρήγματος και την σύγκριση τους με τις συνήθεις εδαφικές κινήσεις μακράν του ρήγματος. Εξ αιτίας του αυξανόμενου ενδιαφέροντος σχετικά με τη σεισμική συμπεριφορά γεφυρών, παραδείγματα για τη δυναμική συμπεριφορά γεφυρών και τη σεισμική τους απόκριση έχουν προστεθεί σε αρκετά κεφάλαια. Ανταποκρινόμενο στην αυξανόμενη ανάγκη για μεθόδους απλοποιημένης δυναμικής ανάλυσης κατάλληλης για σεισμική μηχανική βασισμένη στην επιτελεστικότητα, το Κεφάλαιο 7 επεκτάθηκε έτσι, ώστε να περιέχει μία πληρέστερη θεώρηση όσον αφορά στις επιβαλλόμενες από τον σεισμό παραμορφώσεις ελαστικών και ανελαστικών συστημάτων, και να παρουσιάσει εφαρμογές του ανελαστικού φάσματος σχεδιασμού στον σεισμικό σχεδιασμό για επιτρεπόμενη πλαστιμότητα, στον σχεδιασμό με βάση τις μετατοπίσεις και στην αντισεισμική αποτίμηση υφιστάμενων κατασκευών. Τα σχετικά με τον αριθμητικό υπολογισμό της δυναμικής απόκρισης Κεφάλαια 5 και 16 έχουν ξαναγραφεί για να συμβαδίζουν με τον τρόπο που αυτές οι αριθμητικές μέθοδοι εφαρμόζονται συνήθως στο λογισμικό H/Y και να προσφέρουν μία ολοκληρωμένη παρουσίαση της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης – γνωστής και ως ανάλυσης οριακής πλευρικής ώθησης (pushover) – και της μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης. Το Κεφάλαιο 13 επεκτάθηκε για να περιλάβει δύο θέματα: (1) τον συνδυασμό των μέγιστων αποκρίσεων μίας κατασκευής σε μεμονωμένες μεταφορικές συνιστώσες εδαφικής κίνησης με σκοπό την εκτίμηση της μέγιστης απόκρισής της σε διέγερση πολλαπλών συνιστωσών, και (2) εξισώσεις με βάση το φάσμα απόκρισης για τον προσδιορισμό μίας περιβάλλουσας, η οποία να φράζει την τροχιά συνδυασμένης απόκρισης όλων των ταυτοχρόνως ασκούμενων δυνάμεων που διέπουν τον σεισμικό σχεδιασμό ενός δομικού στοιχείου. Η προσθήκη του Κεφαλαίου 14 για τα συστήματα με μη κλασική απόσβεση παρακινήθηκε απ' το αυξανόμενο ενδιαφέρον για τέτοια συστήματα, τα οποία προκύπτουν σε πολλές πρακτικές καταστάσεις: για παράδειγμα, κατασκευές με συμπληρωματικές διατάξεις ανάλωσης ενέργειας ή επί συστήματος σεισμικής μόνωσης βάσης, συστήματα με αλληλεπίδραση εδάφους-κατασκευής ή με αλληλεπίδραση ρευστού-κατασκευής. Το Κεφάλαιο 19 (τόρα Κεφάλαιο 20) έχει αναθεωρηθεί πλήρως για να συμπεριλάβει τις μετά τη δεκαετία του 1990 εξελίξεις στη σεισμική ανάλυση και στην απόκριση ανελαστικών κτηρίων. Αρχικά περιορισμένο σε τρεις κτηριακούς κανονισμούς – ΗΠΑ, Καναδά και Μεξικού – το Κεφάλαιο 21 (τόρα Κεφάλαιο 22) επεκτάθηκε, ώστε να συμπεριλάβει τον Ευρωκώδικα. Η προσθήκη του Κεφαλαίου 22 (τόρα Κεφάλαιο 23) είχε ως κίνητρο την υιοθεσία από το επάγγελμα του πολιτικού μηχανικού βασισμένων στην επιτελεστικότητα οδηγιών για την αποτίμηση υφιστάμενων κτηρίων.

Σε ανταπόκριση αιτημάτων αναγνωστών, συμπεριελήφθη η μέθοδος δυναμικής ανάλυσης στο πεδίο των συχνοτήτων, αλλά παρατέθηκε με τη μορφή παραρτήματος αντί να διαμοιραστεί σ' όλο το βιβλίο. Η απόφαση αυτή παρακινήθηκε από τον στόχο μου να κρατήσω τα μαθηματικά όσο απλά επιτρέπει το κάθε θέμα, κάνοντας έτσι τη δυναμική των κατασκευών εύληπτη για φοιτητές και επαγγελματίες μηχανικούς.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΠΑΡΟΥΣΑΣ ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗΣ

Η *Δυναμική των Κατασκευών* έχει τύχει εξαιρετικής αποδοχής στα 21 χρόνια από την πρώτη κυκλοφορία του. Συνεχίζει να χρησιμοποιείται ως εγχειρίδιο σε πανεπιστήμια των Ηνωμένων Πολιτειών και πολλών άλλων χωρών και απολαύει ευρείας αναγνωσιμότητας από τους επαγγελματίες. Έχουν εκδοθεί μεταφράσεις του σε Ιαπωνικά, Κορεατικά, Κινεζικά, Ελληνικά, Ισπανικά, Περσικά και Τουρκικά. Το 2015 η 4^η έκδοση κυκλοφόρησε και με μονάδες του Διεθνούς Συστήματος (SI). Η προετοιμασία της πέμπτης έκδοσης μου έδωσε την ευκαιρία να βελτιώσω, να επεκτείνω και να επικαιροποιήσω το βιβλίο.

