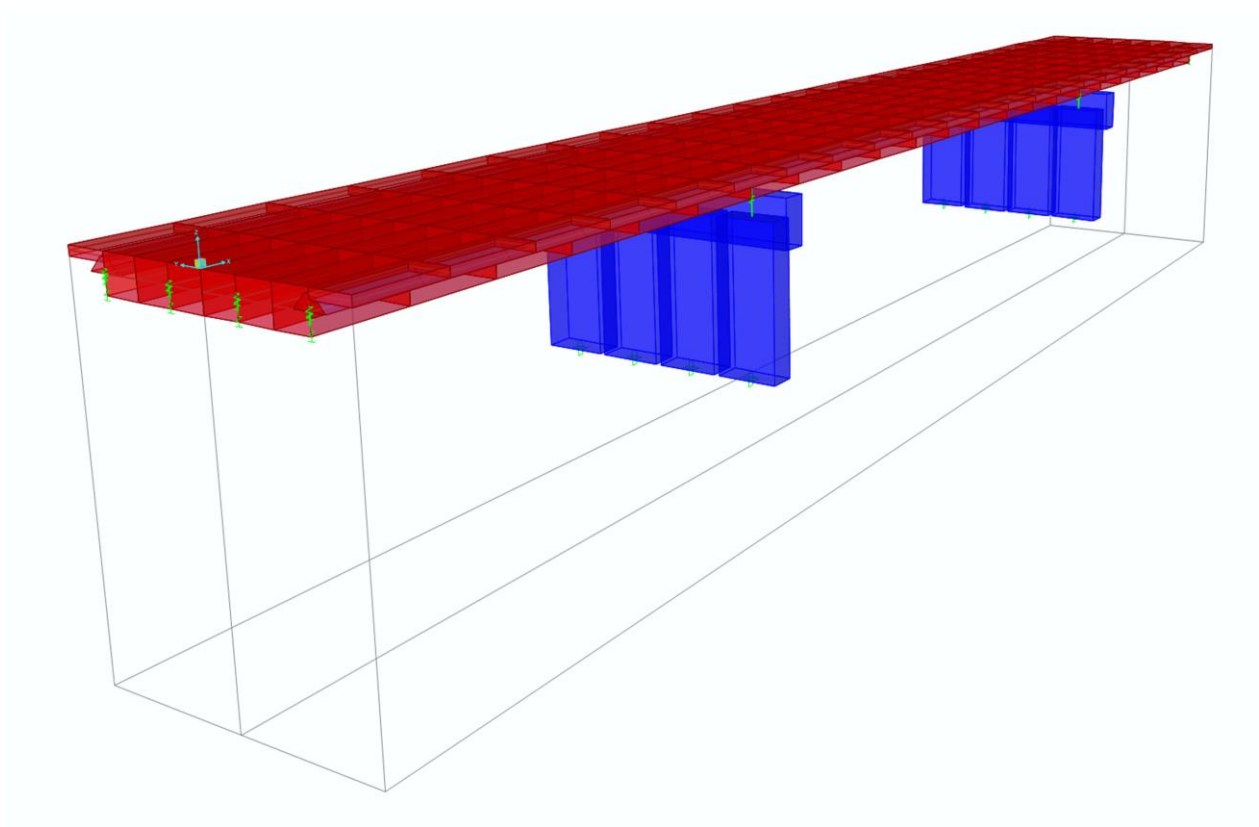


Προσεισμικός Έλεγχος Υφισταμένων Γεφυρών



Τζωρτζόπουλος-Μαρίνης Γεώργιος

Επίβλεψη:

Φωτοπούλου Μάρθα

*We built too many walls
and not enough bridges.*

Isaac Newton

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	0
Περίληψη	5
Εισαγωγή	6
Κεφάλαιο 1: Πρωτοβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Υφισταμένων Γεφυρών	7
1.1 Γενικά.....	8
1.2 Αμερική.....	8
1.3 Ιαπωνία.....	12
1.4 Ευρώπη.....	17
1.5 Ελλάδα	20
1.6 Συμπεράσματα – Προτάσεις	26
Κεφάλαιο 2: Δευτεροβάθμιος Προσεισμικός Έλεγχος Υφισταμένων Γεφυρών ..	28
2.1 Γενικά.....	29
2.2 Συμπλήρωση και επέκταση μεθοδολογίας προσεισμικού ελέγχου υφιστάμενων γεφυρών με πρακτικές εφαρμογές (Ο.Α.Σ.Π.) (2002).....	29
2.3 Έρευνα για τη σεισμική ενίσχυση καλωδιωτής γέφυρας στην Ιαπωνία (2010) 30	
2.4 Αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων γεφυρών (2016)...	33
2.5 Συμπεράσματα – Προτάσεις	36
Κεφάλαιο 3: Παράδειγμα Εφαρμογής Ελέγχων	38
3.1 Περιγραφή γέφυρας	39
3.2 Σχέδια – Παραδοχές.....	39
3.3 Εφαρμογή του Πρωτοβάθμιου Ελέγχου του Ο.Α.Σ.Π.....	44
3.4 Εφαρμογή του Δευτεροβάθμιου Ελέγχου του Ο.Α.Σ.Π.	49
3.5 Εφαρμογή του δευτεροβάθμιου ελέγχου που περιγράφηκε στην παράγραφο 2,4.....	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	65

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΝΤΥΠΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SISMOA (2010)	67
---	-----------

Περίληψη

Οι γέφυρες αποτελούν σημαντική κατασκευή για μια κοινωνία τόσο για την διευκόλυνση στις μεταφορές που προσφέρει όσο και στην αισθητική (τις περισσότερες φορές) που προσδίδει στο περιβάλλον. Όλες όμως οι κατασκευές με τον καιρό φθείρονται και χάνουν την αντοχή τους και χρειάζονται να υποβληθούν σε ελέγχους για τον προσδιορισμό των βλαβών τους. Τέτοιοι έλεγχοι παρουσιάζονται σε αυτήν την εργασία. Οι προσεισμικοί έλεγχοι, λοιπόν, είναι δύο και διακρίνονται στον πρωτοβάθμιο και τον δευτεροβάθμιο. Η μελέτη των μεθόδων που παρουσιάζονται σε αυτή την εργασία οδήγησε στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων όσον αφορά την επικαιροποίηση της μεθόδου του Ο.Α.Σ.Π.. Τέλος, η εφαρμογή του προσεισμικού ελέγχου του Ο.Α.Σ.Π. αλλά και μιας σύγχρονης δευτεροβάθμιας μεθόδου σε πραγματική γέφυρα βοήθησαν στη κατανόηση των μεθόδων αυτών και στον προσδιορισμό των σημείων που χρειάζονται ανανέωση.

Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στον προσεισμικό έλεγχο υφισταμένων γεφυρών. Οι γέφυρες, οι οποίες έχουν κτιστεί με παλαιούς κανονισμούς, πρέπει να ελέγχονται σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς προκειμένου να εξασφαλίζεται η λειτουργία τους σε περίπτωση σεισμού. Ο προσεισμικός έλεγχος, γενικά, διακρίνεται σε δύο στάδια, τον πρωτοβάθμιο και τον δευτεροβάθμιο έλεγχο. Ο πρωτοβάθμιος γίνεται σε μια ομάδα γεφυρών που πρέπει να εξεταστεί και όσες υπερβούν κάποια όρια προχωράνε στο δευτεροβάθμιο, όπου γίνεται εκτενέστερος έλεγχος και εντοπίζονται τα κρίσιμα σημεία κάθε γέφυρας που χρειάζονται ενίσχυση.

Στο 1^ο Κεφάλαιο περιγράφονται διάφορες μέθοδοι πρωτοβάθμιου ελέγχου. Οι χώρες που αναπτύχθηκαν οι συγκεκριμένες μέθοδοι είναι η Αμερική, η Ιαπωνία, η Ευρώπη και πιο συγκεκριμένα η Ελλάδα. Σε κάθε χώρα οι μέθοδοι παρουσιάζονται με χρονολογική σειρά. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μια σύνοψη και προτείνεται μια μεθοδολογία εφαρμογής του πρωτοβάθμιου.

Στο 2^ο Κεφάλαιο περιγράφονται τρεις μέθοδοι δευτεροβάθμιου ελέγχου. Οι μέθοδοι αυτές έχουν τοποθετηθεί με χρονολογική σειρά. Στη συνέχεια παρουσιάζονται κάποια συμπεράσματα όσον αφορά το δευτεροβάθμιο έλεγχο αλλά και προτάσεις εφαρμογής του.

Τέλος, στο 3^ο Κεφάλαιο γίνεται μια εφαρμογή χρησιμοποιώντας τη γέφυρα που βρίσκεται στην Εθνική Οδό Πάτρας – Πύργου (Χ.Θ. 15 + 120.27). Τα σχέδια και η μελέτη της γέφυρας ανακτήθηκαν από τη ΔΟΜΗ Α.Ε. ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ. Ωστόσο η γέφυρα αυτή δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα (έκδοση μελέτης το 2010). Έτσι, χρησιμοποιήθηκε αυτή η γέφυρα χάριν ευκολίας αλλά και με μοναδικό σκοπό την ανάδειξη των προσεισμικών ελέγχων. Με τη γέφυρα αυτή πραγματοποιήθηκε ο πρωτοβάθμιος και δευτεροβάθμιος έλεγχος του Ο.Α.Σ.Π. καθώς και μια μέθοδος δευτεροβάθμιου ελέγχου χρησιμοποιώντας την ανάλυση Pushover.

*Κεφάλαιο 1: Πρωτοβάθμιος
Προσεισμικός Έλεγχος
Υφισταμένων Γεφυρών*

1.1 Γενικά

Οι γέφυρες είναι απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία των οδικών δικτύων. Ωστόσο, όπως και οι υπόλοιπες κατασκευές, έτσι και αυτές είναι ευάλωτες στο σεισμό. Συνεπώς, ο προκαταρκτικός έλεγχος αξιολόγησης της τρωτότητας υφιστάμενων γεφυρών σε σεισμό αποτελεί σημαντικό βήμα στη μείωση του σεισμικού κινδύνου στην κατασκευή, προκειμένου να διασφαλιστεί η λειτουργία της σε κάθε περίπτωση. Έτσι, η διαδικασία αυτή του ελέγχου πρέπει να είναι γρήγορη, εύκολα εφαρμόσιμη και κατά κάποιο τρόπο συντηρητική.

Η μέθοδος ελέγχου εφαρμόζεται κυρίως σε γέφυρες από οπλισμένο σκυρόδεμα. Οι συντελεστές που λαμβάνονται, συνήθως, υπόψη για την αξιολόγηση αυτή είναι η δομική τρωτότητα, η σεισμική και γεωτεχνική επικινδυνότητα. Επίσης, μπορούν να ληφθούν υπόψη οι πολιτικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες που επικρατούν στη περιοχή της εκάστοτε γέφυρας, καθώς και το κόστος συντήρησης-ενίσχυσης και το μήκος της παράκαμψης της γέφυρας σε περίπτωση που τεθεί εκτός λειτουργίας.

Οι γέφυρες που κρίνονται ακατάλληλες σε αυτόν τον έλεγχο περνάνε στο δεύτερο στάδιο για περαιτέρω διερεύνηση και εύρεση των κρίσιμων σημείων στα οποία απαιτείται ενίσχυση.

1.2 Αμερική

- 1) ATC (1983): Πρόκειται για μια διαδικασία που βασίζεται στο άθροισμα ορισμένων φυσικών μεταβλητών, των οποίων η τιμή προσδιορίζεται από την κρίση του μηχανικού, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κατάρρευσης της γέφυρας. Η προτεραιότητα της γέφυρας, υπολογίζεται ως το άθροισμα της επικινδυνότητας, της τρωτότητας της γέφυρας και της σπουδαιότητάς της. Κάθε μέγεθος κυμαίνεται από 0 έως 10. [1]

- 2) WSDOT - Babei (1991): Σχεδόν παρόμοια μέθοδος με την ATC, η οποία όμως λαμβάνει υπόψη της τη συμπεριφορά του δικτύου της γέφυρας. Η προτεραιότητα της γέφυρας εξαρτάται από την επικινδυνότητα, τη τρωτότητα και το κόστος κατάρρευσης της γέφυρας. Το κόστος κατάρρευσης υπολογίζεται εκτιμώντας τη συμπεριφορά του δικτύου. Η τρωτότητα της γέφυρας μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με τις διατάξεις του ATC (1983). [1]

- 3) Caltrans (1994): Αυτή η μέθοδος συνδυάζει τη σεισμική δραστηριότητα, την επικινδυνότητα, την τρωτότητα και τη σπουδαιότητα της γέφυρας στη παρακάτω σχέση:

$$PI = \text{seismic activity} \times \text{risk} \times (0,60 \times \text{magnitude} + 0,40 \times \text{vulnerability})$$

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η σεισμική δραστηριότητα και η επικινδυνότητα αποτελούν τα βασικά κριτήρια και οι οικονομικές συνθήκες υπερισχύουν της τρωτότητας. Τα κριτήρια που συνδέονται με τη σεισμική δραστηριότητα αντιπροσωπεύουν τη δραστηριότητα των τοπικών ρηγμάτων, ενώ το κριτήριο της επικινδυνότητας λαμβάνει υπόψη τις συνθήκες του εδάφους, τις αναμενόμενες επιταχύνσεις μαζί με τη μέση διάρκεια των σεισμών. Το κριτήριο της σπουδαιότητας βασίζεται στις οικονομικές διακυμάνσεις που συνδέονται με την κυκλοφορία και την υποδομή του δρόμου. Ο προσδιορισμός της τρωτότητας βασίζεται στην εκτίμηση πολλών παραμέτρων (Πίνακας 1.1) και προκύπτει από το άθροισμα των τιμών που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γραμμές του πίνακα. [2]

"Vulnerability" criteria	
Year of conception (and construction)	0.125 if before 1945 0.25 if between 1946 and 1971 0.0625 if between 1972 and 1979 0 if after 1980
Intermediate number of expansion joints (risk of fall of deck)	0 if none 0.0825 if 1 0.165 if 2 or more
Connectors, harnessing, joint beam of great width, etc.	0.22 if present, otherwise 0
Hyperstatic nature (redundancy) of the supports	0.165 if single DRUM 0.0825 if crossbeam column at multiple drums 0.04125 if column walls 0 if single-span structure
Slant	0.0012 × value of the slant in gradients
Type of abutment	0 if monolithic abutment, otherwise 0.08

Πίνακας 1.1: Υπολογισμός των κριτηρίων για την ιεράρχηση γεφυρών με τη μέθοδο Caltrans

- 4) Basoz (1996): Σχεδόν παρόμοια μέθοδος με την WSDOT. Η προτεραιότητα της γέφυρας υπολογίζεται ως το άθροισμα της τρωτότητας και της σπουδαιότητας. Η συμπεριφορά του δικτύου λαμβάνεται υπόψη μέσω ενός συντελεστή σπουδαιότητας. [1]
- 5) Werner (2000 & 2004): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την προσομοίωση Montecarlo [3] για τη συμπεριφορά του δικτύου της γέφυρας, μέσω μιας διαδικασίας συστήματος GIS. Η κατάταξη μπορεί να επιτευχθεί συγκρίνοντας τα αποτελέσματα ανάμεσα σε μια μη ενισχυμένη γέφυρα και στην αντίστοιχη ενισχυμένη. [1]
- 6) Nielson (2003): Μελέτη βασισμένη μόνο σε καμπύλες τρωτότητας της γέφυρας. Η προτεραιότητα της γέφυρας είναι η μέση τιμή της καμπύλης τρωτότητας της γέφυρας λαμβάνοντας υπόψη μια συγκεκριμένη οριακή κατάσταση (μικρή, μέτρια, εκτενής βλάβη και κατάρρευση). [1]
- 7) FHWA (2006): Σχεδόν παρόμοια μέθοδος με την ATC. Η προτεραιότητα της γέφυρας υπολογίζεται ως το γινόμενο της επικινδυνότητας και της τρωτότητας της γέφυρας. Η τρωτότητα κυμαίνεται από 0 έως 10 και υπολογίζεται με βάση

τη κρίση του μηχανικού συμπληρώνοντας το παρακάτω έντυπο (Σχήμα 1.1). Οι συγγραφείς προτείνουν να συμπεριληφθούν τα κοινωνικο-οικονομικά κριτήρια αυξάνοντας την απαίτηση της γέφυρας για ενίσχυση. [4]

BRIDGE SEISMIC INVENTORY DATA FORM		
GENERAL		
Bridge Name _____	BIN Number _____	
Location _____		
Year Built _____	ADT _____	Detour Length _____
Total Length _____	Feature Carried _____	
Overall Width _____	Feature Crossed _____	
Importance: essential / standard	Alignment: straight / skewed / curved	Geometry: regular / irregular
Seismic Hazard (100-year event): $S_u =$ _____ g $S_1 =$ _____ g Soil Site Class: A / B / C / D / E _____		
(1000-year event): $S_u =$ _____ g $S_1 =$ _____ g Soil Site Class: A / B / C / D / E _____		
SUPERSTRUCTURE		
Material and Type _____		
Number of spans _____	Continuous: yes / no	Number of expansion joints _____
BEARINGS		
Type _____	Condition: functioning / not functioning _____	
Type of restraint: Longitudinal: _____ Transverse: _____		
Actual support length _____ Minimum required length _____		
COLUMNS AND PIERS		
Material and Type _____		
Cross-section: Min. transverse dimension _____ Min. longitudinal dimension _____		
Height range (low – high): _____ Flexity: Top _____ Bottom _____		
Longitudinal reinforcement (%) _____ Splices in end zones ? yes / no _____		
Transverse confinement steel _____		
FOUNDATIONS AND ABUTMENTS		
Pier foundation type: spread footings / pile footings / pile bent / single shaft / other _____		
Abutment type: seat / Integral / other _____ On Piles: yes / no other _____		
Abutment height _____ Approach slabs: yes / no Slab length _____		
Location: cut / fill Wingwalls: yes / no Liquefaction: susceptibility low / moderate / high _____		
REMARKS _____		

Σχήμα 1.1: Φόρμα συμπλήρωσης για την εκτίμηση της τρωτότητας με τη μέθοδο FHWA

- 8) *MassDOT (2008)*: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί το σύστημα PONTIS [5] για να αναγνωρίσει ποιες γέφυρες φθείρονται πιο γρήγορα από άλλες. Το PONTIS υπολογίζει το δείκτη υγείας (Health Index - HI) της γέφυρας. Συνεπώς, γίνεται κατάταξη σε δομικά επαρκείς (Structurally Deficient - SD) και σε δομικά

ανεπαρκείς (non-SD) γέφυρες. Παρέχει, λοιπόν, έναν αντικειμενικό τρόπο για να αναγνωρισθούν εκείνες οι γέφυρες που χρειάζονται ενίσχυση νωρίτερα από άλλες. Η μέθοδος χρησιμοποιεί τα παρακάτω τρία κριτήρια [7]:

- *Απώλεια Κατάστασης (Condition Loss - CL)*: Βασίζεται στα National Bridge Inspection Standards (NBIS) [6]. Είναι η διαφορά μιας τέλει γέφυρας (Item 58, 59, 60 με βαθμό κατάστασης=9) και του μέσου όρου των πραγματικών βαθμών κατάστασης των Item 58, 59, 60, εκφρασμένα σε ποσοστό.
- *Δείκτης Υγείας (HI)*: Είναι ο λόγος του βαθμού της κατάστασης όλων των βασικών στοιχείων μιας γέφυρας προς τον ίδιο βαθμό αν η γέφυρα ήταν ολοκαίνουρια. Η αλλαγή του δείκτη υγείας θα εκτιμάται για περίοδο πάνω από 15 χρόνια.
- *Συντελεστής Αξιολόγησης Αυτοκινητόδρομου (Highway Evaluation Factor - HEF)*: Λαμβάνει υπόψη τη μέση ημερήσια κυκλοφορία (Item 29), το μήκος της παράκαμψης (Item 19), τη λειτουργική ταξινόμηση (Item 26), τους περιορισμούς των φερόντων φορτίων (Item 67), και την απώλεια της γεωμετρίας του καταστρώματος (Item 68). Ο τελικός συντελεστής προκύπτει ως ο μέσος όρος των πέντε προηγούμενων συνιστωσών εκφρασμένων σε ποσοστό.

