



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**Σχολή Πολιτικών Μηχανικών**

**Εργαστήριο Αντισεισμικής Τεχνολογίας**

**Αποτίμηση Φέρουσας Ικανότητας και διερεύνηση συμπεριφοράς σε  
φαινόμενα πλημμύρας και υποσκαφής της γέφυρας Γεροποτάμου  
Κρήτης**



**ΚΑΣΣΕΛΟΥΡΗ – ΣΙΔΕΡΗ ΓΕΩΡΓΙΑ**

**cv16025**

Επιβλέπων:

Φραγκιαδάκης Μιχαήλ, Αναπληρωτής Καθηγητής ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2022



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση των φαινομένων της πλημμύρας και της υποσκαφής σε βάθρα γεφυρών εντός της κοίτης ποταμού. Συγκεκριμένα, η μελέτη πραγματοποιήθηκε ως προς την υφιστάμενη γέφυρα του Γεροποτάμου Κρήτης. Η γέφυρα βρίσκεται βόρεια του νησιού στο νομό Ρεθύμνης και αποτελεί μέρος του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης.

Αναλυτικότερα παρουσιάζονται η γεωμετρία της γέφυρας, τα φορτία και οι κανονισμοί που εφαρμόστηκαν, καθώς και πληροφορίες σχετικά με τον τρόπο που προσομοιώθηκε το μοντέλο στο SAP2000. Η εισαγωγή της πλημμύρας ως κατανεμημένο φορτίο και της υποσκαφής ως κατακόρυφης και στροφικής μετακίνησης οδηγούν σε νέα εντατική κατάσταση. Η συνολική απόκριση της κατασκευής αξιολογείται μέσω της ελαστικής ανάλυσης. Τα αποτελέσματα της αποτίμησης αξιολογούν την επάρκεια του φορέα για επιβολή σεισμικού φορτίου και καθορίζουν την ενδεχόμενη απαίτηση ενίσχυσης ή επισκευής του.

Η εργασία κλείνει με προτάσεις βελτιστοποίησης της υφιστάμενης κατάστασης ενώ παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα και τα κύρια συμπεράσματα της μελέτης.

## **ABSTRACT**

The aim of the present Diploma Thesis is the investigation of the flood and scour phenomena acting on bridges' piers, within the riverbed. Specifically, the survey is about the existing Geropotamos Bridge which is located at the north part of the island of Crete, on the prefecture of Rethimno. It constitutes a section of the national motorway V.O.A.K.

More extensively, the specific Diploma Thesis presents the geometry of the bridge, the loads, the national regulations, as more information regarding the construction simulation on SAP2000. The insertion of flood as a distributed load, the scour as vertical movement and rotation leads to a new intensive situation. The total response is evaluated with the elastic seismic analysis. The results rate the total construction adequacy for the seismic load assessment and determine the potential reinforcement and repair requirement.

Finally, proposals for optimization of the existing construction as the analytical results and the main conclusions of the study are presented.





## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Φτάνοντας στο τέλος της παρούσης διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους τους ανθρώπους που με βοήθησαν και κυρίως:

Τον επιβλέποντα καθηγητή μου, Μιχαήλ Φραγκιαδάκη, για την ανάθεση της συγκεκριμένης μελέτης και την πολύτιμη καθοδήγησή του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της. Επίσης, τον ευχαριστώ πολύ για τη στήριξη, τον χρόνο που μου διέθετε και την άμεση ανταπόκρισή του σε όποιο πρόβλημα προέκυπτε.

Τους γονείς μου, Θωμά και Φλώρα, που βρίσκονται πάντα δίπλα μου και με υπομένουν.

Τους φίλους μου για τα ωραία φοιτητικά χρόνια που περάσαμε και ιδιαίτερος την Ισιδώρα, την Ιωάννα, το Βασίλη, το Θοδωρή και το Χρήστο για την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	vi
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	xiv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	19
1.1 Συνοπτικά στοιχεία για τις γέφυρες.....	19
1.1.1 Κατασκευαστικοί παράγοντες.....	19
1.1.2 Βλάβες από σεισμούς.....	28
1.1.3 Γενικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού γεφυρών .....	29
1.1.4 Κανονιστικά πλαίσια που χρησιμοποιούνται για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών.....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ .....	31
2.1 Γενικές πληροφορίες για τον Γεροπόταμο .....	31
2.2 Γενικές πληροφορίες για τη Γέφυρα Γεροποτάμου.....	34
2.3 Γενική Διάταξη του Έργου .....	41
2.4 Εμφανή Προβλήματα από Μακροσκοπικό Έλεγχο.....	47

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ SAP2000...48**

<b>3.1 Φορέας Ανωδομής .....</b>	<b>49</b>
<b>3.2 Μεσόβαθρα.....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.1 Δοκός Στέψης.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2.2 Κυκλικά Υποστυλώματα .....</b>	<b>58</b>
<b>3.2.3 Κάτω Δεσμός.....</b>	<b>59</b>
<b>3.3 Ακρόβαθρα .....</b>	<b>61</b>
<b>3.4 Υπολογισμός μάζας φορέα .....</b>	<b>61</b>
<b>3.4.1 Ίδιο βάρος φορέα.....</b>	<b>61</b>
<b>3.4.2 Καθαρό άνοιγμα γέφυρας .....</b>	<b>62</b>
<b>3.4.3 Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία.....</b>	<b>63</b>
<b>3.4.4 Κινητά Φορτία.....</b>	<b>64</b>
<b>3.4.5 Συνολικό Φορτίο και εισαγωγή στο μοντέλο .....</b>	<b>66</b>
<b>3.5 Εφέδρανα .....</b>	<b>69</b>
<b>3.5.1 Ιδιομορφική Ανάλυση .....</b>	<b>73</b>

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ.....77**

<b>4.1 Εισαγωγή – Γενικά Στοιχεία .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.1 Περιγραφή Φαινομένου Πλημμύρας .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.2 Αίτια, Μηχανισμοί και Χαρακτηριστικά Πλημμύρας.....</b>	<b>77</b>

4.1.3 Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας .....	81
4.2 Υπολογισμός Φορτίου Πλημμύρας .....	83
4.2.1 Ορθολογική Μέθοδος Υπολογισμού Μέγιστης Παροχής.....	84
4.2.2 Υπολογισμός Παραμέτρων Πλημμύρας .....	87
4.2.3 Εισαγωγή Φορτίου στο SAP2000.....	94
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ .....</b>	<b>99</b>
5.1 Εισαγωγή – Γενικά Στοιχεία .....	99
5.1.1 Περιγραφή Φαινομένου Υποσκαφής .....	99
5.1.2 Υποσκαφή και Διάβρωση .....	99
5.1.3 Συνέπειες Υποσκαφής .....	101
5.2 Υπολογισμός Φορτίου Υποσκαφής .....	103
5.2.1 Κατακόρυφη Μετακίνηση.....	103
5.2.2 Στροφική Μετακίνηση.....	106
5.2.3 Εισαγωγή Φορτίου στο SAP2000.....	107
5.2.4 Συμπεράσματα .....	123
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της γέφυρας</b> .....	<b>124</b>
6.1 Γενικά.....	124
6.2 Σεισμικές δράσεις σχεδιασμού .....	124

6.2.1 Προσδιορισμός Σεισμικού Φορτίου.....	125
6.2.2 Συντελεστής Συμπεριφοράς $q$ .....	127
6.2.3 Εισαγωγή Σεισμικού Φορτίου στο SAP2000 .....	130
6.2.4 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων .....	132
6.3 Προσδιορισμός της αντοχής και της πλαστιμότητας των κρίσιμων διατομών .....	134
6.3.1 Καθορισμός της ανελαστικής συμπεριφοράς διατομής οπλισμένου σκυροδέματος .....	135
6.4 Εισαγωγή Πλαστικών Αρθρώσεων (hinges) .....	140
6.4.1 Εισαγωγικά – Θεωρητικά Στοιχεία .....	140
6.4.2 Ιδιότητες των Πλαστικών Αρθρώσεων .....	141
6.5 Ελαστική Ανάλυση .....	154
6.5.1 Περιγραφή της μεθόδου .....	154
6.5.2 Εφαρμογή της ελαστικής μεθόδου στο SAP2000 .....	155
6.5.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover .....	155
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>158</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>160</b>

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1 – Πίνακας Υπολογισμού του βάρους, της μάζας και του εμβαδού για το σύνολο της κατασκευής	62
Πίνακας 2 – Υπολογισμός φορτίου ασφαλικών για κάθε άνοιγμα του φορέα	63
Πίνακας 3 – Υπολογισμός φορτίου επιστρώσεων για κάθε άνοιγμα του φορέα	63
Πίνακας 4 – Υπολογισμός φορτίου πεζοδρομίου για κάθε άνοιγμα του φορέα	63
Πίνακας 5 – Υπολογισμός Φορτίου στηθαίων για κάθε άνοιγμα του φορέα	64
Πίνακας 6 – Υπολογισμός Κινητού Φορτίου Κύριας Λωρίδας για κάθε άνοιγμα του φορέα	64
Πίνακας 7 – Υπολογισμός κινητού φορτίου για την 1 <sup>η</sup> δευτερεύουσα λωρίδα για κάθε άνοιγμα του φορέα	65
Πίνακας 8 - Υπολογισμός κινητού φορτίου για την 2 <sup>η</sup> δευτερεύουσα λωρίδα για κάθε άνοιγμα του φορέα	65
Πίνακας 9 - Υπολογισμός κινητού φορτίου για την εναπομένουσα δευτερεύουσα λωρίδα για κάθε άνοιγμα του φορέα	65
Πίνακας 10 – Υπολογισμός ισοδύναμης μάζας για εφαρμογή στον κάθε κόμβο	66
Πίνακας 11 – Υπολογισμοί Φορτίων και μαζών μέσω Excel	67
Πίνακας 12 – Πίνακας ιδιομορφών για την προσομοίωση χωρίς εφέδρανα	73
Πίνακας 13 - Πίνακας ιδιομορφών για την προσομοίωση με εφέδρανα - ελατήρια	75
Πίνακας 14 – Πίνακας Υπολογισμού συντελεστή απορροής c. Διαφάνειες μαθήματος Τεχνική Υδρολογία, Μπαλτάς, Μαμάσης	84
Πίνακας 15 – Πίνακας Περιόδου επαναφοράς – περιόδου βροχής. Διαφάνειες μαθήματος Τεχνική Υδρολογία, Μπαλτάς, Μαμάσης	85
Πίνακας 16 – Υπολογισμός συντελεστή σχήματος βάρθρου Cd κατά AASHTO	90
Πίνακας 17 – Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας ks. Διαφάνειες μαθήματος υδραυλικής Νάνου, Ευστρατιάδης, Κουτσογιάννης	92
Πίνακας 18 - Υπολογισμός συντελεστή σχήματος βάρθρου C <sub>I</sub> κατά AASHTO	93
Πίνακας 19 – Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών για το φορτίο πλημμύρας. Μοντέλο Α	97
Πίνακας 20 - Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών για το φορτίο πλημμύρας. Μοντέλο Β	98
Πίνακας 21 - Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών για το φορτίο πλημμύρας. Μοντέλο Γ	98
Πίνακας 22 – Πίνακας καταγραφής περιπτώσεων Υποσκαφής	107
Πίνακας 23 – Αξονική Ν, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Α	111
Πίνακας 24 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Α	111
Πίνακας 25 – Ροπή M3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Α	112





Πίνακας 60 – Συγκεντρωτικός Πίνακας υπολογισμού των καμπυλοτήτων διαρροής και αστοχίας για κάθε βάθρο	149
Πίνακας 61 – Πίνακας εντατικών μεγεθών ροπών για τους σεισμικούς συνδυασμούς μοντέλο Α	155
Πίνακας 62 - Πίνακας εντατικών μεγεθών ροπών για τους σεισμικούς συνδυασμούς μοντέλο Β	156
Πίνακας 63 - Πίνακας εντατικών μεγεθών ροπών για τους σεισμικούς συνδυασμούς μοντέλο Γ	156

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1- Μοντέλο Αμφιέριστου Φορέα γέφυρας.....	19
Εικόνα 2 – Αμφιέριστος Φορέας – Γέφυρα Γεροποτάμου Κρήτης.....	20
Εικόνα 3 – Αμφιέριστος Φορέας – Γέφυρας Πτελέας, Σπερχειός .....	20
Εικόνα 4 – Συνεχής φορέας.....	21
Εικόνα 5 – Σιδηροδρομική Γέφυρα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, Χαϊδάρι .....	21
Εικόνα 6 – Φορέας με δοκούς Gerber.....	22
Εικόνα 7 – Μονολιθική σύνδεση βάθρου - καταστρώματος.....	23
Εικόνα 8 – Γέφυρα Άραχθος – Περιστέρι, Εγνατία Οδός.....	23
Εικόνα 9 – Σύνδεση βάθρου καταστρώματος μέσω εφεδράνων .....	24
Εικόνα 10 – Σύνδεση βάθρου καταστρώματος μέσω εφεδράνων, γέφυρα Γεροποτάμου Κρήτης .....	24
Εικόνα 11 – Πτώση αμφιέριστων τμημάτων του φορέα της γέφυρας Showa – Ohashi στο σεισμό της Niigata, Ιαπωνία, 1964 .....	28
Εικόνα 12 – Καμπτική αστοχία μονόστυλων κυκλικών βάθρων του αυτοκινητοδρόμου Hanshin στο σεισμό του Kobe, Ιαπωνία, το 1995 .....	28
Εικόνα 13 – Διατμητική αστοχία βάθρου γέφυρας Dauktani, στο Yabani, Ιαπωνία 2011 .....	28
Εικόνα 14 – Υποχώρηση θεμελίωσης σε σιδηροδρομική γέφυρα .....	29
Εικόνα 15 – Γεωγραφική θέση της Γέφυρας Γεροποτάμου, Google Maps .....	31
Εικόνα 16 – Βόρεια όψη της Γέφυρας Γεροποτάμου Κρήτης .....	31
Εικόνα 17 – Υδάτινο Περιβάλλον – Ποταμός Γεροπόταμος .....	32
Εικόνα 18 – Παράκτια όψη του Γεροποτάμου .....	32
Εικόνα 19 – Υδροβιότοπος Γεροποτάμου I.....	33
Εικόνα 20 – Υδροβιότοπος Γεροποτάμου II.....	33
Εικόνα 21 – Γεροπόταμος ποταμός και Γέφυρα.....	34
Εικόνα 22 – Γεροπόταμος ποταμός και Γέφυρα II.....	35
Εικόνα 23 –Δοκός στέψης γέφυρας Γεροποτάμου.....	35
Εικόνα 24 – Τέσσερα εκατέρωθεν εφέδρανα στη δοκό στέψης .....	36
Εικόνα 25 – Αποδιοργανωμένη εικόνα των πλίνθων έδρασης με αποκάλυψη και οξείδωση των οπλισμών τους.....	37
Εικόνα 26 – Οξειδωμένα εφέδρανα πλάτους περί τα 30cm.....	37
Εικόνα 27 – Αποδιοργανωμένη εικόνα της περιοχής των εφεδράνων .....	37
Εικόνα 28 – Βάθρο 4 <sup>ο</sup> κατά σειρά με το έδαφος πέριξ αυτού να έχει δεχθεί υποσκαφή.....	38
Εικόνα 29 – Βάθρο πλήρως ενσωματωμένο στην κοίτη του ποταμού. Διαφαίνεται το πέδιλο της θεμελίωσης.....	39
Εικόνα 30 – Όψη του κεντρικού βάθρου εντός ροής .....	39
Εικόνα 31 – Όψη βάθρου θεμελιωμένου εντός των γαιών .....	40

Εικόνα 32 – Όψη ακροβάθρου .....	40
Εικόνα 33 – Κάτοψη Γέφυρας .....	41
Εικόνα 34 – Οριζόντια Τομή γέφυρας .....	42
Εικόνα 35 – Λεπτομέρεια κάτοψης βάθρου.....	43
Εικόνα 36 – Όψη Μεσοβάθρου .....	43
Εικόνα 37 – Όψη Ακροβάθρου .....	44
Εικόνα 38 – Τομή Μεσοβάθρου .....	44
Εικόνα 39 – Όψη Γέφυρας .....	45
Εικόνα 40 – Πλαϊνή Τομή Γέφυρας .....	46
Εικόνα 41 - Στοιχεία Υλικού Σκυροδέματος.....	48
Εικόνα 42 – Φωτογραφία Αρχείου κατά την κατασκευή. Διαφαίνονται τα καλούπια και η σκυροδέτηση .....	49
Εικόνα 43 – Προσομοίωση του καταστρώματος στο SAP2000 με την εντολή Section Designer .....	50
Εικόνα 44 – Μοντέλο προσομοιωμένο με γραμμικά στοιχεία .....	50
Εικόνα 45 – 3D μοντέλο. Εντολή Extrude .....	51
Εικόνα 46 – Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000.....	51
Εικόνα 47 – Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής .....	52
Εικόνα 48 – Άνω τμήμα της δοκού στέψης. Εντολή Section Designer .....	55
Εικόνα 49 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000.....	55
Εικόνα 50 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής .....	56
Εικόνα 51 – Κάτω τμήμα της δοκού στέψης. Εντολή Section Designer.....	56
Εικόνα 52 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000.....	57
Εικόνα 53 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής .....	57
Εικόνα 54 – Κυκλικά Υποστυλώματα. Εντολή Section Designer .....	58
Εικόνα 55 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000.....	58
Εικόνα 56 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής .....	59
Εικόνα 57 – Κάτω Δεσμός. Εντολή Section Designer .....	60
Εικόνα 58 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000.....	60
Εικόνα 59 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής .....	60
Εικόνα 60 – Κάτοψη βάθρου. Λοξότητα .....	62
Εικόνα 61 – Εισαγωγή μαζών στους κόμβους του φορέα στο SAP2000 .....	67
Εικόνα 62 – Πρότυπο εισαγωγής φορτίου στο SAP2000 .....	68
Εικόνα 63 – Εισαγωγή των δυσκαμψιών των ισοδύναμων ελατηρίων για την προσομοίωση των εφεδράνων στο SAP2000 .....	71
Εικόνα 64 – Σκαριφηματική διάταξη του σημείου σύνδεσης του καταστρώματος με τα βάθρα .....	71
Εικόνα 65 – Εισαγωγή ελατηρίων στο SAP2000 .....	72

Εικόνα 66 – Διάγραμμα ροπών του προσομοιώματος. Από τη μορφή του συμπεραίνουμε ότι ο φορέας έχει προσομοιωθεί με τη μέθοδο των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων .....	73
Εικόνα 67 - Διάγραμμα ροπών του προσομοιώματος. Από τη μορφή του συμπεραίνουμε ότι ο φορέας έχει προσομοιωθεί με τη μέθοδο των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων .....	75
Εικόνα 68 – Αίτια και τύποι των πλημμυρών απεικονισμένα. Πηγή: floods.ypeka .....	78
Εικόνα 69 – Υδρολογική Λεκάνη περιοχής Μυλοποτάμου. Πηγή: Μιχάλης Καλές .....	86
Εικόνα 70 – Πίνακας υπολογισμού τραχύτητας n. Διαφάνειες Μαθήματος Υδραυλικής, Νάνου, Ευστρατιάδης, Κουτσογιάννης.....	87
Εικόνα 71 – Σκαρίφημα διατομής ποταμού στην περιοχή του βάρθρου .....	88
Εικόνα 72 – Γεωγραφική απεικόνιση του ανάγλυφου του ποταμού στην θέση εκβολής του, στη γέφυρα. Google Maps.....	89
Εικόνα 73 – Υπολογισμός κλίσης εδάφους από Google Maps και Google Earth .....	89
Εικόνα 74 – Ταπείνωση της στάθμης του ύδατος από τα σχέδια αποτύπωσης .....	90
Εικόνα 75 – Σκαρίφημα Υπολογισμού του πλευρικού φορτίου πλημμύρας κατά AASHTO .....	93
Εικόνα 76 – Εισαγωγή φορτίου Πλημμύρας στο SAP2000 .....	94
Εικόνα 77 – Γέφυρα θεμελιωμένη σε πασσάλους που έχει υποστεί υποσκαφή.....	102
Εικόνα 78 – Κατάρρευση γέφυρας Διάβας λόγω υποσκαφής.....	103
Εικόνα 79 – Υπολογισμός ισοδύναμης οπής υποσκαφής .....	103
Εικόνα 80 – Υπολογισμός οριζόντιας διάστασης οπής υποσκαφής .....	104
Εικόνα 81 – Υποσκαμμένο έδαφος στο βάρθρο γέφυρας Γεροποτάμου .....	106
Εικόνα 82 – Υπολογισμός καθιζήσεων πεδύλων. Διαφάνειες μαθήματος Θεμελιώσεων. Βαλσαμής....	106
Εικόνα 83 - Διάγραμμα Αξονικής. Φορτίο Συνδυασμού .....	108
Εικόνα 84 – Διάγραμμα Αξονικής. Φορτίο Υποσκαφής. ....	108
Εικόνα 85 - Διάγραμμα Τέμνουσας V2. Φορτίο Συνδυασμού .....	109
Εικόνα 86 - Διάγραμμα Τέμνουσας V2. Φορτίο Υποσκαφής.....	109
Εικόνα 87 - Διάγραμμα Τέμνουσας V3. Φορτίο Υποσκαφής.....	109
Εικόνα 88 - Διάγραμμα Τέμνουσας V3. Φορτίο Συνδυασμού .....	109
Εικόνα 89 - Διάγραμμα Ροπής M2. Φορτίο Συνδυασμού.....	110
Εικόνα 90 – Διάγραμμα Ροπής M2. Φορτίο Υποσκαφής.....	110
Εικόνα 91 - Διάγραμμα Ροπής M3. Φορτίο Συνδυασμού.....	110
Εικόνα 92 - Διάγραμμα Ροπής M3. Φορτίο Υποσκαφής .....	110
Εικόνα 93 – Διάγραμμα κατανομής της έντασης για εξαναγκασμένη στροφή φ .....	123
Εικόνα 94 – Χάρτης προσδιορισμού Ζώνης Σεισμικής Επικινδυνότητας, ΦΕΚ 1154B/12-08-2003 .....	125
Εικόνα 95 – Όψη βάρθρου γέφυρας Γεροποτάμου .....	129
Εικόνα 96 – Εισαγωγή σεισμικού φορτίου κατά τη διεύθυνση Χ.....	131
Εικόνα 97 - Εισαγωγή σεισμικού φορτίου κατά τη διεύθυνση Υ.....	131
Εικόνα 98 – Προσδιορισμός Πλαστικών Αρθρώσεων στη βάση των κυκλικών υποστυλωμάτων .....	134

Εικόνα 99 – Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος .....	136
Εικόνα 100 – Διάγραμμα τάσεων χαλύβδινων ράβδων σπλισμού .....	137
Εικόνα 101 – Οπλισμένη διατομή του καταστρώματος στο SAP2000 .....	137
Εικόνα 102 – Οπλισμένη διατομή κυκλικών υποστυλωμάτων στο SAP2000 .....	138
Εικόνα 103 – Χαρακτηριστικές Τιμές M, φ για το βάθρο 1 .....	138
Εικόνα 104 - Χαρακτηριστικές Τιμές M, φ για το βάθρο 2 .....	139
Εικόνα 105 - Χαρακτηριστικές Τιμές M, φ για το βάθρο 3 .....	139
Εικόνα 106 - Χαρακτηριστικές Τιμές M, φ για το βάθρο 4 .....	140
Εικόνα 107 – Ιδιότητες Πλαστικών Αρθρώσεων. Ισχύει P-M2-M3 λόγω της διαξονικής κάμψης των υποστυλωμάτων .....	142
Εικόνα 108 – Πλαστικές Αρθρώσεις όπως φαίνονται μετά τον προσδιορισμό τους στο SAP2000 .....	142
Εικόνα 109 – Εισαγωγή της πλαστικής άρθρωσης στη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάθρου – λεπτομέρεια. Διαφαίνεται η κωδική ονομασία .....	143
Εικόνα 110 – Καμπύλη ικανότητας κατασκευής όπως αυτή ορίζεται στον ΕΚ8 .....	147
Εικόνα 111 – Καμπύλη ικανότητας δομικού μέλους με σημειωμένες τις Στάθμες Επιτελεστικότητας, όπως αυτή ορίζεται στον Ευρωκώδικα 8.....	148
Εικόνα 112 – Υπολογισμός των κρίσιμων μετατοπίσεων και καμπυλοτήτων για τις Στάθμες Επιτελεστικότητας, όπως αυτές ορίζονται στο Παράρτημα 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. ....	148
Εικόνα 113 – Διάγραμμα ροπών στροφών για τη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάθρου 1 .....	149
Εικόνα 114 - Διάγραμμα ροπών στροφών για τη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάθρου 2 .....	150
Εικόνα 115 - Διάγραμμα ροπών στροφών για τη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάθρου 3 .....	150
Εικόνα 116 - Διάγραμμα ροπών στροφών για τη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάθρου 4 .....	151
Εικόνα 117 – Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων (δεδομένα καμπυλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 1 .....	152
Εικόνα 118 - Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων (δεδομένα καμπυλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 2 .....	152
Εικόνα 119 - Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων (δεδομένα καμπυλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 3 .....	153

