

Παρακολούθηση της Δομικής Ακεραιότητας και Εντοπισμός Βλαβών σε Γέφυρες στο Πλαίσιο Μείωσης της Διακινδύνευσης των Υποδομών

Όλγα Μαρκογιαννάκη¹, Δημήτριος Γιαγκόπουλος¹, Αλέξανδρος Αραϊλόπουλος¹, Κωνσταντίνος Παπαδημητρίου²

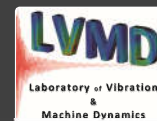
¹Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

²Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE



Περίγραμμα Παρουσίασης

Εισαγωγή

Υπολογιστικό πλαίσιο

Ενημέρωση Μοντέλων Πεπερασμένων στοιχείων

Προσδιορισμός Κόπωσης Κατασκευών

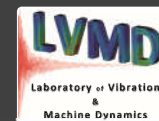
Εφαρμογή σε Μεταλλική Γέφυρα – Πρόοδος

Συμπεράσματα – Μελλοντική Εργασία



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE



- Η κατάσταση των γεφυρών διεθνώς
- Αυξανόμενα τα συμβάντα καταρρεύσεων εντός και εκτός Ελλάδος
- Καίρια η μείωση της τρωτότητάς τους σε φορτία λειτουργίας + ακραία φαινόμενα

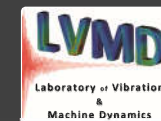


Έλλειψη τακτικών συντηρήσεων και επιθεωρήσεων



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE



Στόχος

Η εφαρμογή αποτελεσματικών μεθόδων στην παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητας των γεφυρών

Αντικείμενο

Η ανάπτυξη ενός υπολογιστικού πλαισίου για τη διάγνωση βλαβών βασισμένο σε μοντέλα πεπερασμένων στοιχείων και πειραματικές μετρήσεις

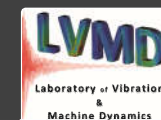
Φορέας Υλοποίησης

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE



Εργαστήριο Ταλαντώσεων και Δυναμικής Μηχανών – ΦΕΚ-25-10-2019/Τεύχος Β/3903

Περιλαμβάνει **Μονάδα Ελέγχου Δομικής Ακεραιότητας Κατασκευών**

Αντικείμενο της μονάδας είναι οι Ταλαντώσεις και Έλεγχος Γραμμικών και μη Γραμμικών Δυναμικών Συστημάτων και Μηχανισμών, ο Πειραματικός Προσδιορισμός Παραμέτρων Κατασκευών, Τεχνικές και Μέθοδοι Παρακολούθησης της Δομικής Ακεραιότητας Κατασκευών (Structural Health Monitoring) και Ανάλυση Κόπωσης (Fatigue Analysis) Κατασκευών, Διάγνωση- Πρόγνωση Βλαβών με χρήση μεθόδων μηχανικής μάθησης (machine learning) και συστημάτων υποστήριξης αποφάσεων οδηγούμενα από δεδομένα (Data-driven).

Διευθυντής Εργαστηρίου: Επίκουρος Καθηγητής, Δημήτριος Γιαγκόπουλος

Ινστιτούτο Πολιτικής Προστασίας του Πανεπιστημιακού Ερευνητικού Κέντρου (2019)

Ο ρόλος της Πολιτικής Προστασίας μεταβάλλεται τα τελευταία χρόνια τόσο σε εθνικό αλλά και σε διεθνές επίπεδο με στόχο την επίτευξη του κυρίαρχου σκοπού, ο οποίος είναι η διαχείριση - μείωση του κινδύνου των καταστροφών και η ενίσχυση της βιωσιμότητας των ανθρώπινων κοινωνιών. Στο πλαίσιο του Σεντάι προτείνονται τέσσερις βασικοί άξονες δράσεις:

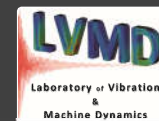
1. Η Κατανόηση του κινδύνου
2. Ενίσχυση Διακυβέρνησης του Κινδύνου
3. Επένδυση στη Μείωση του Κινδύνου
4. Ενίσχυση της Ετοιμότητας Απέναντι στο Κίνδυνο.