Οι τρεις συντελεστές συνδυάζονται σύμφωνα με τις παρακάτω βαρύτητες:

$$\text{Βαθμός Ιεράρχησης} = 0,3 \times CL + 0,4 \times HI + 0,3 \times HEF$$

1.3 Ιαπωνία

- 1) *Kawashima (1990)*: Η μέθοδος βασίζεται στον εντοπισμό των βλαβών στις γέφυρες, χωρίς να λαμβάνει υπόψη το κόστος κατάρρευσης της. Οι γέφυρες ταξινομούνται ανάλογα με τη πιθανότητα κατάρρευσής τους. Η τρωτότητα της γέφυρας, D , εξαρτάται από τις ιδιότητες της επικινδυνότητας και της

τρωτότητας. Για κάθε ιδιότητα βρίσκεται η βαρύτητά της και στη συνέχεια αθροίζεται με τις υπόλοιπες. Τα βάρη προέρχονται από την παρατήρηση των βλαβών που συνέβησαν από παλαιότερους σεισμούς. [1]

- 2) JHPC (1995): Σε αυτή τη μέθοδο ορίζεται η προτεραιότητα των γεφυρών από 1 έως 20, ως συνάρτηση των κοινωνικο-οικονομικών συνθηκών που προκύπτουν από την ενδεχόμενη κατάρρευση της γέφυρας καθώς και απλοποιημένων εκτιμήσεων της τρωτότητας και του διαθέσιμου προϋπολογισμού. Ο Πίνακας 1.2 συγκεντρώνει τις αρχές της ιεράρχησης που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο αυτή. Το έντυπο επιθεώρησης παρατίθεται στον Πίνακα 1.3. Σε αυτόν τον πίνακα, οι παράμετροι X και Y (ή η πιο δυσμενής από τις δύο) που εκτιμήθηκαν, με βάση την επιθεώρηση, επιτρέπουν την ταξινόμηση των γεφυρών ανάλογα με το επίπεδο τρωτότητάς τους (Πίνακας 1.4). [2]

Year of construction	Column connection/deck	Economic considerations	Reinforced concrete columns			Steel columns			Crossing of an important transport structure
			Single Shaft	Multiple Shafts	Other	Single Shaft	Multiple Shafts	Other	
Before 1980	Restricted (encasing)	High	1	3		7	9		Yes
			4	6		11	12		No
		Poor	2	5		8	10		Yes
			16	17		18	19		No
	Free (supple or slipping AA)	High	13						Yes
			14						No
		Poor	15						Yes
			20						No
After 1980			Special procedure						

Πίνακας 1.2: Η μέθοδος ιεράρχησης γεφυρών της JHPC (η σειρά προτεραιότητας κυμαίνεται από 1 έως 20)

Points of inspection		Inspected factors	Evaluation
Inspections relative to the vulnerability regarding the risks of excessive displacement/ deformations	Inspection form A: Criteria relative to the displacement of the deck	1) Regulations of conception	4.0: 1926 or 1939 specifications 2.0: 1956 or 1964 specifications 1.0: 1971 or 1980 specifications
		2) Type of structure	3.0: Independent multi-span deck on simple supports 1.5: Continuous multi-span deck on simple supports 1.0: Arc, crossbeam, single-span deck, cable-stayed bridge, suspension bridge
		3) Deck geometry	1.2: Askew or curved bridge 1.0: Straight bridge
		4) Constitutive materials of the deck	1.2: Reinforced or pretensioned concrete 1.0: Steel
		5) Longitudinal slant	1.2: 6% or more 1.0: Less than 6%

Πίνακας 1.3 : Φόρμα αξιολόγησης της σεισμικής τρωτότητας των γεφυρών βάσει της μεθόδου JHPC

		6) Harnessing devices (abutment)	2.0: Absence of device 1.0: Presence of device
		$P_A = 1 \times 2 \times 3 \times 4 \times 5 \times 6$	
	Inspection form B: Criteria relative to displacements/deformations of the supports	7) Type of structure	2.0: Foundation made on a single file of stakes 1.0: Other
		8) Height of foundation (H)	2.0: $H \geq 10$ m 1.5: $5 \leq H < 10$ m 1.0: $H < 5$ m
		9) Conditions of the ground	5.0: Group 4 extremely supple ground 2.5: Group 4 ground 2.0: Group 3 ground 1.2: Group 2 ground 1.0: Group 1 ground
		10) Susceptibility to liquefaction	2.0: Liquefiable ground 1.0: Non-liquefiable ground
		11) Variability of the ground of foundation of the supports	1.2: Irregular ground conditions between the different supports 1.0: Almost uniform ground conditions between the different supports
		12) Bursting of the coating concrete	1.5: Identified alteration 1.0: Identified level of alteration
		$P_B = 7 \times 8 \times 9 \times 10 \times 11 \times 12$	
Inspections relative to the vulnerability with regard to the risks of rupture linked to a deficit in the resistance of the supports	Inspection form C: Criteria relative to the resistance of the reinforced concrete drums if zones of extremity of reinforced frame	13) Ratio of slicing effort (h/D)	2.0: $1 < h/D < 4$ 1.0: $h/D \geq 4$ 0.5: $h/D \leq 1$
		14) Flexion fissures in end zones of the main frames	2.0: Certain fissures 1.0: Possible fissures 0.5: Improbable fissures
		15.1) Security factor relative to the elastic limit in end zones of the main frames in the transversal direction: S_{tn}	3.0: $S_{tn} \leq 1.1$ 2.0: $1.1 < S_{tn} < 1.5$ 1.0: $S_{tn} \geq 1.5$
		15.2) Security factor relative to the elastic limit in end zones of the main frames in the longitudinal direction: S_{mn}	3.0: $S_{mn} \leq 1.1$ 2.0: $1.1 < S_{mn} \leq 1.3$ 1.0: $1.3 < S_{mn} < 1.5$ 0.5: $S_{mn} \geq 1.5$
		16) Shearing constraint σ (tf/m ²)	3.0: $\sigma \geq 45$ 2.0: $30 \leq \sigma < 45$ 1.0: $15 \leq \sigma < 30$ 0.5: $\sigma < 15$
		$P_C = 13 \times 14 \times 15.1 \times 15.2 \times 16$	

Πίνακας 1.3 (συνέχεια): Φόρμα αξιολόγησης της σεισμικής τρωτότητας των γεφυρών βάσει της μεθόδου JHPC

Inspection form D: Criteria relative to the resistance of the supports	17) Rupture of a stationary support or of its anchorage	5.0: Widespread rupture 2.0: Limited rupture 1.0: Support in good condition
	18) Significant damage to the foundations	5.0: Widespread damage 2.0: Limited damage 1.0: Foundation in good condition
	19) Materials constituting the supports	2.0: Large concrete poured before 1926, abutments, walls, weights excluded 1.0: Others
	20) Method of foundation construction	2.0: Wooden deep foundation, masonry, or any other ancient construction method 1.5: Reinforced concrete deep foundation or foundation caissons 1.0: Foundations conceived according to the 1971 or more recent requirements
	21) Type of foundation construction	1.5: Crossbeams founded on two independent foundation caissons 1.0: Others
	22) Significant damage of foundations	2.0: Identified damage 1.0: No identified damage
	$P_D = 17 \times 18 \times 19 \times 20 \times 21 \times 22$	
	$X = P_A \times P_B$	$Y = P_C \times P_D$

Πίνακας 1.3 (συνέχεια): Φόρμα αξιολόγησης της σεισμικής τρωτότητας των γεφυρών βάσει της μεθόδου JHPC

Level of vulnerability	Evaluation points			Types of damage
	X	Y		
		$P_C = 1.0$	$P_C \neq 1.0$	
High vulnerability	$X \geq 60$	$Y \geq 10$	$Y \geq 100$	Fall of the deck or severe damage
Moderate vulnerability	$20 \leq X < 60$	$5 \leq Y < 10$	$50 \leq Y < 100$	Moderate damage
Low vulnerability	$X < 20$	$Y < 5$	$Y < 50$	No or little damage

Πίνακας 1.4: Κατάταξη των γεφυρών ως προς το δείκτη τρωτότητας (JHPC)

- 3) Nojima (1998): Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την προσομοίωση Montecarlo για τη συμπεριφορά του δικτύου της γέφυρας. Ένα ολόκληρο οδικό δίκτυο μοντελοποιείται με απλουστευμένο τρόπο. Οι γέφυρες, οι οποίες μεγιστοποιούν τη ροή του δικτύου, επιλέγονται για ενίσχυση. [1]
- 4) Unjoh (2000): Η μέθοδος βασίζεται στον εντοπισμό βλαβών στη γέφυρα, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κατάρρευσης της γέφυρας. Η προτεραιότητα για τη γέφυρα εξαρτάται από τις ιδιότητες της επικινδυνότητας, της τρωτότητας και του κόστους. Τα βάρη προέρχονται από παρατήρηση των βλαβών που συνέβησαν σε παλαιότερους σεισμούς. [1]

1.4 Ευρώπη

- 1) Nuti (2003), Ιταλία: Μελέτη βασισμένη στον οικονομικό προγραμματισμό των επενδύσεων, λαμβάνοντας υπόψη τη γέφυρα ως ενιαίο στοιχείο. Μπορεί εύκολα να επεκταθεί έτσι ώστε να περιλαμβάνει τη συμπεριφορά του δικτύου. Η ιεράρχηση γίνεται σύμφωνα με το R_{max} , το μέγιστο αριθμό χρημάτων που μπορούν να αξιοποιηθούν για την ενίσχυση της γέφυρας κάνοντας μια επένδυση με θετικό συντελεστή απόδοσης. Τα δεδομένα που λαμβάνονται υπόψη είναι η επικινδυνότητα και η τρωτότητα της γέφυρας πριν και μετά την ενίσχυση. [1]
- 2) OFR (2005), Ελβετία: Ο προσεισμικός έλεγχος των γεφυρών γίνεται σε δύο φάσεις. Η 1^η φάση περιλαμβάνει μια αρχική κατάταξη των γεφυρών σύμφωνα με τη σπουδαιότητά τους (κατηγορία κατασκευής, επιφάνεια καταστρώματος) ή την τρωτότητά τους (τύπος κατασκευής, ύψος ακροβάθρων, αδύναμα σημεία). Μετά από αυτή τη φάση μερικές γέφυρες κρίνονται ως ευαίσθητες και περνάνε στη 2^η φάση αξιολόγησης με 1 ή 2 επίπεδα προτεραιότητας. Η 2^η φάση περιλαμβάνει μια διάγνωση που βασίζεται σε υπολογισμό που προσδιορίζει την

επιτρεπτή ονομαστική επιτάχυνση της γέφυρας (πριν τη θραύση των στηρίξεων ή την πτώση του καταστρώματος). Το επίπεδο της σεισμικής δραστηριότητας (ή τρωτότητας) της γέφυρας εκφράζεται από το συντελεστή συμμόρφωσης α_{eff} , που ορίζεται από το λόγο της επιτρεπόμενης επιτάχυνσης προς τη νόμιμη ονομαστική επιτάχυνση που θεωρείται για μια νέα κατασκευή. Σύμφωνα με την υπολογισμένη τιμή α_{eff} , η κατασκευή κρίνεται ότι χρειάζεται επειγόντως ενίσχυση αν $\alpha_{eff} < 0,4$, ότι είναι αρκετά ανθεκτική αν $\alpha_{eff} \geq 0,9$ ή ότι χρειάζεται ενίσχυση η οποία εξαρτάται από το κόστος των εργασιών και από τις διαθέσιμες επιχορηγήσεις αν $0,4 \leq \alpha_{eff} < 0,9$. [2]

3) SISMOA Method (2010), Γαλλία: Η ιεράρχηση των γεφυρών βασίζεται σε τρία κριτήρια:

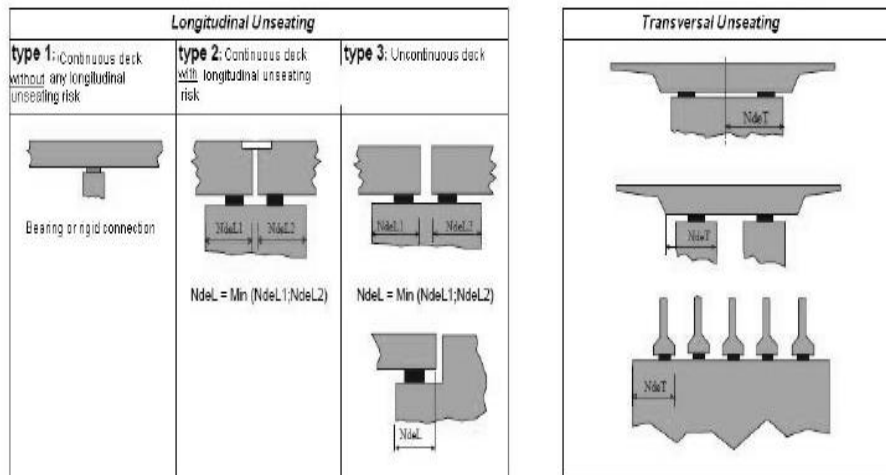
- Την εκτίμηση της σεισμικής δραστηριότητας και των δυνητικών αποτελεσμάτων της στη τοποθεσία της γέφυρας
- Τη δομική τρωτότητα
- Την κοινωνικο-οικονομική σπουδαιότητα της γέφυρας

Η αναμενόμενη σεισμική επικινδυνότητα στη τοποθεσία της γέφυρας περιλαμβάνει τη δόνηση του εδάφους χρησιμοποιώντας την ονομαστική επιτάχυνση και τα τοπικά φαινόμενα, καθώς, επίσης, και τα φαινόμενα που επέρχονται μετά από σεισμό, όπως η υγροποίηση, οι πτώσεις βράχων και οι κατολισθήσεις. Έτσι προκύπτουν τέσσερις σεισμικές επικινδυνότητες αντίστοιχα, A_{vib} , A_{liq} , $A_{rockfall}$ και $A_{landslide}$.

Η εκτίμηση της δομικής τρωτότητας ακολουθεί ποιοτική μέθοδο η οποία προέκυψε από την παρατήρηση και την ερμηνεία των βλαβών που συνέβησαν από παλαιότερους σεισμούς σε γέφυρες δίνοντας έτσι τη δυνατότητα να εντοπιστεί ένας συγκεκριμένος αριθμός επαναλαμβανόμενων αδυναμιών που οφείλονται στο σχεδιασμό και στις κατασκευαστικές ατέλειες.

Από τη μέθοδο αυτή προκύπτει ένας βαθμός V_{vib} ($0 \leq V_{vib} \leq 1$), ο οποίος υπολογίστηκε με βάση ένα συγκεκριμένο συνδυασμό δεικτών τρωτότητας που αναφέρονται στο κατάστρωμα, τα ακρόβαθρα, τα βάθρα και τη θεμελίωση

(Σχήμα 1.2). Επίσης λαμβάνονται υπόψη, γενικές παράμετροι όπως, ο τύπος της γέφυρας, το έτος κατασκευής και οι κανονισμοί σχεδιασμού. Τρεις επιπλέον βαθμοί V_{liq} , $V_{rockfall}$ και $V_{landslide}$ υπολογίζονται για την εκτίμηση της τρωτότητας λόγω υγροποίησης, πτώσης βράχων και κατολίσθησης, αντίστοιχα.



Σχήμα 1.2: Εκτίμηση της τρωτότητας του καταστρώματος σύμφωνα με τη μέθοδο SISMOA

Για τη σπουδαιότητα της γέφυρας ορίστηκε ένα σύστημα αξιολόγησης της στρατηγικής σημασίας των γεφυρών τόσο βραχυπρόθεσμα σε έκτακτες καταστάσεις όσο και μακροπρόθεσμα για κοινωνικο - οικονομικές δραστηριότητες. Λαμβάνονται υπόψη πολλές παράμετροι που επηρεάζουν την ίδια την κατασκευή της γέφυρας αλλά και τους δρόμους που αυτή επηρεάζει. Τελικά το σύστημα αυτό δίνει βαθμό σπουδαιότητας I ($0 \leq I \leq 150$), όπου τα βραχυπρόθεσμα κριτήρια έχουν διπλάσια βαρύτητα από τα μακροπρόθεσμα. Γέφυρες με βαθμό I από 0 έως 50 σχετίζονται με τη κατηγορία σπουδαιότητας I του EC8 [8], με βαθμό I από 50 έως 100 σχετίζονται με τη κατηγορία II και με βαθμό I από 100 έως 150 σχετίζονται με την κατηγορία III (κρίσιμη σπουδαιότητας).

Επομένως, η επιλογή των γεφυρών που χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση γίνεται μέσω του δείκτη σεισμικής τρωτότητας R_{vib} , ο οποίος υπολογίζεται από

τον παρακάτω τύπο συνδυάζοντας τη σεισμική επικινδυνότητα A_{vib} με την εκτιμώμενη δομική τρωτότητα V_{vib} :

$$0 \leq R_{vib} = 0,703 \times \ln \left(\frac{A_{vib}}{4,51 \times e^{(-2,28 \times V_{vib})}} \right) + 0,5057 \leq 1$$

Οι σεισμικές τρωτότητες που αναφέρονται στην επικινδυνότητα λόγω υγροποίησης, πτώσης βράχων και κατολισθήσεων ονομάζονται R_{liq} , $R_{rockfall}$ και $R_{landslide}$, αντίστοιχα και υπολογίζονται με τον ίδιο τρόπο. Ο βαθμός σεισμικής τρωτότητας R ορίζεται ως το μέγιστο των R_{vib} , R_{liq} , $R_{rockfall}$ και $R_{landslide}$.

Οι γέφυρες οι οποίες ικανοποιούν τη σχέση $R \times I \geq 50$ χρειάζεται να προχωρήσουν στο δεύτερο στάδιο. [9 - 10]

1.5 Ελλάδα

- 1) Ο.Α.Σ.Π. (2002): Η μέθοδος αυτή υπολογίζει τη σεισμική τρωτότητα υφιστάμενων γεφυρών από Ο.Σ.. Αρχικά, ο μηχανικός οφείλει να συμπληρώσει το παρακάτω έντυπο (Σχήμα 1.3) σύμφωνα με την κρίση του έτσι ώστε να πάρει μια πρώτη εικόνα για την κατάσταση της γέφυρας και να συλλέξει αρκετές πληροφορίες που θα του χρειαστούν στη συνέχεια.

ΕΝΤΥΠΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΟΔΟΓΕΦΥΡΑΣ	
Ημερομηνία: / /	
ΓΕΝΙΚΑ:	
Όνομα Γέφυρας: _____	
Α.Α. _____	
Τοποθεσία: _____	
Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία: _____ Μήκος Παράκαμψης(*): _____	
Σπουδαιότητα Γέφυρας(*): Σημαντική <input type="checkbox"/> Συνήθης <input type="checkbox"/>	
Γεωμετρικά Δάξονα: Ευθύγραμμη <input type="checkbox"/> Καμπύλη <input type="checkbox"/>	
Παρατηρήσεις: _____	
Λοξότητα: Ορθή <input type="checkbox"/> Λοξή <input type="checkbox"/>	
Παρατηρήσεις: _____	
Αριθμός και διαστάσεις ανοιγμάτων: _____	
ΣΚΑΡΙΦΗΜΑ:	
Τύπος: _____	
Πλάτος: _____	
Χρήση Γέφυρας(*): _____	
Έτος Κατασκευής: _____	
Σεισμικά Ενισχυμένη(*): Ναι _____ Όχι _____	
Μορφολογία(*): Κανονική _____ Μη κανονική _____ Παρατηρήσεις: _____	
ΕΔΑΦΟΣ:	
Εδαφική Επιτάχυνση: _____	
Υπαρξη Ενεργών Ρηγμάτων(*): Ναι _____ Όχι _____	
Παρατηρήσεις: _____	
Κατηγορία Εδάφους: Α _____ Β _____ Γ _____ Δ _____	
Πιθανότητα Ρευστοποίησης: Μεγάλη _____ Μέτρια _____ Μικρή _____	
ΑΝΩΔΟΜΗ:	
Υλικό και Τύπος: _____	
Αριθμός Ανοιγμάτων: _____	
Συνχής: Ναι _____ Όχι _____ Αριθμός Αρμών: _____ Εύρος Αρμών _____	
ΕΦΕΔΡΑΝΑ:	
Τύπος: _____	
Κατάσταση: _____	
Συνθήκες Στήριξης: _____	
• Εγκάρσια: _____	
• Κατά μήκος: _____	
Πραγματικές Διαστάσεις Έδρασης: _____	
Παρατηρήσεις: _____	
ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ:	
Υλικό και Τύπος: _____	
Αριθμός Υποστυλοματόων/Μεσόβαθρο: _____	
Βαθμός Πλαστικής Λειτουργίας: Κατά μήκος _____ Εγκάρσια _____	
Ελάχιστη Εγκάρσια Διάσταση Διατομής: _____	
Ελάχιστη Διαμήκης Διάσταση Διατομής: _____	
Υψος: _____ Συνθήκη Στήριξης: Κορυφή _____ Βάση _____	
Ποσοστό Διαμήκους Οπλισμού: _____	
Ενώσεις Διαμήκους Οπλισμού (Κρίσιμες Περιοχές): Ναι _____ Όχι _____	
Εγκάρσιος Οπλισμός: _____	
Τήρηση Κατασκευαστικών Διατάξεων(*): Ναι _____ Όχι _____	
Τύπος Θεμελίωσης: _____	
ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ:	
Υψος: _____	
Τύπος και Στοιχεία Θεμελίωσης: _____	
Τοποθεσία: Όρυγμα _____ Εκχώμα _____	
Πτερυγόταχοι: Μονολιθικά Συνδεδεμένοι _____ Ανεξάρτητοι _____ Μήκος _____	
Πλάκα Πρόσβασης: Ναι _____ Όχι _____ Μήκος _____	
ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:	

Σχήμα 1.3: Έντυπο απογραφής γέφυρας με τη μέθοδο του ΟΑΣΠ

Οι γέφυρες κατατάσσονται σε τέσσερις σεισμικές κατηγορίες ανάλογα με τη σπουδαιότητά τους και τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας στην οποία ανήκουν. Ο δείκτης σεισμικής τρωτότητας T υπολογίζεται από τη σχέση:

$$0 \leq T = [0,4 \times \Delta + 0,6 \times \Sigma] \times E \leq 100$$

Δ είναι ο δείκτης δομικής τρωτότητας ο οποίος προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$\Delta = 0,35 \times \Delta_1 + 0,25 \times \Delta_2 + 0,25 \times X + 0,15 \times \Gamma$$

Όπου Δ_1 είναι ο δείκτης δομικής τρωτότητας των εφεδράνων, των συνδέσμων και των περιοχών εδράσεως. Δ_2 είναι ο δείκτης τρωτότητας των υποστυλωμάτων (Δ_{TY}), των ακροβάθρων (Δ_{TA}) και λόγω της ρευστοποίησης του εδάφους (Δ_{TP}) [$\Delta_2 = \Delta_{TY} + \Delta_{TA} + \Delta_{TP} \leq 10$]. X είναι ο δείκτης που λαμβάνει υπόψη τη χρονολογία της μελέτης της γέφυρας και Γ είναι ο δείκτης γενικής κατάστασης της γέφυρας.