Εικόνα 120 - Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστυλωμάτων (δεδομένα καμπυλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθος 4 .....	153
Εικόνα 121 – Διάγραμμα ροπής M2 για το σεισμικό συνδυασμό EQ3 .....	157
Εικόνα 122 - Διάγραμμα ροπής M3 για το σεισμικό συνδυασμό EQ3.....	157

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Συνοπτικά στοιχεία για τις γέφυρες

#### 1.1.1 Κατασκευαστικοί παράγοντες

##### 1) Φορείς

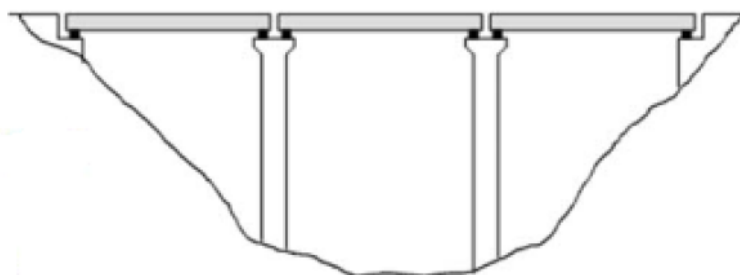
##### i. Αμφιέρειστοι φορείς

##### Πλεονεκτήματα:

- Ο φορέας μπορεί να λάβει διαφορετικές καθιζήσεις βάθρων και τεκτονικές κινήσεις
- Επιτρέπεται η προκατασκευή (προκατασκευασμένες δοκοί)

##### Μειονεκτήματα

- Μεγάλες ροπές στο μέσο των ανοιγμάτων
- Κίνδυνος πτώσης του καταστρώματος κατά τη διάρκεια σεισμών (πλατιές επίπεδες περιοχές)
- Μη καθαρή σεισμική απόκριση
  - Ασυγχρόνιστη κίνηση καταστρωμάτων
  - Κίνδυνος σύγκρουσης μεταξύ υπερκείμενων καταστρωμάτων



Εικόνα 1- Μοντέλο Αμφιέρειστου Φορέα γέφυρας



*Εικόνα 2 – Αμφιέριστος Φορέας – Γέφυρα Γεροποτάμου Κρήτης*



*Εικόνα 3 – Αμφιέριστος Φορέας – Γέφυρας Πτελέας, Σπερχειός*



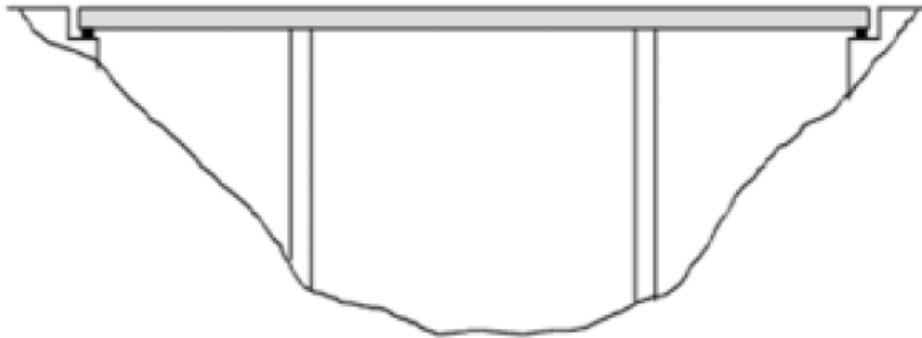
ii. Συνεχείς φορείς

Πλεονεκτήματα:

- Καλή κατανομή ροπών μεταξύ στηρίξεων και ανοιγμάτων → μικρό πάχος καταστρώματος
- Καλή σεισμική συμπεριφορά
  - Το κατάστρωμα δρα σαν διάφραγμα → όλα τα βάθρα κινούνται παρόμοια
  - Πρακτικά, δεν υπάρχει κίνδυνος πτώσης του καταστρώματος

Μειονεκτήματα:

- Ευαίσθητος φορέας σε διαφορικές μετατοπίσεις των βάθρων
- Ο φορέας δεν απορροφά τεκτονικές μετακινήσεις



Εικόνα 4 – Συνεχής φορέας



Εικόνα 5 – Σιδηροδρομική Γέφυρα μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων, Χαϊδάρι

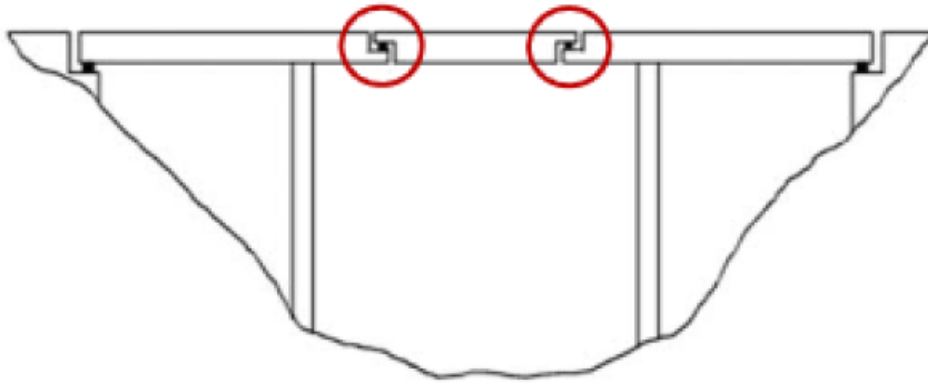
iii. Φορέας με αρμούς σε ενδιάμεσες θέσεις ανοιγμάτων (δοκοί Gerber)

Πλεονεκτήματα:

- Καλύτερη Εξισορρόπηση ροπών μεταξύ ανοιγμάτων και στηρίξεων

Μειονεκτήματα:

- Σοβαρός κίνδυνος πτώσης καταστρώματος εξαιτίας περιορισμένου μήκους έδρασης
- Απαιτούνται ειδικά συστήματα σύνδεσης και στήριξης για να μειωθεί ο κίνδυνος πτώσης του καταστρώματος.



*Εικόνα 6 – Φορέας με δοκούς Gerber*

2) Σύνδεση βάρου – καταστρώματος

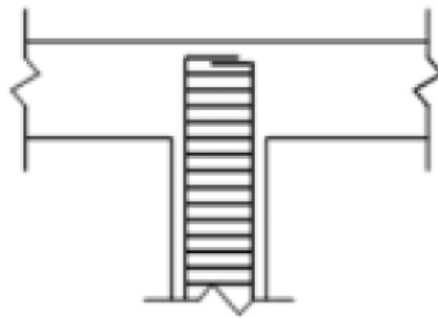
i. Μονολιθική

Πλεονεκτήματα:

- Μικρές μετακινήσεις (δύσκαμπτες κατασκευές)

Μειονεκτήματα:

- Ανάπτυξη σεισμικών ροπών στο κατάστρωμα
- Θερμοκρασιακές μεταβολές, συστολή ξηράνσεως και ερπυσμός παράγουν παραμορφώσεις των βάρων



Εικόνα 7 – Μονολιθική σύνδεση βάρου - καταστρώματος



Εικόνα 8 – Γέφυρα Άραχθος – Περιστερι, Εγνατία Οδός

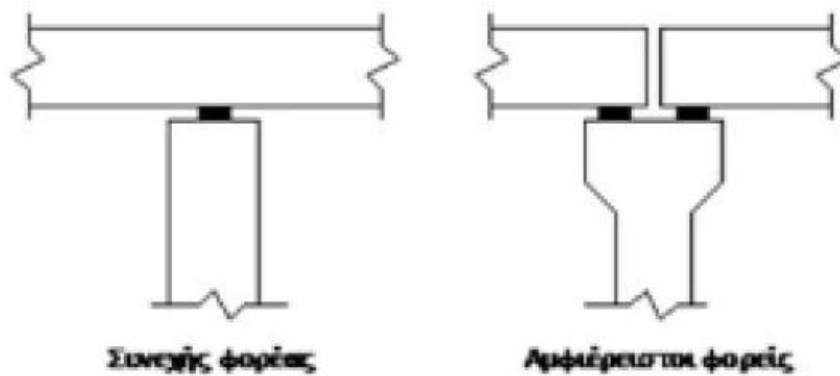
ii. Μέσω εφεδράνων

Πλεονεκτήματα:

- Εύκαμπτα συστήματα → τα εφεδρανα αποτελούν τύπο σεισμικής μόνωσης

Μειονεκτήματα:

- Μεγάλες σεισμικές μετατοπίσεις (με κίνδυνο κατάρρευσης του καταστρώματος)
- Τα βάθρα συμπεριφέρονται ως μονόπακτα υποστυλώματα → μεγάλες ροπές στον πόδα των βάθρων



Εικόνα 9 – Σύνδεση βάρου καταστρώματος μέσω εφεδράνων



Εικόνα 10 – Σύνδεση βάρου καταστρώματος μέσω εφεδράνων, γέφυρα Γεροποτάμου Κρήτης

### Τύποι εφεδράνων

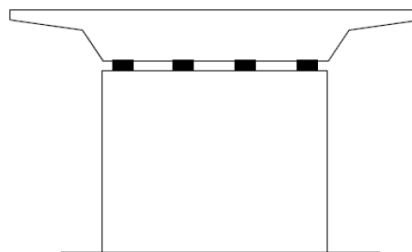
- Ελαστομεταλλικά εφέδρανα  
Επιτρέπουν οριζόντιες μετακινήσεις και στροφές
- Εφέδρανα εκιβωτισμένου ελαστομερούς (pot bearings)  
Εμποδίζουν τις οριζόντιες μετακινήσεις και επιτρέπουν μόνο τις στροφές
- Εφέδρανα ολίσθησης  
Μπορούν να είναι ελαστομεταλλικά ή pot bearings, διαθέτουν όμως και μηχανισμό ολίσθησης σε μία ή σε όλες τις διευθύνσεις

### iii. Μέσω σεισμικών συνδέσμων (stoppers)

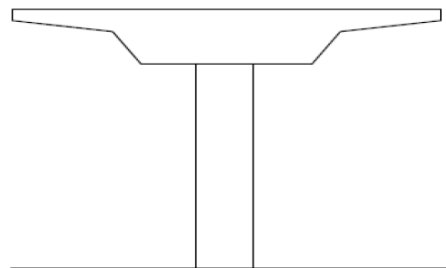
- Περιορίζουν τις μετακινήσεις με σκοπό την αποφυγή της πτώσης του καταστρώματος
- Συνήθως ενεργοποιούνται για μεγάλες μετακινήσεις
- Τυπικοί μηχανισμοί:
  - Προσκρουστήρες
  - Καλώδια σύνδεσης
  - Διατμητικοί τόρμοι – εντορμίες (Dowels – Sockets)

### 3) Τύποι βάθρων

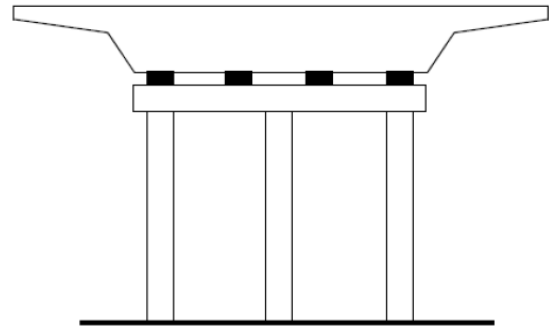
- Τοιχοειδές βάθρο



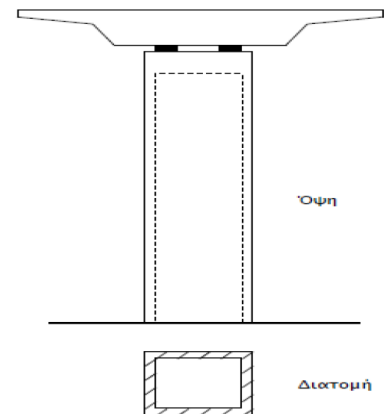
- Μονόστυλο βάθρο



- Πολύστυλο βάθρο

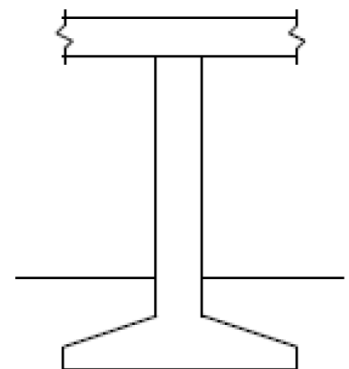


- Κοίλο βάθρο

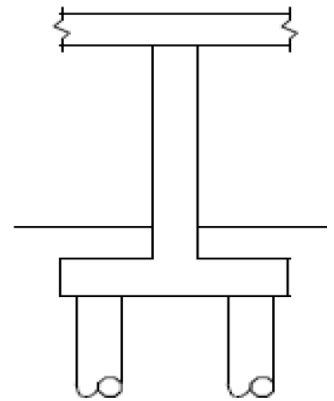


#### 4) Τύποι θεμελίωσης

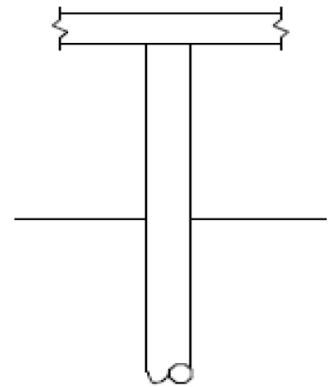
- Επιφανειακή θεμελίωση
  - Μόνο σε σκληρά εδάφη
  - Απαιτούνται μεγάλες εκσκαφές



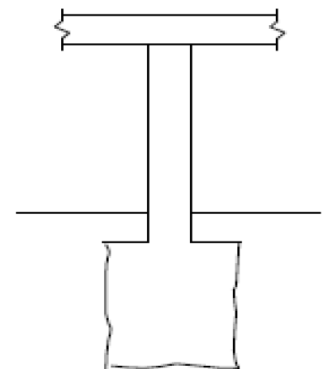
- Θεμελίωση με πασσάλους
  - Μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα εδάφη (εκτός από βράχο)
  - Παρουσιάζει καλή σεισμική συμπεριφορά



- Κολωνοπάσσαλοι
  - Δεν απαιτούνται κεφαλόδεσμοι και εκσκαφές
  - Δεν φέρει μεγάλες ροπές στη βάση
  - Παρέχει μερική πάκτωση στην βάση των βάθρων



- Θεμελίωση με φρέατα
  - Μόνο σε σκληρά και βραχώδη εδάφη





## 1.1.2 Βλάβες από σεισμούς

### 1) Πτώση καταστρώματος

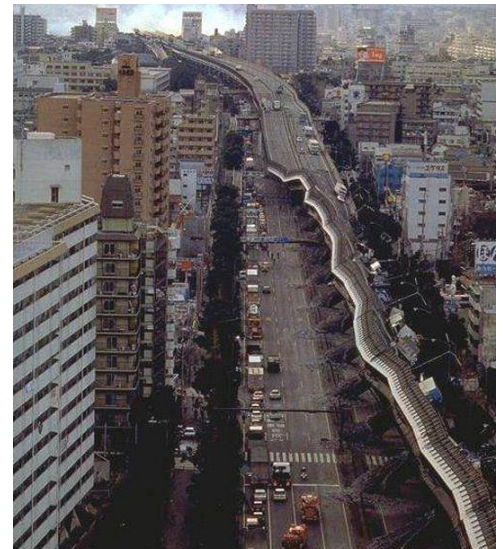
- Μεγάλες μετακινήσεις και ανεπαρκές μήκος έδρασης στα βάθρα



Εικόνα 11 – Πτώση αμφιέρειστων τμημάτων του φορέα της γέφυρας Showa – Ohashi στο σεισμό της Niigata, Ιαπωνία, 1964

### 2) Αστοχία βάθρων

- Καμπτική αστοχία
  - Οφείλεται σε ανεπαρκή αντοχή και πλαστιμότητα



Εικόνα 12 – Καμπτική αστοχία μονόστυλων κυκλικών βάθρων του αυτοκινητοδρόμου Hanshin στο σεισμό του Kobe, Ιαπωνία, το 1995

- Διατμητική αστοχία
  - Η διατμητική αντοχή μειώνεται σε διατομές που έχουν περάσει στην πλαστική περιοχή λόγω κάμψης. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στις περιοχές πλαστικών αρθρώσεων.



Εικόνα 13 – Διατμητική αστοχία βάθρου γέφυρας Dauktani, στο Yabani, Ιαπωνία 2011



### 3) Βλάβες στη θεμελίωση



Εικόνα 14 – Υποχώρηση θεμελίωσης σε σιδηροδρομική γέφυρα

#### 1.1.3 Γενικές αρχές αντισεισμικού σχεδιασμού γεφυρών

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι βασικές αρχές, στις οποίες στηρίζεται η αντισεισμική μελέτη των γεφυρών:

- Γενικώς, οι γέφυρες είναι απλές κατασκευές από στατική άποψη, γι' αυτό είναι και ευάλωτες σε σεισμούς. Δεν έχουν πολλούς βαθμούς υπερστατικότητας και για το λόγο αυτό υπάρχει κίνδυνος ευστάθειας με τη δημιουργία πλαστικών στροφών. Αυτό, βέβαια, είναι και στη φύση της κατασκευής, καθώς έρχεται να καλύψει εμπόδια, φυσικά και τεχνητά, με πολλούς κατασκευαστικούς περιορισμούς στην ανέγερση και λειτουργία της.
- Στις περισσότερες περιπτώσεις επιτρέπεται ανελαστική συμπεριφορά των βάρθρων σε κατάσταση σεισμού. Υπάρχουν όμως και αρκετές περιπτώσεις που απαιτείται σχεδιασμός για πρακτικά ελαστική συμπεριφορά.

Θεωρούμε ότι, αν γίνει ο σεισμός σχεδιασμού, θα συμβεί διαρροή σε ορισμένες θέσεις βάρθρων. Έτσι, ο αντισεισμικός υπολογισμός γίνεται για φορτίο  $q$  φορές μικρότερο από αυτό που απαιτείται για ελαστική συμπεριφορά, όπου  $q$  είναι ο επιτρεπόμενος συντελεστής συμπεριφοράς ανάλογα με το είδος των βάρθρων και τον τρόπο σύνδεσής τους με το φορέα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, που η γέφυρα αποτελεί τμήμα κάποιου σημαντικού άξονα συγκοινωνιών, μπορεί να ορισθεί ένας σεισμός λειτουργίας, ο οποίος είναι μικρότερος από το σεισμό σχεδιασμού, με μεγάλη όμως πιθανότητα να συμβεί τουλάχιστον μία φορά στη ζωή του έργου. Ο σχεδιασμός γι' αυτόν το σεισμό γίνεται για ελαστική συμπεριφορά ή συντελεστή συμπεριφοράς  $q$  κοντά στη

μονάδα, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι η γέφυρα θα παραμείνει σε λειτουργικότητα, χωρίς ζημιές.

- Πλαστικές αρθρώσεις επιτρέπονται μόνο στα βάθρα και όχι στο φορέα. Όχι όμως σε θέσεις με μεγάλη αξονική δύναμη. Στις περιοχές που αναμένονται πλαστικές αρθρώσεις θα πρέπει να προβλέπεται καλή περίσφιγξη, ώστε να εξασφαλίζεται η πλάστιμη συμπεριφορά. Περίσφιγξη θα πρέπει να εφαρμόζεται ακόμη και εάν γίνεται ελαστικός σχεδιασμός, επειδή μπορεί να συμβεί σεισμός μεγαλύτερος από το σεισμό σχεδιασμού, με αποτέλεσμα να προκληθεί διαρροή στα βάθρα.
- Είναι επιθυμητό οι πλαστικές αρθρώσεις να συμβαίνουν σε όσο το δυνατόν περισσότερα βάθρα και σχεδόν ταυτόχρονα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η σχέση ροπής αντοχής προς ροπή υπολογισμού πρέπει να είναι περίπου ίδια σε όλα τα βάθρα.
- Είναι επιθυμητό οι θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων να είναι προσβάσιμες και επιθεωρήσιμες.
- Δεν επιτρέπονται ψαθυρές μορφές αστοχίας. Η αντοχή σε διάτμηση πρέπει να είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την αντοχή σε κάμψη. Αυτό επιτυγχάνεται με τη διαστασιολόγηση έναντι διάτμησης με βάση την ικανοτική ένταση, δηλαδή για τη φόρτιση που αντιστοιχεί στο σχηματισμό ροπών στις θέσεις των πλαστικών αρθρώσεων, ίσων με τις πραγματικές αντοχές, λαμβανομένης υπόψη και της υπεραντοχής.

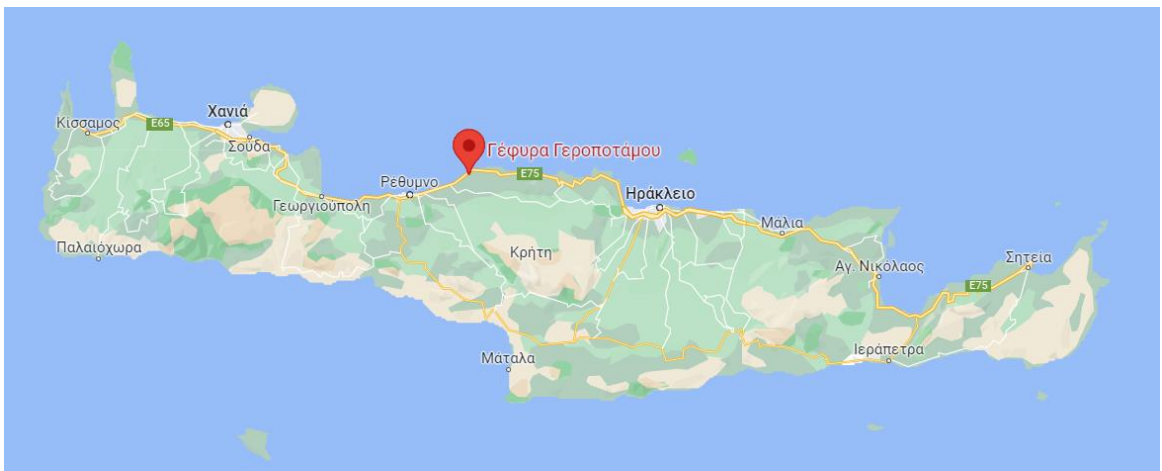
#### **1.1.4 Κανονιστικά πλαίσια που χρησιμοποιούνται για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών**

- Ευρωκώδικας 8 – Μέρος 2 (EN1998-2): «Σχεδιασμός των κατασκευών για σεισμικά φορτία, Γέφυρες»
- Ελληνικοί Κανονισμοί
  - «Οδηγίες για την αντισεισμική μελέτη γεφυρών», Εγκύκλιος Ε39/99 (ΔΜΕΟγ/ο/884/24.12.1999 Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)
  - «Οδηγίες για γέφυρες με σεισμική μόνωση», Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.
  - «ΚΑΝ.ΕΠΕ.» 2<sup>η</sup> Αναθεώρηση, 2017

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΕΧΝΙΚΟΥ ΕΡΓΟΥ

### 2.1 Γενικές πληροφορίες για τον Γεροπόταμο

Ο ποταμός Γεροπόταμος βρίσκεται στο νομό Ρεθύμνου, στο βόρειο τμήμα του νησιού της Κρήτης. Συγκεκριμένα, 18 χλμ. ανατολικά του Ρεθύμνου και 3 χλμ. δυτικά από τον Πάνορμο. Ονομάζεται έτσι από το σπουδαίο ποτάμι του Γεροποτάμου που εκβάλει στην παραλία, αφού πριν, έχει ενωθεί με τον Μυλοπόταμο, και δίνει το όνομά του σε ολόκληρη την επαρχία του Μυλοποτάμου.



Εικόνα 15 – Γεωγραφική θέση της Γέφυρας Γεροποτάμου, Google Maps



Εικόνα 16 – Βόρεια όψη της Γέφυρας Γεροποτάμου Κρήτης





*Εικόνα 17 – Υδάτινο Περιβάλλον – Ποταμός Γεροπόταμος*

Συγκεντρώνει τα νερά από πολλούς παραποτάμους στη βόρεια μεριά του Ψηλορείτη.

Έχει μόνιμη ροή από το ύψος των πηγών 2 χλμ. εσωτερικά των εκβολών. Στο πρώτο περίπου χιλιόμετρο μετά τη διακλάδωση επί της εθνικής οδού υπάρχει χωματόδρομος που διασχίζει τον ποταμό και η διάβασή του είναι δυνατή τους περισσότερους μήνες του χρόνου.

Ο ποταμός ακολουθεί υπόγεια διαδρομή ως τις πηγές εκτός από την περίοδο των βροχών, συνήθως Δεκέμβριο έως Απρίλιο. Παραμένουν, όμως, μικρές λιμνούλες έως το καλοκαίρι.