- Ένα **λεπτομερές μοντέλο FE** της κατασκευής που εξετάζεται αναπτύσσεται και ενημερώνεται για να ταιριάζει με τα δυναμικά χαρακτηριστικά που μετρούνται σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της συνδυασμένης χρήσης αριθμητικών και πειραματικών μεθόδων για την αναγνώριση, την ενημέρωση και τη βελτιστοποίηση του μοντέλου FE.
- Τα ιστορικά δεδομένα τάσεων στην κατασκευή εκτιμώνται σε κρίσιμες θέσεις, ώστε να **ενσωματωθούν λειτουργικές ταλαντωτικές μετρήσεις** από περιορισμένο αριθμό αισθητήρων στο ενημερωμένο μοντέλο FE.
- Οι βλάβες λόγω κόπωσης και η **υπολειπόμενη διάρκεια ζωής** εκτιμάται στη συνέχεια μέσω κοινώς υιοθετημένων προσεγγίσεων μηχανικής, όπως ο κανόνας ζημίας Palmgren-Miner και οι καμπύλες S-N



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE

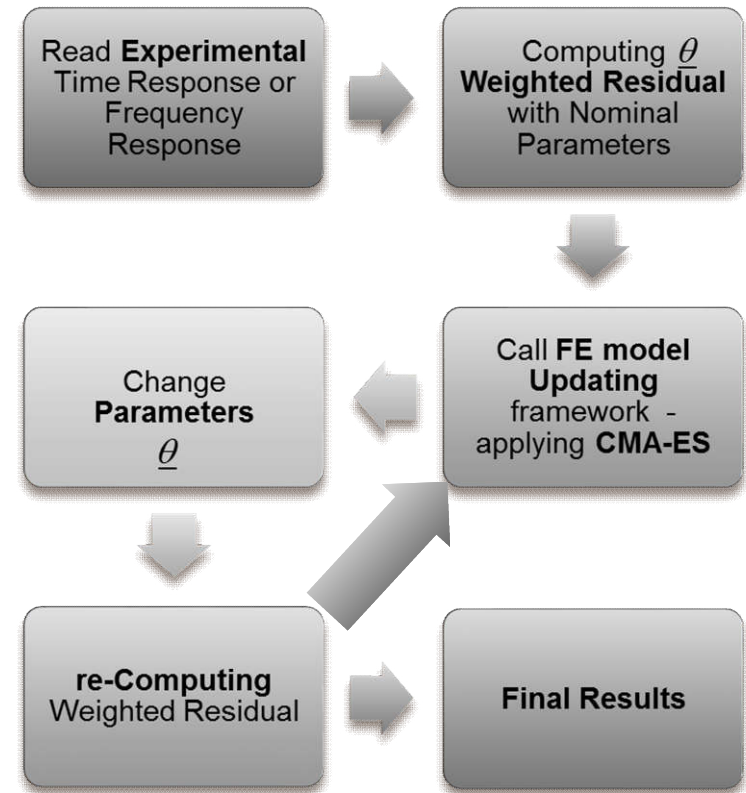


Ενημέρωση Μοντέλων FE – Υπολογιστικός Αλγόριθμος

Εμπορικό λογισμικό FEA Dynamics (msc. Nastran format), σε συνδυασμό με υπολογιστικό πλαίσιο για την ενημέρωση μοντέλων με τη μέθοδο CMA-ES.

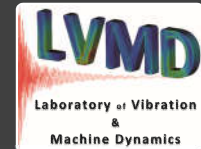
Black-box CMA-ES αλγόριθμος (Covariance Matrix Adaptation Evolution Strategy) για αριθμητικά προβλήματα βελτιστοποίησης.