Το Κεφάλαιο 20 έχει επεκταθεί σημαντικά. Τα Κεφάλαια 7, 9, 13 και 18 έχουν επίσης επεκταθεί, το Κεφάλαιο 11 έχει υποστεί σημαντική αναθεώρηση και τα Κεφάλαια 22 και 23 έχουν επικαιροποιηθεί. Στις αλλαγές περιλαμβάνονται ειδικότερα:

- Δύο νέα μέρη, Β και Γ, έχουν προστεθεί στο Κεφάλαιο 20, το οποίο είναι πλέον περισσότερο από διπλάσιο του αρχικού του μεγέθους. Οι προσθήκες αυτές παρακινήθηκαν από την αυξανόμενη χρήση μη γραμμικών αναλύσεων χρονο-ιστορίας απόκρισης (RHA) κτηρίων στην επαγγελματική πρακτική. Στο Μέρος Β εξετάζονται διάφορα θέματα που προκύπτουν κατά την προσομοίωση της συνολικής κατασκευής, καθώς και δομικών στοιχείων για μη γραμμικές RHA. Το Μέρος Γ ασχολείται με την επιλογή και τροποποίηση καταγραφών εδαφικών κινήσεων για να καθορισθούν οι διεγέρσεις, για τις οποίες οι σεισμικές απαιτήσεις σε κατασκευές πρόκειται να προσδιορισθούν με μη γραμμικές RHA. Ένα «καινούριο» θέμα για έρευνα από το 1998, περιλαμβάνεται σε εγχειρίδιο για πρώτη φορά.
- Το Κεφάλαιο 13 επεκτάθηκε ώστε να συμπεριλάβει ένα θέμα που μέχρι τώρα περιοριζόταν στη βιβλιογραφία ερευνών αλλά παρουσιάζει πρακτικό ενδιαφέρον: μία βασισμένη στο φάσμα απόκρισης μέθοδο για την εκτίμηση των κύριων τάσεων σε συνεχείς κατασκευές, όπως φράγματα από σκυρόδεμα.
- Τα Κεφάλαια 7, 9 και 18 επεκτάθηκαν, ώστε να περιλάβουν την ανάλυση P - Δ των επιδράσεων των φορτίων βαρύτητας και μία εισαγωγή στην επιρροή τους επί της πλευρικής απόκρισης, της μόνιμης παραμόρφωσης και της κατάρρευσης των κατασκευών.
- Το Κεφάλαιο 11 έχει αναθεωρηθεί, ώστε να περιλάβει πρόσφατα δεδομένα για λόγους απόσβεσης που έχουν προσδιορισθεί με διαδικασία αναγνώρισης συστήματος για κινήσεις 203 κτηρίων καταγραμμένων κατά τη διάρκεια πρόσφατων σεισμών. Παρουσιάζονται νέες συστάσεις για την εκτίμηση λόγων απόσβεσης για χρήση σε σεισμική ανάλυση κατασκευών.
- Τα Κεφάλαια 22 και 23 έχουν επικαιροποιηθεί, ώστε να συμβαδίζουν με τις ισχύουσες εκδόσεις των κτηριακών κανονισμών για τον σχεδιασμό νέων κτηρίων και με τις βασιζόμενες στην επιτελεσματικότητα οδηγίες και πρότυπα για την αποτίμηση υφιστάμενων κτηρίων.
- Έχουν προστεθεί πολλά νέα σχήματα, αρκετά λυμένα παραδείγματα, καθώς και αρκετά προβλήματα στο τέλος των κεφαλαίων.

Η χρήση του βιβλίου κατά τη διδασκαλία μου και ο αναλογισμός γι' αυτό τα προηγούμενα χρόνια υποδεικνυαν την ανάγκη βελτιώσεων. Το κείμενο έχει αποσαφηνισθεί και βελτιωθεί εκτενώς και μερικές ενότητες έχουν αναμορφωθεί με σκοπό να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα της παρουσίας.

ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΑ ΘΕΜΑΤΑ

Το παρόν βιβλίο οργανώνεται σε τρία μέρη: I. Μονοβάθμια Συστήματα, II. Πολυβάθμια Συστήματα, και III. Σεισμική Απόκριση, Σχεδιασμός και Αποτίμηση Πολύροφων Κτηρίων.

Το Μέρος I περιλαμβάνει οκτώ κεφάλαια. Στο εναρκτήριο κεφάλαιο διατυπώνεται το πρόβλημα της δυναμικής των κατασκευών για απλές ελαστικές και ανελαστικές κατασκευές, που μπορούν να προσομοιωθούν ως μονοβάθμια συστήματα (SDF), ενώ τέσσερεις μέθοδοι για την επίλυση της διαφορικής εξίσωσης που διέπει την κίνηση της κατασκευής εξετάζονται εν συντομία. Στη συνέχεια μελετάμε τη δυναμική απόκριση γραμμικώς ελαστικών συστημάτων (1) σε ελεύθερη ταλάντωση (Κεφάλαιο 2), (2) σε αρμονικές και περιοδικές διεγέρσεις (Κεφάλαιο 3) και (3) σε βαθμιδωτές και παλμικές διεγέρσεις (Κεφάλαιο 4). Στα Κεφάλαια 2 και 3 περιλαμβάνεται η δυναμική μονοβάθμιων συστημάτων με απόσβεση Coulomb, ένα θέμα που συνήθως δεν αναφέρεται σε κείμενα πολιτικού μηχανικού, αλλά που έχει γίνει σχετικό με την αντισεισμική μηχανική, καθώς διατάξεις καταπόνησης ενέργειας που βασίζονται στην τριβή χρησιμοποιούνται σε αντισεισμικές κατασκευές. Μετά την παρουσίαση αριθμητικών μεθόδων χρονικών βημάτων για τον υπολογισμό της δυναμικής απόκρισης συστημάτων (Κεφάλαιο 5), η σεισμική απόκριση γραμμικώς ελαστικών και ανελαστικών συστημάτων μελετάται στα Κεφάλαια 6 και 7 αντιστοίχως. Η κάλυψη αυτών των θεμάτων είναι περισσότερο κατανοητή σε σύγκριση με κείμενα, που είναι προς το παρόν διαθέσιμα. Περιλαμβάνονται λεπτομέρειες για την κατασκευή φασμάτων απόκρισης και σχεδιασμού, για την επιρροή της απόσβεσης και της διαρροής, όπως επίσης και η διάκριση μεταξύ φασμάτων απόκρισης και σχεδιασμού. Η ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων που αντιμετωπίζονται ως γενικευμένα μονοβάθμια συστήματα αποτελεί το θέμα του Κεφαλαίου 8.