*Εικόνα 18 – Παράκτια όψη του Γεροποτάμου*

Ο Γεροπόταμος αποτελεί σημαντικό υδροβιότοπο, καθώς στις όχθες του συγκεντρώνονται σπάνια είδη πανίδας και χλωρίδας. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει σπάνια είδη πτηνών, βατράχων, λαγών, ερπετών ενώ συχνό φαινόμενο είναι στην παρακείμενη περιοχή να εμφανιστούν *caretta caretta*. Επιπλέον, η υδρόβια και η παραποτάμια βλάστηση είναι σε αφθονία στην περιοχή.



*Εικόνα 19 – Υδροβιότοπος Γεροποτάμου I*



*Εικόνα 20 – Υδροβιότοπος Γεροποτάμου II*



## 2.2 Γενικές πληροφορίες για τη Γέφυρα Γεροποτάμου

Το τεχνικό έργο που εξετάζεται είναι μία γέφυρα άνω διάβασης, κατασκευής 1971, 18 χλμ. ανατολικά του νομού Ρεθύμνου, μέρος της Εθνικής Οδού Ε75, αναπόσπαστο τμήμα του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ.). Συνδέει τους νομούς Ρεθύμνου και Ηρακλείου. Γεφυρώνει τον ποταμό Γεροπόταμο. Έχει συνολικό μήκος 155,15m που υλοποιείται από πέντε ανεξάρτητους αμφιέριστους φορείς. Αποτελείται από ένα κατάστρωμα όπου πάνω του περιέχονται οι δύο κλάδοι κυκλοφορίας. Συνολικά, στην κάτοψη διαφαίνονται οι 2 λωρίδες κυκλοφορίας πλάτους 5,05m έκαστην και δύο πεζοδρόμια πλάτους 0,80m το κάθε ένα. Συνολικό πλάτος καταστρώματος 11,70m. Η διατομή του οδοστρώματος διαμορφώνεται δικλινής με κλίση 2% για την καλύτερη απορροή των ομβρίων.



*Εικόνα 21 – Γεροπόταμος ποταμός και Γέφυρα*



*Εικόνα 22 – Γεροπόταμος ποταμός και Γέφυρα II*

Το κατάστρωμα αποτελείται από κιβωτιοειδή φορέα με δύο ορθογώνια διάκενα, συνεχή για κάθε ανεξάρτητο αμφιέριστο τμήμα. Η σύνδεση μεταξύ των τμημάτων αυτών γίνεται με ειδικά επεξεργασμένους αρμούς. Δεν υπάρχει χύτευση επιπλέον σκυροδέματος, καθώς το άνω τμήμα της κιβωτιοειδούς διατομής αποτελεί την πλάκα καταστρώματος. Η συνέχεια αποκαθίσταται από τον ασφαλτικό φορέα του καταστρώματος.



*Εικόνα 23 – Δοκός στέψης γέφυρας Γεροποτάμου*

Λόγω της έντονης σεισμικής δραστηριότητας στην περιοχή, η σύνδεση του καταστρώματος με τα βάθρα γίνεται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων. Ο σχεδιασμός του φορέα με σεισμική μόνωση έχει σκοπό τη μείωση της απόκρισης της γέφυρας (δυνάμεις, μετακινήσεις) υπό οριζόντια σεισμικά φορτία. Κατά το σχεδιασμό του συστήματος σεισμικής μόνωσης επιδιώκεται η απομείωση της σεισμικής απόκρισης με την αύξηση της δυνατότητας απορρόφησης ενέργειας από την κατασκευή και με την επιμήκυνση των θεμελιωδών ιδιοπεριόδων της. Πρόσθετα δεδομένα για την επιλογή των στοιχείων της σεισμικής μόνωσης είναι η ικανότητα παραλαβής των κατακόρυφων φορτίων της ανωδομής, η επαρκής δυσκαμψία υπό λειτουργικές οριζόντιες δράσεις (άνεμος, τροχοπέδηση) και η κατά το δυνατόν μικρότερη εξάρτηση των μηχανικών ιδιοτήτων των μονωτήρων από παράγοντες όπως η γήρανση και η θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Συγκεκριμένα, στο σημείο σύνδεσης των δύο ανεξάρτητων τμημάτων του καταστρώματος, τοποθετούνται τα μεσόβαθρα. Το άνω μέρος των μεσοβάθρων αποτελείται από δοκό στέψης, μορφής ανεστραμμένου «T», μονολιθικά συνδεδεμένης με το κύριο σώμα του μεσοβάθρου. Εκεί, εδράζονται τα εφέδρανα. Το πλάτος του άνω μέρους αυτής της δοκού είναι αρκετό, ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν 2 εφέδρανα στη σειρά όπου το κάθε ένα από αυτά να συνδέεται με τον έναν από τους δύο φορείς του καταστρώματος. Σε κάθε δοκό στέψης, υπάρχουν συνολικά 8 εφέδρανα, 4 για τον κάθε φορέα. Οι διαστάσεις των εφεδράνων, κατά προσέγγιση, ανέρχονται σε 300x400mm, με 6 στρώσεις ελαστικού, συνολικού ύψους 75mm. Διαθέτουν εξωτερικές μεταλλικές πλάκες, ενώ εδράζονται σε πλίνθους διαστάσεων 50x60x15cm.

Η υπάρχουσα κατάσταση των πλίνθων έδρασης είναι έντονα αποδιοργανωμένη και η έδραση των εφεδράνων πλημμελής. Οι μεταλλικές πλάκες είναι οξειδωμένες και μερικώς αποκολλημένες από το ελαστομερές στις εξωτερικές παρειές. Τα εφέδρανα βρίσκονται σε κατάσταση προχωρημένης φθοράς, έχουν φθάσει στο όριο της λειτουργικής περιόδου τους (ηλικία περί τα 50 έτη) με μεγάλες παραμορφώσεις ελαστικού. Η λειτουργικότητά τους καθίσταται αμφίβολη και πλημμελή και ως απόρροια των παραπάνω, χρίζεται αναγκαία η αντικατάστασή τους.



Εικόνα 24 – Τέσσερα εκατέρωθεν εφέδρανα στη δοκό στέψης

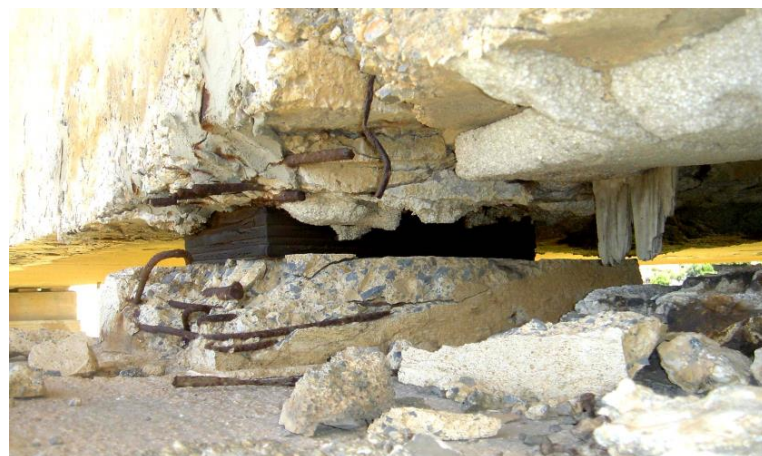




*Εικόνα 25 – Αποδιοργανωμένη εικόνα των πλίνθων έδρασης με αποκάλυψη και οξείδωση των οπλισμών τους*



*Εικόνα 26 – Οξειδωμένα εφεδρανα πλάτους περί τα 30cm*



*Εικόνα 27 – Αποδιοργανωμένη εικόνα της περιοχής των εφεδράνων*

Η γέφυρα αποτελείται από 4 μεσόβαθρα και 2 ακρόβαθρα. Τα μεσόβαθρα έχουν τη μορφή πλαισίου ενώ τα ακρόβαθρα είναι τοιχοειδή. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τα μεσόβαθρα, αποτελούνται από τη δοκό στέψης που αναφέρθηκε παραπάνω, τα δύο κυκλικά υποστυλώματα και έναν δεσμό στο κάτω μέρος τους. Όλα τα στοιχεία είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η εγκάρσια διεύθυνση του σώματος του μεσοβάθρου τοποθετείται παράλληλα με τη ροή του ποταμού και σχηματίζει λοξότητα  $70^\circ$  με το κατάστρωμα.

Η δοκός στέψης είναι μορφής ανεστραμμένου «Γ». Η άνω παρειά έχει διαστάσεις  $2,98 \times 6,80\text{m}$  και ύψος  $0,93\text{m}$ , ενώ η κάτω  $4,17 \times 6,80\text{m}$  και ύψος  $0,53\text{m}$ . Τα κυκλικά υποστυλώματα, έχουν διάμετρο  $1,40\text{m}$  ενώ τα κέντρα τους απέχουν κατά  $5,35\text{m}$ . Το ύψη ποικίλουν, ωστόσο κυμαίνονται στα  $13,20\text{m}$  προσεγγιστικά με αποκλίσεις έως  $5\text{cm}$ . Το κάτω μέρος του υποστυλώματος αποτελείται από ένα στερεό σώμα σκυροδέματος, διαστάσεων  $1,40 \times 9,00\text{m}$ . Τα ύψη του κάθε μέλους (κοιτάζοντας από Ρέθυμνο προς Ηράκλειο) είναι  $2,74\text{m} / 3,73\text{m} / 3,75\text{m} / 1,57\text{m}$ . Το τρίτο μεσόβαθρο (Ρέθυμνο προς Ηράκλειο) είναι τοποθετημένο εξ' ολοκλήρου στην κοίτη του ποταμού, ενώ το τέταρτο κατά σειρά, σε σημείο διεπιφάνειας του ποταμού και του εδάφους, το οποίο έχει υποστεί υποσκαφή. Τα άλλα δύο μεσόβαθρα είναι εντός φυσικού εδάφους χωρίς υπέργεια ροή. Η θεμελίωση είναι άγνωστη.



Εικόνα 28 – Βάθρο 4<sup>ο</sup> κατά σειρά με το έδαφος περίξ αυτού να έχει δεχθεί υποσκαφή





*Εικόνα 29 – Βάθρο πλήρως ενσωματωμένο στην κοίτη του ποταμού. Διαφαίνεται το πέδιλο της θεμελίωσης*



*Εικόνα 30 – Όψη του κεντρικού βάθρου εντός ροής*



*Εικόνα 31 – Όψη βάθρου θεμελιωμένου εντός των γαιών*

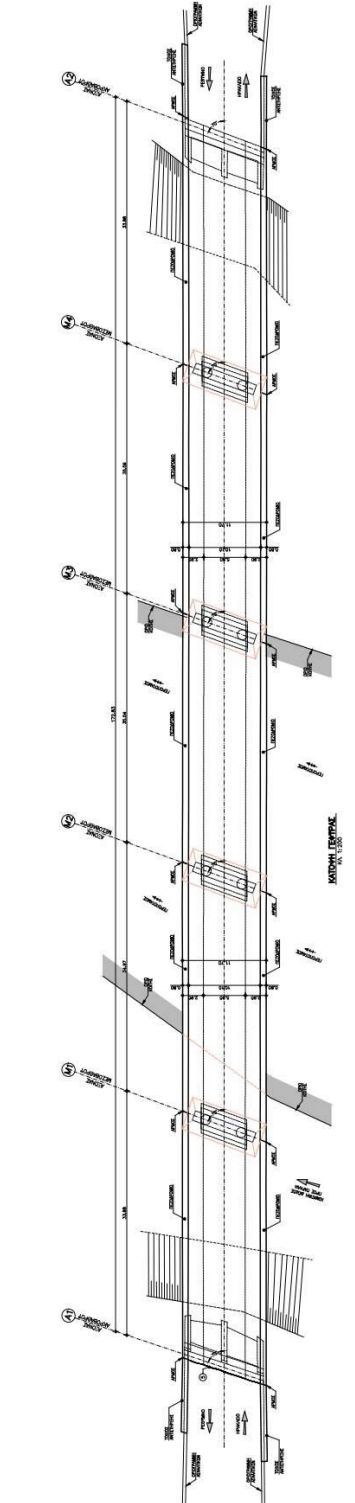
Τα ακρόβαθρα είναι τοιχοειδείς διατομές με 3 αντηρίδες («φτερά») να προεξέχουν. Ενδιάμεσα σε αυτές τοποθετείται λιθοδομή. Τα ακρόβαθρα έχουν το ρόλο της συγκράτησης γαιών των παρακείμενων λόφων.

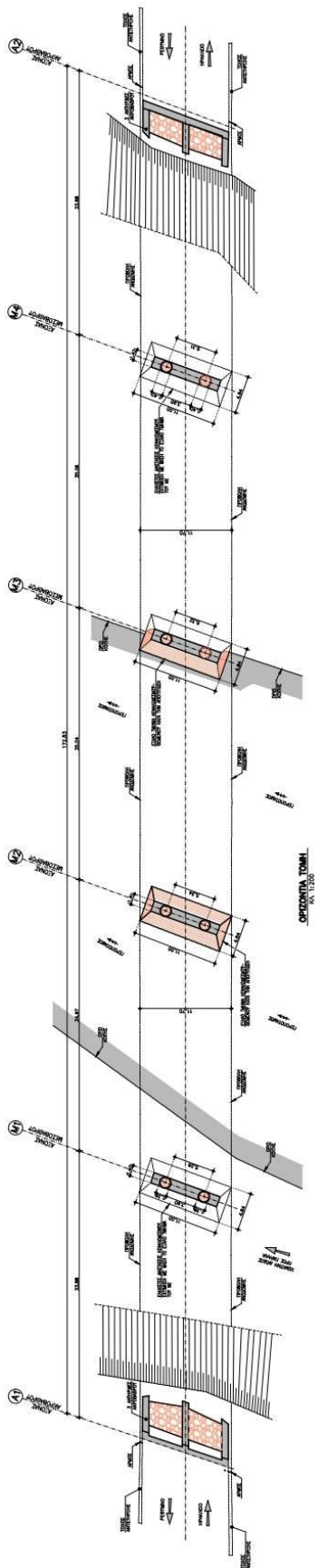


*Εικόνα 32 – Όψη ακροβάθρου*

## 2.3 Γενική Διάταξη του Έργου

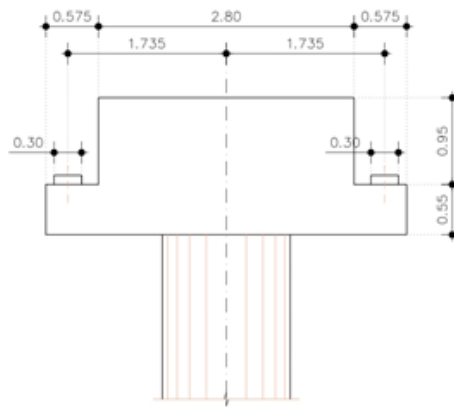
Στην παρούσα παράγραφο θα παρουσιαστούν τα σχέδια από πρόσφατη αποτύπωση της γέφυρας. Αναλυτικά θα φαίνονται οι λεπτομέρειες που αναφέρθηκαν προηγουμένως





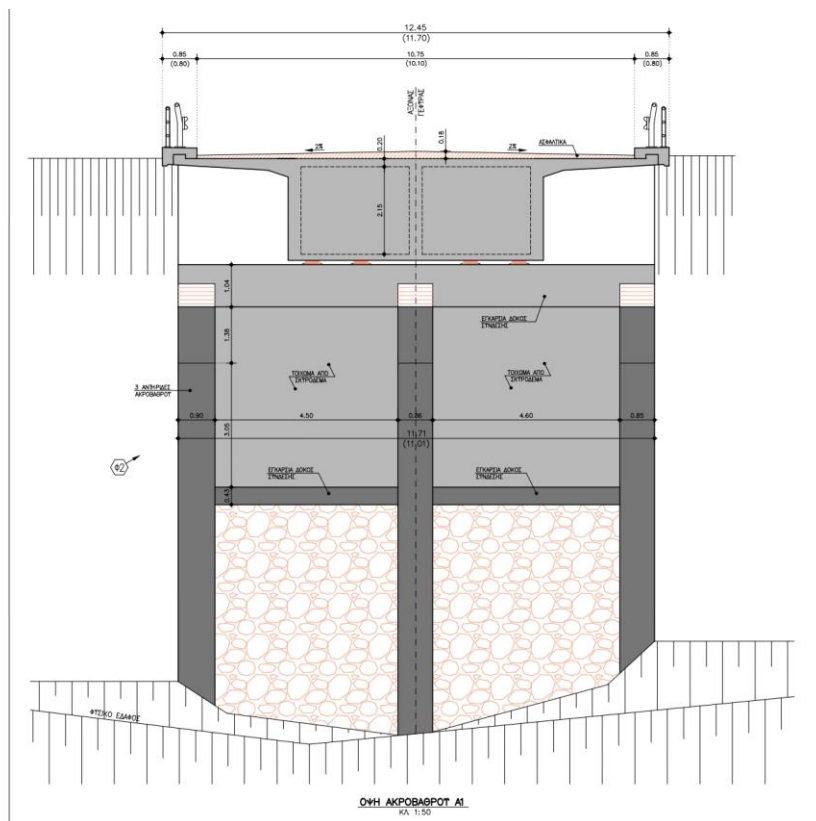
Εικόνα 34 – Οριζόντια Τομή γέφυρας





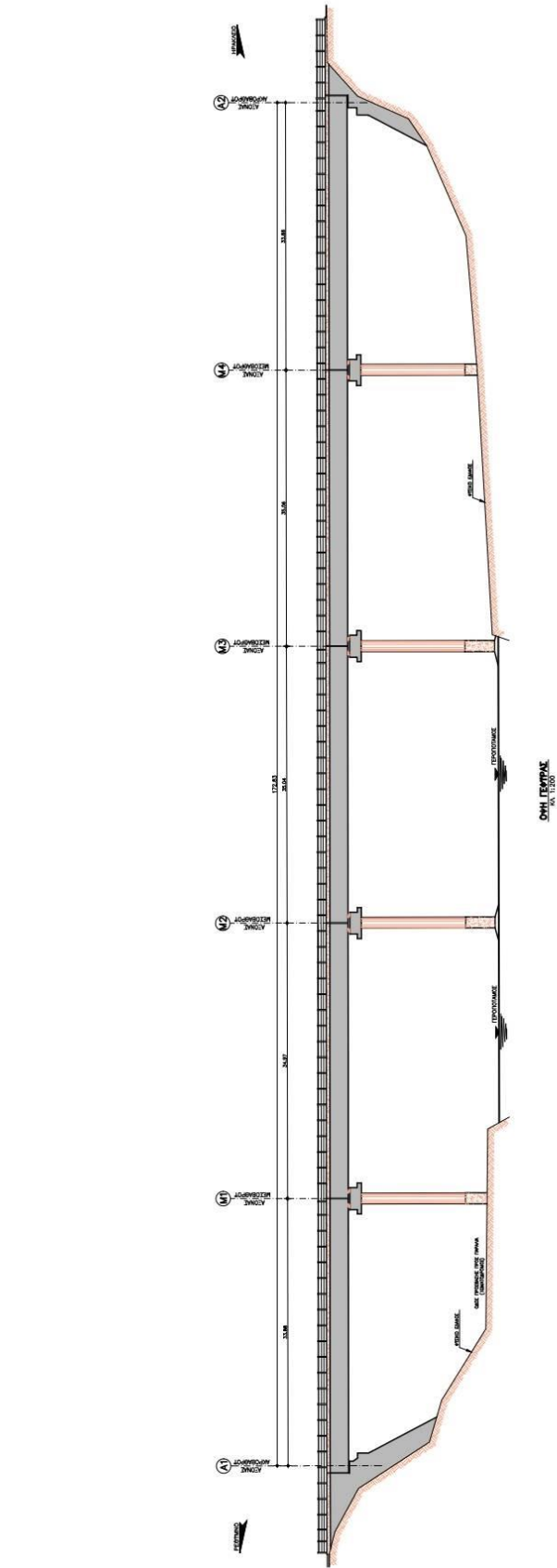
ΤΟΜΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ  
ΚΛ 1:50

Εικόνα 38 – Τομή Μεσοβάθρου



Εικόνα 37 – Ψη Ακροβάθρου





Εικόνα 39 – Όψη Γέφυρας



## **2.4 Εμφανή Προβλήματα από Μακροσκοπικό Έλεγχο**

Με επιτόπου αυτοψία διακρίνει κανείς τα παρακάτω προβλήματα που χρήζουν αντιμετώπισης:

1. Απολέπιση επικάλυψης σκυροδέματος και οξείδωση σιδηρού οπλισμού.
2. Απόθεση αλάτων από ροή ομβρίων υδάτων
3. Αποδιοργάνωση σκυροδέματος πλίνθων έδρασης εφεδράνων, με αποκάλυψη οξειδωμένων οπλισμών, οι οποίοι κατά θέσεις είναι αποκομμένοι.
4. Περιοχή με τοπική απόμειξη του σκυροδέματος.
5. Έντονες παραμορφώσεις και ρηγματώσεις οδοστρώματος κατά μήκος του αρμού.
6. Διάκενο αρμού ορατό μόνο σε θέση πεζοδρομίου, πληρωμένο με χαλίκια και φερτά.
7. Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΓΕΦΥΡΑΣ ΣΤΟ SAP2000

Το στατικό σύστημα της γέφυρας αποτελείται από:

- Τον φορέα ανωδομής
- Τα βάθρα (μεσόβαθρα – ακρόβαθρα)

Ως υλικό εισέρχεται μόνο το οπλισμένο σκυρόδεμα, για τη δυναμική ανάλυση και οι ράβδοι οπλισμού κατά τη στατική ανελαστική ανάλυση. Καθώς δε γνωρίζουμε τις πραγματικές ποιότητες τους, κάνουμε την παραδοχή για σκυρόδεμα C30/37 και ράβδους οπλισμού B400C. Σε κάθε περίπτωση, οι ιδιότητες των υλικών πολλαπλασιάζονται με κατάλληλους συντελεστές ασφαλείας.

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and has a close button (X) in the top right corner. It contains several sections for defining material properties:

- Material Name:** C30/37
- Material Type:** Concrete
- Symmetry Type:** Isotropic
- Modulus of Elasticity:** E = 33000000
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume = 24,9926; Mass per Unit Volume = 2,5485
- Units:** KN, m, C
- Poisson:** U = 0,2
- Coeff of Thermal Expansion:** A = 1,000E-05
- Other Properties For Concrete Materials:** Specified Concrete Compressive Strength,  $f_c$  = 30000; Expected Concrete Compressive Strength = 30000;  Lightweight Concrete; Shear Strength Reduction Factor =
- Shear Modulus:** G = 13750000
- Advanced Material Property Data:** Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Εικόνα 41 - Στοιχεία Υλικού Σκυροδέματος

### 3.1 Φορέας Ανωδομής

Όπως προαναφέρθηκε, το κατάστρωμα αποτελείται από 5 ανεξάρτητους αμφιέριστους φορείς. Ο κάθε φορέας αποτελείται από συνεχόμενη διατομή κιβωτιοειδούς σχήματος. Σύμφωνα με εικόνα αρχείου που απεικονίζει τη γέφυρα κατά τη διαδικασία κατασκευής της, πρώτα μορφώνεται το καλούπι των πλαϊνών μελών – ορθοστατών, κατά τμήματα, και στη συνέχεια σκυροδετείται το κύριο μέρος του μέλους.

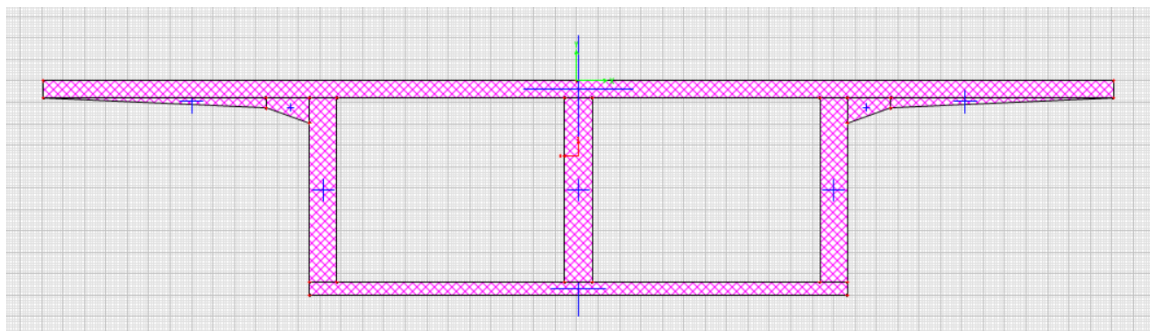
Γέφυρα γεροπόταμου Ρεθύμνου, κατά τη διάρκεια κατασκευής της, το 1971.