Modal Residuals	
$\varepsilon_{\omega_r}(\theta) = \frac{\omega_r^2(\theta) - \hat{\omega}_r^2}{\hat{\omega}_r^2}$	Frequencies Discrepancies for All Modes
$J_1(\theta) = \sum_{r=1}^m \varepsilon_{\omega_r}^2(\theta)$	
$\varepsilon_{\phi_r}(\theta) = \frac{\ \beta_r(\theta)\phi_r(\theta) - \hat{\phi}_r\ }{\ \hat{\phi}_r\ }$	Modal Assurance Criterion - MAC
$J_2(\theta) = \sum_{r=1}^m \varepsilon_{\phi_r}^2(\theta) = \sum_{r=1}^m [1 - MAC_r^2(\theta)]$	
Response Residuals	
$x_s(\omega_k) = \frac{\{H_x(\omega_k)\}^H \{H_s(\omega_k)\}}{\left(\{H_x(\omega_k)\}^H \{H_x(\omega_k)\}\right) \left(\{H_s(\omega_k)\}^H \{H_s(\omega_k)\}\right)}$	Shape Correlation Coefficient
$J_3(\theta) = \sum_{k=1}^m [1 - x_s(\hat{\omega}_k, \theta)^2]$	
$x_a(\omega_k) = \frac{2\{H_x(\omega_k)\}^H \{H_s(\omega_k)\}}{\left(\{H_x(\omega_k)\}^H \{H_x(\omega_k)\}\right) + \left(\{H_s(\omega_k)\}^H \{H_s(\omega_k)\}\right)}$	Amplitude Correlation Coefficient
$J_4(\theta) = \sum_{k=1}^m [1 - x_a(\hat{\omega}_k, \theta)^2]$	
Weighting Residual	
$J(\theta; w) = w_1 J_1(\theta) + w_2 J_2(\theta) + w_3 J_3(\theta) + w_4 J_4(\theta)$	



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR DISASTER RISK REDUCTION IN GREECE



Μεθοδολογία συσσώρευσης βλαβών λόγω κόπωσης

Damage accumulation law at a point in the structure subjected to variable amplitude stress time history

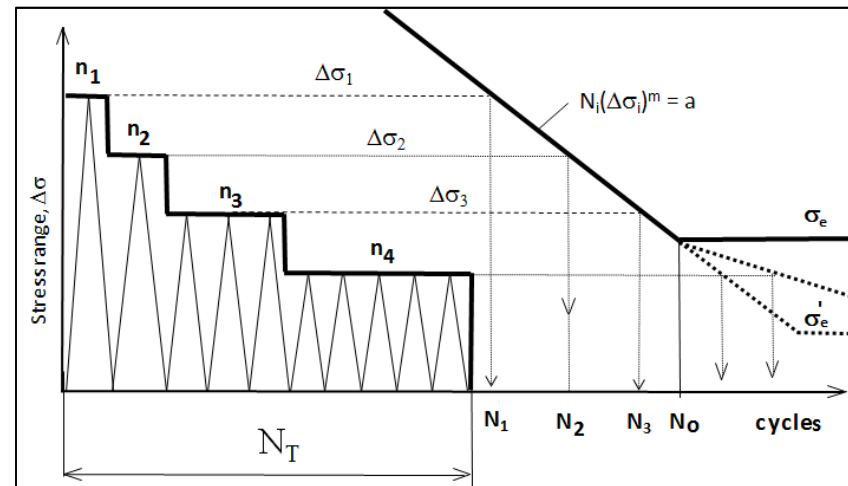
$$D = \sum_i^k \frac{n_i}{N_i}$$

n_i is the number of cycles at a stress level σ_i

N_i is the number of cycles required for failure at a stress level

σ_i

k is the number of stress levels identified in a stress time history at the corresponding structural point



The fatigue accumulation model can be revised to account for a non-zero mean stress according Goodman relationship

$$\Delta\sigma_{Rt} = \Delta\sigma_R \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_u}\right)$$