Σ είναι ο συντελεστής σπουδαιότητας με τον οποίο αξιολογείται η κοινωνική, οικονομική και η στρατηγική σπουδαιότητα της γέφυρας. Εξαρτάται από i) τη μέση ημερήσια κυκλοφορία επί της γέφυρας, ii) το μήκος παράκαμψης οχημάτων διερχομένων επάνω από τη γέφυρα, iii) τη μέση ημερήσια κυκλοφορία κάτω από τη γέφυρα, iv) το μήκος παράκαμψης οχημάτων διερχομένων κάτω από τη γέφυρα, v) τις ανθρώπινες απώλειες και τις υλικές καταστροφές, vi) τη στρατηγική σημασία της γέφυρας και vii) τα δίκτυα επί της γέφυρας. Ο Σ δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\Sigma = 0,50 \times \frac{i \times ii}{10} + 0,10 \times \frac{iii \times iv}{10} + 0,15 \times v + 0,15 \times vi + 0,10 \times vii$$

E είναι ο δείκτης σεισμικής επικινδυνότητας που προκύπτει από τη σχέση:

$$E = 11,6 \times \alpha \times S \leq 10$$

όπου α είναι η μέγιστη εδαφική επιτάχυνση και S είναι ο συντελεστής εδάφους.

Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι όλοι οι δείκτες που χρησιμοποιεί η μέθοδος παίρνουν τιμές από 0 έως 10. Έτσι, αφού, υπολογιστούν οι δείκτες σεισμικής τρωτότητας των εξεταζομένων γεφυρών, αυτές για τις οποίες ισχύει $T > 10$ και $\Delta > 5$ περνάνε στο δεύτερο στάδιο για λεπτομερέστερο έλεγχο. [11]

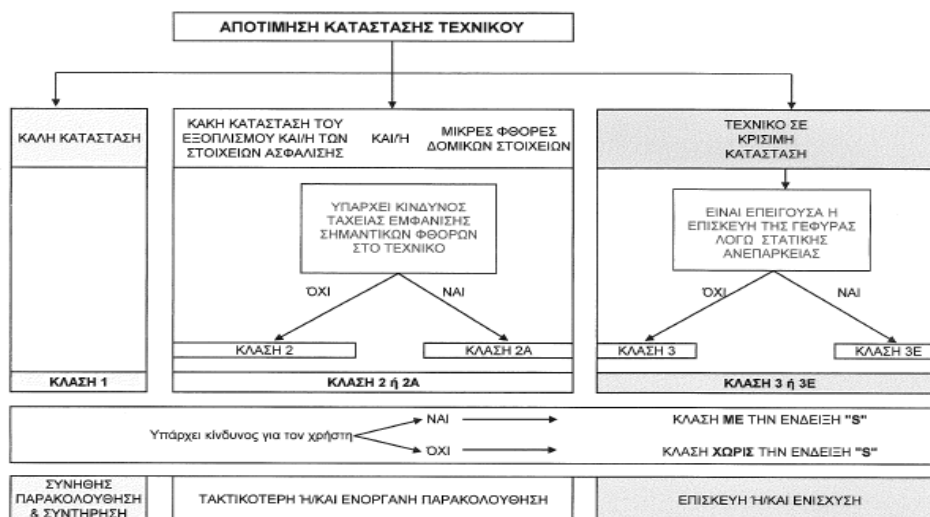
- 2) Λεπίδας – Σπινάσας (2009): Είναι μια μέθοδος που υπολογίζει μόνο τη δομική τρωτότητα μιας γέφυρας και αποτελείται από δύο στάδια. Το στάδιο της

αυτοψίας και το στάδιο της αξιολόγησης. Στόχος της μεθόδου είναι ο εντοπισμός των βλαβών των επιμέρους τμημάτων των γεφυρών, η αξιολόγησή τους και η συνολική αποτίμηση της κατάστασης των γεφυρών. Έτσι, κάθε γέφυρα κατατάσσεται σε ένα βαθμονομημένο σύστημα προκειμένου να εξεταστεί αν απαιτείται συντήρηση ή όχι.

Η αυτοψία κάθε γέφυρας διαρκεί μικρό χρονικό διάστημα και πραγματοποιείται στη τοποθεσία της γέφυρας. Ο επιβλέπων μηχανικός ελέγχει τη γέφυρα και συμπληρώνει το έντυπο αυτοψίας της, τμήμα του οποίου φαίνεται στο Σχήμα 1.4 έτσι ώστε να αποδοθεί η κατάστασή της. Ο έλεγχος γίνεται στην ανωδομή, τα μεσόβαθρα, τα ακρόβαθρα, σε άλλα στοιχεία της γέφυρας και σε στοιχεία κάτω από τη γέφυρα. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.4 το έντυπο περιλαμβάνει το είδος της φθοράς με ένα σκαρίφημα, τη θέση στην οποία βρίσκεται και την κατηγορία στην οποία εντάσσεται. Η κατηγορία της φθοράς προκύπτει από ένα τριβάθμιο σύστημα βαθμονόμησης (Σχήμα 1.5) και συνήθως συμπληρώνεται εκ των υστέρων στην αξιολόγηση των στοιχείων που συλλέχθηκαν κατά την αυτοψία. Τέλος, μια τελευταία στήλη με παρατηρήσεις και σχόλια συμπληρώνεται από τον μηχανικό για τη λεπτομερέστερη αποτύπωση της φθοράς.

ΕΙΔΟΣ ΦΘΟΡΑΣ	ΘΕΣΗ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΧΟΛΙΑ - ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΑ - ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ
3.1. ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ			
3.1.1. Έλεγχος Κατακόρυφου Βέλους κατά τη Διαμήκη Διεύθυνση			
(i) Τοπικά			
(ii) Στο σύνολο του αναλύματος			
3.1.2. Έλεγχος Αλλοίωσης της Ευθυγράμμισης κατά τη Διαμήκη Διεύθυνση του Φορέα στη Θέση μίας ή και Περσσοειδών Σημείων Στήριξης			
(i)			
(ii)			
(iii)			

Σχήμα 1.4: Εντυπο αυτοψίας γεφυρών της μεθόδου Λεπίδας – Σπινάσας



Σχήμα 1.5: Κατηγορίες αποτίμησης φορτών της μεθόδου Λεπίδας – Σπινάσας

Η αξιολόγηση των τμημάτων κάθε γέφυρας βαθμολογεί τα στοιχεία της γέφυρας προκειμένου να καταταχθεί σε ένα βαθμονομημένο σύστημα. Το έντυπο της αξιολόγησης έχει την ίδια μορφή με αυτό της αυτοψίας. Η διαφορά βρίσκεται στη δεύτερη στήλη όπου παρατίθεται η αιτιολόγηση της εμφάνισης της εξεταζόμενης φθοράς (Σχήμα 1.7). Έτσι, αφού βαθμολογηθούν τα επιμέρους στοιχεία της γέφυρας προκύπτει ο τελικός βαθμός της γέφυρας (Σχήμα 1.6). Αν ο βαθμός κάποιας γέφυρας είναι 1 ή 2 τότε δε χρειάζεται συντήρηση και η κατάσταση της επανεξετάζεται μέσα σε διάστημα τριών ετών. Αν ο βαθμός είναι 2Α, 3 ή 3Ε τότε η γέφυρα επανεξετάζεται από πιο εξειδικευμένο προσωπικό για την βέλτιστη αντιμετώπιση των φθορών. [12]

ΤΕΧΝΙΚΟ :

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΑ	
	Κατηγορία
Προβλήματα Γεωμετρίας	
Προβλήματα φθορών	
Προβλήματα ρηγματώσεων	

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ	
	Κατηγορία
Προβλήματα Γεωμετρίας	
Προβλήματα φθορών	
Προβλήματα ρηγματώσεων	

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ	
	Κατηγορία
Προβλήματα Γεωμετρίας	
Προβλήματα φθορών	
Προβλήματα ρηγματώσεων	

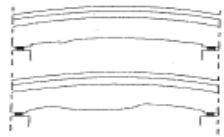
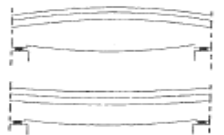
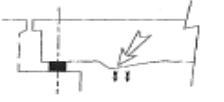
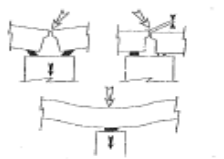

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΛΟΙΠΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	
Πάνω στο Τεχνικό	Κατηγορία
Οδόςτρωμα	
Πεζοδρόμια	
Στηθαία ασφαλείας	
Πλευρικά τελειώματα	
Σύστημα αποχέτευσης	
Αρμολί	
Εφέδρανα	
Κάτω από το τεχνικό	Κατηγορία
Οδόςτρωμα	
Πεζοδρόμια	
Στηθαία ασφαλείας	
Σύστημα αποχέτευσης	

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ	
	Κατηγορία
ΦΟΡΕΑΣ	
ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ	
ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ	
ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΟΥ ΤΕΧΝΙΚΟΥ	

* Απαιτείται περαιτέρω έλεγχος

ΥΠΟΜΝΗΜΑ
<p>Κατηγορία 1 Καλή κατάσταση, συνήθης συντήρηση</p> <p>Κατηγορία 2 Μικρές σημασίας φθορές στα κύρια δομικά στοιχεία ή/και φθορές στα πρόσθετα στοιχεία εξοπλισμού. Εξειδικευμένη συντήρηση</p> <p>Κατηγορία 2Α Όπως στην κατηγορία 2 αλλά απαιτείται άμεση εξειδικευμένη συντήρηση</p> <p>Κατηγορία 3 Σημαντικές φθορές στα κύρια δομικά στοιχεία και απαιτούνται εργασίες επισκευής</p> <p>Κατηγορία 3Ε Σημαντικές φθορές και αλλοιώσεις στα κύρια δομικά στοιχεία και απαιτούνται επείγουσες εργασίες επισκευής</p>

Σχήμα 1.6: Αξιολόγηση τμημάτων γέφυρας με τη μέθοδο Λεπίδας - Σπινάσας

ΕΙΔΟΣ ΦΘΟΡΑΣ	ΑΙΤΙΟΛΟΓΙΑ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ - ΣΧΟΛΙΑ
3.1. ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ			
3.1.1. Έλεγχος Κατακόρυφου Βέλους κατά τη Διεγερση Διεγείωντη			
(i) Τοπικό 	Οφείλεται: - σε μια παραμόρφωση που θιμάσεται από την κατασκευή - σε π/ήμεκλ/ή ράβδισα των κρεμαγμάτων	1	
(ii) Στο σύνολο του ανάγλυφου 	Οφείλεται: - σε μια γενικευμένη θιμάση των κρεμαγμάτων - σε ανεπάρκεια της προέντασης Σημειώνεται: Να ελεγχθεί σε συνδυασμό με τις φθορές 3.3. 3.2.1, 3.5.2	1 έως 3E (3E εάν υπάρχει επιπρόσθετη παραμόρφση των φθωρών 3.2.1 & 3.5.2)	
3.1.2. Έλεγχος Αλλοίωσης της Ευθυγράμμισης κατά τη Διεγερση Διεγείωντη του Φορέα στη Βάση μίας ή και Περισσότερων Σημείων Στήριξης			
(i) 	Οφείλεται: - σε υποχώρηση των κρεμαγμάτων ή/και		
(ii) 	- σε μετακίνηση μιας ή περισσοτέρων στηρίξεων ή/και - σε παραμόρφωση των κρεμαγμάτων	1 έως 3E (3E σε περίπτωση συντεταγμένης υποχώρησης των στηρίξεων)	
(iii) 			

Σχήμα 1.7: Έντυπο αξιολόγησης γέφυρας με τη μέθοδο Λεπίδας – Σπινάσας

1.6 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάστηκαν μέθοδοι βαθμονόμησης των γεφυρών από διαφορετικές χώρες. Σκοπός τους είναι η εύρεση των γεφυρών, οι οποίες χρειάζονται άμεσα συντήρηση - ενίσχυση. Παρατηρείται ότι πολλές από αυτές χρησιμοποιούν τους δείκτες δομικής τρωτότητας, σεισμικής επικινδυνότητας και σπουδαιότητας των γεφυρών (π.χ. Ο.Α.Σ.Π., SISMOA κ.ά.).

Οι δείκτες αυτοί είναι θεμελιώδεις για την αποτίμηση μιας γέφυρας, αφού εμπεριέχουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να εξεταστούν σε αυτήν. Ας μη ξεχνάμε ότι το πρόβλημα της αποτίμησης μια γέφυρας είναι πολυδιάστατο. Έτσι, μέθοδοι που δεν υπολογίζουν κάποιους από τους προαναφερθέντες δείκτες θα πρέπει να συμπληρώνονται με άλλες μεθόδους ώστε να προκύπτουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Ωστόσο, η επιλογή της μεθόδου που θα εφαρμοστεί για την ιεράρχηση των γεφυρών μιας περιοχής, μιας πόλης, μιας χώρας είναι υποκειμενική και εξαρτάται από την κρίση του μηχανικού που αναλαμβάνει αυτό το έργο. Κάποια χαρακτηριστικά, όμως, όπως η γρήγορη και εύκολη εφαρμογή της, πρέπει να είναι κοινά.

Από την άλλη πλευρά, κάθε χώρα θα πρέπει να θεσπίσει μια μοναδική μεθοδολογία που θα εφαρμόζει. Τέτοια προσπάθεια για την Ελλάδα είχε κάνει ο Ο.Α.Σ.Π. το 2002. Ο πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος υφιστάμενων γεφυρών του Ο.Α.Σ.Π., όμως, χρειάζεται επικαιροποίηση.

Έτσι, η παρούσα εργασία λαμβάνει υπόψη της το γεγονός ότι ο πρωτοβάθμιος προσεισμικός έλεγχος υφιστάμενων γεφυρών δεν αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας, καθώς οποιαδήποτε μέθοδος και να χρησιμοποιηθεί θα ιεραρχήσει σε 1^η φάση τις εξεταζόμενες γέφυρες και θα βρεθούν εκείνες που πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω. Ακόμα, ορίζει, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ως βασικούς δείκτες αποτίμησης τους δείκτες δομικής τρωτότητας, σεισμικής επικινδυνότητας και σπουδαιότητας.

Καταλήγοντας, λοιπόν, προτείνεται η εφαρμογή της μεθόδου SISMOA (2010) προσαρμοσμένη στις ελληνικές διατάξεις. Η μέθοδος SISMOA είναι μια μέθοδος που αναπτύχθηκε στη Γαλλία και λαμβάνει υπόψη της τον EC8. Επίσης, είναι αρκετά σύγχρονη καθώς δημοσιεύτηκε το 2010. Έτσι, με αλλαγή των γαλλικών διατάξεων που περιλαμβάνονται στη μέθοδο με τις αντίστοιχες ελληνικές θεωρείται ότι αποτελεί ιδανική επιλογή για την ιεράρχηση των γεφυρών στην Ελλάδα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Τέλος, στο Παράρτημα Α παρατίθεται το έντυπο απογραφής που χρησιμοποιεί η μέθοδος SISMOA για μια πρώτη επαφή με την προτεινόμενη μέθοδο.

***Κεφάλαιο 2: Δευτεροβάθμιος
Προσεισμικός Έλεγχος
Υφισταμένων Γεφυρών***

2.1 Γενικά

Στο δευτεροβάθμιο έλεγχο εξετάζονται όσες γέφυρες υπερέβησαν τα όρια του πρωτοβάθμιου ελέγχου. Σκοπός αυτού του ελέγχου είναι η λεπτομερέστερη και ακριβέστερη εποπτεία της γέφυρας στα δυσμενέστερα σημεία της (κυρίως τα εφάδρανα και τα βάθρα). Όσες γέφυρες δεν ικανοποιούν τους ελέγχους τότε περνάνε σε τρίτο στάδιο όπου πραγματοποιείται η σεισμική ενίσχυση της γέφυρας στα σημεία που προσδιόρισε ο δευτεροβάθμιος έλεγχος.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τρεις μέθοδοι με χρονολογική σειρά, στις οποίες ως τίτλος χρησιμοποιήθηκε ο τίτλος του άρθρου ή του συγγράμματος στο οποίο βρέθηκαν.

2.2 Συμπλήρωση και επέκταση μεθοδολογίας προσεισμικού ελέγχου υφιστάμενων γεφυρών με πρακτικές εφαρμογές (Ο.Α.Σ.Π.) (2002)

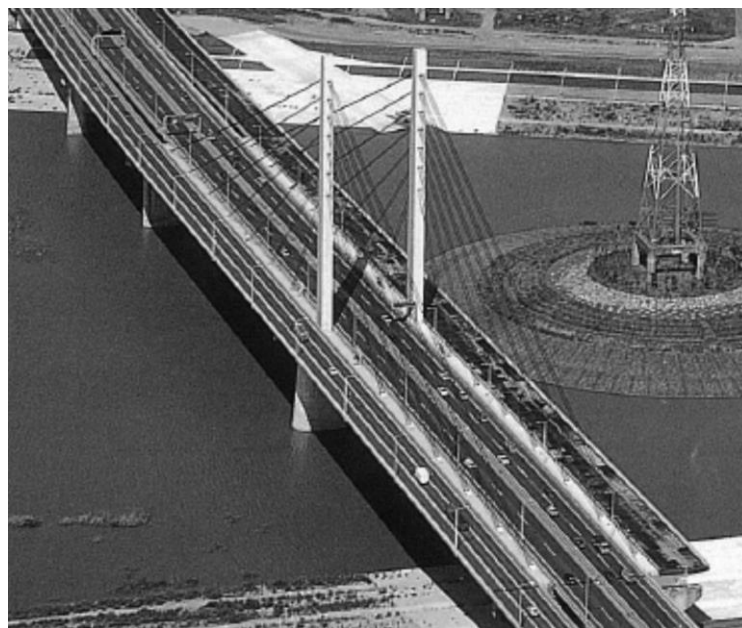
Ο δευτεροβάθμιος έλεγχος του Ο.Α.Σ.Π. έχει ως σκοπό την πιο ορθολογική και με βάση πληρέστερα στοιχεία, διερεύνηση της δομικής τρωτότητας της γέφυρας. Από τη διερεύνηση αυτή θα προκύψει η αναγκαιότητα εκπόνησης ειδικής μελέτης ελέγχου σεισμικής επάρκειας και ενίσχυσης της γέφυρας. [11]

Τα βήματα που ακολουθεί η μέθοδος είναι τα εξής:

1. Εκτίμηση των νεκρών βαρών
2. Εκτίμηση της έντασης των κατακόρυφων στοιχείων
3. Εκτίμηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου
4. Εκτίμηση της δεσπόζουσας σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή μεταλαστικής συμπεριφοράς
5. Έλεγχος επάρκειας εφεδράνων
6. Έλεγχος επάρκειας υποστυλωμάτων

2.3 Έρευνα για τη σεισμική ενίσχυση καλωδιωτής γέφυρας στην Ιαπωνία (2010)

Η εργασία αυτή αναφέρεται στη μέθοδο που ακολουθήθηκε κατά τη διάρκεια του προγράμματος Three-Year Program of Seismic Retrofit of Bridges on Emergency Routes για τη σεισμική ενίσχυση της καλωδιωτής γέφυρας Sakitama (Σχήμα 2.1) που βρίσκεται στον αυτοκινητόδρομο Tokyo-Gaikan στην Ιαπωνία. [13]

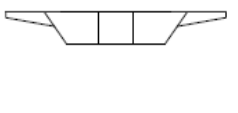
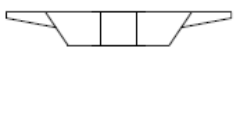
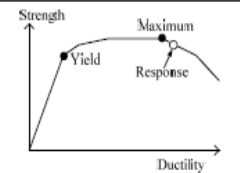
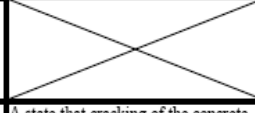
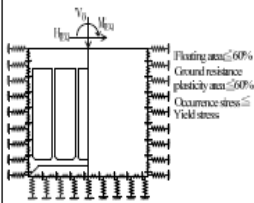
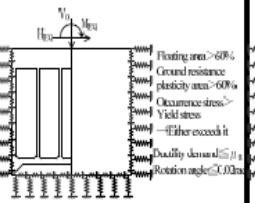
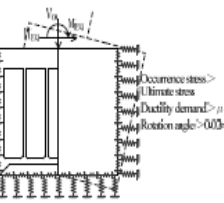


Σχήμα 2.1: Φωτογραφία από τη γέφυρα της Sakitama

Τα βήματα της μεθόδου είναι τα εξής:

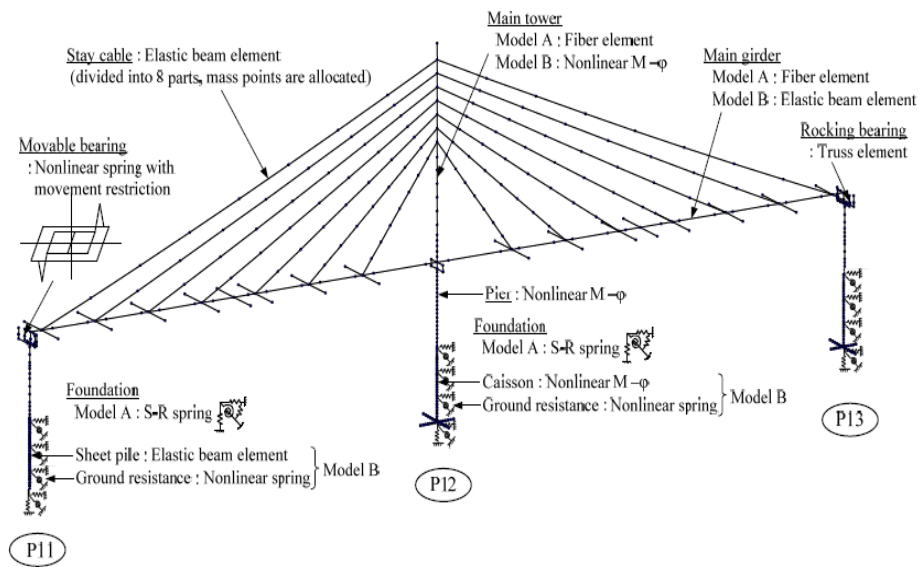
1. Προσδιορισμός της στοχευόμενης σεισμικής συμπεριφοράς για σεισμική κίνηση επιπέδου 2 (Πίνακας 2.1).
2. Μοντελοποίηση της γέφυρας για έλεγχο της σεισμικής της απόκρισης (αναπροσαρμογή των προδιαγραφών της γέφυρας και των μη γραμμικών χαρακτηριστικών του υλικού) (Σχήμα 2.2).