Εικόνα 42 – Φωτογραφία Αρχείου κατά την κατασκευή. Διαφαίνονται τα καλούπια και η σκυροδέτηση

Για την προσομοίωση της διατομής του καταστρώματος χρησιμοποιούνται γραμμικά στοιχεία δοκού (6 βαθμοί ελευθερίας σε κάθε κόμβο). Κάθε γραμμική διατομή αντιστοιχεί σε ένα άνοιγμα του φορέα. Η κλίση του οδοστρώματος για την απορροή των ομβρίων δε λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό της διατομής.

Λόγω της πολυπλοκότητας της γεωμετρίας της συγκεκριμένης διατομής, αυτή σχεδιάστηκε στο SAP2000 με την εντολή Section Designer. Συγκεκριμένα, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



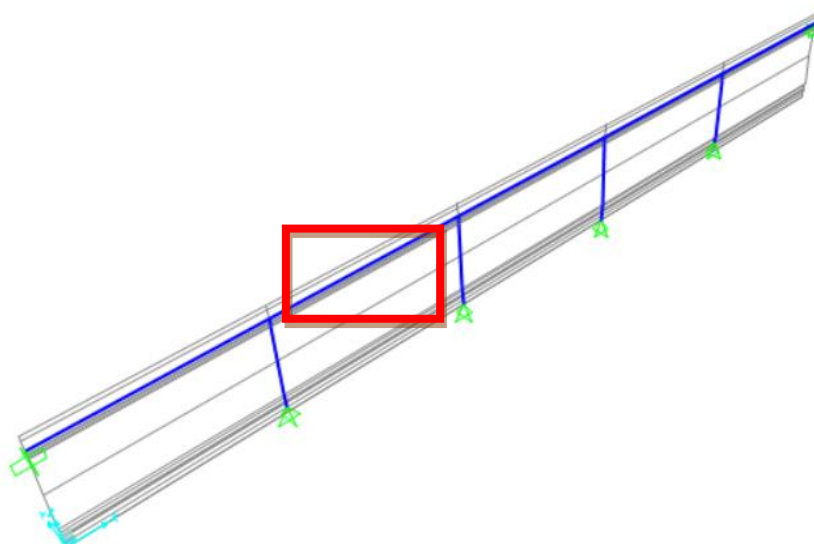
Εικόνα 43 – Προσομοίωση του καταστρώματος στο SAP2000 με την εντολή *Section Designer*

Παρατηρούμε την ταύτιση του σχήματος, όσον αφορά τα γεωμετρικά του χαρακτηριστικά, με το αντίστοιχο σχήμα στο Autocad, όπως αυτό μας δόθηκε από την αποτύπωση. Η διατομή συμπεριφέρεται ως ενιαία.

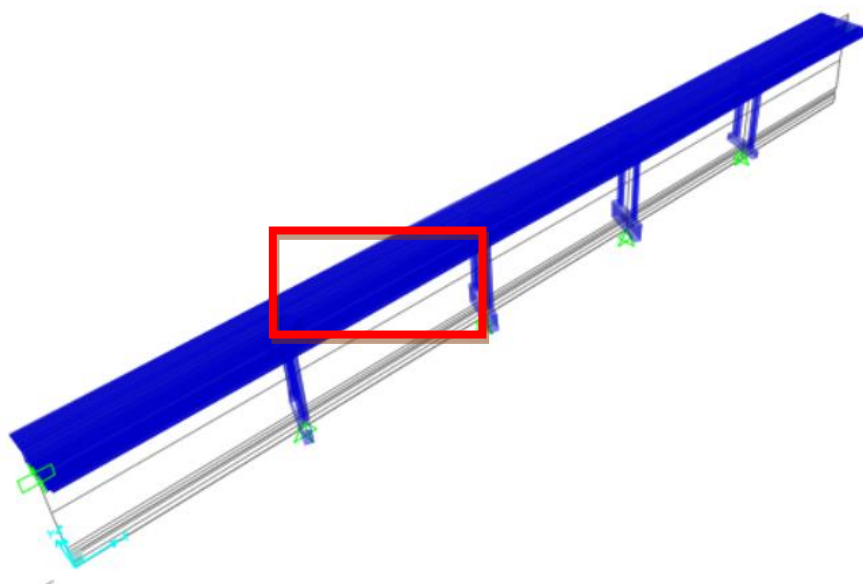
Η εισαγωγή της στο μοντέλο της γέφυρας, γίνεται προεκτείνοντας τη διατομή κατά τον άξονα  $x'x$ , προέκταση η οποία ισούται με το κάθε φορά συνολικό άνοιγμα του φορέα. Εδώ να σημειωθεί ότι, καθώς το SAP αντιλαμβάνεται συνέχεια σε στοιχεία με κοινό κόμβο, ήταν απαραίτητο αυτός ο κόμβος να διαχωριστεί. Έτσι, ο κοινός κόμβος μεταξύ των δύο μελών του καταστρώματος και του μεσοβάθρου, διαχωρίστηκε με την εντολή *Edit / Edit Points / Disconnect*.

Οι συνθήκες στήριξης στα άκρα της θεωρούνται αρθρώσεις, ώστε να επιτρέπουν τις στροφικές μετακινήσεις που ενδέχεται να δημιουργηθούν κατά τη λειτουργία της.

Παρακάτω φαίνονται οι απεικονίσεις της γέφυρας από το στατικό μοντέλο. Παρατηρούμε ότι το κατάστρωμα εκτείνεται κατά τη διεύθυνση  $x$ . Δεν αποτελείται από ένα ενιαίο γραμμικό στοιχείο αλλά από 5 ξεχωριστά, διακοπτόμενα ανά βάθρο.



Εικόνα 44 – Μοντέλο προσομοιωμένο με γραμμικά στοιχεία



Εικόνα 45 – 3D μοντέλο. Εντολή Extrude

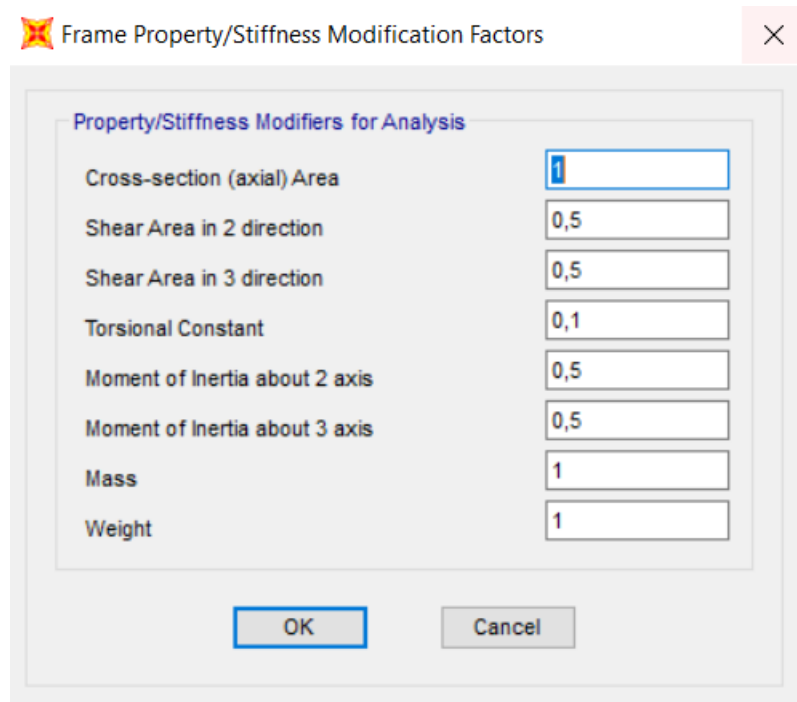
Στο προσομοίωμα της γέφυρας στο SAP2000, το ίδιο βάρος της κατασκευής λαμβάνεται αυτομάτως υπόψη μέσω της εισαγωγής στα επί μέρους υλικά που συνθέτουν το φορέα, κατανομημένης μάζας και βάρους ανά όγκο, ίσο με το ειδικό βάρος του σκυροδέματος, το οποίο είναι  $25 \text{ kN/m}^3$ . Το φορτίο του ίδιου βάρους κάθε διατομής λαμβάνεται υπόψη, εφόσον δοθεί ο συντελεστής 1 στην επιλογή για την ενεργοποίηση της μάζας και του βάρους του υλικού. Παράλληλα κατά τον ορισμό των φορτίσεων (load cases), στη φόρτιση των μόνιμων φορτίων (DEAD), ορίζεται ο συντελεστής 1, ως πολλαπλασιαστής του ειδικού βάρους.

Property Data ×

Section Name		BOX	
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	6,0271	Section modulus about 3 axis	3,145
Moment of Inertia about 3 axis	5,0941	Section modulus about 2 axis	9,0771
Moment of Inertia about 2 axis	56,7317	Plastic modulus about 3 axis	4,5545
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	15,5587
Shear area in 2 direction	2,5143	Radius of Gyration about 3 axis	0,9193
Shear area in 3 direction	3,5208	Radius of Gyration about 2 axis	3,068
Torsional constant	9,7114	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

OK

Εικόνα 46 – Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000



Εικόνα 47 – Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής

### 3.2 Μεσόβαθρα

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα μεσόβαθρα αποτελούνται από 3 διαφορετικά μέρη:

- Τη δοκό στέγης





- Τα 2 κυκλικά υποστυλώματα

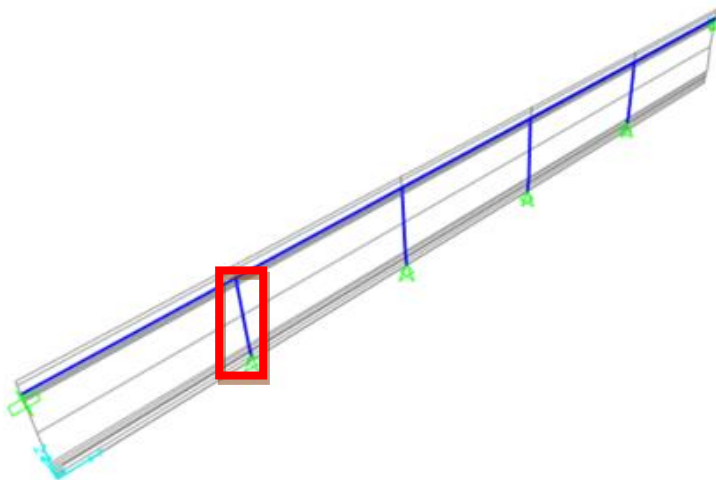


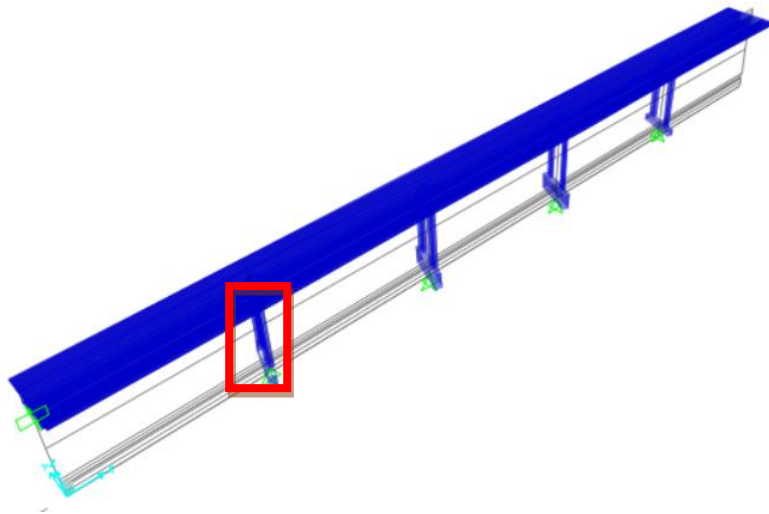
- Τον κάτω δεσμό



Όπως φαίνεται και στην κάτοψη, τα μεσόβαθρα σχηματίζουν μία γωνία  $70^\circ$  με το κατάστρωμα της γέφυρας. Αυτό επιτυγχάνεται στο πρόγραμμα μέσω της εντολής: *Assign / Frames / Local Axes / Angle from Default Orientation 70deg*

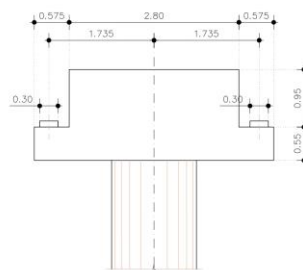
Απεικονίζονται ως γραμμικό κατακόρυφο μέλος με κόμβο στα σημεία που διαφοροποιούνται οι διαστάσεις τους.





### 3.2.1 Δοκός Στέψης

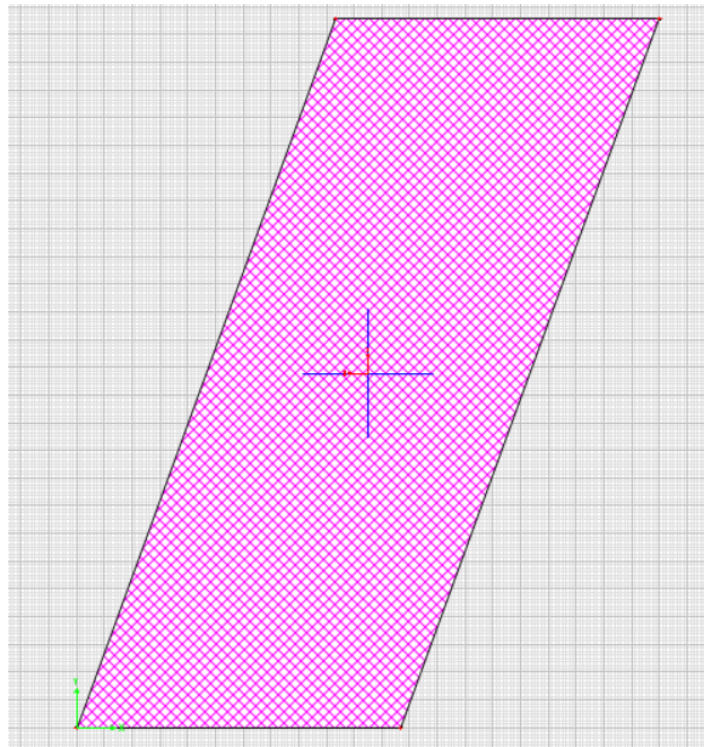
Η δοκός στέψης έχει διατομή ανεστραμμένου «Τ» και διαστάσεις όπως φαίνονται στο σχήμα.



ΤΟΜΗ ΜΕΣΟΒΑΘΡΟΥ  
ΚΑΛ. 1:50

Η κάτοψη της έχει σχήμα παραλληλόγραμμο, με σχηματιζόμενες γωνίες  $70^\circ$  και  $110^\circ$ . Για το λόγο αυτό θα σχεδιαστεί και η ίδια με την εντολή Section Designer, ως δύο ξεχωριστές διατομές, μία για το άνω τμήμα και μία για το κάτω. Στο Section Designer σχεδιάζουμε την κάτοψη, η οποία θα προεκταθεί ως προς τον κατακόρυφο άξονα z.

Άνω τμήμα:



Εικόνα 48 – Άνω τμήμα της δοκού στέψης. Εντολή Section Designer

Property Data

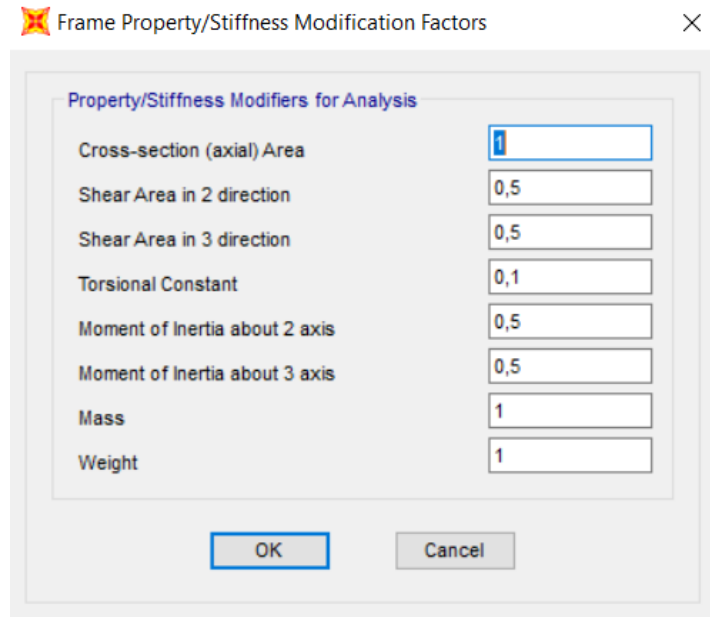
Section Name: ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΣ ΑΝΩ

Properties

Cross-section (axial) area	18,6588	Section modulus about 3 axis	19,8716
Moment of Inertia about 3 axis	63,4898	Section modulus about 2 axis	8,2663
Moment of Inertia about 2 axis	21,6991	Plastic modulus about 3 axis	29,8074
Product of Inertia about 2-3	-23,1504	Plastic modulus about 2 axis	16,5118
Shear area in 2 direction	15,5491	Radius of Gyration about 3 axis	1,8446
Shear area in 3 direction	13,782	Radius of Gyration about 2 axis	1,0784
Torsional constant	34,4493	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

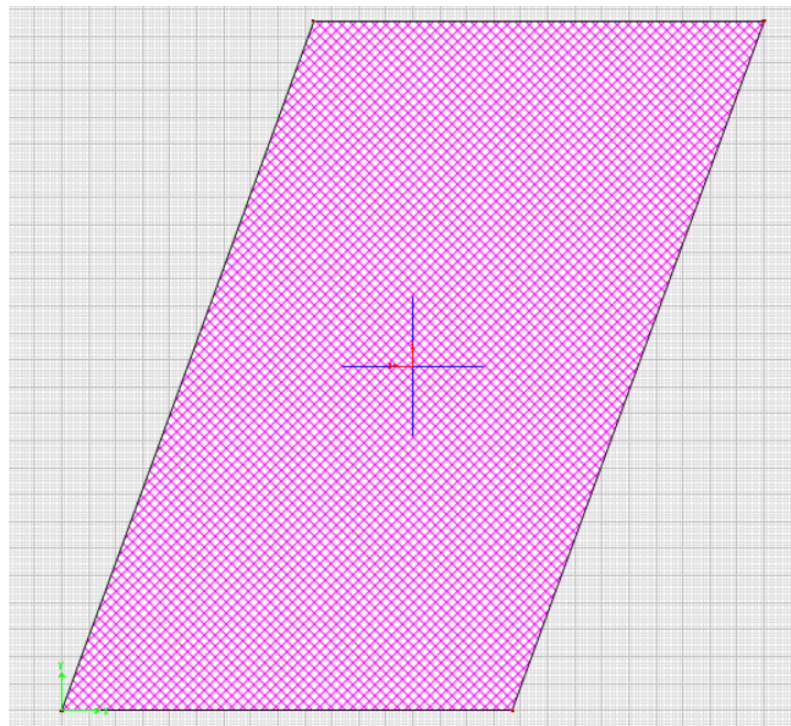
OK

Εικόνα 49 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000

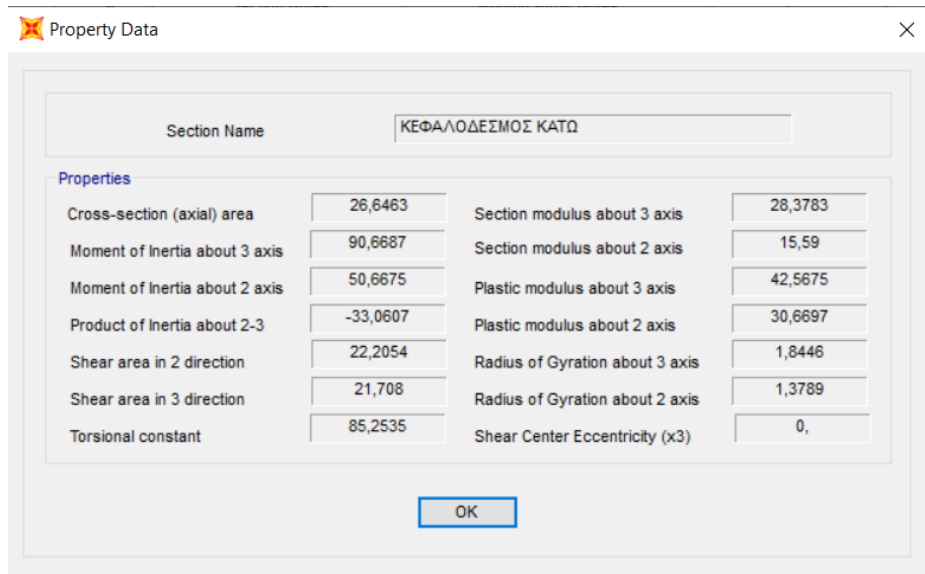


Εικόνα 50 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής

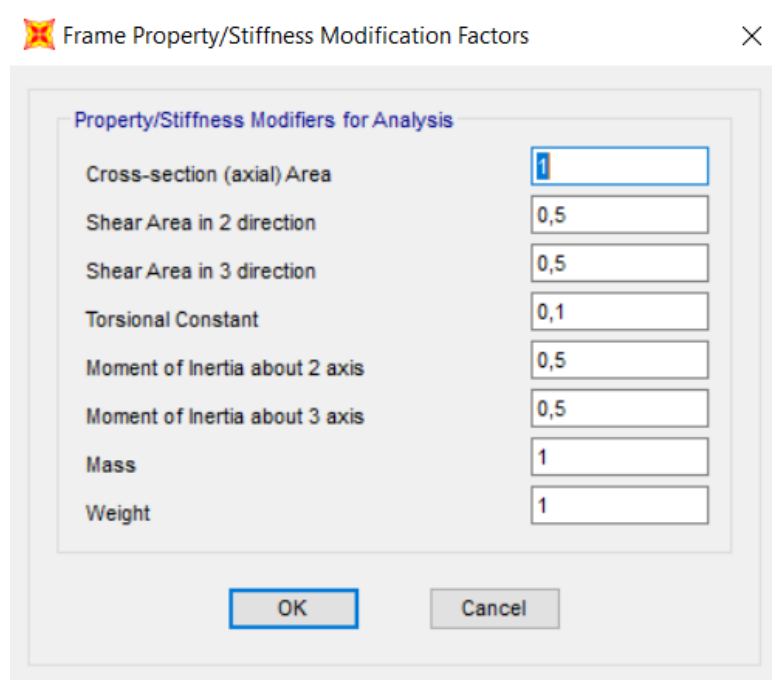
Κάτω τμήμα:



Εικόνα 51 – Κάτω τμήμα της δοκού στέψης. Εντολή Section Designer



Εικόνα 52 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000



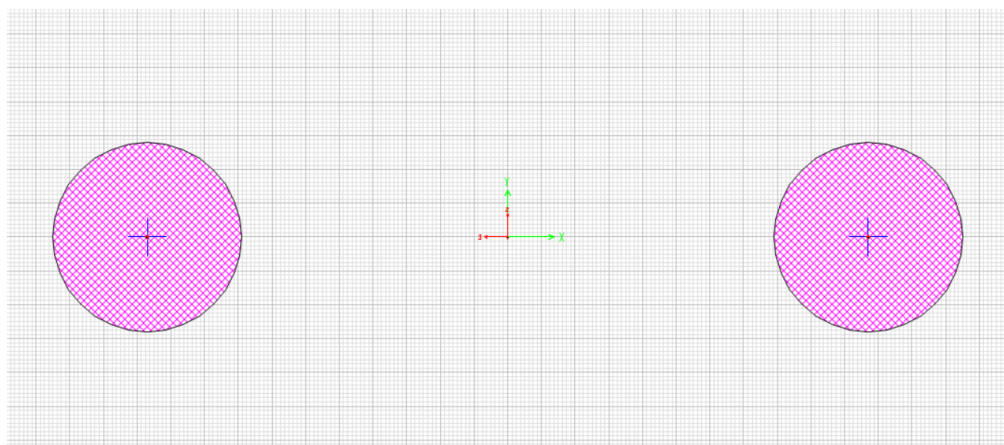
Εικόνα 53 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής

Επισημαίνεται ότι στο άνω τμήμα της δοκού στέψης εδράζονται τα εφάδρανα, για τα οποία γίνεται εκτενή ανάλυση σε επόμενη παράγραφο.

### 3.2.2 Κυκλικά Υποστυλώματα

Το κύριο μέρος του μεσοβάθρου αποτελείται από δύο πανομοιότυπα κυκλικά υποστυλώματα. Στη γέφυρα αφετηρίας το ύψος των μεσοβάθρων μεταβάλλεται ανάλογα με την τοπογραφική θέση. Οι μεταβολές, ωστόσο, δεν ξεπερνούν τα 5cm. Στην περίπτωση της παρούσας διπλωματικής, επιλέχθηκε το ύψος των κυκλικών στύλων ίσο με 13,20m. Ακολουθούν την κατεύθυνση της δοκού στρέψης, δηλαδή γυρισμένα κατά 70° σε σχέση με το κατάστρωμα. Συνδέονται μονολιθικά στην κορυφή τους με τη δοκό στέψης, ενώ στη βάση με τον κάτω δεσμό.