$\Delta\sigma_{Rt}$ is the modified stress cycle range

$\Delta\sigma_R$ is the original stress cycle range

σ_m is the mean stress

σ_u is the static strength of the material

Applying Miner's rule, the fatigue damage of a structural detail depends on the stress range spectrum and the fatigue detail category classified in the Eurocode 3

$$D = \underbrace{\sum_{i=1}^{\kappa_1} \frac{n_i}{N_D} \left(\frac{\Delta\sigma_i}{\Delta\sigma_D}\right)^m}_{\Delta\sigma_i \geq \Delta\sigma_D} + \underbrace{\sum_{j=1}^{\kappa_2} \frac{n_j}{N_D} \left(\frac{\Delta\sigma_j}{\Delta\sigma_D}\right)^{m+2}}_{\Delta\sigma_L \leq \Delta\sigma_j \leq \Delta\sigma_D}$$



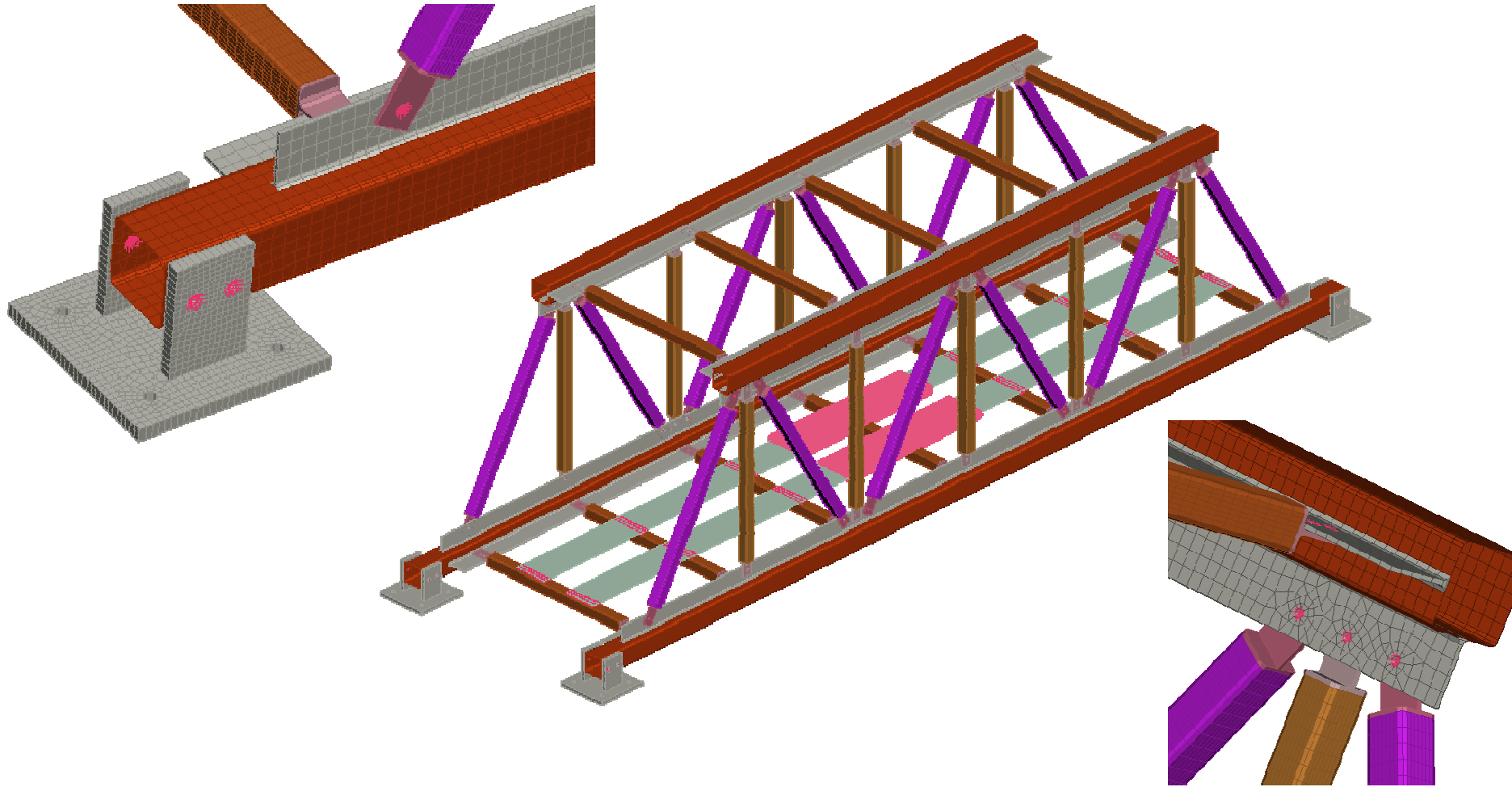
3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΦΟΡΟΜ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR DISASTER RISK REDUCTION IN GREECE