3. Υπολογισμός της σεισμικής απόκρισης με συνδυασμό μη γραμμικής ανάλυσης (προσδιορισμός της σεισμικής κίνησης του εδάφους που εισάγεται) (Σχήμα 2.3).
4. Επαλήθευση της σεισμικής συμπεριφοράς των μελών της γέφυρας (υπολογισμός της πλευρικής δύναμης των μελών της γέφυρας) (Σχήμα 2.4).
5. Εκ νέου επαλήθευση του κιβωτοειδούς θεμελίου χρησιμοποιώντας μη γραμμική ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (Σχήμα 2.5).

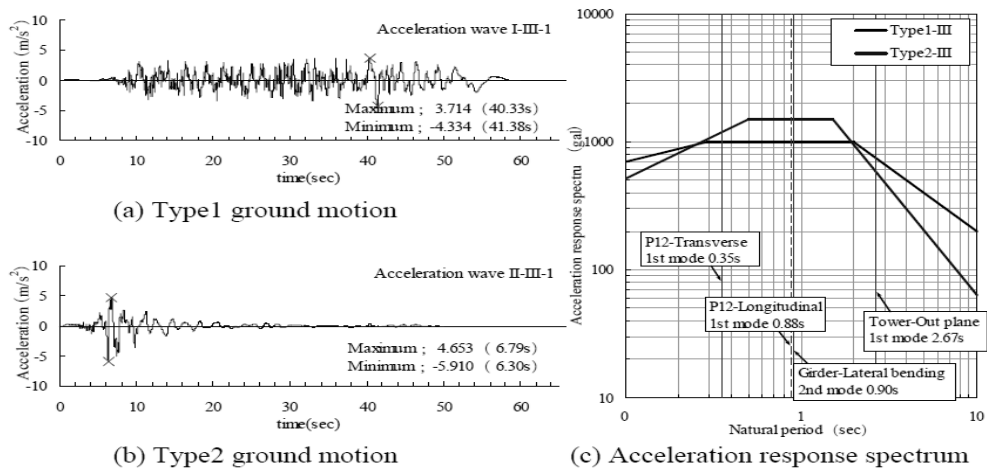
Bridge members		Degree of damage for structure		
		← Slight damage		→ Severe damage
		Damage level I	Damage level II	Damage level III
Main girder	In plane derrection	A state that occurrence stress degree slightly exceeded a yield stress degree	A state in the domain that was stable as for the strength and the ductility although the plasticity spread	A state that a strength as the main beam system has begun to deteriorate
	Out plane derrection	A state that the deck plate which stretched caused local buckling, and the box girder inside slightly yield 	A state that local buckling and plasticity progressed to the box girder inside 	A state that a strength as the main beam system has begun to deteriorate 
Main tower		A state that occurrence stress degree slightly exceeded a yield stress degree, But local buckling at the elastic level does not occur	A state in the domain that was stable as for the strength and the ductility although the plasticity spread	A state that a strength as the main tower system has begun to deteriorate
stay/cable		A state that tensile stress degree exceeded a yield stress degree (0.7% elongation strength) in one cable $\sigma > \sigma_y (= \sigma_u / 1.4)$	A state that tensile stress degree exceeded a yield stress degree (0.7% elongation strength) in plural cables $\sigma > \sigma_y (= \sigma_u / 1.4)$	A state that a cable was falling away by tension loss in plural cables, and tensile stress degree exceeded break strength $\sigma > \sigma_u$
Bearing support		A state that occurrence horizontal force exceeded the smallest yield strength in their component parts $P_s < P \leq P_u$		A state that occurrence horizontal force exceeded the smallest maximum strength in their component parts $P > P_u$
RC pier		A state that cracking of the concrete and yield of the reinforcement occur, but have still redundancy for maximum strength $1.0 < \mu_r \leq 1.2$	A state that cracking of the concrete and yield of the reinforcement spread, but have stability for the strength and the ductility $1.0 < \mu_r \leq \mu_u$	A state that a strength as the pier system has begun to deteriorate $\mu_r > \mu_u, S > P_s, \delta_R > \delta_{Ra}$
Foundation (P12,13 : caisson) (P11 : Steel pipe sheet pile)		A state that plasticity of the around ground and foundation slightly float 	A state that foundation yield, and foundation floating and plasticity of the around ground spread through 	A state that foundation strength deteriorated and lost stability of the superstructure 

* The bold frames show that it is a limit state to satisfy required performance.

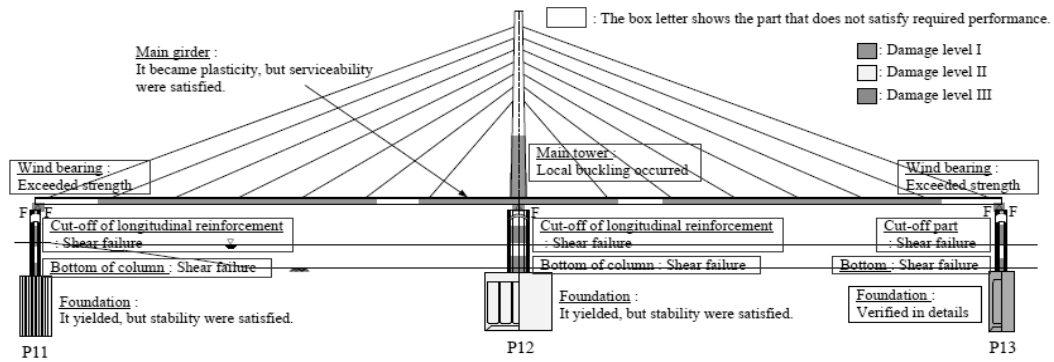
Πίνακας 2.1: Κατάταξη του επιπέδου των βλαβών στα στοιχεία της γέφυρας για σεισμό επιπέδου 2



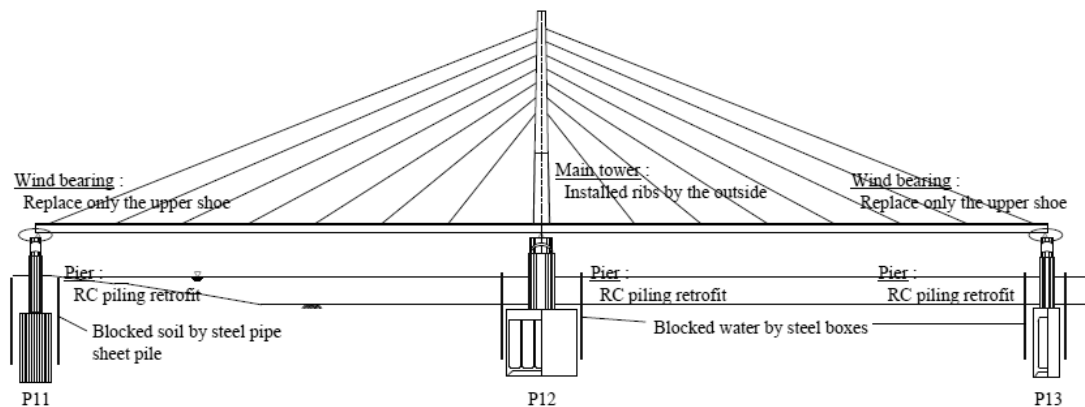
Σχήμα 2.2: Αναλυτικό μοντέλο



Σχήμα 2.3: Κίνηση εδάφους για το σεισμό σχεδιασμού



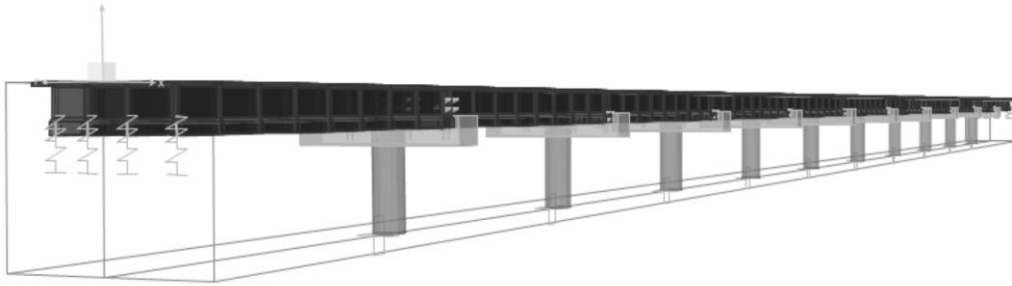
Σχήμα 2.4: Σύνοψη αποτελεσμάτων (εγκάρσια διεύθυνση)



Σχήμα 2.5: Μέτρα σεισμικής ενίσχυσης

2.4 Αξιολόγηση της σεισμικής συμπεριφοράς υφιστάμενων γεφυρών (2016)

Η έρευνα αναφέρεται στην εφαρμογή της ανάλυσης Pushover και Time History στη γέφυρα Karnataka στην Ινδία. [14]



Σχήμα 2.6: Μοντέλο γέφυρας

Η ενίσχυση των γεφυρών μπορεί να γίνει είτε με τη χρήση αποσβεστήρων είτε με τη μόνωση της βάσης. Μεταξύ αυτών η τελευταία χρησιμοποιείται πολύ τα τελευταία χρόνια.

Η βασική ιδέα της μόνωσης είναι η μείωση της θεμελιώδους ιδιοσυχνότητας της κατασκευής σε μια τιμή μικρότερη των επικρατέστερων συχνοτήτων του σεισμού. Άλλος σκοπός ενός συστήματος μόνωσης είναι να παρέχει τη δυνατότητα απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας. Η μόνωση του καταστρώματος είναι υπεύθυνη για την παραλαβή της κυρίαρχης τέμνουσας βάσης από τους πυλώνες κατά τη διάρκεια του σεισμού. Συνεπώς, η επιτάχυνση του καταστρώματος μειώνεται σημαντικά.

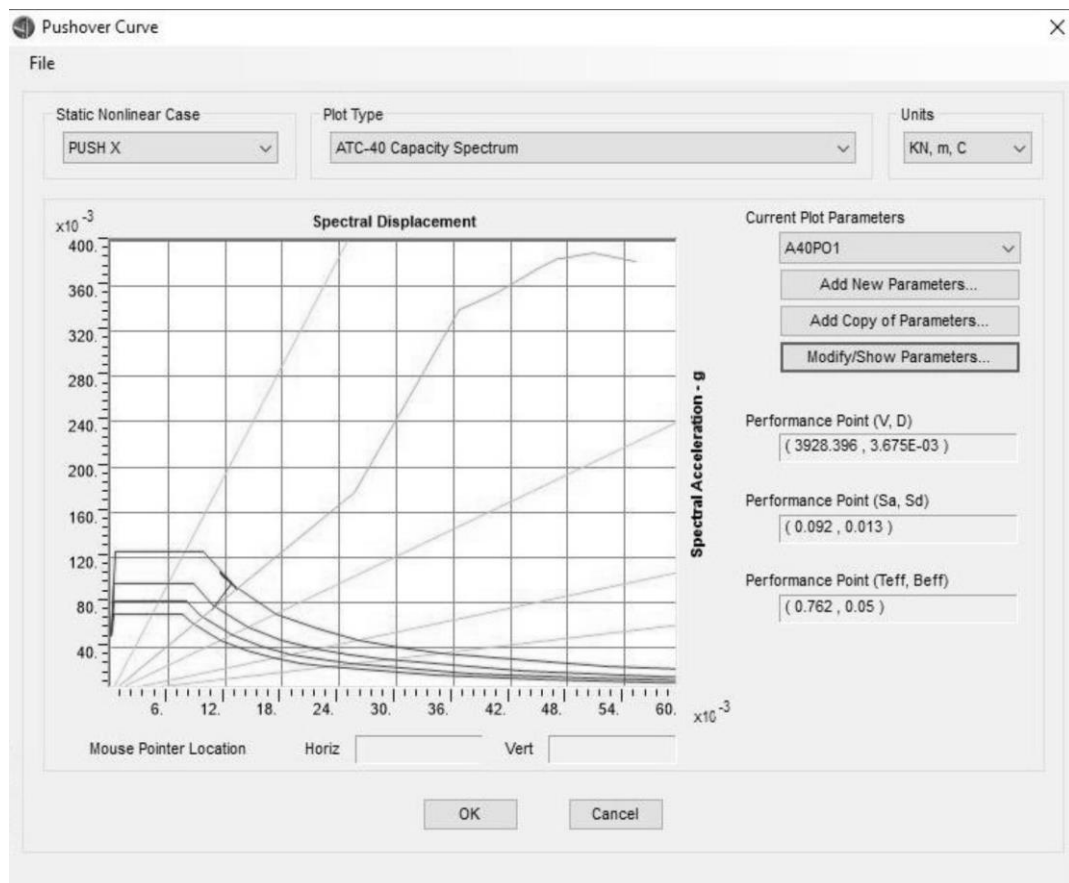
Η Pushover ανάλυση χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αντοχής και της επιτρεπόμενης μετατόπισης μιας υφιστάμενης κατασκευής καθώς και της σεισμικής απαίτησης της κατασκευής που υποβάλλεται σε ένα συγκεκριμένο σεισμό.

Η Pushover είναι μια ανάλυση βασισμένη σε ένα μαθηματικό μοντέλο που ενσωματώνει τα μη γραμμικά χαρακτηριστικά της καμπύλης φορτίου - παραμόρφωσης των ανεξάρτητων στοιχείων της κατασκευής. Αυτά τα στοιχεία υποβάλλονται σε μία όλο και αυξανόμενη πλευρική δύναμη (στην περίπτωση του σεισμού μια αδρανειακή δύναμη) μέχρι να ξεπεραστεί ένα όριο μετατόπισης. Το όριο μετατόπισης είναι η μέγιστη μετατόπιση της κατασκευής που αναμένεται από έναν επιλεγμένο σεισμό ως προς ένα σημείο αναφοράς. Η ανάλυση Pushover αξιολογεί τη συμπεριφορά της κατασκευής προσδιορίζοντας τη μέγιστη δύναμη και παραμόρφωση που μπορεί να αντέξει και την απαίτηση του σεισμού

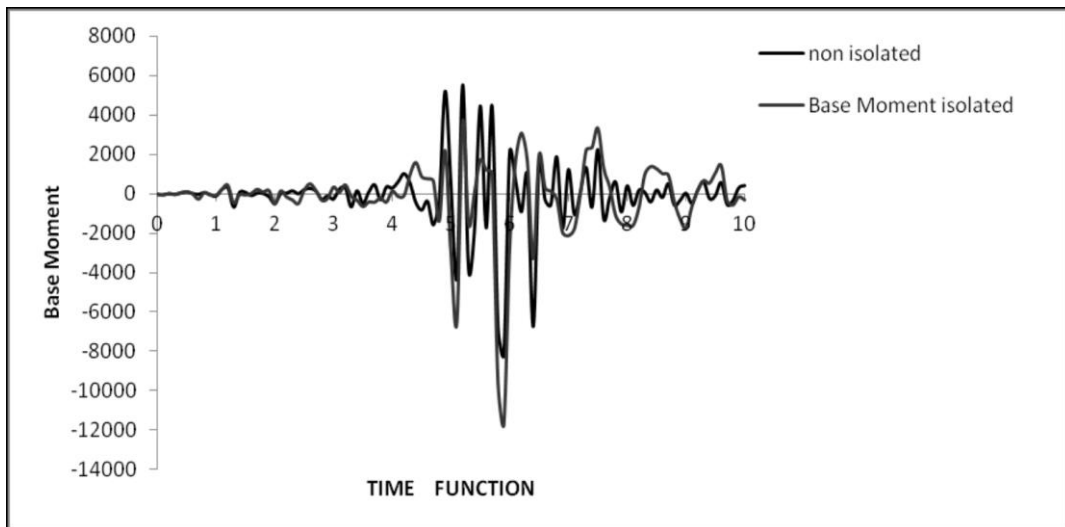
χρησιμοποιώντας ένα μη-γραμμικό στατικό αλγόριθμο ανάλυσης. Η ανάλυση λαμβάνει υπόψη τη μη-γραμμική γεωμετρία, την ανελαστικότητα του υλικού και την ανακατανομή των αρχικών δυνάμεων.

Τα βήματα που ακολουθούνται στη συγκεκριμένη μέθοδο είναι τα εξής:

1. Μοντελοποίηση της γέφυρας στο πρόγραμμα CSiBridge (Σχήμα 2.6)
2. Εφαρμογή ανάλυσης Pushover κατά x και y για δύο σεισμικές ζώνες(Σχήμα 2.7)
3. Έλεγχος καμπύλης Ζήτησης-Αντοχής
4. Εφαρμογή ανάλυσης Χρονοϊστορίας στη μονωμένη και στη μη-μονωμένη γέφυρα (Σχήμα 2.8)
5. Αξιολόγηση συμπεριφοράς γέφυρας



Σχήμα 2.7: Καμπύλη Pushover



Σχήμα 2.8: Σύγκριση της ροπής βάσης ενός τυπικού βάρου

2.5 Συμπεράσματα – Προτάσεις

Ο δευτεροβάθμιος έλεγχος χρησιμοποιεί αναλυτικότερες μεθόδους σε σχέση με τον πρωτοβάθμιο. Η εύρεση των φορτίων στην κατασκευή, τα εντατικά μεγέθη στα κρίσιμα σημεία και ο σεισμός σχεδιασμού είναι μερικά από τα στοιχεία που χρειάζονται να προσδιοριστούν κατά τη διάρκεια αυτού του ελέγχου.

Οι αρχικές μέθοδοι χρησιμοποιούσαν απλοϊκές αναλύσεις για τον υπολογισμό όλων αυτών των στοιχείων με αποτέλεσμα σχεδόν όλοι οι υπολογισμοί να γίνονται στο χέρι. Η θεώρηση μονοβάθμιου ταλαντωτή ή ομοιόμορφη κατανομή των φορτίων και οι απλές στηρίξεις (κύλιση, άρθρωση, πάκτωση) είναι μερικές από τις βασικές παραδοχές που χρησιμοποιούν αυτές οι αναλύσεις. Έτσι, παρά το γεγονός ότι εξοικονομείται χρόνος τα αποτελέσματα είναι ανακριβή.

Ο πρωτοβάθμιος έλεγχος περιέχει αρκετές ασάφειες και ανακρίβειες, γεγονός που επιτρέπει μόνο τη χοντρική αξιολόγηση των γεφυρών. Ο δευτεροβάθμιος έλεγχος θεωρείται επίσης ανακριβής και συνεπώς οδηγεί σε απαγορευτικά αποτελέσματα. Έτσι, η χρήση των νέων εκσυγχρονισμένων μεθόδων μπορεί να συντελέσει στην υπέρβαση των εμποδίων αυτών.

Με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού υπολογιστή η γέφυρα μπορεί να προσομοιωθεί και να αναλυθεί χρησιμοποιώντας τις ελάχιστες και ανώδυνες δυνατές παραδοχές. Έτσι, η αξιολόγηση και η εκτίμηση της συμπεριφοράς της γέφυρας στους σεισμούς των πρόσφατων κανονισμών γίνεται με πληρότητα και ασφάλεια.