Για την άρτια προσομοίωση των υποστυλωμάτων στο πρόγραμμα και την κατάλληλη σύνδεση τους με τα υπόλοιπα μέλη του βάθρου, ως ενιαία γραμμικά στοιχεία, χρησιμοποιήθηκε και πάλι η εντολή Section Designer. Σχεδιάστηκαν σε κάτοψη τα δύο κυκλικά υποστυλώματα, ως μία ενιαία διατομή, η οποία προεκτείνεται κατακόρυφα, στη διεύθυνση z. Ως Κέντρο Βάρους της διατομής, θεωρείται το μέσο της ευθείας που συνδέει τα δύο κέντρα των κυκλικών υποστυλωμάτων.



Εικόνα 54 – Κυκλικά Υποστυλώματα. Εντολή Section Designer

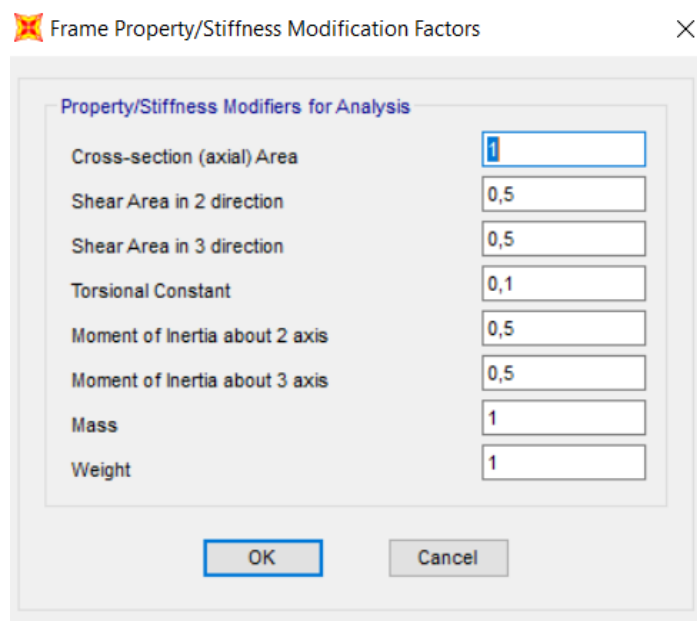
Property Data

Section Name		ΣΤΥΛΟΙ	
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	3,059	Section modulus about 3 axis	0,5319
Moment of Inertia about 3 axis	0,3723	Section modulus about 2 axis	6,596
Moment of Inertia about 2 axis	22,2615	Plastic modulus about 3 axis	0,9059
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	8,1829
Shear area in 2 direction	2,7616	Radius of Gyration about 3 axis	0,3469
Shear area in 3 direction	3,059	Radius of Gyration about 2 axis	2,6977
Torsional constant	0,7447	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

OK

Εικόνα 55 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000



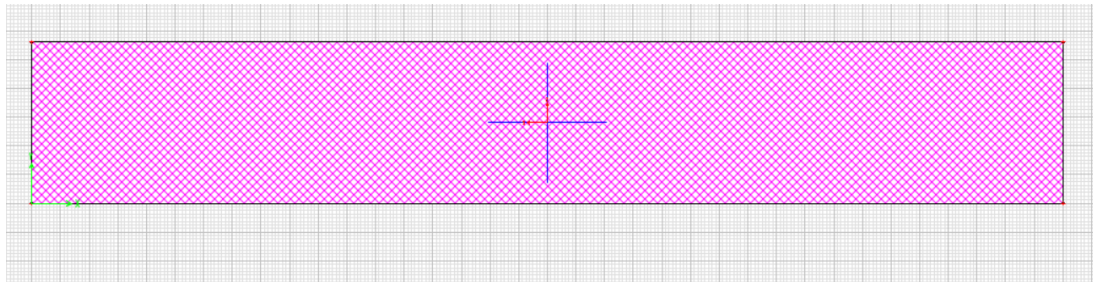


Εικόνα 56 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής

### 3.2.3 Κάτω Δεσμός

Ο κάτω δεσμός λειτουργεί σαν στερεό σώμα. Ενώνει τα δύο υποστυλώματα και έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον, υδάτινο ή γαιώδες. Τα ύψη του μεταβάλλονται αναλόγως με την τοπογραφική θέση. Στα βάρη που βρίσκονται εντός της κοίτης του ποταμού, δέχεται τις πιέσεις του ύδατος, ενώ σε αυτά που βρίσκονται στην εδαφική περιοχή, δέχεται τις ωθήσεις των γαιών. Προσομοιώνεται όπως και τα υπόλοιπα μέλη του βάρη, δηλαδή με λοξότητα 70°, κάτοψη στο Section Designer και προέκταση ως προς τον κατακόρυφο άξονα z. Να σημειωθεί ότι συνδέεται μονολιθικά με τα κυκλικά υποστυλώματα.

Όσον αφορά τη θεμελίωσή του, μας είναι άγνωστη. Διακρίνουμε στις φωτογραφίες πέδιλο, το οποίο φαίνεται θολά μέσα στο νερό, ωστόσο δε γνωρίζουμε εάν η θεμελίωση σταματά εκεί, είναι δηλαδή επιφανειακή ή το πέδιλο αυτό αποτελεί την κεφαλή ενός συστήματος πασσάλων. Στην προσομοίωση, στο κάτω μέρος κάθε τέτοιου μέλους εισέρχονται πακτώσεις, ώστε να δεσμεύουν και τους έξι βαθμούς ελευθερίας, ενώ με τον τρόπο αυτό προσομοιώνουν αρτιότερα τη συμπεριφορά του συγκεκριμένου μέλους ως άκαμπτο στερεό σώμα.



Εικόνα 57 – Κάτω Δεσμός, Εντολή Section Designer

Property Data

Section Name: ΚΑΤΩ ΔΕΣΜΟΣ

Properties

Cross-section (axial) area	12,6	Section modulus about 3 axis	2,94
Moment of Inertia about 3 axis	2,058	Section modulus about 2 axis	18,9
Moment of Inertia about 2 axis	85,05	Plastic modulus about 3 axis	4,41
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	28,35
Shear area in 2 direction	10,5001	Radius of Gyration about 3 axis	0,4041
Shear area in 3 direction	10,5001	Radius of Gyration about 2 axis	2,5981
Torsional constant	7,4357	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

OK

Εικόνα 58 - Αδρανειακές ιδιότητες της διατομής όπως αυτές προκύπτουν από το SAP2000

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	0,5
Shear Area in 3 direction	0,5
Torsional Constant	0,1
Moment of Inertia about 2 axis	0,5
Moment of Inertia about 3 axis	0,5
Mass	1
Weight	1

OK Cancel

Εικόνα 59 - Καθορισμός συντελεστών για τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών της διατομής



### 3.3 Ακρόβαθρα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα ακρόβαθρα αποτελούνται από κατακόρυφα τοιχία οπλισμένου σκυροδέματος. Βασικός ρόλος τους να δέχονται τις ωθήσεις των γαιών. Για τον αποτελεσματικό πλευρικό εγκιβωτισμό των επιχωμάτων, το κύριο σώμα των ακροβάθρων συνδέεται μονολιθικά με 3 έξοχες αντηρίδες. Προς αποφυγή ανατροπής, το σώμα ενδιάμεσα των αντηρίδων πληρώνεται με λίθους.

Πάνω στα ακρόβαθρα εδράζονται απευθείας τα 4 ελαστομεταλλικά εφέδρανα. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι στις πιο πολλές περιπτώσεις τα ακρόβαθρα δε λαμβάνονται υπόψη στην προσομοίωση. Η επιλογή αυτή σχετίζεται με τη σύνδεση της ανωδομής και των ακροβάθρων μέσω εφεδράνων. Δεδομένης της ευκαμψίας των εφεδράνων συγκριτικά με τα δύσκαμπτα ακρόβαθρα, θεωρείται πως η σύνδεση πραγματοποιείται απευθείας στο έδαφος θεμελίωσης. Η σύνδεση, αυτή, πραγματοποιείται με αρθρώσεις.

### 3.4 Υπολογισμός μάζας φορέα

Σύμφωνα με την εγκύκλιο Ε39/99, η μάζα του συστήματος υπολογίζεται από το σύνολο των μόνιμων και πρόσθετων φορτίων της γέφυρας, αυξημένο κατά ένα τμήμα των φορτίων κυκλοφορίας. Το τμήμα αυτό είναι ίσο με  $\psi_{21} \cdot Q_{1k}$  όπου  $\psi_{21}=0,20$  για τις οδικές γέφυρες. Στα μόνιμα φορτία διακρίνουμε το ίδιο βάρος του φορέα και τα πρόσθετα μόνιμα, ήτοι ασφαλτικά, επιστρώσεις, πεζοδρόμια και στηθαία. Τα κινητά φορτία αντιπροσωπεύουν το βάρος των οχημάτων που κινούνται επί της γέφυρας. Επίσης, με βάση την Ε39/99, επιτρέπεται το σύνολο του φορτίου να λαμβάνεται ομοιόμορφα κατανεμημένο σε ολόκληρο το μήκος του φορέα. Στη συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός των παραπάνω φορτίων ξεχωριστά.

#### 3.4.1 Ίδιο βάρος φορέα

Το ίδιο βάρος του φορέα λαμβάνεται αυτόματα από το πρόγραμμα με βάση το ειδικό βάρος του σκυροδέματος το οποίο έχει την τιμή  $25\text{kN/m}^3$ , και θέτοντας κατά τον ορισμό των Load Patterns στα μόνιμα φορτία (DEAD) Self-Weight Multiplier ίσο με τη μονάδα. Η συνολική μάζα της κατασκευής υπολογίζεται απευθείας από το πρόγραμμα με βάση τις διατομές που έχουν χρησιμοποιηθεί.

Στο SAP2000 οι διατομές έχουν ονομαστεί ως:

- ο φορέας του καταστρώματος ως *BOX*
- το άνω τμήμα της δοκού στέψης ως *ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΣ ΑΝΩ*
- το κάτω τμήμα της δοκού στέψης ως *ΚΕΦΑΛΟΔΕΣΜΟΣ ΚΑΤΩ*
- τα κυκλικά υποστυλώματα ως *ΣΤΥΛΟΙ*
- ο κάτω δεσμός ως *ΚΑΤΩ ΔΕΣΜΟΣ*

Έτσι, το συνολικό βάρος, η συνολική μάζα και το συνολικό εμβαδόν προκύπτουν σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

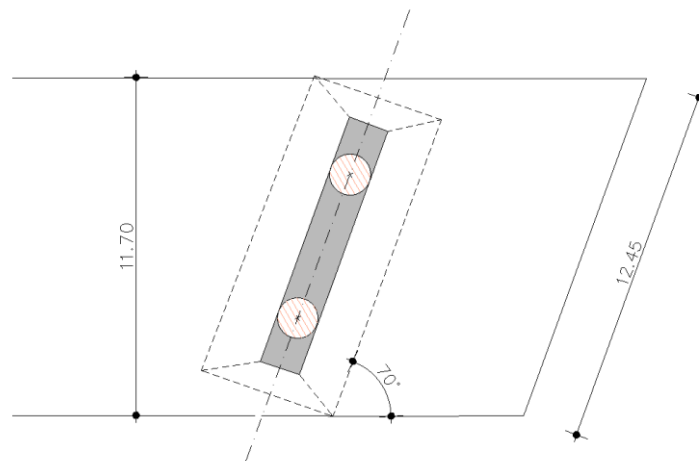
Διατομή	Αριθμός	Βάρος	Μάζα	Εμβαδόν
ΒΟΧ	5	130169,5	13273,6	30,1355
ΚΕΦ. ΑΝΩ	4	6939,024	707,6	74,6352
ΚΕΦ. ΚΑΤΩ	4	5647,348	575,88	1065,852
ΣΤΥΛΟΙ	4	16146,84	1646,52	12,23606
ΚΑΤΩ	4	14888,8	1518,24	50,4
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>21</b>	<b>173791,5</b>	<b>17721,84</b>	<b>1233,259</b>

Πίνακας 1 – Πίνακας Υπολογισμού του βάρους, της μάζας και του εμβαδού για το σύνολο της κατασκευής

Όπως παρατηρείται, προκύπτει ότι το βάρος της κατασκευής είναι ίσο με 17.3791,5kN άρα και η μάζα λόγω των ίδιων βαρών 17.721,84kNs<sup>2</sup>/m.

### 3.4.2 Καθαρό άνοιγμα γέφυρας

Για να υπολογιστούν τα φορτία που θα εισαχθούν στο φορέα, απαιτείται το καθαρό άνοιγμα της γέφυρας πάνω στο οποίο θα εφαρμοστούν. Αυτό συμβαίνει διότι τα φορτία ασκούνται κατά μήκος του οδικού άξονα και η εντατική κατάσταση αναπτύσσεται στην κάθετη από αυτά διεύθυνση.



Εικόνα 60 – Κάτοψη βάθρου. Λοξότητα

Η γέφυρα έχει λοξότητα ως προς τα βάθρα 70°.

Για καθαρό άνοιγμα 12,45m προκύπτει:  $12,45 \cdot \sin 70^\circ = 11,70\text{m}$

Αφαιρώντας τα πεζοδρόμια (0,85m) προκύπτει  $11,70 - 2 \cdot 0,85 = 10,00\text{m}$

Συμπερασματικά, όλοι οι υπολογισμοί μας θα έχουν ως βάση το πλάτος 10,00m και μήκος (όπου απαιτείται) το μήκος της κάθε λωρίδας.

### 3.4.3 Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία

Στα πρόσθετα μόνιμα φορτία περιλαμβάνονται το βάρος του οδοστρώματος, οι λοιπές επιστρώσεις, τα πεζοδρόμια και τα στηθαία. Για κάθε ένα από αυτά γίνονται αποδεκτές οι παρακάτω παραδοχές:

- Για τα ασφαλτικά, το ίδιο βάρος τους είναι  $24\text{kN/m}^3$ , ενώ το πάχος τους κατά Μέσο Όρο κυμαίνεται στα  $7\text{cm}$ .

Έτσι για κάθε άνοιγμα της γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$g_{11} = 24\text{kN/m}^3 \cdot 0,07\text{m} \cdot L_1 \cdot 10,00\text{m} = 569,184\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$g_{12} = 24\text{kN/m}^3 \cdot 0,07\text{m} \cdot L_2 \cdot 10,00\text{m} = 587,496\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$g_{13} = 24\text{kN/m}^3 \cdot 0,07\text{m} \cdot L_3 \cdot 10,00\text{m} = 588,672\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$g_{14} = 24\text{kN/m}^3 \cdot 0,07\text{m} \cdot L_4 \cdot 10,00\text{m} = 589,008\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$g_{15} = 24\text{kN/m}^3 \cdot 0,07\text{m} \cdot L_5 \cdot 10,00\text{m} = 569,184\text{kN}$

Πίνακας 2 – Υπολογισμός φορτίου ασφαλτικών για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **2927,614kN**

- Για τις λοιπές επιστρώσεις (μονώσεις κ.λπ.) θεωρούμε βάρος  $0,5\text{kN/m}^2$

Έτσι για κάθε άνοιγμα γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$g_{21} = 0,5\text{kN/m}^2 \cdot L_1 \cdot 10,00\text{m} = 169,4\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$g_{22} = 0,5\text{kN/m}^2 \cdot L_2 \cdot 10,00\text{m} = 174,85\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$g_{23} = 0,5\text{kN/m}^2 \cdot L_3 \cdot 10,00\text{m} = 175,2\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$g_{24} = 0,5\text{kN/m}^2 \cdot L_4 \cdot 10,00\text{m} = 175,3\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$g_{25} = 0,5\text{kN/m}^2 \cdot L_5 \cdot 10,00\text{m} = 169,4\text{kN}$

Πίνακας 3 – Υπολογισμός φορτίου επιστρώσεων για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **864,15kN**

- Για τα πεζοδρόμια κάνουμε την παραδοχή ότι η επιφάνεια που καταλαμβάνουν είναι  $A=0,3\text{m}^2$ , ενώ το ίδιο βάρος τους είναι επίσης  $25\text{kN/m}^3$ .

Έτσι για κάθε άνοιγμα της γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$g_{31} = 25\text{kN/m}^3 \cdot 0,03\text{m}^2 \cdot L_1 = 508,2\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$g_{32} = 25\text{kN/m}^3 \cdot 0,03\text{m}^2 \cdot L_2 = 524,55\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$g_{33} = 25\text{kN/m}^3 \cdot 0,03\text{m}^2 \cdot L_3 = 525,6\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$g_{34} = 25\text{kN/m}^3 \cdot 0,03\text{m}^2 \cdot L_4 = 525,9\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$g_{35} = 25\text{kN/m}^3 \cdot 0,03\text{m}^2 \cdot L_5 = 508,2\text{kN}$

Πίνακας 4 – Υπολογισμός φορτίου πεζοδρομίου για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **2592,45kN**

- Για τα στηθαία εισάγεται φορτίο 1kN/m, ενώ θεωρείται ότι εκτείνονται σε όλη την έκταση του μήκους και στις δύο πλευρές.

Έτσι για κάθε άνοιγμα γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$g_{41} = 2 \cdot 1\text{kN/m} \cdot L_1 = 67,76\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$g_{42} = 2 \cdot 1\text{kN/m} \cdot L_2 = 69,94\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$g_{43} = 2 \cdot 1\text{kN/m} \cdot L_3 = 70,08\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$g_{44} = 2 \cdot 1\text{kN/m} \cdot L_4 = 70,12\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$g_{45} = 2 \cdot 1\text{kN/m} \cdot L_5 = 67,76\text{kN}$

Πίνακας 5 – Υπολογισμός Φορτίου στηθαίων για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **345,66kN**

Συνεπώς, τα Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία στο σύνολό τους είναι:

$$2927,614\text{kN} + 864,15\text{kN} + 2592,45\text{kN} + 345,66\text{kN} = \mathbf{6729,874\text{kN}}$$

### 3.4.4 Κινητά Φορτία

Όπως υπολογίσαμε παραπάνω, κάθε άνοιγμα της γέφυρας έχει πλάτος,  $w=10,00\text{m}$ . Συνεπώς, έχουμε 3 λωρίδες κυκλοφορίας πλάτους 3m η κάθε μία και μία εναπομένουσα επιφάνεια πλάτους 1m.

Από τις 3 λωρίδες κυκλοφορίας η μία ονομάζεται κύρια λωρίδα (Κ.Λ.) και οι υπόλοιπες δευτερεύουσες λωρίδες (Δ.Λ.).

- Η κύρια λωρίδα θεωρείται με κατανομημένο φορτίο  $9\text{kN/m}^2$  (Φόρτιση UDL) καθώς και ένα φορτηγό βάρους 600kN (Φόρτιση TS).

Έτσι για κάθε άνοιγμα γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$q_{11} = 9 \cdot 3 \cdot L_1 + 600 = 1514,76\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$q_{12} = 9 \cdot 3 \cdot L_2 + 600 = 1544,19\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$q_{13} = 9 \cdot 3 \cdot L_3 + 600 = 1546,08\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$q_{14} = 9 \cdot 3 \cdot L_4 + 600 = 1546,62\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$q_{15} = 9 \cdot 3 \cdot L_5 + 600 = 1514,76\text{kN}$

Πίνακας 6 – Υπολογισμός Κινητού Φορτίου Κύριας Λωρίδας για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **7666,41kN**

- Η πρώτη δευτερεύουσα λωρίδα θεωρείται με κατανομημένο φορτίο  $2,5\text{kN/m}^2$  (Φόρτιση UDL) καθώς και ένα φορτηγό βάρους 400kN (Φόρτιση TS).

Έτσι για κάθε άνοιγμα γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$q_{21} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_1 + 400 = 654,1\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$q_{22} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_2 + 400 = 662,275\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$q_{23} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_3 + 400 = 662,8\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$q_{24} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_4 + 400 = 662,95\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$q_{25} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_5 + 400 = 654,1\text{kN}$

Πίνακας 7 – Υπολογισμός κινητού φορτίου για την 1<sup>η</sup> δευτερεύουσα λωρίδα για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **3296,225kN**

- Η δεύτερη δευτερεύουσα λωρίδα θεωρείται με κατανεμημένο φορτίο  $2,5\text{kN/m}^2$  (Φόρτιση UDL) καθώς και ένα φορτηγό βάρους  $200\text{kN}$  (Φόρτιση TS).

Έτσι για κάθε άνοιγμα γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$q_{31} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_1 + 200 = 454,1\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$q_{32} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_2 + 200 = 462,275\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$q_{33} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_3 + 200 = 462,8\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$q_{34} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_4 + 200 = 462,95\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$q_{35} = 2,5 \cdot 3 \cdot L_5 + 200 = 454,1\text{kN}$

Πίνακας 8 - Υπολογισμός κινητού φορτίου για την 2<sup>η</sup> δευτερεύουσα λωρίδα για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **2296,225kN**

- Για την εναπομένουσα λωρίδα θεωρείται μόνο κατανεμημένο φορτίο  $2,5\text{kN/m}^2$  (Φόρτιση UDL).