Το Μέρος II περιλαμβάνει τα Κεφάλαια 9 έως 18 για τη δυναμική ανάλυση πολυβάθμιων συστημάτων (MDF). Στο εναρκτήριο κεφάλαιο του Μέρους II διατυπώνεται το πρόβλημα της δυναμικής κατασκευών, οι οποίες προσομοιώνονται ως συστήματα με πεπερασμένο αριθμό βαθμών ελευθερίας και επεξηγείται με πολυάριθμα παραδείγματα. Περιλαμβάνεται επίσης μία σύνοψη των μεθόδων επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων που διέπουν την κίνηση της κατασκευής. Το Κεφάλαιο 10 ασχολείται με την ελεύθερη ταλάντωση συστημάτων με κλασική απόσβεση και με τον αριθμητικό υπολογισμό των ιδιοσυχνοτήτων και των ιδιομορφών ταλάντωσης της κατασκευής. Το Κεφάλαιο 11 αντιμετωπίζει διάφορα ζητήματα που προκύπτουν κατά τον καθορισμό των ιδιοτήτων απόσβεσης των κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων πειραματικών δεδομένων – από πειράματα εξαναγκασμένης ταλάντωσης σε κατασκευές και καταγεγραμμένες κινήσεις κατασκευών κατά τη διάρκεια σεισμών– που παρέχουν μία βάση για την εκτίμηση των ιδιομορφικών λόγων απόσβεσης, καθώς και αναλυτικών διαδικασιών για την κατασκευή του μητρώου απόσβεσης, εάν αυτό είναι αναγκαίο. Το Κεφάλαιο 12 ασχολείται με τη δυναμική γραμμικών συστημάτων, δίνοντας έμφαση στη διαδικασία κλασικής ιδιομορφικής ανάλυσης. Το Μέρος Γ αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζει έναν «νέο» τρόπο αντιμετώπισης της ιδιομορφικής ανάλυσης που διευκολύνει να κατανοήσουμε πως οι συνεισφορές των ιδιομορφών στην απόκριση επηρεάζονται απ' τη χωρική κατανομή και τη χρονική μεταβολή των εφαρμοζόμενων δυνάμεων, οδηγώντας σε πρακτικά κριτήρια όσον αφορά στον αριθμό των ιδιομορφών που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στον υπολογισμό της απόκρισης. Στο Κεφάλαιο 13 αναπτύσσονται διαδικασίες ιδιομορφικής ανάλυσης για τη σεισμική ανάλυση κατασκευών με κλασική απόσβεση. Τόσο η ανάλυση χρονο-ιστορίας απόκρισης όσο και η δυναμική φασματική ανάλυση παρουσιάζονται με τρόπο που παρέχει φυσική ερμηνεία. Η τελευταία μέθοδος εκτιμά τη μέγιστη απόκριση πολυβάθμιων συστημάτων απευθείας απ' το σεισμικό φάσμα απόκρισης ή σχεδιασμού. Οι διαδικασίες επεξηγούνται μέσω πολυάριθμων παραδειγμάτων, συμπεριλαμβανομένης της συζευγμένης πλευρικής-στρεπτικής απόκρισης κτηρίων μη συμμετρικής κάτοψης και της στρεπτικής απόκρισης ονομαστικά συμμετρικών κτηρίων. Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται διαδικασίες βασισμένες στο φάσμα απόκρισης για τη θεώρηση όλων των ταυτοχρόνως ασκούμενων δυνάμεων που ελέγχουν τον σχεδιασμό ενός δομικού στοιχείου, για

τον υπολογισμό των μέγιστων τιμών των κύριων τάσεων σε συνεχείς κατασκευές, π.χ. φράγματα από σκυρόδεμα, και για την εκτίμηση της μέγιστης απόκρισης μίας κατασκευής σε σεισμική διέγερση πολλαπλών συνιστωσών. Στο Κεφάλαιο 14 η μέθοδος ιδιομορφικής ανάλυσης επεκτείνεται στην ανάλυση χρονο-ιστορίας απόκρισης συστημάτων με μη κλασική απόσβεση υποβαλλόμενων σε σεισμική διέγερση. Για τον σκοπό αυτό, αρχικά επανεξετάζονται τα συστήματα με κλασική απόσβεση και αναδιατυπώνονται οι διαδικασίες ανάλυσης των Κεφαλαίων 10 και 13 σε μορφή που να καθιστά δυνατή την επέκτασή τους στη γενικότερη περίπτωση.