Εφαρμογή σε μεταλλικές Γέφυρες – Εργαστηριακή Κατασκευή

Finite Element Model of the main frame and chassis – Shell & Solid Elements (CQUAD, CTRIA, CTETRA, CHEXA)



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ ΦΟΡΟΜ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

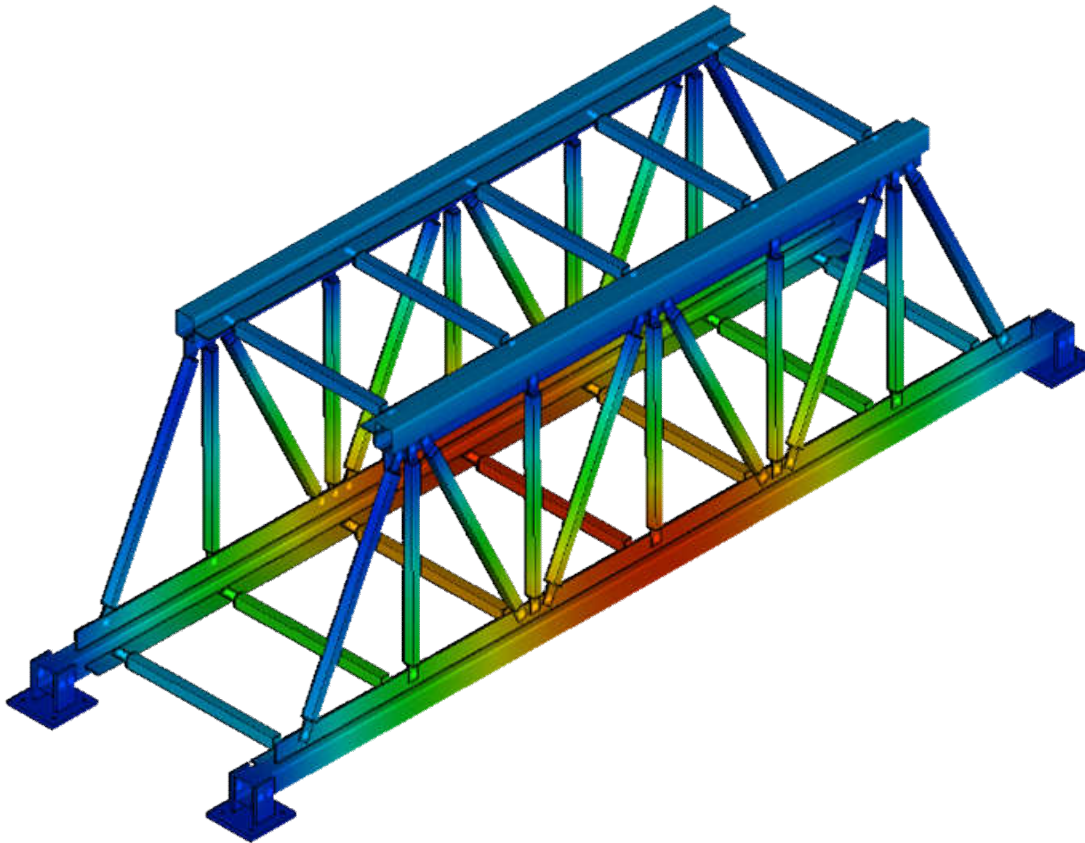
3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE

LVMD
Laboratory of Vibration
&
Machine Dynamics



<http://lvmd.mech.uowm.gr>

Τυπικές Ιδιομορφές

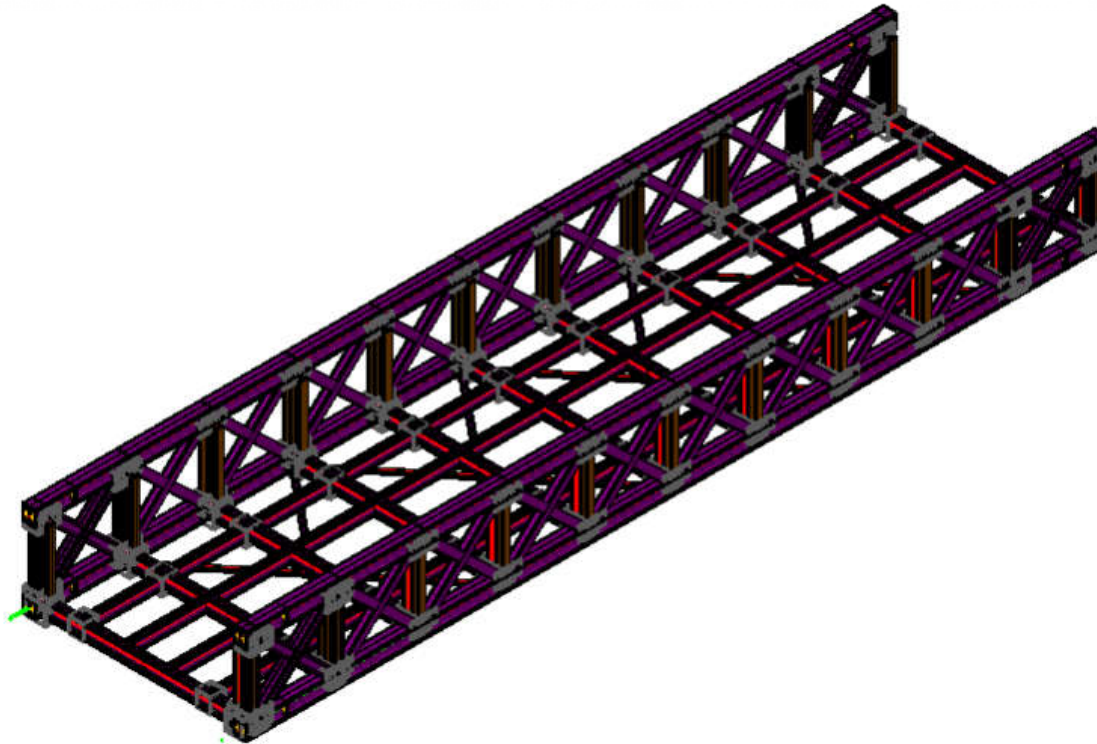


Μεταλλική Γέφυρα στη Φλώρινα



Μεταλλική Γέφυρα στη Φλώρινα

Finite Element Model of the main frame and chassis – Shell & Solid Elements (CQUAD, CTRIA, CTETRA, CHEXA)



Συνδυασμός προηγμένων τεχνολογιών και επιστημονικών μεθόδων

Αποτελεσματικό εργαλείο για την παρακολούθηση της δομικής ακεραιότητας των γεφυρών

Συμβολή στην βελτίωση επιθεωρήσεων και προγραμματισμού συντηρήσεων

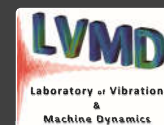
Αποτροπή έκτακτων συμβάντων όπως διακοπή κυκλοφορίας μιας γέφυρας

Δυνατότητα ενσωμάτωσης ακραίων φορτίσεων για την αποτίμηση της συνολικής αξιοπιστίας της κατασκευής



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE



Σας ευχαριστώ πολύ!



3ο ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ FORUM ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ
ΔΙΑΚΙΝΔΥΝΕΥΣΗΣ ΑΠΟ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΕΣ
ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

3rd SCIENTIFIC FORUM FOR
DISASTER RISK REDUCTION
IN GREECE



<http://lvmd.mech.uowm.gr>