Έτσι για κάθε άνοιγμα γέφυρας προκύπτει:

$L_1 = 33,88\text{m}$	$q_{41} = 2,5 \cdot 1 \cdot L_1 = 84,7\text{kN}$
$L_2 = 34,97\text{m}$	$q_{42} = 2,5 \cdot 1 \cdot L_2 = 87,425\text{kN}$
$L_3 = 35,04\text{m}$	$q_{43} = 2,5 \cdot 1 \cdot L_3 = 87,6\text{kN}$
$L_4 = 35,06\text{m}$	$q_{44} = 2,5 \cdot 1 \cdot L_4 = 87,6\text{kN}$
$L_5 = 33,88\text{m}$	$q_{45} = 2,5 \cdot 1 \cdot L_5 = 87,65\text{kN}$

Πίνακας 9 - Υπολογισμός κινητού φορτίου για την εναπομένουσα δευτερεύουσα λωρίδα για κάθε άνοιγμα του φορέα

Συνολικά: **432,076kN**

Συνεπώς, τα Κινητά Φορτία στο σύνολό τους είναι:

$$7666,41\text{kN} + 3296,225\text{kN} + 2296,225\text{kN} + 432,076\text{kN} = \mathbf{13690,94\text{kN}}$$

### 3.4.5 Συνολικό Φορτίο και εισαγωγή στο μοντέλο

Σύμφωνα με τον Ευροκώδικα, ΕΚ8-2 §4.1.2, το συνολικό φορτίο στη γέφυρα ισούται με το συνολικό φορτίο λόγω των πρόσθετων μόνιμων και του 20% των κινητών ( $\psi_{2,1} = 0,2$ ).

$$F = \text{TotalG} + 0,2 \cdot \text{TotalQ} = \mathbf{9468,061\text{kN}}$$

Το φορτίο αυτό διανέμεται στους 6 κόμβους της ανωδομής. Δηλαδή κάθε κόμβος παραλαμβάνει  $9468,061\text{kN} / 6$ . Ωστόσο, οι ακριανοί κόμβοι, έχοντας τη μισή ζώνη επιρροής, παραλαμβάνουν το μισό φορτίο. Χωρίζοντας το φορέα σε μισά μέλη και ονομάζοντας τους κόμβους ως Α, Β, C, D, Ε και F παίρνουμε τις παρακάτω σχέσεις:

$$A = 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_1 / 172,83 = 928,0157 \text{ kN}$$

$$B = 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_1 / 172,83 + 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_2 / 172,83 = 1885,888 \text{ kN}$$

$$C = 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_2 / 172,83 + 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_3 / 172,83 = 1917,662 \text{ kN}$$

$$D = 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_3 / 172,83 + 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_4 / 172,83 = 1920,127 \text{ kN}$$

$$E = 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_4 / 172,83 + 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_5 / 172,83 = 1888,353 \text{ kN}$$

$$F = 0,5 \cdot 9468,061 \cdot L_5 / 172,83 = 928,0157 \text{ kN}$$

Η ισοδύναμη μάζα η οποία κατανέμεται σε κάθε κόμβο λόγω πρόσθετων μόνιμων και κινητών φορτίων είναι ίση με  $F/9,81\text{m/s}^2$

Προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

Ισοδύναμη Μάζα (kNs <sup>2</sup> /m)- tn	
A	94,599
B	192,241
C	195,480
D	195,732
E	192,493
F	94,599
<b>Total</b>	<b>965,144</b>

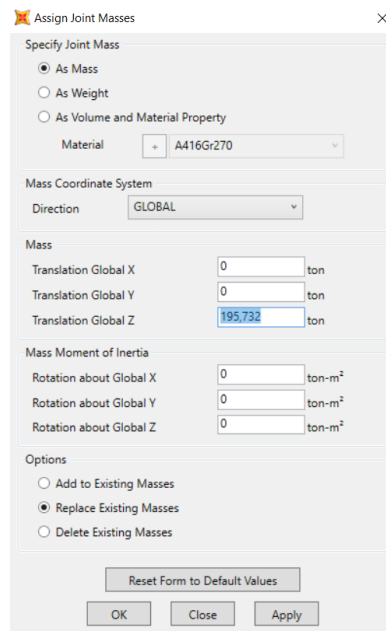
Πίνακας 10 – Υπολογισμός ισοδύναμης μάζας για εφαρμογή στον κάθε κόμβο

Συνολικά, όλες οι παραπάνω πράξεις παρουσιάζονται στο Excel:

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ	
Λοξό άνοιγμα (m)	12,45
Γωνία Λοξότητας	70
Καθαρό Άνοιγμα (m)	11,7
Μήκη	
L1 (m)	33,88
L2 (m)	34,97
L3 (m)	35,04
L4 (m)	35,06
L5 (m)	33,88
<b>Total</b>	<b>172,83</b>
Πεσοδόρμια (kN)	
γ (kN/m <sup>3</sup> )	25
A (m <sup>2</sup> )	0,3
Ποσότητα	2
g11 (kN)	508,2
g32 (kN)	524,55
g33 (kN)	525,6
g34 (kN)	525,9
g35 (kN)	508,2
<b>Total</b>	<b>2592,45</b>
Ασφαλιτικά (kN)	
γ (kN/m <sup>3</sup> )	24
d (m)	0,07
g11 (kN)	569,184
g12 (kN)	587,496
g13 (kN)	588,672
g14 (kN)	589,008
g15 (kN)	569,184
<b>Total</b>	<b>2927,614</b>
Επιστρώσεις (kN)	
g21 (kN/m <sup>2</sup> )	0,5
g22 (kN)	169,4
g22 (kN)	174,85
g213(kN)	175,2
g24 (kN)	175,3
g215(kN)	169,4
<b>Total</b>	<b>864,15</b>
Στηθαία (kN)	
g41(kN/m)	1
Ποσότητα	2
g41 (kN)	67,76
g42 (kN)	69,94
g43 (kN)	70,08
g44 (kN)	70,12
g45 (kN)	67,76
<b>Total</b>	<b>345,66</b>
Φόρτιση Κ.Λ.	
UDL(kN/m <sup>2</sup> )	9
TS (kN)	600
w1 (m)	3
q11(kN)	1514,76
q12(kN)	1544,19
q13(kN)	1546,08
q14(kN)	1546,62
q15(kN)	1514,76
<b>Total</b>	<b>7666,41</b>
Φόρτιση Δ.Λ.2	
UDL(kN/m <sup>2</sup> )	2,5
TS (kN)	200
w1 (m)	3
q31(kN)	454,1
q32(kN)	462,275
q33(kN)	462,8
q34(kN)	462,95
q35(kN)	454,1
<b>Total</b>	<b>2296,225</b>
Φόρτιση Δ.Λ.1	
UDL(kN/m <sup>2</sup> )	2,5
TS (kN)	400
w1 (m)	3
q21(kN)	654,1
q22(kN)	662,275
q23(kN)	662,8
q24(kN)	662,95
q25(kN)	654,1
<b>Total</b>	<b>3296,225</b>
Φόρτιση Δ.Λ.3	
UDL(kN/m <sup>2</sup> )	2,5
TS (kN)	0
w1 (m)	1
q41(kN)	84,7
q42(kN)	87,425
q43(kN)	87,6
q44(kN)	87,65
q45(kN)	84,7
<b>Total</b>	<b>432,075</b>
Φορτίο που παραλαμβάνει ο κάθε κόμβος:	
A (kN)	928,0157
B (kN)	1885,888
C (kN)	1917,662
D (kN)	1920,127
E (kN)	1888,353
F (kN)	928,0157
<b>Total</b>	<b>9468,061</b>
Ισοδύναμη Μάζα (kNs <sup>2</sup> /m)- tn	
A	94,599
B	192,241
C	195,480
D	195,732
E	192,493
F	94,599
<b>Total</b>	<b>965,144</b>
<b>Συνολικά Κινητά Φορτία (kN): 13690,94</b>	
<b>G + 0,2*Q (kN) 9468,061</b>	
<b>Συνολικά Πρόσθετα Μόνιμα Φορτία (kN): 6729,874</b>	

Πίνακας 11 – Υπολογισμοί Φορτίων και μαζών μέσω Excel

Η εισαγωγή των επιπρόσθετων μαζών στο πρόγραμμα γίνεται ως εξής: Επιλέγονται οι κόμβοι της ανωδομής και στη συνέχεια Assign → Joint Masses όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 61 – Εισαγωγή μαζών στους κόμβους του φορέα στο SAP2000



Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι βασικοί τύποι των φορτίων. Από την επιλογή *Define* → *Load Pattern* προστίθενται στον τύπο φορτίου λόγω ίδιου βάρους της κατασκευής τα εξής Load Patterns : PROSTHETA MONIMA με Type DEAD και Self-Weight Multiplier 0 καθώς και KINHHTA με Type Live και Self-Weight Multiplier 0. Ο συντελεστής του βάρους τίθεται ίσος με 0 γιατί το βάρος άρα και η μάζα λόγω των λοιπών φορτίων υπολογίζεται και εφαρμόζεται απευθείας στους κόμβους.

Έπειτα, εισάγονται τα κατακόρυφα πρόσθετα φορτία τα οποία εφαρμόζονται στους κόμβους της ανωδομής. Με επιλογή όλων των κόμβων της ανωδομής, επιλέγεται *Assign*→*Joint Loads*→*Forces*→*Load Pattern Name* : *PROSTHETA MONIMA* → *Force Global Z* = -1885 kN. Το πρόσημο είναι αρνητικό γιατί τα θετικά του καθολικού άξονα Z είναι προς τα πάνω. Ομοίως, με επιλογή των κόμβων της ανωδομής, επιλέγεται *Assign*→*Joint Loads*→*Forces*→*Load Pattern Name*: *KINHHTA* → *Force Global Z*: 928,02 kN. Ενδεικτικά, στο επόμενο σχήμα φαίνεται ο τρόπος εισαγωγής των κινητών φορτίων στους κόμβους.

Section	Parameter	Value	Unit
General	Load Pattern	DEAD	
	Coordinate System	GLOBAL	
Forces	Force Global X	0	kN
	Force Global Y	0	kN
	Force Global Z	-1888,353	kN
	Moment about Global X	0	kN-m
	Moment about Global Y	0	kN-m
	Moment about Global Z	0	kN-m
Options	Add to Existing Loads	<input type="radio"/>	
	Replace Existing Loads	<input checked="" type="radio"/>	
	Delete Existing Loads	<input type="radio"/>	

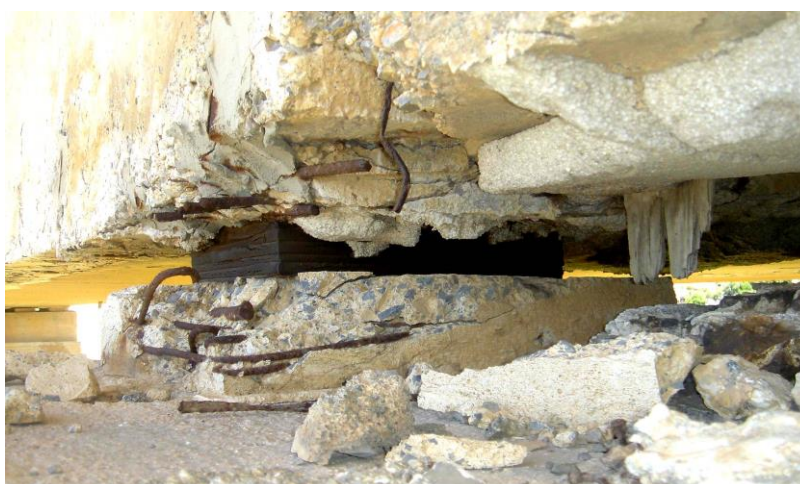
Εικόνα 62 – Πρότυπο εισαγωγής φορτίου στο SAP2000

### 3.5 Εφέδρανα

Έπειτα από αυτοψία στην περιοχή, παρατηρούνται εφέδρανα φθαρμένα, έχοντας φτάσει στο όριο της λειτουργικής περιόδου, με μεγάλες παραμορφώσεις ελαστικού και σοβαρές οξειδώσεις στις μεταλλικές πλάκες.



Οι πλίνθοι έδρασης, αντίστοιχα, είναι πλήρως ρηγματωμένοι, οι οπλισμοί έχουν αποκαλυφθεί και είναι οξειδωμένοι.



Μετρήθηκαν 8 εφέδρανα / βάρη τετραγωνικής κάτοψης 300x400mm με 6 στρώσεις ελαστικού, συνολικού ύψους 75mm με εξωτερικές πλάκες. Ανά 4 συνδέουν την κάθε πλευρά του βάρου.



Διαθέτουμε ελαστομεταλλικά εφέδρανα χαμηλής απόσβεσης, χωρίς πυρήνα μόλυβδου.

Σύμφωνα με τον ΕΚ8-2 τα απλά ελαστομεταλλικά εφέδρανα προσομοιώνονται με στοιχεία γραμμικών ελατηρίων δύο κόμβων (2-joint linear link elements). Η απόσταση των δύο κόμβων αντιπροσωπεύει το συνολικό πάχος των εφεδράνων. Μέσω των link support properties ορίζονται οι δυσκαμψίες των ελατηρίων κατά τις 3 γραμμικές διευθύνσεις ( $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_z$ ) και υπολογίζονται ως:

$$K_x = K_y = \frac{A \cdot G}{T_e}$$

$$K_z = \frac{1}{\frac{T_e}{A} \left( \frac{1}{5GS^2} + \frac{1}{Eb} \right)}$$

$$\text{όπου, } S = \frac{A}{I_p \cdot t_i}$$

Καθώς τα εφέδρανα είναι γερασμένα, υπάρχουν ρηγματώσεις γύρω από τη θέση έδρασης ενώ επιπλέον και τα διάκενα μεταξύ των τμημάτων είναι γεμισμένα από ιζήματα και απορρίμματα, το μέτρο διάτμησης θεωρείται αυξημένο, δηλαδή  $G = 1200 \text{ kN/m}$ .

Το καθαρό εμβαδόν του εφεδράνου ισούται με:  $A = 0,3 \cdot 0,4 = 0,12 \text{ m}^2$ .

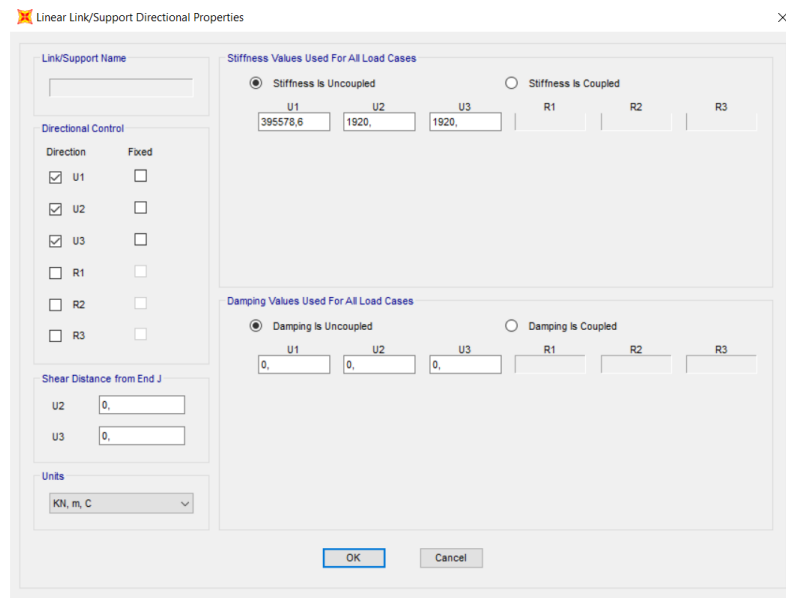
Το πάχος της κάθε στρώσης ισούται με:  $t_i = 0,0125 \text{ m}$

Ενεργή περίμετρος:  $I_p = 2 \cdot (0,3 + 0,4) = 1,4 \text{ m}$

$E_b = 200 \text{ MPa}$

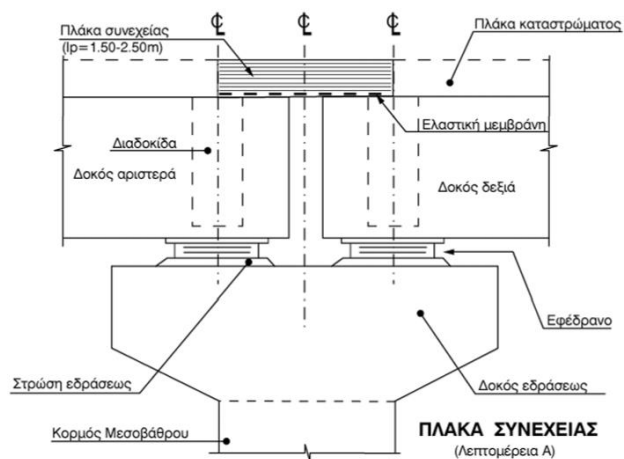
Για τις παραπάνω τιμές προκύπτει  $K_x = K_y = 1920 \text{ kN/m}$ ,  $K_z = 395578,63 \text{ kN/m}$ .

Οι άξονες είναι τοπικοί και όχι καθολικοί. Η μετακίνηση U1 αφορά την κατακόρυφη μετακίνηση κατά τον z η οποία δεσμεύεται. Στις 2 και 3 αναγράφουμε τα παρακάτω:



Εικόνα 63 – Εισαγωγή των δυσκαμψιών των ισοδύναμων ελατηρίων για την προσομοίωση των εφεδράνων στο SAP2000

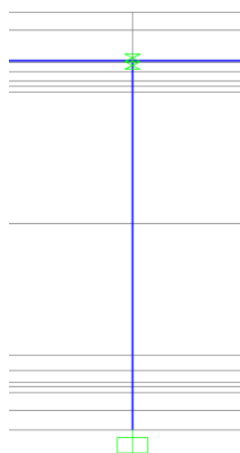
Βλέποντας τη γέφυρα σε όψη παρατηρούμε σκαριφηματικά τη διατάξη ως εξής:



Εικόνα 64 – Σκαριφηματική διάταξη του σημείου σύνδεσης του καταστρώματος με τα βάθρα

Δεδομένου ότι στο πρόγραμμα η προσομοίωση του βάρου, καθώς και των φορέων του καταστρώματος έχει πραγματοποιηθεί με γραμμικά στοιχεία, δε καθίσταται δυνατή η εισαγωγή και των 8 ελατηρίων - εφεδράνων ανά βάρο. Για το λόγο αυτό, εισάγουμε δύο μόνο ελατήρια ισοδύναμα. Το κάθε ελατήριο συνδέεται με τον έναν φορέα του καταστρώματος και αντιπροσωπεύει τα τέσσερα που εδράζονται στην αντίστοιχη πλευρά του βάρου. Τα ελατήρια είναι συνδεδεμένα σε σειρά, που συνεπάγεται ότι το ισοδύναμο ελατήριο θα έχει την τετραπλάσια δυσκαμψία. Τα ελατήρια έχουν κοινό κόμβο αρχής τον κόμβο του βάρου και καταλήγουν στον κάθε κόμβο του φορέα.

Ο φορέας του καταστρώματος είναι ανεβασμένος κατά 75mm, όσο δηλαδή το ύψος του εφεδράνου.

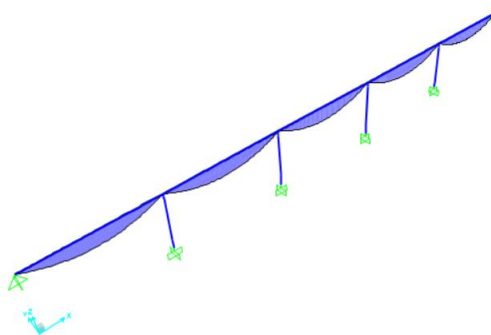


Εικόνα 65 – Εισαγωγή ελατηρίων στο SAP2000

### 3.5.1 Ιδιομορφική Ανάλυση

#### 3.5.1.1 Προσομοίωμα χωρίς εφέδρανα

Για να μην αντιληφθεί το πρόγραμμα τον φορέα του καταστρώματος σαν ενιαίο και συνεχή, ο κόμβος σύνδεσης του καταστρώματος και των βάθρων διαχωρίστηκε σε 3 διαφορετικούς. Ως αποτέλεσμα, το διάγραμμα ροπών έχει την παρακάτω μορφή:



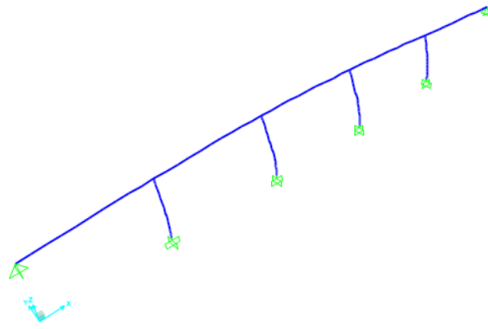
Εικόνα 66 – Διάγραμμα ροπών του προσομοιώματος. Από τη μορφή του συμπεραίνουμε ότι ο φορέας έχει προσομοιωθεί με τη μέθοδο των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων

Πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση, των 12 πρώτων ιδιομορφών και τα αποτελέσματα αυτής παρατίθενται παρακάτω:

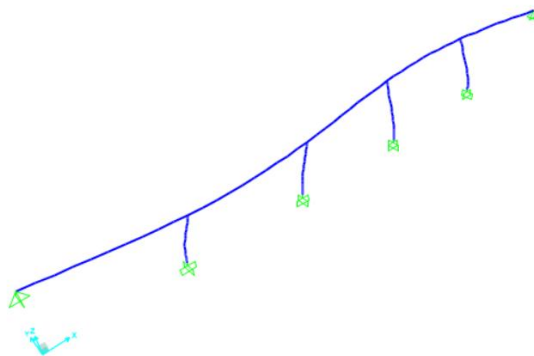
	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
▶	MODAL	Mode	1	0,34637	2,88708639...	18,1400988...	329,063185...
	MODAL	Mode	2	0,303626	3,29353063...	20,6938632...	428,235978...
	MODAL	Mode	3	0,233846	4,27631472...	26,8688778...	721,936597...
	MODAL	Mode	4	0,180688	5,53440018...	34,7736619...	1209,20756...
	MODAL	Mode	5	0,108223	9,24016353...	58,0576597...	3370,69185...
	MODAL	Mode	6	0,064873	15,4147081...	96,8534676...	9380,59419...
	MODAL	Mode	7	0,059112	16,9169100...	106,292080...	11298,0064...
	MODAL	Mode	8	0,05844	17,1116599...	107,515730...	11559,6322...
	MODAL	Mode	9	0,054389	18,3860816...	115,523157...	13345,6000...
	MODAL	Mode	10	0,051429	19,4441100...	122,170946...	14925,7402...
	MODAL	Mode	11	0,051406	19,4531537...	122,227769...	14939,6277...
	MODAL	Mode	12	0,050645	19,7451149...	124,062216...	15391,4335...

Πίνακας 12 – Πίνακας ιδιομορφών για την προσομοίωση χωρίς εφέδρανα

Η πτώση της ιδιοπερίοδου είναι προοδευτική και αποδεκτή σε τιμή όσον αφορά έναν μη μονωμένο φορέα. Οι πρώτες δύο ιδιοπερίοδοι είναι ως προς την εγκάρσια διεύθυνση (y). Παρακάτω παρουσιάζονται οι 2 πρώτες ιδιοπερίοδοι σε γραφική μορφή.



1<sup>η</sup> ιδιοπερίοδος  
 $T_1 = 0,346s$   
Εγκάρσια διεύθυνση

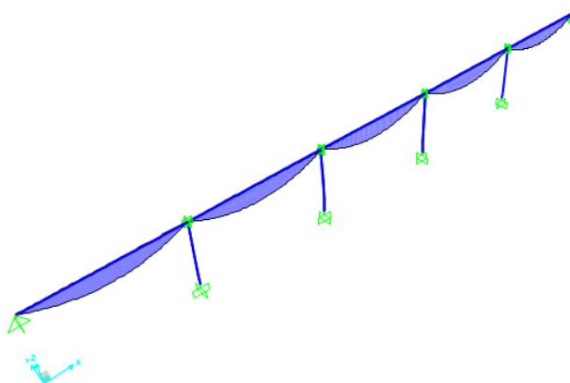


2<sup>η</sup> ιδιοπερίοδος  
 $T_2 = 0,304s$   
Εγκάρσια διεύθυνση



### 3.5.1.2 Προσομοίωμα με εφέδρανα

Όπως ήταν αναμενόμενο, ο φορέας εξακολουθεί να συμπεριφέρεται όντας με ανεξάρτητα αμφιέριστα ανοίγματα. Για το λόγο αυτό, το διάγραμμα ροπών εξακολουθεί να έχει την ίδια μορφή.



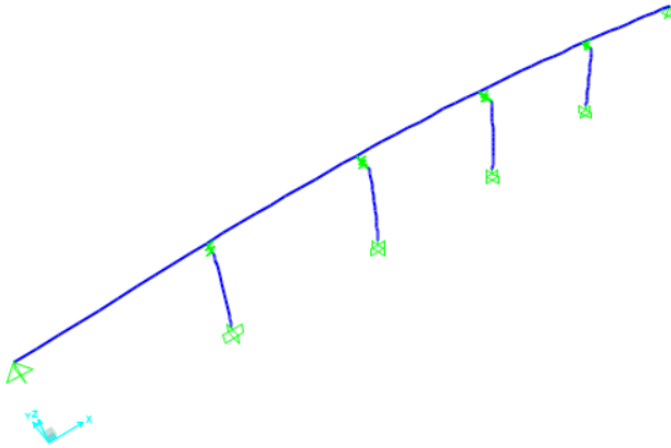
Εικόνα 67 - Διάγραμμα ροπών του προσομοιώματος. Από τη μορφή του συμπεραίνουμε ότι ο φορέας έχει προσομοιωθεί με τη μέθοδο των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων

Πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση, των 12 πρώτων ιδιομορφών και τα αποτελέσματα αυτής παρατίθενται παρακάτω:

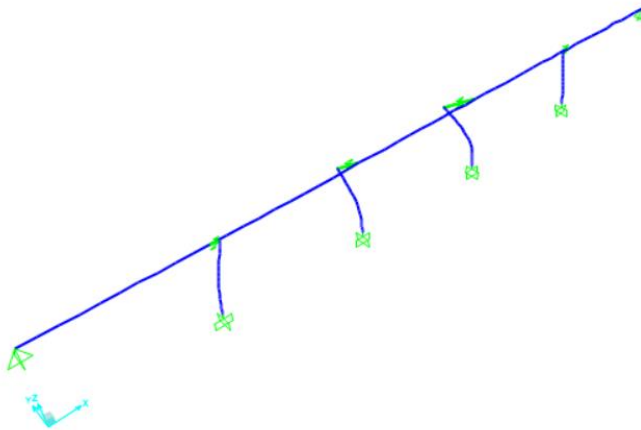
	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad <sup>2</sup> /sec <sup>2</sup>
▶	MODAL	Mode	1	1,721385	0,58092773...	3,65007659...	13,3230591...
	MODAL	Mode	2	0,68945	1,45043216...	9,11333409...	83,0528582...
	MODAL	Mode	3	0,689108	1,45115160...	9,11785442...	83,1352693...
	MODAL	Mode	4	0,682637	1,46490771...	9,20428662...	84,7188922...
	MODAL	Mode	5	0,667278	1,49862578...	9,41614353...	88,6637590...
	MODAL	Mode	6	0,595152	1,68024202...	10,5572720...	111,455992...
	MODAL	Mode	7	0,293747	3,40428628...	21,3897615...	457,521899...
	MODAL	Mode	8	0,192715	5,18900587...	32,6034854...	1062,98726...
	MODAL	Mode	9	0,171339	5,83636711...	36,6709760...	1344,76048...
	MODAL	Mode	10	0,144963	6,89829024...	43,3432358...	1878,63609...
	MODAL	Mode	11	0,144871	6,90270360...	43,3709658...	1881,04067...
	MODAL	Mode	12	0,14336	6,97543976...	43,8279806...	1920,89188...

Πίνακας 13 - Πίνακας ιδιομορφών για την προσομοίωση με εφέδρανα - ελατήρια

Παρατηρείται μία σημαντική αύξηση σε σχέση με τις ιδιοπεριόδους του φορέα χωρίς σεισμική μόνωση. Σημαντικότερη είναι η πρώτη θεμελιώδης ιδιοπερίοδος, η οποία έχει σημαντική απόκλιση από την αμέσως επόμενη. Η πτώση της τιμής της ιδιοπεριόδου είναι προοδευτική και αποδεκτή σε τιμή όσον αφορά έναν μη μονωμένο φορέα. Η πρώτη ιδιοπερίοδος είναι ως προς την εγκάρσια διεύθυνση (y), ενώ η δεύτερη ως προς την διαμήκη (x). Παρακάτω παρουσιάζονται οι 2 πρώτες ιδιοπερίοδοι σε γραφική μορφή.