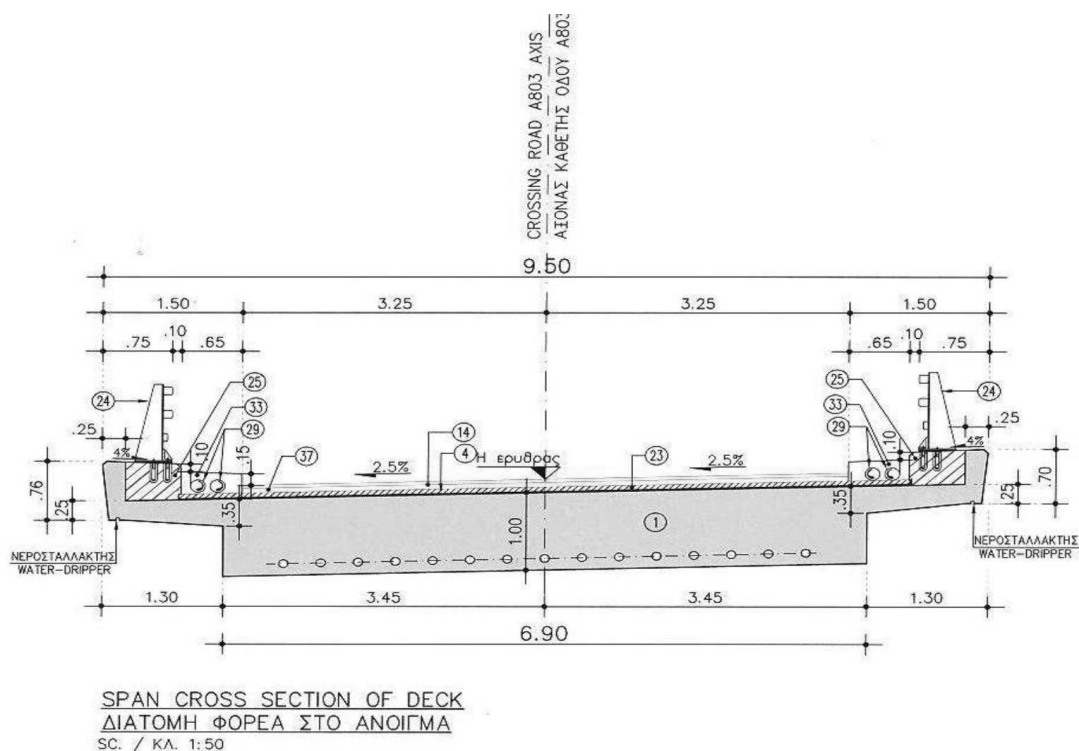
Κεφάλαιο 3: Παράδειγμα Εφαρμογής Ελέγχων

3.1 Περιγραφή γέφυρας

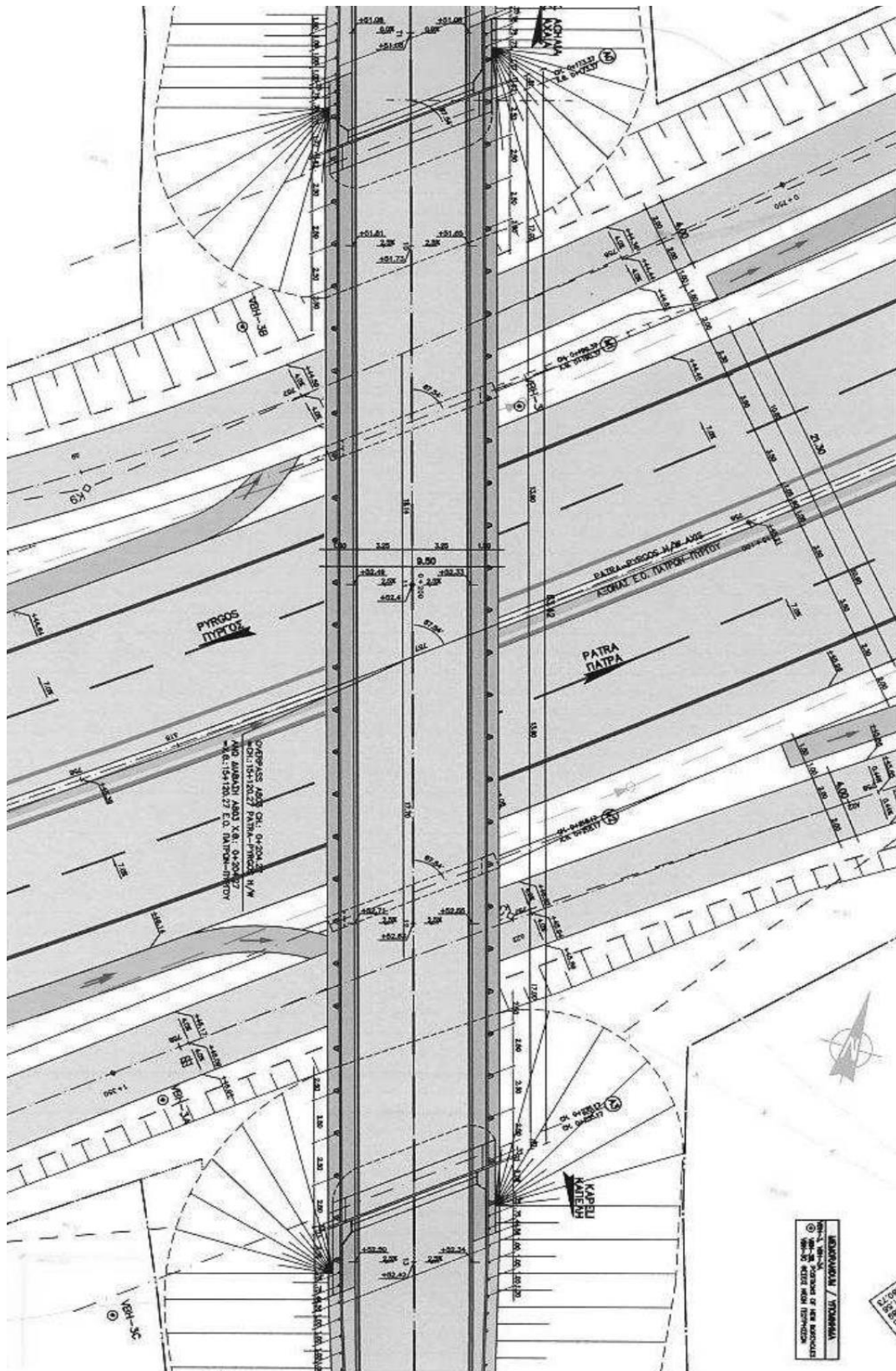
Η γέφυρα που μελετήθηκε στη παρούσα εργασία βρίσκεται στην Εθνική Οδό Πάτρας – Πύργου (Χ.Θ. 15 + 120,27). Εξυπηρετεί τη διέλευση της κάθετης οδού Κ. Αχαΐα – Καπέλη πάνω από τον αυτοκινητόδρομο στη συγκεκριμένη θέση. Η μελέτη της γέφυρας εκδόθηκε το 2010 ωστόσο η γέφυρα δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα. Περαιτέρω περιγραφή για τη μορφή της γέφυρας και τις ιδιαιτερότητές της δίνονται σε επόμενη παράγραφο.

3.2 Σχέδια – Παραδοχές

Παρακάτω παρατίθενται τα σχέδια και οι παραδοχές που λήφθηκαν υπόψη για τη μελέτη της γέφυρας:



Σχήμα 3.1: Τυπική διατομή γέφυρας



Σχήμα 3.2: Κάτοψη γέφυρας

ASSUMPTIONS / ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ			
I. LOADS / ΦΟΡΤΙΑ		II. MATERIALS / ΥΛΙΚΑ	III. SPECIFICATIONS / ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ
CONCRETE UNIT WEIGHT ΒΑΡΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΩΝ	25 kN/m ³	DECK AND BEARING SEATS CONCRETE ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΑΚΩΝ ΕΔΡΑΣΗΣ ΕΦΕΔΡΑΚΩΝ	C30/37 DESIGN AND CONSTRUCTION OF ROAD BRIDGES ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΦΥΡΩΝ DIN 101
ASPHALTIC LAYER UNIT WEIGHT ΒΑΡΟΣ ΑΣΦΑΛΤΟΤΑΠΗΤΑ	24 kN/m ³	PIERS, ABUTMENTS, BACK-WALLS CONCRETE	C25/30 ROAD BRIDGES – DESIGN LOADS ΦΟΡΤΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΓΕΦΥΡΩΝ DIN 101
BACKFILL UNIT WEIGHT ΒΑΡΟΣ ΓΛΙΩΝ	18 kN/m ³	ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕΣΟΒΑΘΡΩΝ, ΑΚΡΟΒΑΘΡΩΝ ΚΑΙ ΘΩΡΑΚΙΩΝ	C25/30 STRUCTURAL CONCRETE – DESIGN AND DETAILING ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ DIN 104
INTERNAL ANGLE OF FRICTION OF TRANSITION BACKFILL ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ	$\phi=35^\circ$	TRANSITION SLAB ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΠΛΑΚΩΝ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ	C20/25 ALLOWABLE LOADING OF FOUNDATION SOIL ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ, ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΞΕΙΣ ΕΔΑΦΩΝ DIN 10E
TRAFFIC LOAD CLASS 60/30 ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΚΛΑΣΣΕΩΣ 60/30	DIN 1072	SIDEWALKS CONCRETE ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΩΝ	C25/30 BEARING FOR STRUCTURES ΕΦΕΔΡΑΝΑ ΣΤΙΣ ΔΟΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ DIN 41
SEISMICITY ZONE ΖΩΝΗ ΣΕΙΣΜΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ	II ($a_0=0.24g$)	SLOPE FORMATION AND PROTECTION CONCRETE ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΡΥΣΣΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ	C16/20 APPLICATION OF GUIDELINES FOR THE ANTISEISMIC DESIGN OF BRIDGES ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΔΗΓΙΩΝ ΓΙΑ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΓΕΦΥΡΩΝ (ΟΔΗΓ)
SOIL CLASSIFICATION ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	B	CONCRETE UNDER DRAINAGE PIPE ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΔΡΑΣΗΣ ΣΤΡΑΤΙΣΤΗΡΙΟΥ	C12/15 GREEK ANTISEISMIC REGULATIONS ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΕΑΚ 20
IMPORTANCE FACTOR ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΣΤΟΥΔΑΙΟΤΗΤΑΣ	OVERPASS ΤΕΧΝΙΚΟ Α.Δ. $\gamma=1.3$	LEAN CONCRETE ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΕΙΣΟΜΑΛΥΝΤΙΚΩΝ ΣΤΡΩΣΕΩΝ	C8/10 CONCRETE TECHNOLOGY REGULATIONS ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΤΣ 20
BEHAVIOUR FACTOR ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΤΕΛΑΣΤΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ	OVERPASS ΤΕΧΝΙΚΟ Α.Δ. $q_x=1.00$ $q_y=1.00$ $q_z=1.00$	CONCRETE REINFORCEMENT ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	B500C GREEK REGULATIONS FOR CONCRETE DESIGN ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΕΚΟΣ 2
INTERNAL ANGLE OF FRICTION OF GRANULAR LAYER ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΓΩΝΙΑ ΤΡΙΒΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ ΕΣΥΜΠΛΗΝΣΗΣ	$\phi=35^\circ$	PRESTRESS STEEL ΧΑΛΥΒΑΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	1670/1860 PRESTRESSED CONCRETE ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ DIN 42
GEOTECHNICAL DESIGN PARAMETERS ACCORDING TO FOUNDATION DESIGN ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ			IV. CONCRETE COVER (NOMINAL)/ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΙΣ (ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΕΣ)
			REINFORCEMENT COVER OF DECK ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 4.5cm
			REINFORCEMENT COVER OF ELEMENTS IN CONTACT WITH SOIL (PIERS, ABUTMENTS e.t.c.) ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΕ ΕΠΑΦΗ ΠΡΟΣ ΤΟ ΕΔΑΦΟΣ (ΒΑΘΡΑ, ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ κ.τ.λ.) 5.5cm
			REINFORCEMENT COVER OF SIDEWALKS ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΩΝ 4.5/2.5

ASSUMPTIONS – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ	
TENDON TYPE (ALGA CABLE POST-TENSIONING SYSTEM) ΤΥΠΟΣ ΤΕΝΟΝΤΩΝ (ΣΥΣΤΗΜΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΕΩΣ ALGA)	15T15
PRESTRESS STEEL / ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΑΛΥΒΑ ΠΡΟΕΝΤΑΣΕΩΣ (EN 138–79)	1670/1860 (N/mm ²)
INNER/OUTER DIAMETER OF SHEATH / ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΩΛΗΝΑ ΕΣΩΤ/ΕΞΩΤ.	80/86 (mm)
STRAND AREA / ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΟΥ	150mm ²
STRAND DIAMETER / ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΟΥ	(0.6") 15.7mm
TENDON AREA / ΔΙΑΤΟΜΗ ΤΕΝΟΝΤΑ	2250 mm ²
ULTIMATE TENDON STRENGTH/ ΦΟΡΤΙΟ ΘΡΑΥΣΕΩΣ	4185 kN
TENDON FORCE FOR 0.55 σ_z / ΦΟΡΤΙΟ ΤΕΝΟΝΤΑ ΓΙΑ 0.55 σ_z	2302 kN
ANCHORAGE SLIP ΕΙΣΟΔΟΣ ΚΩΝΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΓΚΥΡΩΣΗ	6.0 mm
MINIMUM CURVATURE RADIUS / ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ	6.5 m
MODULUS OF ELASTICITY / ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	195000 N/mm ²
FRICTION FACTOR / ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΩΝ	$\mu=0.20$ $\beta=0.573$ °/m
CONCRETE OF DECK / ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΦΟΡΕΑ	C30/37 (B35)
MINIMUM INDICATED STRENGTH OF CONCRETE DURING THE PRESTRESSING APPLICATION / ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ	$f_{wm}=32.0$ MPa

Πίνακας 3.1: Παραδοχές σχεδιασμού

ΥΠΟΜΗΝΗΜΑ - LEGEND

<p>① DECK AND BEARING SEATS CONCRETE. ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΦΟΡΕΩΣ ΚΑΙ ΤΑΚΩΝ ΕΓΡΑΣΗΣ ΕΡΕΔΡΑΦΩΝ. C30/37</p> <p>② LEAN CONCRETE. ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΚΑΘΑΡΙΟΤΗΤΟΣ. C8/10</p> <p>③ CONSTRUCTION JOINT. ΑΡΜΟΣ ΣΚΥΡΩΜΕΤΗΣΗΣ.</p> <p>④ SPECIAL WATERPROOFING MEMBRANES. ΣΤΕΓΑΝΩΣΗ ΜΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΕΜΒΡΑΝΕΣ.</p> <p>⑤ PIERS AND ABUTMENTS CONCRETE. ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΜΕΤΟΒΑΡΩΝ ΚΑΙ ΑΚΡΟΒΑΡΩΝ. C25/30</p> <p>⑥ BACK WALLS' CONCRETE. ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΘΕΡΑΚΩΝ. C25/30</p> <p>⑦ ROAD EMBANKMENT AS PER RELEVANT DESIGN. ΕΠΙΧΩΜΑ ΟΔΟΤΟΜΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ. C25/30</p> <p>⑧ TRANSITION BACK FILL AS PER T.C.C. 8.4.2 AND DIS.1.9. ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟ ΕΠΙΧΩΜΑ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ Τ.Σ.Υ. § 8.4.2 ΚΑΙ ΤΟΥ Κ.Μ.Ε. § 1.9.</p> <p>⑨ SUB-BASE MATERIAL AND ASPHALTIC LAYERS OF MOTORWAY ACCORDING TO THE ROAD DESIGN. ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΟΔΡΟΜΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ. C20/25</p> <p>⑩ TRANSITION SLABS. ΠΛΑΚΕΣ ΠΡΟΒΕΒΑΣΗΣ.</p> <p>⑪ EXPANSION JOINT. ΑΡΜΟΣ ΣΥΣΤΟΛΩΔΙΑΣΤΟΝΗΣ.</p> <p>⑫ DOUBLE WATERPROOFING ASPHALTIC COAT ACCORDING TO T.C.C. § 8.2.3. ΜΟΝΩΣΗ ΜΕ ΔΙΠΛΗ ΑΣΦΑΛΤΙΚΗ ΕΠΙΛΕΠΗ ΣΤΡΩΣΗ ΠΡΟΣ Τ.Σ.Υ. § 8.2.3.</p> <p>⑬ THEORETICAL LIMIT LINE OF TRANSITION EMBANKMENT AND ROAS EMBANKMENT. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΓΡΑΜΜΗ ΟΡΙΟΥ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΥ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΩΜΑΤΟΣ ΟΔΟΤΟΜΙΑΣ.</p>	<p>⑭ PAVEMENT ASPHALT LAYERS 10cm. ΑΣΦΑΛΤΙΚΕΣ ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ 10cm.</p> <p>⑮ EXISTING SOIL SURFACE. ΓΡΑΜΜΗ ΠΥΞΙΔΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.</p> <p>⑯ NEW JERSEY SAFETY GUARDRAIL. ΝΕΑ JERSEY ΣΤΗΘΑΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ.</p> <p>⑰ SAFETY GUARDRAIL ACCORDING TO THE ROAD DESIGN. ΣΤΗΘΑΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΟΔΟΤΟΜΙΑΣ.</p> <p>⑱ FORMATION OF SIDE REGIONS WITH APPROPRIATE GRANULAR MATERIAL. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΚΟΚΚΩΔΗ ΥΛΙΚΑ.</p> <p>⑳ DRAIN FROM BIG SIZE GRANULAR MATERIAL COVERED WITH GEOTEXTILE ACCORDING TO T.C.C. 39. ΣΤΡΑΠΙΣΤΗΡΙΟ ΜΕ ΓΕΩΤΕΧΝΙΑ ΚΑΙ ΚΟΜΠΟΚΟΚΚΟ ΥΛΙΚΟ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΤΗΝ Τ.Σ.Υ. 39.</p> <p>㉑ HDPE PIPE PERFORATED Ø200. ΔΙΑΤΗΤΟΣ ΣΦΑΙΡΩΝΑΣ Ø200.</p> <p>㉒ CONCRETE UNDER THE DRAINAGE PIPE C12/15</p> <p>㉓ ELASTOMERIC BEARINGS TYPE 4. ΕΛΑΣΤΟΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΕΡΕΒΡΑΝΑ ΤΥΠΟΥ 4</p> <p>㉔ CONCRETE OF MINIMUM THICKNESS 7cm FOR SLOPE FORMATION AND PROTECTION OF WATERPROOFING MEMBRANE ACCORDING TO T.C.C. 18.2. C16/20</p> <p>㉕ ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΕΛΑΔΙΣΤΟΥ ΠΑΧΟΥΣ 7 cm ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΥΞΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΣΤΕΓΑΝΩΣΗΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ Τ.Σ.Υ. § 8.2.</p> <p>㉖ SAFETY BARRIER SFG-1. ΣΤΗΘΑΟ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΣΤΕ-1.</p> <p>㉗ SIDEWALK CONCRETE. C25/30</p> <p>㉘ ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΠΕΖΟΔΡΟΜΙΟΥ.</p>	<p>㉙ EXCAVATION SLOPE. ΠΡΑΝΕΣ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.</p> <p>㉚ EXCAVATION LINE. ΕΠΙΠΕΔΟ ΕΚΣΚΑΦΗΣ.</p> <p>㉛ SUB-BASE MATERIAL AND ASPHALTIC LAYERS OF THE CROSSING ROAD ACCORDING TO THE ROAD DESIGN. ΣΤΡΩΣΕΙΣ ΟΔΟΣΤΡΩΣΙΑΣ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΚΑΒΕΤΗΣ ΟΔΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΠΡΟΣ ΣΧΕΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.</p> <p>㉜ 2 PVC #160 FOR WATER SUPPLY, TELEPHONE, POWER AND RESERVE. 2 PVC #160 ΣΦΑΙΡΕΣ ΠΑ ΕΜΠΕΡΙΦΕΡΙΣΗ Η/Μ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ.</p> <p>㉝ GRANULAR LAYER. ΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗ ΣΤΡΩΣΗ.</p> <p>㉞ SEISMIC STOPPERS. ΠΡΟΒΕΒΑΣΤΗΡΙΕΣ.</p> <p>㉟ GEOTEXTILE (SEE DESCRIPTION OF THE GRANULAR LAYER). ΓΕΩΤΕΧΝΙΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΟΥ (ΒΛΕΠΤΕ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΥΓΙΑΝΤΙΚΗΣ ΣΤΡΩΣΗΣ)</p> <p>㊱ LIGHT REINFORCEMENT CONCRETE. C25/30</p> <p>㊲ ΣΚΥΡΩΜΑΤΑ ΕΛΑΦΡΑ ΟΠΛΩΜΕΝΑ.</p> <p>㊳ JACK'S POSITION. ΘΕΣΗ ΠΥΛΑΓΟΥ.</p> <p>㊴ BEARING OF SEISMIC STOPPERS. ΕΡΕΒΡΑΝΑ ΠΡΟΒΕΒΑΣΤΗΡΙΩΝ.</p> <p>㊵ EXPANDED POLYSTYRENE 2cm. ΔΟΥΚΩΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΥΡΕΝΗ 2cm.</p>
---	---	---

Πίνακας 3.1 (συνέχεια): Παραδοχές σχεδιασμού

3.3 Εφαρμογή του Πρωτοβάθμιου Ελέγχου του Ο.Α.Σ.Π.

1. ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ Α803 Χ.Θ. 15+120.27 (Γ.Ε. 36)

1. Έντυπο Απογραφής Γέφυρας

ΕΝΤΥΠΟ ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΟΔΟΓΕΦΥΡΑΣ

Ημερομηνία: 8/7/2014

ΓΕΝΙΚΑ:
Όνομα Γέφυρας: ΑΝΩ ΔΙΑΒΑΣΗ Α803 Χ.Θ. 15+120.27 (Γ.Ε. 36)
Α.Α. 1
Τοποθεσία: Ε.Ο. ΠΑΤΡΑΣ - ΠΥΡΓΟΥ (Χ.Θ. 15+120.27)
Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία: _____ Μήκος Παράκομης(*): _____
Σκοπιμότητα Γέφυρας(*): Σημαντική Σηνήθης
Γεωμετρικά Άξονα: Ευθύγραμμη Καμπύλη
Παρατηρήσεις: _____
Λοξότητα: Ορθή Λοξή
Παρατηρήσεις: 67,54 μόνες η οδία γωνία μετά το αυτοκινητόδρομο και τεχνικού
Αριθμός και διαστάσεις ανοιγμάτων: 3 ανοιγμάτων διαστάσεων 17-27,8-17m

ΕΚΑΡΙΦΗΜΑ:
Τύπος: Συνεχής Γέφυρα 3 Ανοιγμάτων
Πλάτος: 9,50m
Χρήση Γέφυρας(*): Διέλευση Αυτοκινητόδρομο Πατρας - Πύργου
Έτος Κατασκευής: Έτος Έκδοσης Μελέτης 2010 (δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα)
Σεισμικά Ενταχμένη(*): Ναι Όχι
Μορφολογία(*): Κανονική Μη κανονική Παρατηρήσεις: _____

ΕΔΑΦΟΣ:
Εδαφική Επιτάχυνση: III ($a = 0,24g$) σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση αυτής της μεθόδου
Υπαρξη Ενεργών Ρηγμάτων(*): Ναι Όχι
Παρατηρήσεις: _____
Κατηγορία Εδάφους: A B Γ Δ
Πιθανότητα Ρευστοποίησης: Μεγάλη Μέτρια Μικρή

ΑΝΩΔΟΜΗ:
Υλικό και Τύπος: Προεντεταμένος φορέας, συνεχής 3 ανοιγμάτων τραπεζοειδούς διατομής
Αριθμός Ανοιγμάτων: 3
Συνεχής Ναι Όχι Αριθμός Αρμών: 2 Εύρος Αρμών: 160mm

ΕΦΕΔΡΑΝΑ:
Τύπος: Ελαστομεταλλικά
Κατάσταση: Καλή
Ευθέλιος Στήριξης: _____
• Εγκάρσιος: Τύπου IV
• Κατά μήκος: Τύπου IV
Πραγματικές Διαστάσεις Εδρασης: 0,80 x 0,90m
Παρατηρήσεις: _____

ΜΕΣΟΒΑΘΡΑ:
Υλικό και Τύπος: Τοιχοειδούς Μορφής
Αριθμός Υποπελομαμάτων/Μεσοβαθρών: 1
Βαθμιά Πλευσιακής Λειτουργίας: Κατά μήκος Εγκάρσια _____
Ελάχιστη Εγκάρσια Διάσταση Διατομής: 1,45m
Ελάχιστη Διαμήκης Διάσταση Διατομής: 0,90m
Υψος Φ και 7 Ψ συνθήκης Στήριξης: Κορυφή Φ άφρατος γ. επί οδοστρώματος Βάση Πλάκωσης
Ποσοστό Διαμήκους Οπλισμού (Κρίσιμες Περιοχές): 1,05%
Ενώσεις Διαμήκους Οπλισμού (Κρίσιμες Περιοχές): Ναι Όχι
Εγκάρσιος Οπλισμός: $\Phi 10/15$
Γήρση Κατασκευαστικών Διατάξεων(*): Ναι Όχι
Τύπος Θεμελίωσης: Μεμονωμένο πέδιλο επί εξογνητικής στρώσης 0,50m

ΑΚΡΟΒΑΘΡΑ:
Υψος: 0,17m
Τύπος και Στοιχεία Θεμελίωσης: Μεμονωμένο πέδιλο επί εξογνητικής στρώσης 0,50m
Τοποθεσία: Ορθή Επίγεια
Πετυρωτόχοι: Μονολιθικά Συνδεδεμένοι Ανεξάρτητοι Μήκος: 3,32m
Πλάκα Πρόσβασης: Ναι Όχι Μήκος: 4m

ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

2. Περιγραφή Γέφυρας

Η γέφυρα είναι συνεχής τριών ανοιγμάτων (17-27,8-17m) με ευθύγραμμη χάραξη και έντονη λοξότητα $67,54^\circ$. Το πλάτος της γέφυρας είναι σταθερό κατά μήκος της γέφυρας και ίσο με 9,50m. Το κατάστρωμα μορφώνεται από μια ενιαία τραπεζοειδή διατομή από προεντεταμένο σκυρόδεμα και προβόλους στις εξωτερικές παρειές της γέφυρας. Το κατάστρωμα εδράζεται μέσω τεσσάρων ελαστομεταλλικών εφεδράνων τύπου IV στα ακρόβαθρα και στα μεσόβαθρα. Τα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα είναι τοιχοειδούς μορφής και θεμελιώνονται σε μεμονωμένα πέδιλα. Το έδαφος σύμφωνα με τη μελέτη κατατάσσεται στην κατηγορία Β κατά ΕΑΚ.

3. Καθορισμός Σεισμικής Κατηγορίας Γέφυρας

Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας: III ($a = 0,24g$) κατά ΕΑΚ

Σπουδαιότητα Γέφυρας: Σημαντική ($\gamma_1 > 1,00$)

Άρα, η γέφυρα κατατάσσεται στη σεισμική κατηγορία (3).

4. Υπολογισμός Δείκτη Δομικής Τρωτότητας (Δ)

Α. Δείκτης Τρωτότητας Εφεδράνων, Συνδέσμων και Εδράσεων, Δ_1

Βήμα 1: Η γέφυρα είναι συνεχής και συνδέεται στα ακρόβαθρα με εφέδρανα. Η λοξότητα της γέφυρας είναι $67,54^\circ > 40^\circ$ και επομένως απαιτείται λεπτομερής αξιολόγηση της τρωτότητας των στηρίξεών της.

Βήμα 2: Επειδή η γέφυρα είναι σεισμικής κατηγορίας (3) οι αγκυρώσεις των εφεδράνων αστοχούν. Το κατάστρωμα της γέφυρας αποτελείται από μια ενιαία διατομή από προεντεταμένο σκυρόδεμα και συνεπώς δεν είναι πιθανή η απώλεια έδρασης του καταστρώματος ούτε των εφεδράνων. Ο δείκτης τρωτότητας λαμβάνει την τιμή $\Delta_{ΕΓΚ} = 5$.

Βήμα 3: Έλεγχος στη διαμήκη διεύθυνση.

Ι) Μήκος έδρασης στα ακρόβαθρα: $L = 61,8m$ (το μήκος του μονολιθικού φορέα) και $H = 6,5m$ (το μέσο ύψος των μεσοβάθρων που στηρίζουν το μονολιθικό φορέα μεταξύ δύο αρμών).

Άρα: $C = 400 + 2,5L + 10H = 400 + 2,5 \times 61,8 + 10 \times 6,5 = 620\text{mm} = 62\text{cm}$

II) Μήκος έδρασης στα μεσόβαθρα: $L = 17 + 27,8 + 17 = 61,8\text{m}$ (το άθροισμα των εκατέρωθεν μηκών μονολιθικών φορέων) και $H = 6,5\text{m}$ (το μέσο ύψος του μεσοβάθρου και τυχόν εκατέρωθεν μεσοβάθρων).

Άρα: $C = 62\text{cm}$

Από τα σχέδια, το πλάτος έδρασης τόσο στα ακρόβαθρα όσο και στα μεσόβαθρα είναι $L_E = 37\text{cm}$.

$$\frac{L_E}{C} = \frac{37}{62} = 0,60 < 1,00$$

Συνεπώς προκύπτει $\Delta_{ΔΙΑ} = 5$.

Βήμα 4: $\Delta_1 = \max(\Delta_{ΕΓΚ}, \Delta_{ΔΙΑ}) = \max(5,5) = 5$

B. Δείκτης Τρωτότητας Μεσοβάθρων, Ακροβάθρων και Ρευστοποίησης Εδάφους (Δ_2)

B1. Δείκτης Τρωτότητας Μεσοβάθρων, Δ_{TM}

Βήμα 1: Επειδή η γέφυρα είναι σεισμικής κατηγορίας (3) απαιτείται περαιτέρω έλεγχος.

Βήμα 2: $L_c = 6\text{m}$ (το βάθρο με το μικρότερο ύψος είναι δυσμενέστερο),

$\rho_s = 1,03\%$ (ποσοστό διαμήκη οπλισμού στη βάση του βάθρου, $56\Phi 32 + 54\Phi 28$), $F = 1,25$ (για ενιαία διατομή ανωδομής με μονόστυλο «αμφίπακτο» βάθρο), $b_{\max} = 8,45\text{m}$ και $R = 3$ ($\alpha < 0,36g$).

Άρα: $Q = 13 - 6 \left(\frac{L_c}{\rho_s \times F \times b_{\max}} \right) = 13 - 6 \left(\frac{6}{1,03 \times 1,25 \times 8,45} \right) = 9,69$

$\Delta_{TM} = Q - R = 9,69 - 3 = 6,69$

Βήμα 3: Η ανωδομή είναι μονολιθική, αλλά μικρότερη σε μήκος από 90m, οπότε $\Delta_{TM} = 0$.

Βήμα 4: Δεν υπάρχει μικροζωνική μελέτη, άρα $\Delta_{TM} = 0$.

Βήμα 5: Τελικά προκύπτει ότι $\Delta_{TM} = 6,69$

B2. Δείκτης Τρωτότητας Ακροβάθρων, Δ_{TA}

Βήμα 1: Επειδή η γέφυρα είναι σεισμικής κατηγορίας (3) απαιτείται περαιτέρω έλεγχος.

Βήμα 2: Η αναμενόμενη καθίζηση του εδάφους επίχωσης είναι:

$$\delta_z = 2\% \times H = 2\% \times 6,17\text{m} = 12,34\text{cm} < 15\text{cm}, \text{ άρα } \Delta\text{T}\text{A}=0$$

Βήμα 3: Δεν εφαρμόζεται, γιατί δεν υπάρχουν ενεργά σεισμικά ρήγματα στην περιοχή.

Βήμα 4: Τελικά προκύπτει ότι $\Delta\text{T}\text{A} = 0$

B3. Δείκτης Τρωτότητας λόγω Ρευστοποίησης του Εδάφους Θεμελίωσης, ΔΤΡ

Βήμα 1: Το έδαφος κατατάσσεται στην κατηγορία Β κατά ΕΑΚ και αποτελείται από τρεις στρώσεις (Πολύ στριφή έως σκληρή άργιλος (CL) με άμμο, Πυκνής έως πολύ πυκνής απόθεσης αργιλοϊλυώδους άμμου (SM, SC) και Σκληρή αριλοϊλός (CL, ML, CL-ML)) που εντοπίστηκαν μετά από γεωτρήσεις που έγιναν στην περιοχή. Η Σ.Υ.Ο. βρίσκεται πολύ βαθύτερα από την επιφάνεια του εδάφους, επομένως η πιθανότητα ρευστοποίησης του εδάφους θεωρείται μικρή.

Βήμα 2: Αναμένονται μικρές αστοχίες.

Βήμα 3: $\Delta\text{T}\text{P} = 0$

Τελικά προκύπτει ότι $\Delta_2 = \Delta\text{T}\text{M} + \Delta\text{T}\text{A} + \Delta\text{T}\text{P} = 6,69 + 0 + 0 = 6,69$

Γ. Δείκτης Χρονολογίας Μελέτης, Χ

Η μελέτη της γέφυρας εκπονήθηκε το 2010, επομένως $X = 0$.

Δ. Δείκτης Γενικής Κατάστασης της Γέφυρας, Γ

Η κατάσταση των εφεδράνων είναι πολύ καλή. Η γενική κατάσταση της γέφυρας είναι επίσης πολύ καλή, οπότε $\Gamma = 0$.

Ε. Υπολογισμός Δείκτη Δομικής Τρωτότητας, Δ

Ο δείκτης δομικής τρωτότητας προκύπτει:

$$\Delta = 0,35 \times \Delta_1 + 0,25 \times \Delta_2 + 0,25 \times X + 0,15 \times \Gamma$$

$$\Delta = 0,35 \times 5 + 0,25 \times 6,69 + 0,25 \times 0 + 0,15 \times 0 = 3,42$$

5. Δείκτης Σπουδαιότητας (Σ)

α) Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία επί της γέφυρας (ΜΗΚ)

Λόγω έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων λαμβάνεται επί του δυσμενέστερου η τιμή $[\alpha] = 5$.

β) Μήκος Παράκαμψης οχημάτων διερχόμενων πάνω από τη γέφυρα (ΜΠ)

Λόγω έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων λαμβάνεται $ΜΠ = 5\text{km}$ και έτσι προκύπτει $[\beta] = \frac{ΜΠ}{20} \times 10 = \frac{5}{20} * 10 = 2,5$.

γ) Μέση Ημερήσια Κυκλοφορία Κάτω από τη Γέφυρα (ΜΗΚΚΓ)

Λόγω έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων λαμβάνεται επί του δυσμενέστερου η τιμή $[\gamma] = 10$.

δ) Μήκος Παράκαμψης οχημάτων διερχόμενων Κάτω από τη Γέφυρα (ΜΠΚΓ)

Λόγω έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων λαμβάνεται $ΜΠΚΓ = 10\text{km}$ και έτσι προκύπτει $[\delta] = \frac{ΜΠΚΓ}{20} \times 10 = \frac{10}{20} * 10 = 5$.

ε) Ανθρώπινες απώλειες – υλικές καταστροφές

Εντός της επηρεαζόμενης ζώνης υπάρχουν μόνο οδικοί άξονες, οπότε $[\epsilon] = 0$.

στ) Στρατηγική σημασία της γέφυρας

Η γέφυρα θεωρείται ότι είναι μικρής στρατηγικής σημασίας και συνεπώς $[\sigma\tau] = 3$.

ζ) Δίκτυα επί της γέφυρας (Γραμμές ζωής)

Λαμβάνεται συντηρητικά η τιμή $[\zeta] = 5$.

Τελικά προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \Sigma &= 0,50 \times \frac{[\alpha] + [\beta]}{10} + 0,10 \times \frac{[\gamma] + [\delta]}{10} + 0,15 \times [\epsilon] + 0,15 \times [\sigma\tau] + 0,10 \\ &\quad \times [\zeta] \\ &= 0,50 \times \frac{5 + 2,5}{10} + 0,10 \times \frac{10 + 5}{10} + 0,15 \times 0 + 0,15 \times 3 + 0,10 \times 5 \\ &= 1,48 \end{aligned}$$

6. Δείκτης Σεισμικής Επικινδυνότητας (E)

$A = 0,24g$ (η μέγιστη επιτάχυνση σε βράχο ανάλογα με τη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας του ΕΑΚ)

$S = 1,50$ (για κατηγορία εδάφους Β κατά ΕΑΚ)

Άρα έχουμε ότι:

$$E = 11,6 \times A \times S = 11,6 \times 0,24 \times 1,50 = 4,18$$

7. Υπολογισμός Δείκτη Σεισμικής Τρωτότητας (T)

$$T = (0,4 \times \Delta + 0,6 \times \Sigma) \times E = (0,4 \times 3,42 + 0,6 \times 1,48) \times 4,18 = 9,43$$

Παρατηρούμε ότι ($T = 9,43 < 10$ και $\Delta = 3,42 < 5$) και ($\Delta_{\text{ΔΙΑ}} = 5 \leq 5$). Συμπεραίνουμε ότι δεν είναι απαραίτητη η μετάβαση της γέφυρας στο 2^ο στάδιο ελέγχου.

3.4 Εφαρμογή του Δευτεροβάθμιου Ελέγχου του Ο.Α.Σ.Π.

Παρόλο που κρίθηκε ότι δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί ο δευτεροβάθμιος έλεγχος στη συγκεκριμένη γέφυρα, για λόγους πληρότητας θα εφαρμοστεί.

1. Εκτίμηση των νεκρών βαρών

Σύμφωνα με τα σχέδια της μελέτης προκύπτουν τα παρακάτω ομοιόμορφα φορτία για τη γέφυρα:

$$\text{Ι.β. φορέα: } 25\text{kN/m}^3 \times 8,5\text{m}^2 = 212,5\text{kN/m}$$

$$\text{Κράσπεδα πεζοδρομίων (2 τεμάχια): } 25\text{kN/m}^3 \times (0,58 + 0,52)\text{m}^2 = 27,5\text{kN/m}$$

$$\text{Στηθαίο ασφαλείας ΣΤΕ1 (2 τεμάχια): } 2 \times 0,65\text{kN/m} = 1,3\text{kN/m}$$

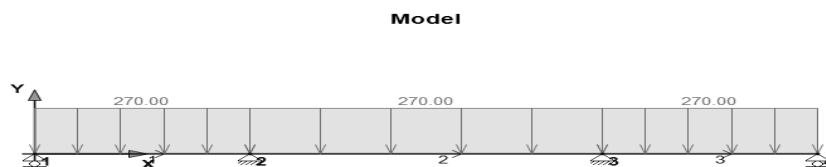
$$\text{Ασφαλτικά πάχους 10cm: } 24\text{kN/m}^3 \times 0,10\text{m} \times 6,5\text{m} = 15,6\text{kN/m}$$

$$\text{Σκυρόδεμα διαμόρφωσης ρύσεων (7cm): } 24\text{kN/m}^3 \times 0,07\text{m} \times 7,8\text{m} = 13,1\text{kN/m}$$

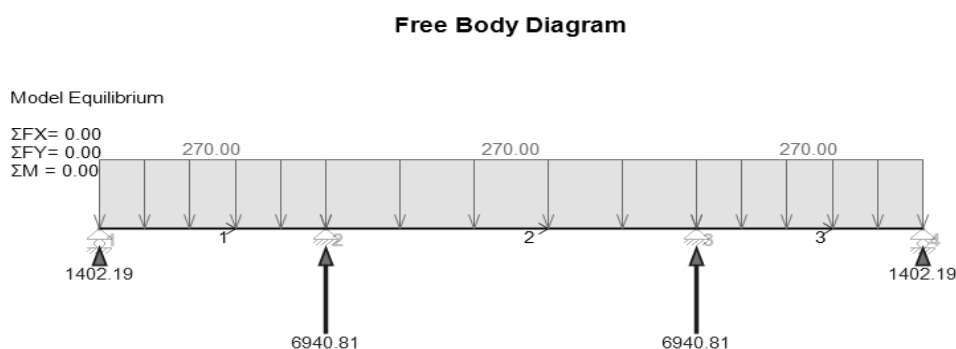
$$\text{Συνολικό ομοιόμορφο φορτίο γέφυρας: } (G + G') = 270\text{kN/m}$$

2. Εκτίμηση της έντασης των κατακόρυφων στοιχείων

Η γέφυρα αποτελείται από μια συνεχή δοκό 3 ανοιγμάτων που υποβάλλεται στο παραπάνω ομοιόμορφο φορτίο (Σχήμα 3.4). Για να υπολογιστούν οι αξονικές δυνάμεις των βάρων πραγματοποιήθηκε ανάλυση με το πρόγραμμα EngiLab Beam.2D 2015 Lite και προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα (Σχήμα 3.5):



Σχήμα 3.4: Μοντέλο γέφυρας



Σχήμα 3.5: Αξονικές δυνάμεις βάρων

3. Εκτίμηση της θεμελιώδους ιδιοπεριόδου

Η ιδιοπερίοδος μιας κατασκευής υπολογίζεται από τον τύπο:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$$

Όπου M είναι η μάζα της κατασκευής και K η δυσκαμψία της.