Το Κεφάλαιο 15 είναι αφιερωμένο στο πρακτικό υπολογιστικό θέμα της μείωσης των αριθμών ελευθερίας στην απαιτούμενη για τη στατική ανάλυση προσομοίωση της κατασκευής, ώστε να αναγνωρισθεί ότι η δυναμική απόκριση πολλών κατασκευών μπορεί να αντιπροσωπευθεί απ' τις πρώτες λίγες ιδιομορφές τους. Στο Κεφάλαιο 16 παρουσιάζονται αριθμητικές μέθοδοι χρονικών βημάτων για πολυβάθμια συστήματα, που δεν υπάγονται στην κλασική ιδιομορφική ανάλυση: συστήματα με μη κλασική απόσβεση ή συστήματα που αποκρίνονται εντός της περιοχής μη γραμμικής συμπεριφοράς. Είναι μία ολοκληρωμένη παρουσίαση της μη γραμμικής στατικής ανάλυσης – γνωστής και ως ανάλυσης πλευρικής οριακής ώθησης (pushover) – και της μη γραμμικής δυναμικής ανάλυσης, κατάλληλη για εφαρμογή σε λογισμικό H/Y. Το Κεφάλαιο 17 ασχολείται με κλασικά προβλήματα δυναμικής συστημάτων με κατανεμημένη μάζα, περιλαμβάνοντας μόνο μονοδιάστατα συστήματα. Στο Κεφάλαιο 18 παρουσιάζονται δύο μέθοδοι για τη διακριτοποίηση μονοδιάστατων συστημάτων με κατανεμημένη μάζα: η μέθοδος Rayleigh-Ritz και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Εισάγεται η έννοια του μητρώου συμβιβαστών μαζών και επιδεικνύεται η ακρίβεια και η σύγκλιση των προσεγγιστικών τιμών των ιδιοσυχνοτήτων μίας δοκού-προβόλου που προσδιορίζονται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων.

Το Μέρος III του βιβλίου περιέχει πέντε κεφάλαια που ασχολούνται με τη σεισμική απόκριση, τον σχεδιασμό και την αποτίμηση πολυώροφων κτηρίων, ένα θέμα που συνήθως δεν συμπεριλαμβάνεται σε κείμενα δυναμικής των κατασκευών. Αντιμετωπίζονται πολλά σημαντικά και πρακτικά ζητήματα με τη χρήση αναλυτικών διαδικασιών, που αναπτύχθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Στο Κεφάλαιο 19 παρουσιάζεται η σεισμική απόκριση γραμμικώς ελαστικών πολυώροφων κτηρίων για ένα μεγάλο εύρος δύο σημαντικών παραμέτρων: της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου ταλάντωσης και του λόγου δυσκαμψίας δοκών-υποστυλωμάτων. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα κατανοούμε τον τρόπο με τον οποίο αυτές οι παράμετροι επηρεάζουν τη σεισμική απόκριση των κτηρίων και, πιο συγκεκριμένα, τη σχετική συνεισφορά των διάφορων ιδιομορφών στην απόκριση, οδηγούμενοι σε πρακτικές πληροφορίες για τον αριθμό των ανώτερων ιδιομορφών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στους υπολογισμούς της σεισμικής απόκρισης. Το Κεφάλαιο 20 ασχολείται με το σημαντικό ζήτημα της σεισμικής απόκρισης πολυώροφων κτηρίων, τα οποία παραμορφώνονται στην ανελαστική τους περιοχή. Το Μέρος Α του κεφαλαίου παρουσιάζει την ακριβή μη γραμμική ανάλυση χρονο-ιστορίας απόκρισης (RHA), επισημαίνει τη σημαντική επιρροή των παραδοχών προσομοίωσης, των βασικών δομικών παραμέτρων και των λεπτομερειών της εδαφικής κίνησης στις σεισμικές απαιτήσεις και προσδιορίζει την αντοχή που απαιτείται για τον περιορισμό των απαιτήσεων πλαστιμότητας ορόφων σ' ένα πολυώροφο κτήριο. Στο Μέρος Β εξετάζονται διάφορα θέματα που ανακύπτουν κατά την προσομοίωση της συνολικής κατασκευής, αλλά και των δομικών στοιχείων για μη γραμμικές αναλύσεις RHA. Το Μέρος Γ ασχολείται με την επιλογή και την τροποποίηση καταγεγραμμένων εδαφικών κινήσεων για τον ορισμό των διεγέρσεων, για τις οποίες οι σεισμικές απαιτήσεις επί των κατασκευών πρέπει να προσδιορισθούν με μη γραμμικές RHA. Αναγνωρίζοντας ότι οι ακριβείς μη γραμμικές RHA παραμένουν ένα επαχθές έργο, στο Μέρος Δ του κεφαλαίου αναπτύσσεται η μέθοδος της ιδιομορφικής ανάλυσης οριακής ώθησης (MPA) – μία