1<sup>η</sup> ιδιοπερίοδος  
 $T_1 = 1,721s$   
Εγκάρσια διεύθυνση



2<sup>η</sup> ιδιοπερίοδος  
 $T_2 = 0,689s$   
Διαμήκης διεύθυνση

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ

### 4.1 Εισαγωγή – Γενικά Στοιχεία

#### 4.1.1 Περιγραφή Φαινομένου Πλημμύρας

Μέσα από την Οδηγία 2007/60/ΕΚ δίνονται ορισμοί για την «πλημμύρα» και τον «κίνδυνο πλημμύρας»:

«Πλημμύρα» : η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους, το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χειμάρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, με εξαίρεση τις πλημμύρες από συστήματα.

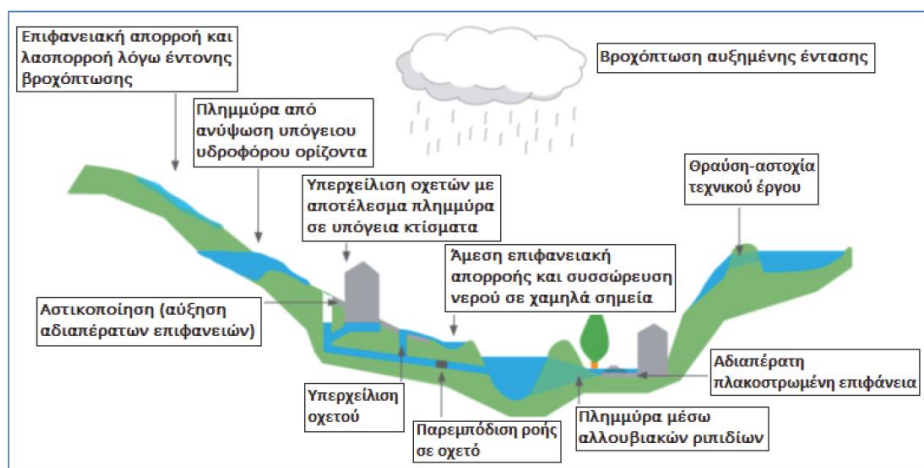
«Κίνδυνος πλημμύρας» : ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται με αυτή την πλημμύρα.

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα (αφού συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις), όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς), δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν τις πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, όμως, τα γεωλογικά, γεωμορφολογικά και υδρογραφικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν από το ανθρωπογενές περιβάλλον, με ενέργειες ή διαδικασίες όπως η αστικοποίηση, η συρρίκνωση των δασικών τμημάτων της λεκάνης απορροής, η ευθυγράμμιση του ρου των ποταμών, η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλισης, η ανεπαρκής αποστράγγιση και η οικοδόμηση κτηρίων και εγκαταστάσεων σε πλημμυρικά πεδία κατάκλισης.

#### 4.1.2 Αίτια, Μηχανισμοί και Χαρακτηριστικά Πλημμύρας

Το Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής έχει συνταγμένες μελέτες για τα υδρογραφικά φαινόμενα, τα αίτια, τους μηχανισμούς καθώς και τα χαρακτηριστικά τους. Ιδιαίτερη μέριμνα έχει δοθεί στο φαινόμενο της πλημμύρας, καθώς τα πλημμυρικά φαινόμενα αντιστοιχούν περίπου στο 43% του συνόλου των φυσικών καταστροφών. Έχουν εκδοθεί ειδικά ΦΕΚ για τα πλημμυρικά φαινόμενα ανά δημοτικό διαμέρισμα, όπου περιγράφονται τα ιδιαίτερα υδρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής και ειδικό σχέδιο δράσης, μέσω της σύνταξης της πλέον εγκεκριμένης Στρατηγικής Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΣΜΠΕ). Μιλώντας για την Κρήτη, συγκεκριμένα, το ειδικό σχέδιο του ΥΠΕΝ (πρώην ΥΠΕΚΑ), αναγράφεται στο ΦΕΚ Β' 2687/06.07.2018.

Τα κύρια αίτια και τύποι των πλημμυρών απεικονίζονται στην επόμενη εικόνα, από τη μελέτη της ΣΜΠΕ, ενώ παρακάτω παρατίθενται τα αίτια, οι μηχανισμοί και τα χαρακτηριστικά του φαινομένου της πλημμύρας:



Εικόνα 68 – Αίτια και τύποι των πλημμυρών απεικονισμένα. Πηγή: floods.ypeka

#### 4.1.2.1 Αίτια Πλημμύρας

Διακρίνουμε έξι κύριες αιτίες, πιθανές για την πρόκληση φαινομένων πλημμύρας, τόσο για το υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης, όσο και για τη γενικότερη κατάσταση στη Μεσόγειο. Σε υπόλοιπες χώρες, το φαινόμενο της πλημμύρας, ενδέχεται να προκαλείται και από διαφορετικές πηγές, λόγω των ιδιαίτερων γεωλογικών, γεωμορφολογικών και κλιματικών χαρακτηριστικών της κάθε περιοχής.

Οι έξι κύριες αιτίες Πλημμύρας είναι:

##### 1. Υπερχείλιση ποταμού

Είναι η πλημμύρα μιας περιοχής από νερά τα οποία προέρχονται από μέρος ενός φυσικού συστήματος αποστράγγισης, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών ή μη καναλιών αποστράγγισης. Συμπεριλαμβάνονται πλημμύρες που οφείλονται σε ποτάμια, ρέματα, συστήματα αποστράγγισης, ορεινούς χειμάρρους και εφήμερα ρεύματα, λίμνες και πλημμύρες από λιώσιμο του χιονιού.

##### 2. Τοπική Καταγίδα

Είναι η πλημμύρα μιας περιοχής που οφείλεται αποκλειστικά σε βροχόπτωση, η οποία είτε έπεσε απευθείας στην περιοχή, είτε απέρρευσε σε αυτή. Συμπεριλαμβάνονται ύδατα από αστικές χιονοθύελλες, η επιφανειακή απορροή στις αγροτικές περιοχές, περίσσεια νερού και επιφανειακές πλημμύρες που προκύπτουν από το λιώσιμο του χιονιού.

##### 3. Υπόγεια Νερά (πηγές κ.λπ.)

Είναι η πλημμύρα μιας περιοχής από υπόγεια νερά που ανυψώνονται πάνω από τη στάθμη του εδάφους. Συμπεριλαμβάνονται τα υπόγεια ύδατα και η υπόγεια ροή από υπερυψωμένα επιφανειακά ύδατα.

#### 4. Ανύψωση Στάθμης Θάλασσας

Είναι η πλημμύρα μιας περιοχής από νερό που προέρχεται από τη θάλασσα, από εκβολές ποταμών ή από θαλάσσιες λίμνες. Συμπεριλαμβάνονται πλημμύρες από τη θάλασσα (π.χ. μεγάλο ύψος κύματος ή κύματα καταιγίδας) και πλημμύρες που προκύπτουν από τη δράση των κυμάτων ή των παράκτιων σε τσουνάμι.

#### 5. Θραύση – Αστοχία τεχνικού έργου

Είναι η πλημμύρα που προέρχεται από τεχνητές υδραυλικές υποδομές ή από αστοχία των συγκεκριμένων υποδομών. Συμπεριλαμβάνονται οι πλημμύρες που προκύπτουν από συστήματα αποχέτευσης, συστήματα ύδρευσης και επεξεργασίας λυμάτων και από τεχνητά συστήματα καθοδήγησης και κατακράτησης νερού.

#### 6. Άλλη αιτία

Οι πλημμύρες από νερό που οφείλονται σε άλλες πηγές, μπορεί να περιλαμβάνει και άλλα παλιρροϊκά κύματα.

### 4.1.2.2 Μηχανισμοί Πλημμύρας

Ως μηχανισμό πλημμύρας εννοούμε τη μορφή που θα πάρει το φυσικό φαινόμενο και τα αποτελέσματα αυτού στο περιβάλλον. Διακρίνουμε πέντε βασικούς μηχανισμούς πλημμύρας.

#### 1. Φυσική Υπερχείλιση

Η κατάκλιση μιας περιοχής από νερό το οποίο ξεπερνά τη φέρουσα ικανότητα ή τη στάθμη του εδάφους.

#### 2. Υπέρβαση Αναχωμάτων

Πλημμύρα μιας περιοχής από νερό το οποίο υπερπήδησε πλημμυρικά αναχώματα.

#### 3. Αστοχία αναχωμάτων ή υποδομών προστασίας

Η πλημμύρα μιας περιοχής λόγω της αστοχίας φυσικών ή τεχνητών αναχωμάτων ή υποδομών προστασίας. Ο μηχανισμός της πλημμύρας μπορεί να περιλαμβάνει την πρόκληση ρήγματος ή και την κατάρρευση της αντιπλημμυρικής προστασίας ή την αστοχία λειτουργίας του αντλητικού συστήματος ή των θυρών.

#### 4. Παρεμπόδιση ροής

Η πλημμύρα μιας περιοχής λόγω φυσικής ή τεχνητής παρεμπόδισης ή περιορισμού της ροής ενός αγωγού ή ενός συστήματος. Αυτός ο μηχανισμός περιλαμβάνει πλημμύρες από την έμφραξη του δικτύου αποχέτευσης ή από υποδομές περιορισμού της ροής, όπως γέφυρες, υπόγειοι οχετοί, κομμάτια πάγου, κατολισθήσεις.

#### 5. Άλλο

Πλημμύρες που οφείλονται σε άνοδο της στάθμης σε λίμνες, ταμιευτήρες και μικρότερα σώματα νερού.

#### 4.1.2.3 Χαρακτηριστικά Πλημμύρας

Λαμβάνοντας υπόψη τις αιτίες και τους μηχανισμούς της πλημμύρας, προκύπτουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά του φυσικού φαινομένου της πλημμύρας. Ουσιαστικά, παρατίθενται οι μορφές που μπορεί να πάρει η πλημμύρα στο χώρο και στο χρόνο, πώς αυτές εξελίσσονται δυναμικά και κατ' επέκτασιν τα αποτελέσματα που θα προκαλέσουν. Διακρίνονται εννέα χαρακτηριστικά πλημμύρας.

##### 1. Ραγδαία Πλημμύρα

Η πλημμύρα η οποία φτάνει την αιχμή και την πτώση της σε σύντομο χρονικό διάστημα και συνήθως προκύπτει μετά από έντονη βροχοπτώση σε μια σχετική μικρή περιοχή.

##### 2. Πλημμύρα από λιώσιμο χιονιού

Πλημμύρα που οφείλεται σε ταχεία τήξη χιονιού, πιθανόν σε συνδυασμό με βροχοπτώση ή παρεμπόδιση της ροής από κομμάτια πάγου.

##### 3. Άλλη γρήγορης εξέλιξης πλημμύρα

Πλημμύρα η οποία εξελίσσεται με γρήγορους ρυθμούς, αλλά όχι στιγμιαία πλημμύρα.

##### 4. Μέτριας εξέλιξης πλημμύρα

Ένα πλημμυρικό επεισόδιο, το οποίο εξελίσσεται με μικρότερους ρυθμούς από μια στιγμιαία πλημμύρα.

##### 5. Αργής εξέλιξης πλημμύρα

Πλημμύρα η οποία χρειάζεται μεγάλο χρόνο για να εξελιχθεί.

##### 6. Μεταφορά λάσπης

Πλημμύρα με μεταφορά μεγάλης ποσότητας λάσπης.

##### 7. Ροή ιδιαίτερα υψηλής ταχύτητας

Πλημμύρα της οποίας τα νερά κινούνται με μεγάλη ταχύτητα.

##### 8. Πλημμύρα ιδιαίτερα μεγάλου βάθους

Πλημμύρα της οποίας τα νερά προέρχονται από σημαντικό βάθος.

##### 9. Άλλα χαρακτηριστικά

Άλλο ή κανένα χαρακτηριστικό πλημμύρας.

### 4.1.3 Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας

Το Σχέδιο Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) καταρτίζεται σε επίπεδο Υδατικού Διαμερίσματος (Περιοχή Λεκανών Απορροής Ποταμών) για τις περιοχές που υπάρχουν δυνητικά σοβαροί κίνδυνοι πλημμύρας ή είναι πιθανόν να σημειωθεί πλημμύρα σύμφωνα με τα οριζόμενα στο άρθρο 7 της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ. Στο Σχέδιο Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας τίθενται οι στόχοι για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας εστιάζοντας στη μείωση των δυνητικά αρνητικών συνεπειών που οι πλημμύρες έχουν για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα και επίσης, αν κριθεί σκόπιμο, σε μη διαρθρωτικές πρωτοβουλίες και/ ή στη μείωση των πιθανοτήτων πλημμύρας.

Τα Σχέδια Διαχείρισης των Κινδύνων Πλημμύρας λαμβάνουν υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των περιοχών που καλύπτουν και παρέχουν ενδεδειγμένες λύσεις, ανάλογα με τις ανάγκες και τις προτεραιότητες των περιοχών αυτών, εξασφαλίζοντας παράλληλα συναφή συντονισμό εντός των περιοχών λεκάνης απορροής ποταμών και προωθώντας την επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων που έχουν θεσπισθεί με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ για τα υπόγεια και επιφανειακά υδατικά συστήματα.

Το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) αποτελεί ταυτόχρονα το βασικό εργαλείο προγραμματισμού αλλά και τον κεντρικό μηχανισμό αναφοράς της χώρας προς την ΕΕ.

Οι στόχοι του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας διακρίνονται ως προς τη μείωση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών των πλημμυρών στην ανθρώπινη υγεία, στο περιβάλλον, στην πολιτιστική κληρονομιά και στις οικονομικές δραστηριότητες. Κατατίθενται προτάσεις που διακρίνονται σε μη κατασκευαστικές παρεμβάσεις αλλά και κατασκευαστικά μέτρα για τη μείωση των πιθανοτήτων πλημμύρας.

Οι βασικοί άξονες του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας κυμαίνονται σε:

- Εστίαση στην πρόληψη και ετοιμότητα
- Προώθηση βιώσιμων πρακτικών διαχείρισης γης
- Βελτίωση της συγκράτησης υδάτων
- Ελεγχόμενη κατάκλιση περιοχών σε περίπτωση πλημμύρας
- Συνεννόηση με γειτονικές χώρες ώστε τα μέτρα να μην αυξάνουν σημαντικά τον κίνδυνο πλημμύρας ανάντη ή κατάντη του ποταμού.

Αντίστοιχα, τα προτεινόμενα μέτρα διακρίνονται σε:

- Μέτρα Προστασίας
- Μέτρα Πρόληψης
- Μέτρα Ετοιμότητας
- Μέτρα Αποκατάστασης
- Μέτρα Αντιμετώπισης.



Τα Μέτρα Πρόληψης αφορούν κατ' αρχάς την αποφυγή του φαινομένου της πλημμύρας. Αυτό πραγματοποιείται με μέτρα για την αποφυγή εγκατάστασης νέων ή επιπρόσθετων αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου. Τέτοια μέτρα είναι οι πολιτικές χρήσεων γης, η χωροταξία, το θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο κ.ο.κ. Ιδιαίτερης σημασίας είναι και η μετεγκατάσταση του φαινομένου. Παίρνονται, δηλαδή ειδικά μέτρα για την απομάκρυνση αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου από πλημμυρικές ζώνες όπως μετεγκατάσταση οικιστικών περιοχών και οικονομικών δραστηριοτήτων. Τέλος, η πρόληψη έχει ως βασική τακτική τη μείωση των επιπτώσεων (flood proofing). Τα μέτρα, όσον αφορά το flood proofing είναι τόσο για την προσαρμογή των αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις από πλημμύρες, όσο και για την αναβάθμιση της πρόληψης του πλημμυρικού κινδύνου. Συγκεκριμένα, πάγιες τακτικές είναι η προσομοίωση και εκτίμηση τρωτότητας στην πλημμύρα, τα προγράμματα και οι πολιτικές συντήρησης αντιπλημμυρικών έργων και υποδομών καθώς και η ενσωμάτωση της Οδηγίας σε άλλες πολιτικές και στρατηγικές του κράτους, κυρίως χωρικής διευθέτησης.

Τα Μέτρα Προστασίας έγκεινται στα αντιπλημμυρικά έργα και στη διαχείριση των όμβριων υδάτων. Τα αντιπλημμυρικά έργα αφορούν παρεμβάσεις σε κοίτες υδατορευμάτων, σε ορεινά υδατορεύματα, σε δέλτα ποταμών, σε παράκτια ύδατα και πλημμυρικά πεδία. Πραγματοποιούνται με κατασκευή, τροποποίηση και αφαίρεση κατασκευών, με τη διευθέτηση της κοίτης των υδατορευμάτων, με δημιουργία αντιπλημμυρικών αναχωμάτων, με έργα διαχείρισης φερτών υλών κ.λπ. Η διαχείριση των όμβριων υδάτων πραγματοποιείται με μέτρα παρεμβάσεων για τον έλεγχο του όγκου απορροής και για τη μείωση της πλημμύρας, κυρίως σε αστικές περιοχές. Αντίστοιχα έργα είναι αυτά της αύξησης διαπερατότητας του εδάφους, η αναβάθμιση των τεχνητών συστημάτων αποχέτευσης και η διαχείριση συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων. Τέλος, υπάρχουν και άλλα μέτρα παρεμβάσεων προστασίας, όπως τα προγράμματα και πολιτικές συντήρησης υποδομών αντιπλημμυρικής προστασίας, η προστασία των ιδιωτικών κατασκευών, με απομόνωση των εισόδων ιδιοκτησιών κ.λπ.

Ακολουθούν τα Μέτρα Ετοιμότητας, όπου εντάσσεται σε αυτά η πρόγνωση και έγκαιρη προειδοποίηση μέσω της ανάπτυξης ή αναβάθμισης συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και της πρόγνωσης πλημμυρών. Στην ετοιμότητα εντάσσονται και τα σχέδια έκτακτης ανάγκης με μέτρα για την ανάπτυξη ή την αναβάθμιση του σχεδιασμού έκτακτης ανταπόκρισης σε πλημμυρικά γεγονότα. Κρίσιμη είναι η ενημέρωση και ετοιμότητα των πολιτών. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω διαφημιστικής καμπάνιας, με υποστήριξη και συνεργασία φορέων από ομάδες εμπλοκής σε συνθήκες πλημμύρας, με προγραμματισμούς δράσεων και ασκήσεων ετοιμότητας.

Τα Μέτρα Αποκατάστασης υφίστανται στην ατομική, κοινωνική και περιβαλλοντική αποκατάσταση. Ενδεικτικά, καθαρισμός και αποκατάσταση κτηρίων, ιδιοκτησιών και υποδομών. Δράσεις υποστήριξης της σωματικής και ψυχικής υγείας πληγέντων πολιτών, οικονομική βοήθεια και αποζημιώσεις έναντι φυσικών καταστροφών, νομική υποστήριξη πληγέντων πολιτών. Κρίσιμο είναι, επίσης, το επίδομα ανεργίας των πληγέντων πολιτών καθώς και η προσωρινή ή μόνιμη μετεγκατάστασή τους. Όσον αφορά την αποκατάσταση του περιβάλλοντος, απαιτείται η αποκατάσταση της ποιότητας των υδάτων και του πόσιμου νερού καθώς και η διασφάλιση επικίνδυνων υλικών.

Τέλος όσον αφορά τα μέτρα αντιμετώπισης αυτά διαχωρίζονται σε κατασκευαστικά και μη κατασκευαστικά μέτρα. Τα κατασκευαστικά μέτρα έχουν ως κύριους στόχους την

αποθήκευση του νερού και την αύξηση της ικανότητας μεταφοράς του. Δεδομένου ότι οι κατασκευές είναι τρωτές στις πλημμύρες, καθώς έχουν σχεδιαστεί για κάποια πιθανότητα) θα πρέπει να συνοδεύονται και από άλλα μη κατασκευαστικά μέτρα. Τέτοιες κατασκευές είναι οι αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες στα ανάντη της λεκάνης, τα αναχώματα και οι προστατευτικοί τοίχοι, οι λεκάνες κατάκλυσης δίπλα στο ποτάμι και στις χαμηλές περιοχές καθώς και τα δίκτυα ομβρίων. Επιπλέον, σημαντικά θεωρούνται και τα έργα εκτροπής των ποταμών, η παράκτια προστασία, η αύξηση της παροχетеυτικότητας των ποταμών με καθαρισμό, εκβάθυνση και διάνοιξη των διατομών, η εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών παράλληλα με το ποτάμι και η κατασκευή υπερχειλιστών σε ταμιευτήρες.

Τα μη κατασκευαστικά μέτρα έγκεινται στη διατήρηση και επέκταση των δασών στις ορεινές περιοχές της λεκάνης, στη διατήρηση των υδροτόπων και των πλημμυρικών πεδίων από ανθρώπινες επεμβάσεις και χρήσεις ώστε οι φυσικές ζώνες πλημμυρών να καθυστερούν τη ροή, στην προσαρμογή των χρήσεων των πλημμυρικών πεδίων στην πιθανότητα καταστροφής και χωροθέτηση των σημαντικών εγκαταστάσεων σε ακίνδυνες περιοχές, η διατήρηση των μαιάνδρων των ποταμών και των φυσικών συνδέσεων τους με τις πλημμυρικές περιοχές. Ακολουθούν ο έλεγχος και η συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων στις αστικές περιοχές, η χρήση ιστορικών πληροφοριών για την ανάπτυξη συστημάτων πρόγνωσης καταιγίδων και μοντέλων βροχής – απορροής και τα συστήματα ειδοποίησης του κοινού. Τέλος, απαραίτητη κρίνεται η δημιουργία μηχανισμού διαρκούς ενημέρωσης του κοινού καθώς και η οργάνωση φορέων για πρόληψη και αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών.

## 4.2 Υπολογισμός Φορτίου Πλημμύρας

Η πλημμύρα αποτελεί φυσικό φαινόμενο με άγνωστη συχνότητα εμφάνισης και ανεξέλεγκτα μεγέθη συμπεριφοράς. Καταλογίζεται στις κινητές και τυχαματικές δράσεις φόρτισης. Για το λόγο αυτό, τα φορτία λόγω πλημμύρας είναι αρκετά δύσκολο να υπολογιστούν.

Η φόρτιση που προκαλείται από την πλημμύρα δημιουργείται ουσιαστικά από τα κύματα που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια αυτής. Τα κύματα, στην πραγματικότητα, και κυρίως κατά τη διάρκεια της πλημμύρας έχουν διαφορετικά σχήματα, ύψη, περιόδους κ.λπ. Για το λόγο αυτό, θα χρειαστούν παραδοχές ώστε να προσομοιωθούν όσο το δυνατόν λογικότερα. Κύρια παραδοχή που θα αξιοποιηθεί, είναι η θεώρηση της φόρτισης ως ομοιόμορφα κατανεμημένης.

Στο φορέα της παρούσας διπλωματικής, διαθέτουμε ένα εξ' ολοκλήρου βυθισμένο βάθρο στη μέση περίπου της υγρής διατομής του ποταμού (25,35m ανατολικά και 36,25m δυτικά) και ένα ακόμα βάθρο, του οποίου το θεμέλιο βρίσκεται κατά 3,70m στο νερό και το υπόλοιπο στο χώμα, ενώ το βάθρο του δε βρέχεται.

Για τον υπολογισμό του φορτίου πλημμύρας, θα παρθούν ακραίες καταστάσεις πλημμυρικής παροχής, καθώς σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας δεν είναι η αποτύπωση μιας τυπικής μέρας, αλλά η αποτίμηση της συμπεριφοράς της γέφυρας σε ακραίες καταστάσεις σχεδιασμού.