Η μάζα που λαμβάνεται υπόψη είναι η μάζα του καταστρώματος:

$$M = \frac{(G + G') \times l}{g} = \frac{\frac{270kN}{m} \times 61,8m}{\frac{9,81m}{s^2}} = 1700,92Mg$$

Η δυσκαμψία που λαμβάνεται υπόψη είναι αυτή των εφεδράνων και των βάθρων και υπολογίζεται και για τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις x και y . Σύμφωνα με τον EC8 $I_{eff} = 0,50 \times I$. Πρέπει να τονιστεί ότι τα βάρη κατά τη διεύθυνση y συμπεριφέρονται ως αμφίπακτα γιατί η παρουσία 4 εφεδράνων μεταξύ του καταστρώματος και του βάθρου απαγορεύει την ελεύθερη στροφή και τις οριζόντιες μετακινήσεις. Έτσι, η κάτω παρειά του καταστρώματος και η πάνω παρειά του βάθρου ακολουθούν η μία την άλλη:

- Κατά x :

Δυσκαμψία των 4 εφεδράνων που υπάρχουν σε κάθε βάθρο (σύνδεση σε σειρά):

$$K_{εφ} = 4 \times \frac{G_g \times A}{\sum t_i} = 4 \times \frac{900kPa \times 0,5 \times 0,6m^2}{0,154m} = 7013kN/m$$

Δυσκαμψία ακροβάθρων 1 και 4 (θεωρούνται μονόπακτα):

$$K_{ακρ} = \frac{3 \times E \times I_y}{H^3} = \frac{3 \times 31 \times 10^6 kPa \times \frac{1}{2} \times \frac{9,5 \times 2^3}{12} m^4}{3,5^3 m^3} = 6868804,7kN/m$$

Δυσκαμψία μεσοβάθρου 2 ($H = 7m$):

$$K_{μεσ}^2 = \frac{3 \times E \times I_y}{H^3} = \frac{3 \times 31 \times 10^6 kPa \times \frac{1}{2} \times \frac{8,45 \times 0,9^3}{12} m^4}{7^3 m^3} = 69592,4kN/m$$

Δυσκαμψία μεσοβάθρου 3 ($H = 6m$):

$$K_{\mu\epsilon\sigma}^3 = \frac{3 \times E \times I_y}{H^3} = \frac{3 \times 31 \times 10^6 \text{ kPa} \times \frac{1}{2} \times \frac{8,45 \times 0,9^3}{12} \text{ m}^4}{6^3 \text{ m}^3} = 110510,2 \text{ kN/m}$$

Δυσκαμψία συστήματος εφεδράνων και μεσοβάθρου 2 (παράλληλη σύνδεση):

$$K_2 = \frac{K_{\mu\epsilon\sigma}^2 \times K_{\epsilon\varphi}}{K_{\mu\epsilon\sigma}^2 + K_{\epsilon\varphi}} = 6371 \text{ kN/m}$$

Δυσκαμψία συστήματος εφεδράνων και μεσοβάθρου 3 (παράλληλη σύνδεση):

$$K_3 = \frac{K_{\mu\epsilon\sigma}^3 \times K_{\epsilon\varphi}}{K_{\mu\epsilon\sigma}^3 + K_{\epsilon\varphi}} = 6594,5 \text{ kN/m}$$

Δυσκαμψία συστήματος εφεδράνων και ακροβάθρων (παράλληλη σύνδεση):

$$K_1 + K_4 = 2 \times \frac{K_{\alpha\kappa\rho} \times K_{\epsilon\varphi}}{K_{\alpha\kappa\rho} + K_{\epsilon\varphi}} = 14011,7 \text{ kN/m}$$

Συνολική δυσκαμψία γέφυρας (βάθρα σε σειρά):

$$K_\chi = K_1 + K_4 + K_2 + K_3 = 26977,2 \text{ kN/m}$$

Ιδιοπερίοδος γέφυρας κατά χ :

$$T_\chi = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_\chi}} = 2\pi \sqrt{\frac{1700,92}{26977,2}} = 1,58 \text{ sec}$$

- Κατά y :

Δυσκαμψία των 4 εφεδράνων που υπάρχουν σε κάθε βάθρο (σύνδεση σε σειρά):

$$K_{\epsilon\varphi} = 4 \times \frac{G_g \times A}{\sum t_i} = 4 \times \frac{900 \text{ kPa} \times 0,5 \times 0,6 \text{ m}^2}{0,154 \text{ m}} = 7013 \text{ kN/m}$$

Δυσκαμψία ακροβάθρων 1 και 4 (θεωρούνται αμφίπακτα):

$$K_{ακρ} = \frac{12 \times E \times I_{\chi}}{H^3} = \frac{12 \times 31 \times 10^6 kPa * \frac{1}{2} \times \frac{2 \times 9,5^3}{12} m^4}{3,5^3 m^3} = 619909621 kN/m$$

Δυσκαμψία μεσοβάθρου 2 (H = 7m):

$$K_{μ\epsilon\sigma}^2 = \frac{12 \times E \times I_{\chi}}{H^3} = \frac{12 \times 31 \times 10^6 kPa * \frac{1}{2} \times \frac{0,9 \times 8,45^3}{12} m^4}{7^3 m^3} = 24538624 kN/m$$

Δυσκαμψία μεσοβάθρου 3 (H = 6m):

$$K_{μ\epsilon\sigma}^3 = \frac{12 \times E \times I_{\chi}}{H^3} = \frac{12 \times 31 \times 10^6 kPa * \frac{1}{2} \times \frac{0,9 \times 8,45^3}{12} m^4}{6^3 m^3} = 38966427 kN/m$$

Δυσκαμψία συστήματος εφεδράνων και μεσοβάθρου 2 (παράλληλη σύνδεση):

$$K_2 = \frac{K_{μ\epsilon\sigma}^2 \times K_{\epsilon\varphi}}{K_{μ\epsilon\sigma}^2 + K_{\epsilon\varphi}} = 7011 kN/m$$

Δυσκαμψία συστήματος εφεδράνων και μεσοβάθρου 3 (παράλληλη σύνδεση):

$$K_3 = \frac{K_{μ\epsilon\sigma}^3 \times K_{\epsilon\varphi}}{K_{μ\epsilon\sigma}^3 + K_{\epsilon\varphi}} = 7011,7 kN/m$$

Δυσκαμψία συστήματος εφεδράνων και ακροβάθρων (παράλληλη σύνδεση):

$$K_1 + K_4 = 2 \times \frac{K_{ακρ} \times K_{\epsilon\varphi}}{K_{ακρ} + K_{\epsilon\varphi}} = 14025,8 kN/m$$

Συνολική δυσκαμψία γέφυρας (βάθρα σε σειρά):

$$K_y = K_1 + K_4 + K_2 + K_3 = 28048,5 \text{ kN/m}$$

Ιδιοπερίοδος γέφυρας κατά y:

$$T_y = 2\pi \sqrt{\frac{M}{K_y}} = 2\pi \sqrt{\frac{1700,92}{28048,5}} = 1,55 \text{ sec}$$

4. Εκτίμηση της δεσπόζουσας σεισμικής επιτάχυνσης και του συντελεστή μετελαστικής συμπεριφοράς

Στη βιβλιογραφική πηγή [11] αναφέρεται:

«Εφαρμόζονται οι μεθοδολογίες ανάλυσης που θα ίσχυαν για μία νέα γέφυρα (Εγκύκλιος Ε39/93 ή νεώτερη), εφ' όσον σκοπός είναι η βαθμονόμηση του υφιστάμενου έργου και η εκτίμηση της σεισμικής επάρκειας υπό το πρίσμα των νεώτερων γνώσεων.»

Από αυτή την παράγραφο συμπεραίνουμε ότι για το δευτεροβάθμιο έλεγχο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τους νέους κανονισμούς και όχι τους κανονισμούς που ίσχυαν όταν εκδόθηκε η μεθοδολογία του Ο.Α.Σ.Π.. Συνεπώς, για αυτόν τον έλεγχο έχουμε ήδη χρησιμοποιήσει και θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω τον EC8 για τις σεισμικές δράσεις και τον έλεγχο των εφεδράνων καθώς επίσης και τον EC2 [15] για τον έλεγχο των βάθρων.

Σύμφωνα με τον EC8 έχουμε:

Ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας Z2: $a_{gR} = 0,24g$

Κατηγορία σπουδαιότητας: $\gamma_1 = 1,30$

Κατηγορία εδάφους B: $T_B = 0,15\text{sec}$, $T_C = 0,50\text{sec}$, $T_D = 2,50\text{sec}$ και $S = 1,20$

Από το φάσμα σχεδιασμού του EC8 προκύπτει:

- Κατά χ ($T_C < T_x < T_D$):

Επιτάχυνση σχεδιασμού:

$$S_{d,x}(1,58\text{sec}) = 1,30 \times 0,24 \times 9,81 \times 1,20 \times 1,0 \times \frac{2,5}{1,0} \times \frac{0,50}{1,58} = 2,91\text{m/s}^2$$

Σεισμική τέμνουσα γέφυρας:

$$V_{Ed,x} = 1700,92\text{Mgr} \times \frac{2,91\text{m}}{\text{s}^2} = 4949,7\text{kN}$$

Ελέγχεται ως δυσμενέστερο το μεσόβαθρο 2. Η σεισμική τέμνουσα του εφεδράνου είναι ίση προς:

$$Q_x = 4949,7 \times \frac{6371}{26977,2} = 1168,9\text{kN}$$

Τα εντατικά μεγέθη στον πόδα του μεσοβάθρου 2 είναι τα εξής:

$$N_{2,x} = 6940,8\text{kN} + 8,45\text{m} \times 0,90\text{m} \times 7\text{m} \times \frac{25\text{kN}}{\text{m}^3} = 8271,7\text{kN}$$

$$Q_{2,x} = 1168,9\text{kN}$$

$$M_{2,x} = 1168,9\text{kN} \times 7\text{m} = 8182,3\text{kNm}$$

- Κατά y ($T_C < T_Y < T_D$):

Επιτάχυνση σχεδιασμού:

$$S_{d,y}(1,55\text{sec}) = 1,30 \times 0,24 \times 9,81 \times 1,20 \times 1,0 \times \frac{2,5}{1,0} \times \frac{0,50}{1,55} = 2,96\text{m/s}^2$$

Σεισμική τέμνουσα γέφυρας:

$$V_{Ed,y} = 1700,92Mgr \times \frac{2,96m}{s^2} = 5034,7kN$$

Ελέγχεται ως δυσμενέστερο το μεσόβαθρο 2. Η σεισμική τέμνουσα του εφεδράνου είναι ίση προς:

$$Q_y = 5034,7 \times \frac{7011}{28048,5} = 1258,5kN$$

Τα εντατικά μεγέθη στον πόδα του μεσοβάθρου 2 είναι τα εξής:

$$N_{2,y} = 6940,8kN + 8,45m \times 0,90m \times 7m \times \frac{25kN}{m^3} = 8271,7kN$$

$$Q_{2,y} = 1258,5kN$$

$$M_{2,y} = 1258,5kN \times 7m = 8809,5kNm$$

Συνεπώς, τα μεγέθη ελέγχου του μεσοβάθρου είναι:

$$N_2 = 8271,7 + 0,3 \times 8271,7 = 10753,2kN$$

$$Q_2 = 1258,5 + 0,3 \times 1168,9 = 1609,2kN$$

$$M_2 = 8809,5 + 0,3 \times 8182,3 = 11264,2kNm$$

5. Έλεγχος επάρκειας εφεδράνων

Τα μεγέθη που έχουν υπολογιστεί για τα εφείδρανα αφορούν και τα 4 εφείδρανα κάθε βάθρου. Συνεπώς για ένα εφείδρανο του μεσοβάθρου 2 ισχύει:

- Έλεγχος αντοχής

Συνολικό νεκρό βάρος ανωδομής: $\Sigma(G + G') = 270\text{kN/m} \times 61,8\text{m} = 16686\text{Kn}$

Κατακόρυφο φορτίο εφεδράνου: $N_{g+g'} = \frac{6940,8}{4} = 1735,2\text{kN}$

Τέμνουσα εφεδράνου: $Q_{Ed} = 1609,2\text{kN}$

Σεισμική μετακίνηση φορέα: $d_{Ed,x} = \frac{4949,7}{26977,2} = 0,18\text{m}$

$$d_{Ed,y} = \frac{5034,7}{28048,5} = 0,18\text{m}$$

$$d_{Ed} = 0,18 + 0,3 \times 0,18 = 0,23\text{m}$$

Δρώσα κατακόρυφη τάση εφεδράνου:

$$\sigma_e = \frac{1735,2}{(0,5 - 0,18) \times (0,6 - 0,18)} = 12910,7\text{kPa}$$

Συντελεστής σχήματος για εφέδρανα διαστάσεων $500 \times 500 \times 154/286$ και πάχος ελαστομερούς $t = 10\text{mm}$:

$$S = \frac{b_x \times b_y}{2 \times (b_x + b_y) \times t} = \frac{500 \times 600}{2 \times (500 + 600) \times 10} = 13,64$$

Ανηγγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω θλίψης:

$$\gamma_c = \frac{1,5 \times \sigma_e}{S \times G_g} = \frac{1,5 \times 12910,7}{13,64 \times 900} = 1,58$$

Ανηγγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω σεισμικής τέμνουσας:

$$\gamma_s = \frac{d_{Ed}}{\sum t_i} = \frac{0,23}{0,154} = 1,49 < 2,0$$

Η ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση λόγω γωνίας στροφής μπορεί στην παρούσα φάση να αγνοηθεί.

Συνολική ανηγμένη διατμητική παραμόρφωση:

$$\gamma_{Ed} = 1,58 + 1,49 = 3,07 < 0,75 \times 5,00 = 3,75$$

Ο έλεγχος αντοχής των εφεδράνων ικανοποιείται.

- Έλεγχος ευστάθειας

Αυτή θεωρείται ότι εξασφαλίζεται όταν ικανοποιείται κατ' ελάχιστο ένα από τα δύο παρακάτω κριτήρια:

$$b_{min} \geq 4 \sum t_i \rightarrow 500 \geq 4 \times 154 = 616$$

Το κριτήριο δεν ικανοποιείται

$$\sigma_e \leq \frac{2 \times b_{min}}{3 \times \sum t_i} \times G \times S \rightarrow 12910,7 \leq \frac{2 \times 0,5}{3 \times 0,154} \times 900 \times 13,64 = 26571,4$$

Το κριτήριο ικανοποιείται

Άρα ο έλεγχος ευστάθειας καλύπτεται.

- Έλεγχος ολίσθησης

Δεν χρειάζεται να πραγματοποιηθεί γιατί τα εφέδρανα είναι τύπου 4, δηλαδή αγκυρωμένα και πάνω και κάτω.

Συνεπώς τα εφέδρανα επαρκούν.

6. Έλεγχος επάρκειας υποστυλωμάτων

Τα κρίσιμα εντατικά μεγέθη στον πόδα του μεσοβάθρου 2 είναι:

$$N_2 = 10753,2kN$$

$$Q_2 = 1609,2kN$$

$$M_2 = 11264,2kNm$$

Διατομή μεσοβάθρου ορθογωνική $8,45m \times 0,90m$ από οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C25/30 και ποιότητας χάλυβα οπλισμού B500C.

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{10753,2}{8,45 \times 0,9 \times \frac{0,85 \times 25000}{1,5}} = 0,10$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{11264,2}{8,45 \times 0,9^2 \times \frac{0,85 \times 25000}{1,5}} = 0,12$$

Από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης για το συνδυασμό $\nu_{Ed} = 0,10$ και $\mu_{Ed} = 0,12$ και για $d_1 / h = 0,05$ προκύπτει $\omega_{tot} \approx 0,2$ και συνεπώς ο απαιτούμενος οπλισμός είναι:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \times b \times h \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,2 \times 8,45 \times 0,9 \times \frac{\frac{0,85 \times 25}{1,5}}{\frac{500}{1,15}} = 495,6cm^2$$

Άρα

$$\rho_{s,tot} = \frac{495,6}{845 \times 90} = 0,65\% < \rho = 1,11\%$$

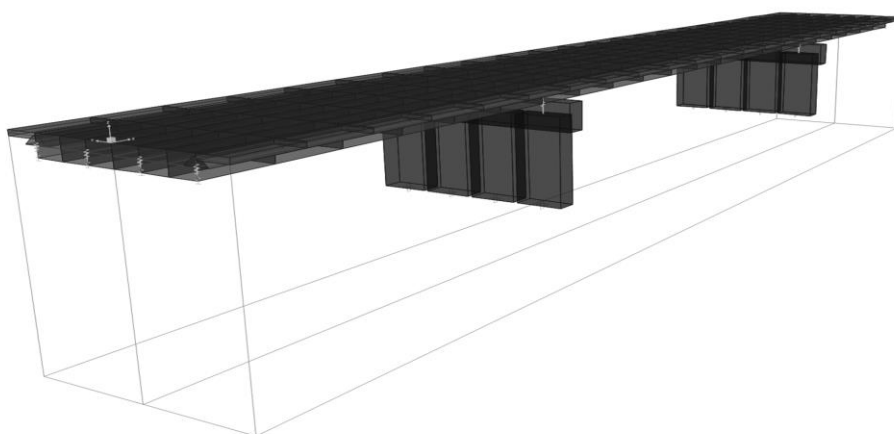
Συνεπώς το υποστύλωμα επαρκεί.

Τελικά, βλέπουμε ότι η γέφυρα πέρασε και το δεύτερο έλεγχο με επιτυχία πράγμα που φυσικά ήταν αναμενόμενο από τη στιγμή που δεν χρειαζόταν να πραγματοποιηθεί αυτός ο έλεγχος.

3.5 Εφαρμογή του δευτεροβάθμιου ελέγχου που περιγράφηκε στην παράγραφο 2,4

1. Μοντελοποίηση γέφυρας

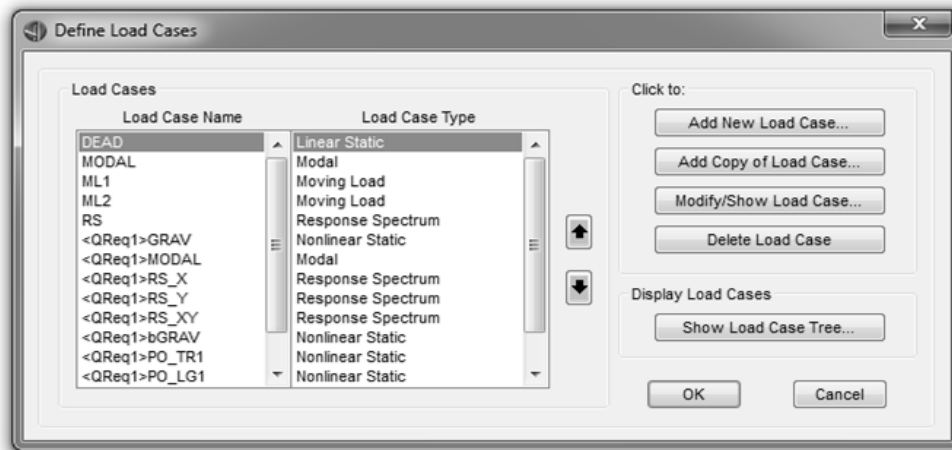
Η γέφυρα προσομοιώθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος CSiBridge 2016 v18.1.1. Το κατάστρωμα αποτελείται από επιφανειακά πεπερασμένα στοιχεία και θεωρείται ότι έχει μηδενική κατά μήκος κλίση αλλά και επίκλιση. Επίσης, απαρτίζεται από μια συνεχή προεντεταμένη δοκό 3 ανοιγμάτων μήκους 17-27,8-17m. Η διατομή του καταστρώματος είναι συμπαγής με πλάτος 6,90m και ύψος 1,00m. Εκατέρωθεν της διατομής προεξέχουν πρόβολοι μήκους 1,30m και πάχους 0,35m. Τα μεσόβαθρα προσομοιώνονται ως 4 γραμμικά στοιχεία που αποτελούνται από ορθογωνική διατομή $2,11 \times 0,90\text{m}^2$ και έχουν ύψος 7 και 6m. Ο χωρισμός αυτός σε 4 στοιχεία γίνεται στα σημεία όπου τοποθετούνται τα εφεδράνα και έτσι επιτυγχάνεται καλύτερα η παραλαβή των φορτίων. Η σύνδεση του καταστρώματος με τα βάθρα γίνεται μέσω 4 ελαστομεταλλικών εφεδράνων τύπου 4 και προσομοιώνεται με γραμμικά ελατήρια με οριζόντιες δυσκαμψίες κατά x και y 1753,3kN/m το καθένα όπως προέκυψε από τον δευτεροβάθμιο έλεγχο του Ο.Α.Σ.Π.. Τα ακρόβαθρα και τα μεσόβαθρα θεωρούνται ότι στηρίζονται με πάκτωση στο έδαφος.



Σχήμα 3.6: Τρισδιάστατο μοντέλο γέφυρας

Οι φορτίσεις που λήφθηκαν υπόψη είναι οι εξής:

- Τα μόνιμα και τα πρόσθετα μόνιμα βάρη της κατασκευής (DEAD + <QReq1>GRAV + <QReq1>bGRAV)
- Τα κινητά φορτία χρησιμοποιώντας τη πρότυπη φόρτιση 1 του EC1 για τις γέφυρες (ML1 + ML2)
- Το φάσμα απόκρισης για σεισμό με τον EC8 (RS + <QReq1>RS_X + <QReq1>RS_Y + <QReq1>RS_XY)
- Ανάλυση Pushover με στοχευόμενη μετακίνηση το 4% του ύψους του μεσοβάθρου (<QReq1>PO_TR1 + <QReq1>PO_LG1 + <QReq1>PO_TR2 + <QReq1>PO_LG2)

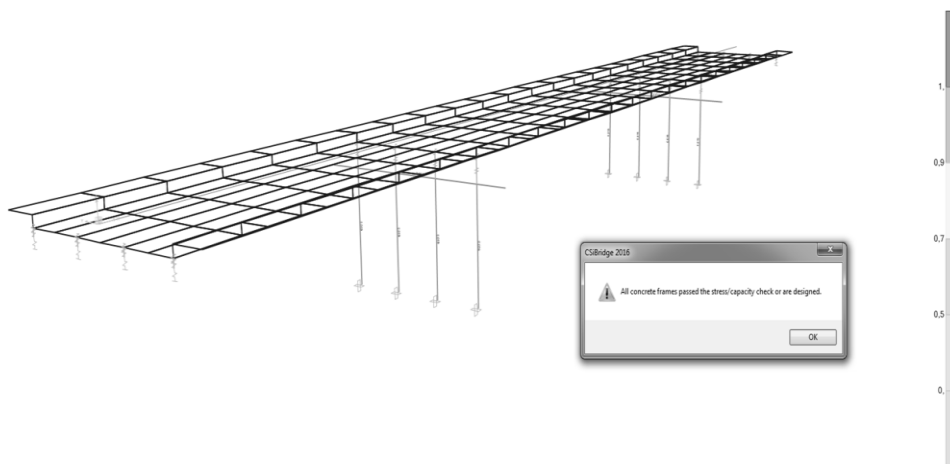


Σχήμα 3.7: Φορτίσεις γέφυρας

Οι φορτίσεις <QReq1> είναι μη γραμμικές και δημιουργήθηκαν για την ανάλυση Pushover. Η ανάλυση Pushover έγινε και στις δύο οριζόντιες διευθύνσεις (TR + LG) και στα δύο μεσοβάθρα (1 + 2).