προσεγγιστική μέθοδος ανάλυσης. Κατά τη μέθοδο αυτή, οι σεισμικές απαιτήσεις υπολογίζονται με μη γραμμικές στατικές αναλύσεις της κατασκευής υποβαλλόμενης σε ιδιομορφικές κατανομές αδρανειακών δυνάμεων. Η σεισμική μόνωση βάσης αποτελεί το αντικείμενο του Κεφαλαίου 21. Ο στόχος μας είναι να μελετήσουμε τη δυναμική συμπεριφορά κτηρίων που εδράζονται επί συστημάτων μόνωσης βάσης με τον περιορισμένο αντικειμενικό σκοπό να κατανοήσουμε γιατί και κάτω από ποιες συνθήκες η μόνωση είναι αποτελεσματική όσον αφορά στη μείωση των σεισμικά προκαλούμενων δυνάμεων σε μία κατασκευή. Στο Κεφάλαιο 22 παρουσιάζουμε τις διατάξεις για τις σεισμικές δυνάμεις σε τέσσερεις κτηριακούς κανονισμούς –τον Διεθνή *Κτηριακό Κανονισμό* (Ηνωμένες Πολιτείες), τον *Εθνικό Κτηριακό Κανονισμό του Καναδά*, τον Ευρωκώδικα και τον *Κανονισμό της Ομοσπονδιακής Περιφέρειας του Μεξικού*– μαζί με τη σχέση τους με τη θεωρία της δυναμικής των κατασκευών που αναπτύχθηκε στα Κεφάλαια 6, 7, 8, και 13. Στη συνέχεια, οι διατάξεις των κανονισμών αξιολογούνται με βάση τα αποτελέσματα της δυναμικής ανάλυσης κτηρίων που παρουσιάστηκαν στα Κεφάλαια 19 και 20. Οδηγίες και πρότυπα για την αποτίμηση υφιστάμενων κτηρίων με βάση την επιτελεστικότητα λαμβάνουν υπόψη ρητώς ανελαστική συμπεριφορά κατά την εκτίμηση των σεισμικών απαιτήσεων σε χαμηλές στάθμες επιτελεστικότητας, όπως η ασφάλεια ζωής και η αποτροπή κατάρρευσης. Στο Κεφάλαιο 23 παρουσιάζονται και συζητούνται ορισμένες πτυχές της μη γραμμικής δυναμικής διαδικασίας και της μη γραμμικής στατικής διαδικασίας στις εκδόσεις αυτές –ATC-40, FEMA 356 και ASCE41-13 – σε συσχέτισμό με τη θεωρία δυναμικής των κατασκευών που αναπτύχθηκε στα Κεφάλαια 7 και 20.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟΥΣ

Αυτό το βιβλίο είναι κατάλληλο για μαθήματα σε μεταπτυχιακό επίπεδο και σε ανώτερο προπτυχιακό επίπεδο. Δεν απαιτείται καμία προηγούμενη γνώση πάνω στη δυναμική των κατασκευών. Το απαραίτητο υπόβαθρο είναι διαθέσιμο απ’ τα συνήθη μαθήματα του προπτυχιακού κύκλου σπουδών πολιτικού μηχανικού. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Στατική ανάλυση κατασκευών, συμπεριλαμβανομένων στατικών αόριστων κατασκευών και μητρικών μεθόδων ανάλυσης (απαιτείται κυρίως για το Μέρος II).
- Σχεδιασμός κατασκευών.
- Δυναμική στερεών σωμάτων.
- Μαθηματικά: συνήθεις διαφορικές εξισώσεις (για το Μέρος I), γραμμική άλγεβρα (για το Μέρος II), και μερικές διαφορικές εξισώσεις (μόνο για το Κεφάλαιο 17).

Παρέχοντας μία βασική αλλά λεπτομερή αντιμετώπιση ενός μεγάλου αριθμού θεμάτων, αυτό το βιβλίο επιτρέπει μεγαλύτερη από τη συνήθη ευελιξία στην επιλογή του περιεχόμενου του μαθήματος, κατά την κρίση του εκπαιδευτικού. Πολλά μαθήματα μπορούν να αναπτυχθούν με βάση το υλικό αυτού του βιβλίου. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα.

Σχεδόν ολόκληρο το βιβλίο μπορεί να καλυφθεί σε ένα διδακτικό έτος:

- *Τίτλος:* Δυναμική των Κατασκευών I (ένα εξάμηνο).

Πρόγραμμα: Ενότητες 1 και 2 του Κεφαλαίου 2, Μέρη Α και Β του Κεφαλαίου 3, Κεφάλαιο 4, επιλεγμένα θέματα από το Κεφάλαιο 5, Ενότητες 1 έως 7 από το Κεφάλαιο 6, Ενότητες 1 έως 7 και 13 από το Κεφάλαιο 7, επιλεγμένα θέματα από το Κεφάλαιο 8, Ενότητες 1 έως 4 και 9 έως 11 από το Κεφάλαιο 9, Μέρη Α και Β του Κεφαλαίου 10, Ενότητες 1 και 2 του Κεφαλαίου 11, Μέρη Α και Β του Κεφαλαίου 12, Ενότητες 1, 2, 7 και 8 (εξαιρουμένης της μεθόδου CQC) από το Κεφάλαιο 13, και επιλεγμένα θέματα από το Μέρος Α του Κεφαλαίου 22.

- *Τίτλος:* Δυναμική των Κατασκευών II (ένα εξάμηνο).

Πρόγραμμα: Ενότητες 5 έως 7 από το Κεφάλαιο 9, Ενότητες 3 έως 5 από το Κεφάλαιο 11, Μέρη Γ και Δ του Κεφαλαίου 12, Ενότητες 3 έως 12 από το Κεφάλαιο 13, επιλεγμένα θέματα από τα Κεφάλαια 14, 15, 17, 19 έως 21 και 23 και Παράρτημα Α.

Η επιλογή των θεμάτων για το πρώτο μάθημα έχει εν μέρει υπαγορευτεί από την ανάγκη παροχής ολοκληρωμένης ύλης, συμπεριλαμβανομένης της δυναμικής και σεισμικής ανάλυσης πολυβάθμιων συστημάτων, για σπουδαστές που θα πάρουν μόνο ένα μάθημα.

Συντεταγμένες εκδοχές της παραπάνω ύλης μπορούν να οργανωθούν για μαθήματα που θα καλύπτουν δύο τρίμηνα. Μία δυνατότητα είναι η ακόλουθη:

- *Τίτλος:* Δυναμική των Κατασκευών I (ένα τρίμηνο).

Πρόγραμμα: Κεφάλαιο 1, Ενότητες 1 και 2 από το Κεφάλαιο 2, Ενότητες 1 έως 4 από το Κεφάλαιο 3, Ενότητες 1 και 2 από το Κεφάλαιο 4, επιλεγμένα θέματα από το Κεφάλαιο 5, Ενότητες 1 έως 7 από το Κεφάλαιο 6, Ενότητες 1 έως 7 από το Κεφάλαιο 7, επιλεγμένα θέματα από το Κεφάλαιο 8, Ενότητες 1 έως 4 και 9 έως 11 από το Κεφάλαιο 9, Μέρη Α και Β του Κεφαλαίου 10, Μέρος Β του Κεφαλαίου 12, Ενότητες 1, 2, 7 και 8 (εξαιρουμένης της μεθόδου CQC) από το Κεφάλαιο 13.

- *Τίτλος:* Δυναμική των Κατασκευών II (ένα τρίμηνο).

Πρόγραμμα: Ενότητες 5 έως 7 από το Κεφάλαιο 9, Ενότητες 3 έως 9 από το Κεφάλαιο 13 και επιλεγμένα θέματα από τα Κεφάλαια 19 έως 23.

Ένα μάθημα ενός εξαμήνου με έμφαση στην αντισεισμική μηχανική μπορεί να οργανωθεί ως ακολούθως:

- *Τίτλος:* Σεισμική Δυναμική των Κατασκευών.

Πρόγραμμα: Κεφάλαιο 1, Ενότητες 1 και 2 από το Κεφάλαιο 2, Ενότητες 1 και 2 από το Κεφάλαιο 4, Κεφάλαια 6 και 7, επιλεγμένα θέματα από το Κεφάλαιο 8, Ενότητες 1 έως 4 και 9 έως 11 από το Κεφάλαιο 9, Μέρη Α και Β του Κεφαλαίου 10, Μέρος Α του Κεφαλαίου 11, Ενότητες 1 έως 3 και 7 έως 12 από το Κεφάλαιο 13 και επιλεγμένα θέματα από τα Κεφάλαια 19 έως 23.

Η επίλυση προβλημάτων απ' τους φοιτητές είναι ουσιώδης για την εκμάθηση της δυναμικής των κατασκευών. Γι' αυτόν τον λόγο τα πρώτα 18 κεφάλαια περιέχουν 373 προβλήματα. Τα Κεφάλαια 19 έως 23 δεν περιέχουν προβλήματα, για δύο λόγους: (1) καμία καινούρια διαδικασία δυναμικής ανάλυσης δεν εισάγεται σ' αυτά τα κεφάλαια, (2) το υλικό αυτό δεν προσφέρεται για σύντομα και ευνόητα παραδείγματα. Ο αναγνώστης, ωστόσο, θα βρει διδακτικό το να δουλέψει τα παραδείγματα στα Κεφάλαια 19 έως 23 και να αναπαραγάγει τα αποτελέσματα. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι απαραίτητος για την επίλυση κάποιων απ' τα προβλήματα και αυτά επισημαίνονται. Στην επίλυση αυτών των προβλημάτων, θεωρείται ότι ο φοιτητής θα έχει πρόσβαση σε προγράμματα ηλεκτρονικού υπολογιστή όπως το MATLAB ή το MATHCAD. Οι λύσεις αυτών των προβλημάτων είναι διαθέσιμες για εκπαιδευτικούς μέσω μεταφόρτωσης από τον εκδοτικό οίκο.

Στις διαλέξεις μου στο Berkeley αναπτύσσω τη θεωρία στον μαυροπίνακα και την εξήγώ με διαφάνειες των πιο πολύπλοκων σχημάτων του βιβλίου. Εκδόσεις των σχημάτων σε μορφή PowerPoint, οι οποίες είναι κατάλληλες για τη δημιουργία διαφανειών για χρήση στις αίθουσες διδασκαλίας διατίθενται στους εκπαιδευτικούς για μεταφόρτωση από τον εκδοτικό οίκο. Παρά τα αιτήματα για μία πλήρη σειρά διαφανειών PowerPoint (θεωρία, παραδείγματα και σχήματα), αυτά δεν έχουν παραχθεί επειδή δεν νομίζω ότι η προσέγγιση αυτή είναι η πιο αποτελεσματική στρατηγική για τη διδασκαλία της δυναμικής των κατασκευών.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ ΓΙΑ ΕΠΑΓΓΕΛΜΑΤΙΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥΣ

Πολλοί επαγγελματίες μηχανικοί με παρότρυναν τη δεκαετία του '80 να ετοιμάσω ένα βιβλίο εκτενέστερο από το *Dynamics of Structures, A Primer*, μία μονογραφία που εκδόθηκε το 1981 και το 2005 (2^η έκδοση) από το Ινστιτούτο Έρευνας Αντισεισμικής Μηχανικής. Ελπίζω ότι αυτή η ανάγκη καλύπτεται απ' το παρόν βιβλίο. Προοριζόμενο ως εγχειρίδιο, περιλαμβάνει όλα τα τυπικά και τις λεπτομέρειες που είναι απαραίτητες για τους φοιτητές, αλλά αυτά τα χαρακτηριστικά δεν πρέπει να αποθαρρύνουν τον επαγγελματία μηχανικό από το να χρησιμοποιήσει το βιβλίο, καθώς η φιλοσοφία και το ύφος του στοχεύουν στο να μπορεί κάποιος να μάθει το αντικείμενο με προσωπική μελέτη.