2. Έλεγχος των μεσοβάθρων

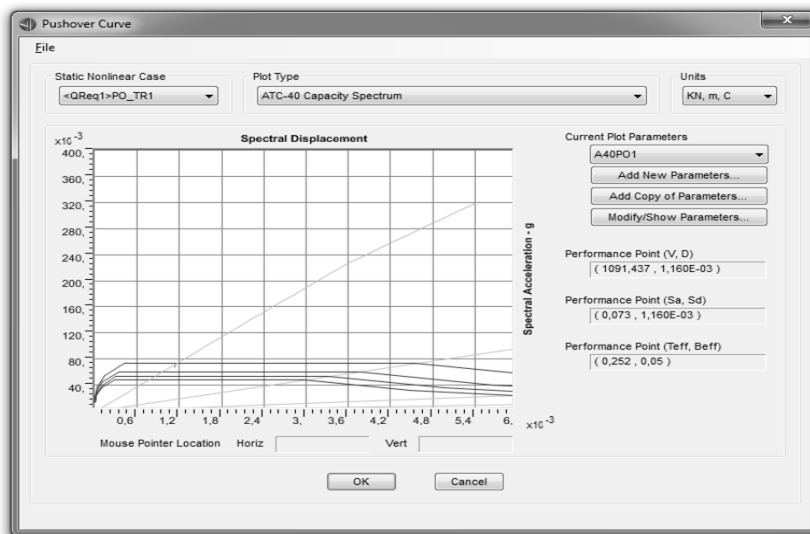
Για τους συνδυασμούς του EC1 έγινε έλεγχος των διατομών των μεσοβάθρων που είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα.



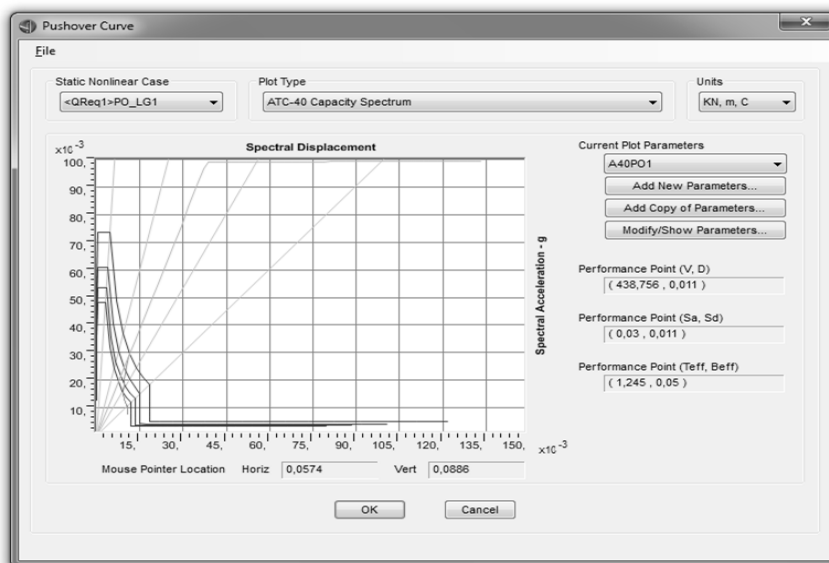
Σχήμα 3.8: Έλεγχος εφεδράνων

3. Ανάλυση Pushover

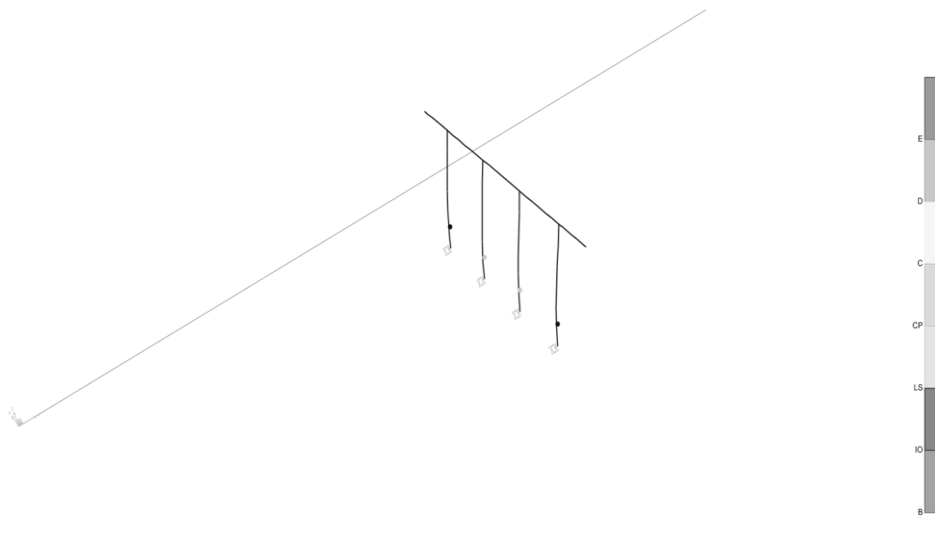
Η ανάλυση Pushover είναι μια μη-γραμμική στατική ανάλυση. Πραγματοποιήθηκε δίνοντας τη δυνατότητα στα μεσόβαθρα να δημιουργήσουν πλαστικές αρθρώσεις στο πάνω και στο κάτω μέρος τους. Κάθε ένα μεσόβαθρο εξετάστηκε ξεχωριστά και για τις δύο οριζόντιες διευθύνσεις όπως έχει αναφερθεί. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν οι κατάλληλες μη γραμμικές φορτίσεις. Η βασική φόρτιση για την Pushover επιλέχθηκε να ασκεί μετατόπιση στα μεσόβαθρα μέχρι μια στοχευόμενη που είναι περίπου το 4% του ύψους του μεσοβάθρου. Έπειτα κατασκευάστηκαν οι καμπύλες Ζήτησης – Ικανότητας χρησιμοποιώντας το φάσμα του EC8. Παρουσιάζεται μόνο το μεσόβαθρο 1 που κρίνεται ως δυσμενέστερο.



Σχήμα 3.9: Καμπύλη Ζήτησης - Ικανότητας για το μεσόβαθρο 1 κατά y



Σχήμα 3.10: Καμπύλη Ζήτησης - Ικανότητας για το μεσόβαθρο 1 κατά x



Σχήμα 3.11: Δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων στον πόδα του μεσοβάθρου 1

Στις καμπύλες (Σχήματα 3.9 και 3.10) οι πυκνές καμπύλες αντιπροσωπεύουν το φάσμα απόκρισης του EC8 ενώ οι απομονωμένες αντιπροσωπεύουν την καμπύλη Ικανότητας της κατασκευής. Παρατηρείται ότι οι καμπύλες ικανότητας κάνουν ένα σπάσιμο ψηλά που υποδηλώνει τη διαρροή των μεσοβάθρων (Σχήμα 3.11 - δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων). Τέλος, συμπεραίνεται ότι το σημείο επαφής μεταξύ του φάσματος απόκρισης και της καμπύλης ικανότητας βρίσκεται πολύ χαμηλά στην ελαστική περιοχή. Συνεπώς η γέφυρα δεν κινδυνεύει από κατάρρευση και όπως και ο προηγούμενος έλεγχος (δευτεροβάθμιος Ο.Α.Σ.Π.) ικανοποιείται.

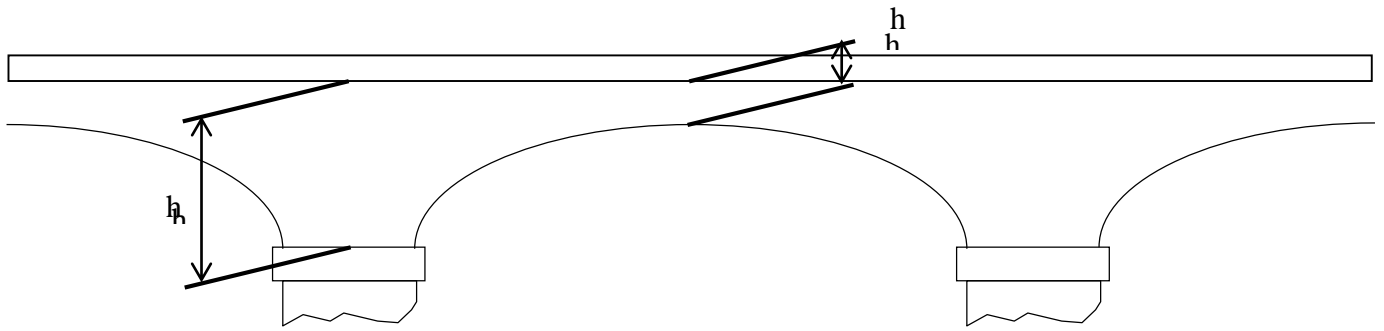
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Calvi, G. M., Kawashima, K., et al. (2007) **Seismic bridge design and retrofit – structural solutions**. Lausanne: International Federation for Structural Concrete (fib).
2. Gueguen, P. (2013) **Seismic Vulnerability of Structures**. London: ISTE Ltd και Hoboken: John Wiley & Sons, Inc..
3. Mooney, C. (1997) **Monte Carlo Simulation**. Thousand Oaks: SAGE Publications, Inc..
4. Buckle, I., Friedland, I., et al. (2006) **SEISMIC RETROFITTING MANUAL FOR HIGHWAY STRUCTURES: PART 1 – BRIDGES**. McLean: Office of Infrastructure Research and Development, Federal Highway Administration.
5. FHWA (2002) ‘Managing Bridges the Pontis Way’, < <http://web.archive.org/web/20071027141421/http://www.tfhr.gov/focus/july02/bridges.htm> >, τελευταία επίσκεψη: 24/06/1993.
6. Weseman, W. (1995) **Recording and Coding Guide for the Structure Inventory and Appraisal of the Nation's Bridges**. Washington: Office of Engineering.
7. Bardow, A. (2014) **The MassDOT Bridge Prioritization System and the Process for Selecting Bridges for MPO Programming**. Project Selection Advisory Council Presentation: 13/03/2014.
8. EN 1998-1 (2004) **Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings**. Brussels: CEN.
9. Davi, D., Criado, D., et al. (2012) **A Global Methodology for Seismic Vulnerability Assessment and Retrofit of Existing Bridges adapted to the French Context**. 15 WCEE, Lisboa 2012.
10. Davi, D., Kahan, M., et al. (2010) **SISMOA Evaluation préliminaire du risque sismique sur les ouvrages d'art existants**. Lyon: CETE.

11. Καραμάνος, Α., Πανουτσόπουλος, Θ., et al. (2002) **Συμπλήρωση και Επέκταση Μεθοδολογίας Προσεισμικού Ελέγχου Υφιστάμενων Γεφυρών με Πρακτικές Εφαρμογές**. Αθήνα: Ο.Α.Σ.Π..
12. Λεπίδας, Ι., Σπινάσας, Ι. (2009) **ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΓΕΦΥΡΩΝ**. Αθήνα: Υπουργείο Υποδομών Μεταφορών και Δικτύων (Γ.Γ.Δ.Ε. / Διεύθυνση Δ3).
13. Kawahira, J., Shitou, K., et al. (2010) **SEISMIC RETROFIT STUDY OF CABLE-STAYED BRIDGE ON TOKYO-GAIKAN EXPRESSWAY**. Japan: Public Works Research Institute.
14. Vinay Kumar, M., Shivanand, G. (2016) **Seismic Performance Evaluation of Existing Bridge**. India: International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR).
15. EN 1992 – 1 - 1 (2004) **Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1 - 1: General rules and rules for buildings**. Brussels: CEN.

***ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΕΝΤΥΠΟ
ΑΠΟΓΡΑΦΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΜΕ ΤΗ
ΜΕΘΟΔΟ ΣΙΣΜΟΑ (2010)***

VULNERABILITE DES VOUTES



Epaisseur du tablier à la naissance des voûtes (m) $h_1 =$

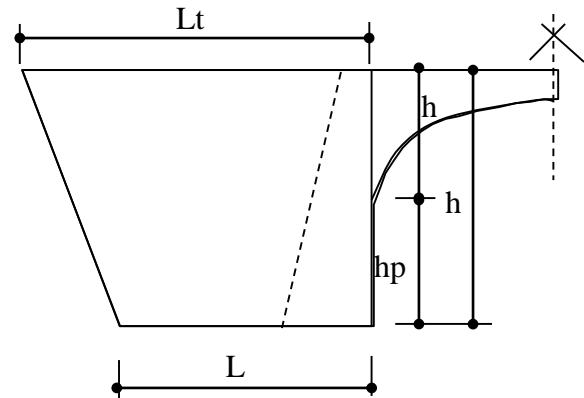
Epaisseur du tablier à la clé (m) $h_2 =$

Rq: Lorsque sur un même ouvrage, les épaisseurs varient, on prendra pour h_1 et h_2 les valeurs les plus défavorables. En particulier, lorsque l'ouvrage présente des culées hautes, h_1 représente la hauteur totale (voûte + culée).

Longueur du mur en tête (m) $L_t =$

Longueur du mur en pied (m) $L_p =$

Hauteur du piedroit (m) $h_p =$



Présence de tirants passifs

Oui

Non

VULNERABILITE DU TABLIER

Géométrie du tablier

Longueur totale de l'ouvrage (m):

Largeur utile droite (m):

Biais (g):

Rayon de courbure (m):

Nombre de travées:

	Culée C0	P1	P2	P3	P4	P5	Culée Cn
Hauteur des piles (m)							

	Travée 1	Travée 2	Travée 3	Travée 4	Travée 5	Travée 6
Longueurs des travées (m)						

Butées transversales

Des butées transversales sont présentes sur au moins deux appuis: **Oui** **Non**

Préciser quels sont les appuis dotés de butées:

.....
(Attention, les murs-cache ne sont pas des butées)

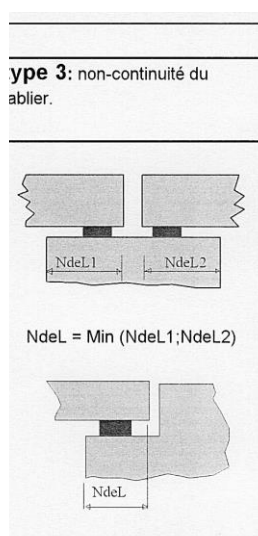
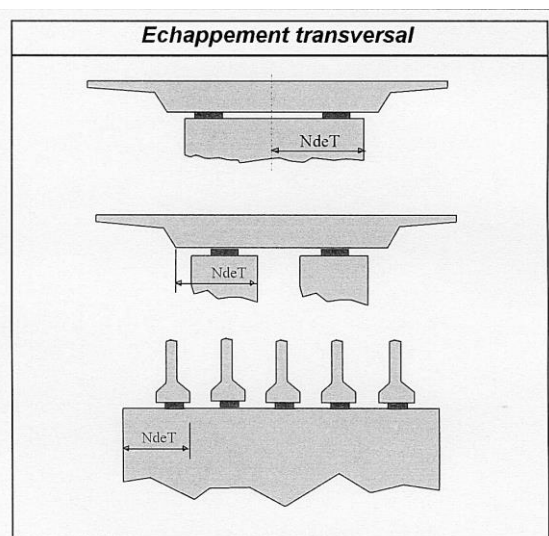
Commentaires:

.....

.....

Repos d'appuis

	Culée C0	P1	P2	P3	P4	P5	Culée Cn
NdeL (cm)							
NdeT (cm)							
Type de repos d'appui (1, 2 ou 3)							

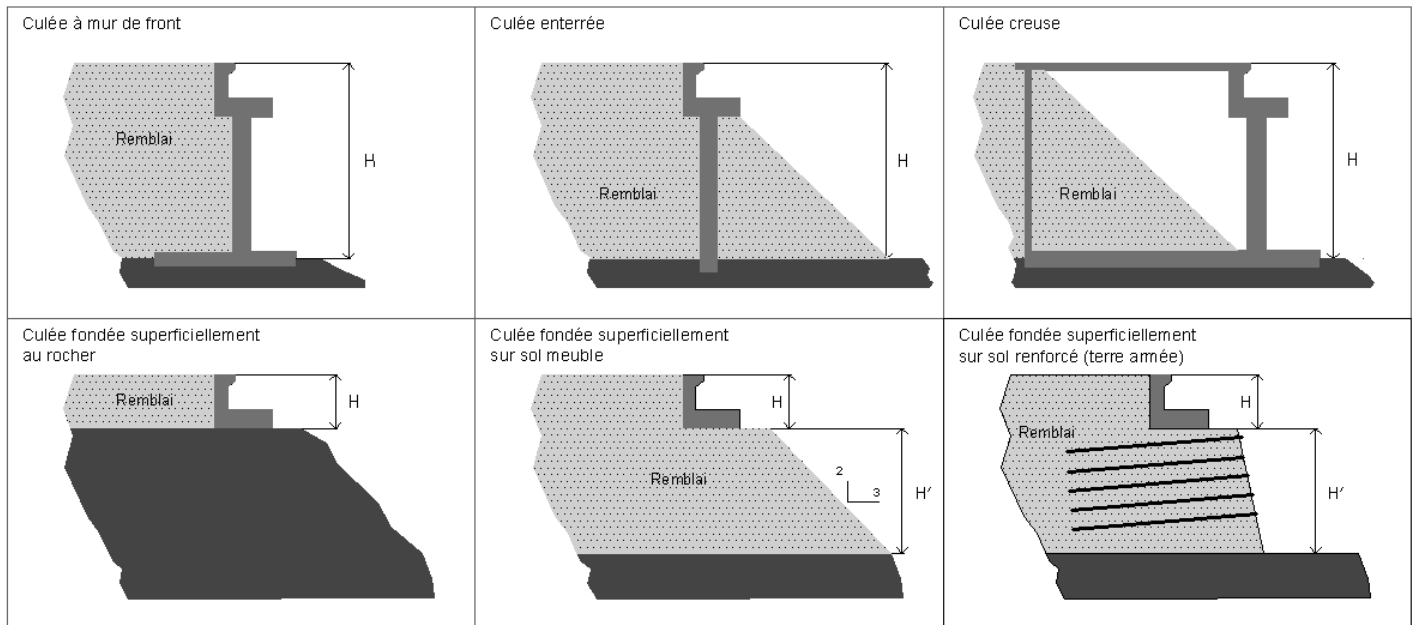


VULNERABILITE DES CULEES

Type de culées

	Culée C0	Culée Cn
absence d'informations		
culée à mur de front		
culée fondée superficiellement sur sol meuble		
culée enterrée		
culée creuse		
piédroit de portique		
culée fondée superficiellement sur terre armée		
culée fondée superficiellement sur rocher		

mur poids voile BA mur en Terre Armée



Disposition rencontrée latéralement aux culées

- murs « poids » latéraux
- voiles en « béton armé »
- murs en « Terre Armée »
- talus

.....

.....

.....

.....

Commentaires:

.....

.....

.....

Hauteur de remblai arrière:

Culée C0 (m): H =

Culée Cn (m): H =

VULNERABILITE DES PILES

Appareils d'appuis

	Culée C0	P1	P2	P3	P4	P5	Culée Cn
<i>non observable</i>							
encastrement							
appareil d'appui glissant							
appareil d'appui en élastomère fretté							
appareil d'appui fixe à pot							
appareil d'appui de type Freyssinet à section rétrécie de béton							
appareil d'appui permettant la rotation seule (rouleau, ...)							
appareil d'appui permettant la rotation et la translation (Freyssinet à balancier, à galet, ...)							

Piles

	P1	P2	P3	P4	P5
<i>absence d'informations</i>					
fûts massifs					
caissons					
Voiles (préciser l'épaisseur des voiles)					
colonnes multiples (préciser nombre de colonnes et diamètre)					
pires-marteaux (préciser le diamètre)					

VULNERABILITE DES FONDATIONS

Type de fondations	Culée C0	P1	P2	P3	P4	P5	Culée Cn
absence d'informations							
profondes (H ≥ 10 m.)							
semi-profonde (H ≤ 10 m.)							
superficielles							

- Risque de liquéfaction**
- une étude spécifique a démontré l'absence d'un risque de liquéfaction
 - liquéfaction possible (absence de données fiables)
 - liquéfaction certaine

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....
.....

- Risque de glissement**
- exclu (pente trop faible)
 - certain (car connaissance de glissement déclaré)
 - possible ($p > 30\%$) (p: pente du terrain naturel)

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....
.....

- Risque de chutes de blocs**
- absence de dispositif de protection
 - présence d'un grillage simple
 - présence d'un grillage ancré
 - présence d'un écran pare-blocs
 - présence d'un bouclier pare-blocs
 - présence d'un merlon ou d'une fosse

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....
.....

Risques autres (non saisis dans l'outil SISMOA, mais pouvant affecter la pérennité de l'ouvrage)

Nature du sol porteur

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....

Risque de cisaillement

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....

Présence d'affouillement

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....

Problèmes particuliers (faille, ...)

Commentaires: (préciser les sources d'informations).....
.....