Για τους επαγγελματίες μηχανικούς, που ενδιαφέρονται για τη σεισμική ανάλυση, την απόκριση, τον σχεδιασμό και την αποτίμηση των κατασκευών, προτείνω την ακόλουθη πορεία μελέτης του βιβλίου: Κεφάλαια 1 και 2, Κεφάλαια 6 έως 9, Μέρη Α και Β του Κεφαλαίου 10, Μέρος Α του Κεφαλαίου 11 και Κεφάλαια 13 και 19 έως 23.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σ' αυτό το εισαγωγικό κείμενο δεν θα ήταν πρακτικό να αναγνωρίσω τις πηγές για τις πληροφορίες που παρουσιάζονται. Οι αναφορές έχουν παραλειφθεί ώστε να αποφύγω να εκτρέψω την προσοχή του αναγνώστη. Ωστόσο, έχω συμπεριλάβει σποραδικά σχόλια για να προσθέσω ιστορική αντίληψη και, στο τέλος σχεδόν κάθε κεφαλαίου, ένα σύντομο κατάλογο δημοσιεύσεων κατάλληλων για περαιτέρω μελέτη.

ΤΑ ΣΧΟΛΙΑ ΣΑΣ ΕΙΝΑΙ ΕΥΠΡΟΣΔΕΚΤΑ

Θα παρακαλούσα εκπαιδευτικοί, φοιτητές, και επαγγελματίες μηχανικοί να μου γράψουν (chopra@ce.berkeley.edu) εάν έχουν προτάσεις για βελτίωση ή διευκρινίσεις, ή εάν εντοπίσουν σφάλματα. Σας ευχαριστώ εκ των προτέρων για την ώρα και το ενδιαφέρον σας.

Anil K. Chopra

Ευχαριστίες

Οφείλω ευγνωμοσύνη σε πολλούς ανθρώπους που τα τελευταία 20 χρόνια βοήθησαν στην προετοιμασία αυτού του βιβλίου.

- Ο Καθηγητής Rakesh K. Goel, συνεργάτης από την αρχή ως το τέλος, βοήθησε με πολλούς τρόπους και έπαιξε σημαίνοντα ρόλο στην ανάπτυξη του αρχικού κειμένου. Η πιο σημαντική συνεισφορά του ήταν η ανάπτυξη και η εκτέλεση του απαραίτητου λογισμικού για την παραγωγή των αριθμητικών αποτελεσμάτων και τη δημιουργία των περισσότερων σχημάτων.
- Ο Καθηγητής Gregory L. Fenves διάβασε το πρώτο προσχέδιο του αρχικού κειμένου, συζητούσε μαζί μου επ' αυτού σε εβδομαδιαία βάση, και παρείχε ουσιώδεις προτάσεις για βελτίωση.
- Έξι κριτικοί –οι Καθηγητές Luis Esteva, William J. Hall, Rafael Riddell, C. C. Tung, και οι αείμνηστοι George W. Housner και Donald E. Hudson– εξέτασαν το τελικό σχέδιο του αρχικού κειμένου. Παρείχαν ενθάρρυνση και οξυδερκή σχόλια για βελτίωση.
- Οι καθηγητές Gregory L. Fenves και Filip C. Fillipou με συμβούλευσαν να αναθεωρήσω τα Κεφάλαια 5 και 16 και σχολίασαν το τελικό κείμενο.
- Ο Δρ. Ian Aiken παρέσχε το πηγαίο υλικό –μαζί με φωτογραφίες– και συμβουλές για την αναθεώρηση των Ενοτήτων 7.10.1 και 7.10.2 για τις συμπληρωματικές διατάξεις ανάλωσης ενέργειας.
- Οι Καθηγητές Filip C. Fillipou και Dimitrios Lignos με συμβούλευσαν να προσθέσω στην 5^η έκδοση υλικό για την ανάλυση P - Δ και για την επίδραση των φορτίων βαρύτητας στη σεισμική απόκριση κατασκευών.
- Ο Καθηγητής Dionisio Bernal διέθεσε τα στοιχεία που παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 11 για τους λόγους απόσβεσης της πρώτης ιδιομορφής σε 203 κτήρια, οι οποίοι προσδιορίστηκαν από τις καταγραφείσες κινήσεις τους σε παρελθόντες σεισμούς.
- Ο Δρ. Charles Menun, τα αποτελέσματα της έρευνας, του οποίου αποτέλεσαν τη βάση για τις Ενότητες 13.10 και 13.11, παρείχε εκτενείς συμβουλές για την προετοιμασία αυτής της ενότητας και επισκόπησε σχέδια κειμένων.
- Ο Καθηγητής Oscar Lopez και ο Δρ. Charles Menun, τα αποτελέσματα της έρευνας των οποίων αποτέλεσαν τη βάση για τη νέα Ενότητα 13.12, παρείχαν συμβουλές και επισκόπησαν ένα τελικό σχέδιο κειμένου.
- Αρκετοί κριτικοί –οι Καθηγητές Michael C. Constantinou, Takeru Igusa, George C. Lee, Fai Ma, και Carlos E. Ventura– πρότεινα βελτιώσεις στο τελικό κείμενο του Κεφαλαίου 14.

- Ο Δρ. N. Simon Kwong συμμετείχε στην προετοιμασία του Μέρους Γ του Κεφαλαίου 20 με πολλούς τρόπους: δημιούργησε λογισμικό H/Y, παρήγαγε αριθμητικά αποτελέσματα, προετοίμασε σχήματα, παρείχε συμβουλές και επισκόπησε σχέδια κειμένων. Δημιούργησε επίσης σχήματα για το Μέρος Β του Κεφαλαίου 20 και όλα τα νέα σχήματα για την 5^η έκδοση.
- Αρκετοί ερευνητές –οι Καθηγητές Luis Ibarra, Dimitrios Lignos, H. Sezen, M. V. Sivaselvan, C.-M. Uang, και Dr. Greg Foliente– παρείχαν πειραματικά δεδομένα ή/και σχήματα για το Μέρος Β του Κεφαλαίου 20.
- Αρκετοί ερευνητές –οι Καθηγητές Dionisio Bernal, Athol Carr, Finley Charney, Peter Fajfar, John F. Hall, και Pierre Léger– παρείχαν συμβουλές για την προσομοίωση της ιξώδους απόσβεσης για μη γραμμική ανάλυση χρονο-ιστορίας απόκρισης κτηρίων, το αντικείμενο της Ενότητας 20.7.
- Ο Καθηγητής Jack W. Baker επισκόπησε το τελικό κείμενο του Μέρους Γ του Κεφαλαίου 20.
- Ο Δρ. Frank McKenna τροποποίησε το λογισμικό OpenSEES και παρήγαγε τα αποτελέσματα αποκρίσεων που παρουσιάζονται στη Ενότητα 20.7.
- Έξι ειδικοί παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια συμβουλές σχετικά με την ερμηνεία των τεσσάρων κτηριακών κανονισμών στο Κεφάλαιο 22: Ronald O. Hamburger (Διεθνής Κτηριακός Κανονισμός και Πρότυπο ASCE 7), Jagmohan L. Humar (Εθνικός Κτηριακός Κανονισμός του Καναδά), Eduardo Miranda (Κανονισμός της Ομοσπονδιακής Περιφέρειας του Μεξικού), και Peter Fajfar και Michael N. Fardis (Ευρωκώδικας).
- Ο Ronald O. Hamburger παρείχε συμβουλές σχετικά με το Πρότυπο ASCE/SEI 41-13 που παρουσιάζεται στο Κεφάλαιο 23.
- Αρκετοί καθηγητές που υιοθέτησαν το βιβλίο στα μαθήματά τους έχουν προτείνει βελτιώσεις κατά το παρελθόν. Κάποιες απ’ τις αναθεωρήσεις και προσθήκες σε πρόσφατες εκδόσεις οφείλονται σε συστάσεις των Καθηγητών Stavros A. Anagnostopoulos, Finley Charney, Michael C. Constantinou, Kincho Law, και Jose M. Roesset.
- Πολλοί προηγούμενοι φοιτητές έχουν βοηθήσει σε προηγούμενα χρόνια στην εκπόνηση των λύσεων για τα επιλυμένα παραδείγματα και τα προβλήματα στα τέλη των κεφαλαίων καθώς και με άλλους τρόπους: Ashraf Ayoub, Ushnish Basu, Shih-Po Chang, Juan Chavez, Chatpan Chintanapakdee, Juan Carlos De la Ilera, Rakesh K. Goel, Garrett Hall, Gabriel Hurtado, Petros Keshishian, Allen Kwan, N. Simon Kwong, Xiao Liang, Wen-Hsiung Lin, Charles Menun, Juan Carlos Reyes, Yuonne Tsui, and Tsung- Li Tai. Ο Han-Chen Tan έκανε την επεξεργασία κειμένου και τα γραφικά για το αρχικό Εγχειρίδιο Λύσεων για τα 233 προβλήματα της πρώτης έκδοσης.
- Ο Charles D. James, Διευθυντής Συστημάτων Πληροφορικής για το NISEE στο Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνιας στο Berkeley, βοήθησε στην επιλογή και τη συλλογή φωτογραφιών.
- Η Claire Johnson ετοίμασε το κείμενο για τα αναθεωρημένα και τα νέα τμήματα του κειμένου, ενώ συγκέντρωσε και επεξεργάστηκε το Εγχειρίδιο Λύσεων.
- Η Barbara Zeiders έκανε την επιμέλεια του κειμένου στις πρώτες τέσσερις εκδόσεις, η Clare Romeo υπηρέτησε τον ρόλο αυτό για την 5^η έκδοση.

- Ο Καθηγητής Joseph Penzien ανέλαβε τα καθήκοντά μου ως Βοηθός Εκδότης του *Earthquake Engineering and Structural Dynamics* από τον Ιούνιο του 1993 έως τον Αύγουστο του 1994 ενώ δούλευα πάνω στο αρχικό βιβλίο.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τη βαθύτατη εκτίμησή μου στους Καθηγητές Ray W. Clough, Jr., Joseph Penzien, Emilio Rosenblueth, και A. S. Veletsos για την επιρροή που είχαν στην επαγγελματική μου ανάπτυξη. Στις αρχές της δεκαετίας του 1960, οι Καθηγητές Clough, Penzien, και Rosenblueth με εξέθεσαν στις πεφωτισμένες απόψεις τους και στα θαυμάσια οργανωμένα μαθήματά τους πάνω στη δυναμική των κατασκευών και την αντισεισμική μηχανική. Στη συνέχεια, ο Καθηγητής Veletsos, μέσα από την έρευνα, τη συγγραφή και τα μαθήματά του, επηρέασε την προσωπική μου φιλοσοφία διδασκαλίας και έρευνας. Η εργασία του, σε συνεργασία με τον αείμνηστο Καθηγητή Nathan M. Newmark, καθόρισε την προσέγγιση που υιοθετήθηκε σε μέρη των Κεφαλαίων 6 και 7 και αυτή σε συνεργασία με τον Καθηγητή Carlos E. Ventura καθόρισαν τη μορφή παρουσίασης για το Κεφάλαιο 14.

Αυτό το βιβλίο έχει επηρεαστεί από την προσωπική μου ερευνητική εμπειρία σε συνεργασία με τους φοιτητές μου. Από το 1969, πολλοί οργανισμοί στήριξαν την έρευνά μου στην αντισεισμική μηχανική, μεταξύ των οποίων το Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, το Σώμα Μηχανικού του Αμερικανικού Στρατού, και το Πρόγραμμα Καταγραφής Ισχυρών Δονήσεων στην Καλιφόρνια.

Αυτό το βιβλίο ετοιμάστηκε κατά τη διάρκεια εκπαιδευτικών αδειών, προνόμιο για το οποίο ευγνωμονώ το Πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια στο Berkeley.

Anil K. Chopra