#### 4.2.1 Ορθολογική Μέθοδος Υπολογισμού Μέγιστης Παροχής

Καθώς δεν έχουμε δεδομένα από μετρήσεις παροχής του Γεροποτάμου, η μέγιστη παροχή που μπορεί να διοχετεύσει η κοίτη του ποταμού υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο της ορθολογικής μεθόδου από την Τεχνική Υδρολογία:

$$Q_{\max} = 0,278 \cdot c \cdot i \cdot A$$

όπου,

$Q$  (m<sup>3</sup>/sec) : η αιχμή της απορροής

$c$  : ο συντελεστής απορροής

$i$  (mm/hr) : η ένταση της βροχόπτωσης για το χρόνο συγκέντρωσης

$A$  (km<sup>2</sup>) : η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης

#### Συντελεστής Απορροής $c$

Ο συντελεστής απορροής εκτιμάται από το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$ ,  $c_4$  οι οποίοι εξαρτώνται αντίστοιχα από:

1. το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης
2. τη διηθητικότητα του εδάφους
3. την έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης
4. την κλίση των πρανών και την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα:

C	Τιμές			
	Ακραίες	Υψηλές	Συνήθειες	Χαμηλές
1	0,28 – 0,35 επικλινές, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	0,20 – 0,28 λοφώδες με μέσες κλίσεις 10 – 30 %	0,14 – 0,20 κυματώδες με μέσες κλίσεις 5 – 10 %	0,08 – 0,14 σχετικά επίπεδο με μέσες κλίσεις 0 – 5 %
2	0,12 – 0,16 με επιπρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0,08 – 0,12 βραδείας διηθητικότητας, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0,06 – 0,08 κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μικρής ή μεσοσσίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ίλυες και ιλυώδη εδάφη	0,04 – 0,06 υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
3	0,12 – 0,16 βλάστηση που δεν επιπρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	0,08 – 0,12 πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0,06 – 0,08 μέτρια ως καλή περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% της επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0,04 – 0,06 καλή έως άριστη περίπου 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
4	0,10 – 0,12 αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, μικροί διάδρομοι αποστράγγισης, καθόλου τέλματα	0,08 – 0,10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0,06 – 0,08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0,04 – 0,06 υψηλή, αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων

Πίνακας 14 – Πίνακας Υπολογισμού συντελεστή απορροής  $c$ . Διαφάνειες μαθήματος Τεχνική Υδρολογία,

Μπαλτάς, Μαμάσης

Όσον αφορά το συντελεστή  $c_1$  θεωρούμε ότι έχουμε συνήθεις τιμές που αντιστοιχούν σε κυματώδες ρέμα με μέσες κλίσεις 5 – 10%. Προκύπτει τιμή  $c_1 = 0,14$ .

Όσον αφορά το συντελεστή  $c_2$  θεωρούμε ότι έχουμε συνήθεις τιμές που αντιστοιχούν σε εδάφη κανονικής διηθητικότητας, καλά αποστραγγιζόμενα, μεσαίας μακροϋφής, αμμώδη παχιά. Προκύπτει τιμή  $c_2 = 0,07$ .

Όσον αφορά το συντελεστή  $c_3$  θεωρούμε ότι έχουμε συνήθεις τιμές που αντιστοιχούν σε διήθηση μέτρια έως καλή καθώς περίπου το 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη. Προκύπτει τιμή  $c_3 = 0,06$ .

Τέλος, όσον αφορά το συντελεστή  $c_4$  θεωρούμε ότι έχουμε συνήθεις τιμές που αντιστοιχούν σε σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα. Προκύπτει τιμή  $c_4 = 0,06$ .

Τελικώς, προκύπτει συντελεστής απορροής  $c = 0,14 + 0,07 + 0,06 + 0,06 \rightarrow c = 0,33$

#### Ένταση βροχόπτωσης $i$ (mm/hr):

Η συγκεκριμένη παράμετρος θα εκτιμηθεί για τη μέγιστη βροχή που μπορεί να ξεσπάσει στην εξεταζόμενη περιοχή. Η συνηθέστερη μέθοδος υπολογισμού της έντασης της βροχόπτωσης για το χρόνο συγκέντρωσης είναι μέσω των όμβριων καμπυλών, οι οποίες δεν είναι διαθέσιμες για την παρούσα διπλωματική εργασία. Συνεπώς, ο υπολογισμός, θα γίνει μέσω παραδοχών για την εντονότερη βροχόπτωση στο βόρειο τμήμα της Κρήτης.

Για την εύρεση της μέγιστης βροχόπτωσης χρειάζεται ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα αναζήτησης αυτής. Σύμφωνα με ΟΜΟΕ και AASHTO, η πλημμύρα σχεδιασμού τόσο για τον υπολογισμό των πλημμυρικών φορτίων όσο και για τον υπολογισμό των φορτίων υποσκαφής είναι η πλημμύρα με περίοδο επαναφοράς τα 100 έτη.

#### **Αντιστοιχία περιόδου επαναφοράς πλημμύρας και περιόδου επαναφοράς βροχής σχεδιασμού**

$$T_{\text{πλημμύρας}} \neq T_{\text{βροχόπτωσης}}$$

Αντιστοιχία περιόδου επαναφοράς πλημμύρας και περιόδου επαναφοράς βροχής σχεδιασμού (σε έτη)									
Περίοδος επαναφοράς πλημμύρας									( $T_{\text{πλημμύρας}}$ )
2,33	5	10	20	30	50	100	250	500	1000
Περίοδος βροχής σχεδιασμού									( $T_{\text{βροχόπτωσης}}$ )
2	8	17	35	50	81	140	300	520	1000

Πίνακας 15 – Πίνακας Περιόδου επαναφοράς – περιόδου βροχής. Διαφάνειες μαθήματος Τεχνική Υδρολογία, Μπαλτάς, Μαμάσης

Συνεπώς, αναζητούμε τη μέγιστη βροχόπτωση των τελευταίων 140 ετών.

Σύμφωνα με άρθρο του μετεωρολόγου Θεόδωρου Κολυδά (*Πηγή: kolydas.gr*), στις 18 Οκτωβρίου 1937, στην περιοχή των Χανίων (Βόρεια Κρήτη), κατά τη διάρκεια της νύχτας, έριξε 212mm βροχής, ποσότητα που αντιστοιχεί στη μέγιστη που έχει καταγραφεί στην ιστορία της Κρήτης.

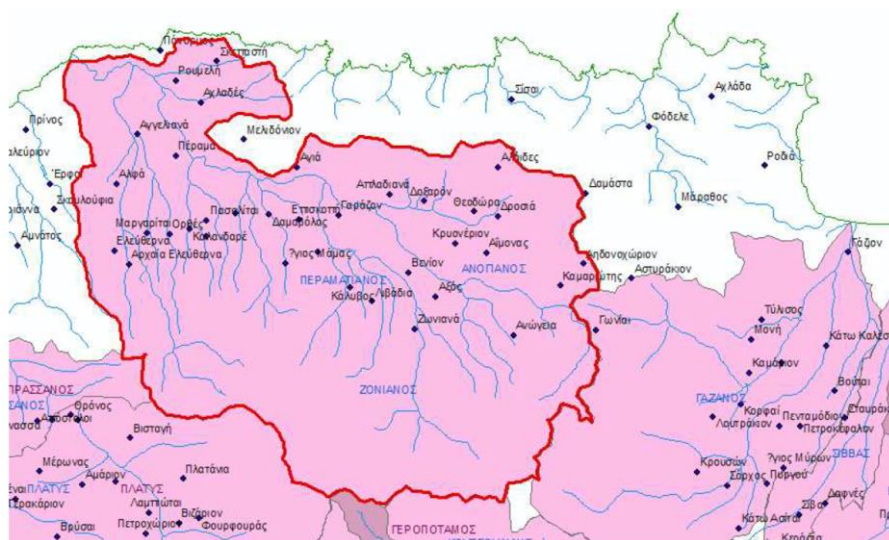
Αξίζει να αναφέρουμε ότι η τιμή αυτή δεν αποτελεί εξωπραγματικό μέγεθος για τα σημερινά δεδομένα, εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής. Χαρακτηριστικά, στις 25 Φεβρουαρίου 2019, στην περιοχή των Χανίων, καταγράφηκαν 116mm με τα 52mm από αυτά μέσα σε λίγες ώρες (*kolydas.gr*), ενώ στις 14 Οκτωβρίου του 2021, η κακοκαιρία «Μπάλος» έπληξε τα Χανιά με 87mm και το Ρέθυμνο με 52mm (*Πηγή: meteo.gr*).

Συνεπώς, στο μοντέλο προσομοίωσης της γέφυρας θα χρησιμοποιηθεί η τιμή των 212mm. Θεωρώντας, ότι έβρεχε καθ' όλη τη διάρκεια της νύχτας (23:00 έως 6:00, σύνολο 7 ώρες), προκύπτει ένταση  $i = 30,3 \text{ mm/h}$ .

### Επιφάνεια Υδρολογικής Λεκάνης A

Ως Λεκάνη Απορροής ή Υδρολογική Λεκάνη, θεωρούμε την περιοχή της επιφάνειας της γης που περικλείεται από τον υδροκρίτη. Στην περιοχή αυτή συγκεντρώνονται τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που στη συνέχεια καταλήγουν σε ένα κεντρικό σύστημα απομάκρυνσής τους. Το σύστημα αυτό μπορεί να είναι ένα ποτάμι που καταλήγει στη θάλασσα, ένας χείμαρρος ή μια λίμνη όπου το νερό συγκεντρώνεται και εξατμίζεται ή απορροφάται από το έδαφος.

Η Λεκάνη Απορροής της περιβάλλουσας περιοχής του Γεροποτάμου ισούται προσεγγιστικά με  $360 \text{ km}^2$  και απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 69 – Υδρολογική Λεκάνη περιοχής Μυλοποτάμου. Πηγή: Μιχάλης Καλές

Συμπερασματικά, για  $c=0,33$  /  $i=30,3 \text{ mm/hr}$  /  $A=360 \text{ km}^2$  προκύπτει  $Q_{\max} = 277,97 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

## 4.2.2 Υπολογισμός Παραμέτρων Πλημμύρας

Για την εισαγωγή του φορτίου πλημμύρας στο προσομοίωμα, απαιτείται ο υπολογισμός δυο παραμέτρων: του ύψους νερού  $h$  που βρέχει το βάθρο και του φορτίου  $P$  που ασκεί σε αυτό το ύψος.

### Υπολογισμός ύψους $h(m)$ :

Ο υπολογισμός της ανύψωσης στάθμης του νερού θα πραγματοποιηθεί μέσω του τύπου της παροχής κατά Manning για ανοικτούς αγωγούς, αντικαθιστώντας στην τιμή της παροχής, την πλημμυρική παροχή  $Q_{max}$  που προέκυψε από την ορθολογική μέθοδο.

Τύπος παροχής κατά Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

όπου,

$n$  : ο συντελεστής τραχύτητας

$A$  : το εμβαδόν της βρεχόμενης διατομής

$R$  : η υδραυλική ακτίνα

$S$  : η κλίση του ποταμού

### Συντελεστής τραχύτητας $n$

Για τον υπολογισμό του συντελεστή τραχύτητας, θα θεωρήσω τη διατομή του ποταμού ως ανοιχτό ανεπένδυτο αγωγό (τάφρο) με βραχώδες έδαφος. Έτσι, σύμφωνα με την παρακάτω εικόνα προκύπτει  $n = 0,035$ .

Κατηγορία αγωγού και υλικό του	$n \left( \frac{s}{m^{1/3}} \right)$
<b>Ανεπένδυτοι αγωγοί (τάφροι)</b>	
Γαϊώδεις ευθύγραμμοι πρόσφατης κατασκευής	0.018
Γαϊώδεις ευθύγραμμοι παλαιάς κατασκευής	0.022
Βραχώδεις	0.035
<b>Επενδεδυμένοι αγωγοί (διώρυγες)</b>	
Με λεία ασφαλτική επάλειψη	0.013
Με τσιμεντοκονία	0.013
Με επιμελές σκυροκονίαμα	0.017
Με gunite	0.019
Με τοιχοποιία και τσιμεντοκονία	0.025
Με ξηρολιθοδομή	0.032
Σωλήνες	
Πλαστικοί	0.011
Από σκυρόδεμα	0.012-0.015
Χυτοσίδηροί με επάλειψη	0.013
Αργιλοπυριτικοί	0.013
Χωρίς επάλειψη	0.014
Μαύροι σιδηροσωλήνες	0.014
Σιδηροσωλήνες γαλβανισμένοι	0.016

Εικόνα 70 – Πίνακας υπολογισμού τραχύτητας  $n$ . Διαφάνειες Μαθήματος Υδραυλικής, Νάνου, Ευστρατιάδης, Κουτσογιάννης

### Εμβαδόν βρεχόμενης διατομής A:

Η διατομή του ποταμού έχει την εξής μορφή:



Εικόνα 71 – Σκαρίφημα διατομής ποταμού στην περιοχή του βάρθρου

όπου το συνολικό βάθος ανέρχεται στα 2m περίπου. Ωστόσο, για την ανύψωση της στάθμης του ύδατος λόγω της πλημμυρικής παροχής, δε θα χρησιμοποιήσουμε το σύνολο της βρεχόμενης διατομής, αλλά το εμβαδόν της διατομής που ανυψώνεται. Κατά προσέγγιση, θεωρούμε ορθογωνική διατομή και έτσι προκύπτει:  $A = 60,24 \cdot h$

### Υδραυλική Ακτίνα R:

Η υδραυλική ακτίνα ισούται με το πηλίκο του εμβαδού προς την περίμετρο της βρεχόμενης διατομής. Για ορθογωνική διατομή η υδραυλική ακτίνα ισούται με:

$$R = (b \cdot y) / (b + 2y)$$

Αντικαθιστώντας, όπου y το h της ανύψωσης του ύδατος προκύπτει υδραυλική ακτίνα:

$$R = (60,24 \cdot h) / (60,24 + 2 \cdot h)$$

### Κλίση του ποταμού S:

Η κλίση του ποταμού S ισούται με το πηλίκο  $h_f / L$ , όπου  $h_f$  το ύψος των γραμμικών απωλειών ενέργειας και L το μήκος του αγωγού.

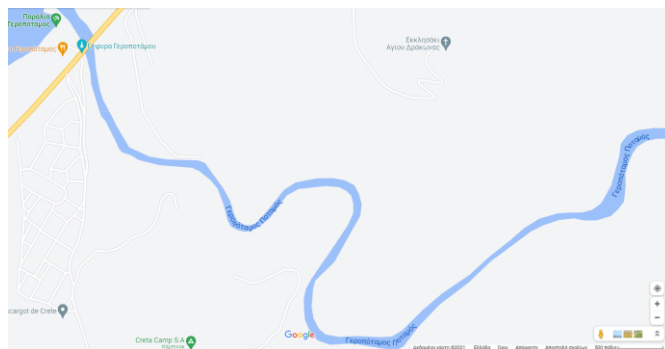
Οι γραμμικές απώλειες ενέργειας υπολογίζονται από τον τύπο:

$$h_f = \lambda \frac{v^2}{2g} \frac{L}{D}$$

Ωστόσο, στον τύπο αυτό, εισέρχεται ο όρος της ταχύτητας, τον οποίο δεν μπορούμε να τον υπολογίσουμε χωρίς τη γνώση του ύψους h. Για το λόγο αυτό, η τιμή θα υπολογιστεί γεωμετρικά. Θεωρούμε ομοιόμορφη ροή ανοιχτού αγωγού δηλαδή  $S_{\text{πυθμ}} = S_{\text{Γ.Ε.}}$

Ο Γεροπόταμος έχει ανοιόμορφη μορφή απόσπασμα της οποίας φαίνεται στο παρακάτω στιγμιότυπο του Google Maps:



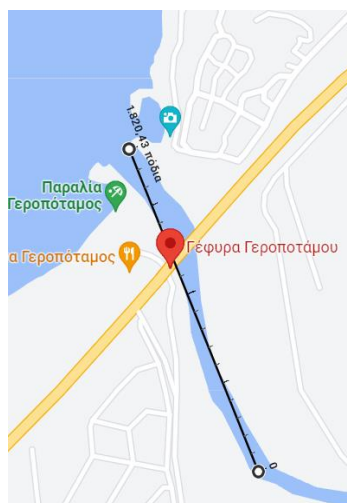


Εικόνα 72 – Γεωγραφική απεικόνιση του ανάγλυφου του ποταμού στην θέση εκβολής του, στη γέφυρα.

Google Maps

Καθώς η γέφυρα του Γεροποτάμου βρίσκεται στο βορειοδυτικό άκρο, υπολογίζω την κλίση στον τελικό – προσεγγιστικά – ευθύγραμμο κλάδο.

Από το Google Maps προέκυψε οριζόντια απόσταση 554,87m.

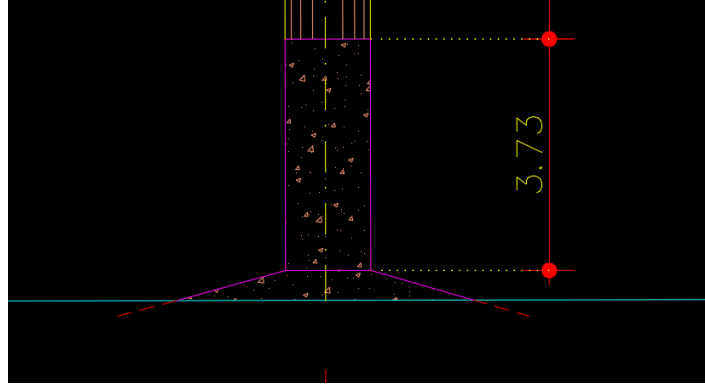


Εικόνα 73 – Υπολογισμός κλίσης εδάφους από Google Maps και Google Earth

Από το Google Earth το υψόμετρο στην αρχή της διαδρομής είναι 12m, ενώ καταλήγει σχεδόν στη στάθμη της θάλασσας δηλαδή +0,00m. Έτσι, προκύπτει κλίση ποταμού  $s=0,0216$ .

Εξισώνοντας, τώρα τη μέγιστη παροχή  $Q_{max}$  από την ορθολογική μέθοδο, με την παροχή κατά Manning, με μοναδικό, πλέον, άγνωστο το ύψος  $h$ , προκύπτει  $h = 1,07m$ .

Παρατηρούμε, ωστόσο, σύμφωνα με τα σχέδια του Autocad που μας διατίθενται, ότι λόγω φαινομένων ξηρασίας στην περιοχή, η στάθμη του ύδατος έχει κατέλθει και έχει αποκαλύψει τα θεμέλια.



Εικόνα 74 – Ταπείνωση της στάθμης του ύδατος από τα σχέδια αποτύπωσης

Η ταπείνωση της στάθμης του ύδατος, σε σχέση με την αρχή του βάθρου είναι στα 0,48m. Για το λόγο αυτό, το συνολικό ύψος που εισέρχεται στο πρόγραμμα είναι:

$$h=1,07-0,48=0,59m$$

#### Υπολογισμός Φορτίου P(kN/m):

Ο τύπος του φορτίου πλημμύρας, υπολογίζεται από το AASHTO, LRFD Bridge Design Specification §3.7.3, Stream Pressure:

$$P = C_D \frac{w}{2g} V^2$$

όπου,

$P$  (kN/m<sup>2</sup>) : το οριζόντιο φορτίο πίεσης της ροής για την πλημμύρα σχεδιασμού

$C_D$  : συντελεστής σχήματος βάθρου

$w$  (kg/m<sup>3</sup>) : ειδικό βάρος νερού

$g$  (m<sup>2</sup>/s) : επιτάχυνση της βαρύτητας

$V$  (m/s) : ταχύτητα ροής ποταμού

#### Συντελεστής σχήματος βάθρου $C_D$ :

Προκύπτει από τον Πίνακα 3.7.3.1-1 του κανονισμού AASHTO και συσχετίζει το σχήμα του βάθρου, με τα ιζήματα – σκουπίδια που αυτό συγκρατεί.

Type	$C_D$
Semicircular-nosed pier	0.7
Square-ended pier	1.4
Debris lodged against the pier	1.4
Wedged-nosed pier with nose angle 90 degrees or less	0.8

Πίνακας 16 – Υπολογισμός συντελεστή σχήματος βάθρου  $C_d$  κατά AASHTO

Η γέφυρα που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική, διαθέτει βάθρα με τετραγωνική απόληξη καθώς και κολλημένα θραύσματα – ιζημάτα πάνω τους, σύμφωνα με αποσπάσματα από ειδήσεις της Περιφέρειας Κρήτης (cretalive). Έτσι, επιλέγεται η τιμή  $C_D = 1,4$ .

### Ειδικό βάρος νερού $w$

Βασιζόμενοι στην υπόθεση μιας μέσης συγκέντρωσης 10% των ιζημάτων στο νερό, το ειδικό βάρος νερού  $w$  (ή  $\gamma$ ) θεωρείται προσαυξημένο και ίσο με  $1200\text{kg/m}^3 = 12\text{kN/m}^3$ .

### Ταχύτητα ροής ποταμού $V$

Για τον υπολογισμό της ροής του ποταμού, πρόκειται να χρησιμοποιηθούν οι τύποι της υδραυλικής για την ομοιόμορφη ροή ανοιχτών αγωγών με τις κατάλληλες παραδοχές για το φυσικό έδαφος. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιείται ο γενικός νόμος ροής κατά Darcy – Weisbach:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8gRI}$$

όπου,

$\lambda$  : συντελεστής αντίστασης ή τριβής

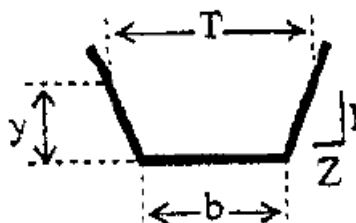
$R$  (m) : υδραυλική ακτίνα για ολόκληρη πλέον τη διατομή

$I = s$  : κλίση γραμμής ενέργειας αγωγού

Η υδραυλική ακτίνα εξαρτάται από τον τύπο της διατομής του αγωγού. Στη συγκεκριμένη περίπτωση ο αγωγός είναι κιβωτοειδούς μορφής και έτσι η υδραυλική ακτίνα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$R = \frac{(b + Zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + Z^2}}$$

με γεωμετρικά χαρακτηριστικά που περιγράφονται από το παρακάτω σκαρίφημα:



Για κλίση  $Z = 0,34$  (προκύπτει από σχέδια) και  $y$  το συνολικό, πλέον, ύψος της διατομής, μετά την πλημμύρα, δηλαδή  $y = 2\text{m} + h = 3,07\text{m}$  προκύπτει υδραυλική ακτίνα  **$R = 2,82\text{m}$**

### Συντελεστής αντίστασης ή τριβής λ:

Ισχύει ο γενικός νόμος αντίστασης για τυρβώδη ροή σε κλειστούς αγωγούς κατά Colebrook – White.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{v}{\sqrt{2gDI}} = -2.0 \log\left(\frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{\lambda}} + \frac{k_s/D}{3.71}\right)$$

όπου,

D (m) = 4E/Π (E : εμβαδόν και Π : περίμετρος της βρεχόμενης διατομής)

I = S : κλίση γραμμής ενέργειας

Re : αριθμός Reynolds

k<sub>s</sub> : συντελεστής σχετικής τραχύτητας

Θεωρείται αμελητέος ο όρος που περιέχει τον αριθμό Reynolds (Re), σε σχέση με τον όρο που περιέχει τη σχετική τραχύτητα k<sub>s</sub>/D, καθώς η τραχύτητα σε φυσικούς αγωγούς είναι σχετικά μεγάλη.

Οι τιμές του συντελεστή σχετικής τραχύτητας, υπολογίζονται από τον Πίνακα τραχύτητας Υδατορευμάτων κατά Vollmers 1991. Υποθέτουμε σταθερό πυθμένα με ανωμαλίες που συνεπάγεται k<sub>s</sub> = 350mm.

Γενική τραχύτητα	k <sub>s</sub> (mm)
- χωρίς ανωμαλίες	50-250
- με ανωμαλίες στον πυθμένα	150-350
- με σταθερό πυθμένα και ανωμαλίες στον πυθμένα και στα πρανή	300-700
Τάφροι αποξήρασης και ρυάκια	100-350

Πίνακας 17 – Υπολογισμός συντελεστή τραχύτητας k<sub>s</sub>. Διαφάνειες μαθήματος υδραυλικής Νάνου, Ευστρατιάδης, Κουτσογιάννης

Από το σχέδιο της υγρής διατομής που διαθέτουμε προκύπτουν E = 186,89m<sup>2</sup> και Π = 129m. Συνεπώς, D = 5,80m.

Μέσω υπολογιστικού φύλλου Excel που δημιουργήθηκε για τον υπολογισμό των συγκεκριμένων τιμών και με εισαγωγή των μέχρι στιγμής δεδομένων προκύπτουν:

$$\text{Από τη σχέση Colebrook – White } \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 3,57$$

$$\text{Από τη σχέση Darcy – Weisbach ταχύτητα } V = 7,82\text{m/s}$$

Τέλος, από τον τύπο του AASHTO υπολογίζονται οι οριζόντιες πιέσεις Ph = 52,35kN/m<sup>2</sup>.

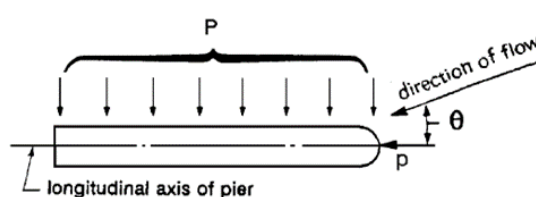
Για τη μετατροπή του φορτίου των πιέσεων σε γραμμικό, απαιτείται ο πολλαπλασιασμός με τη βρεχόμενη έκταση του βάθρου, με την οποία έρχεται σε επαφή, δηλαδή τη μικρή διάσταση του κάτω δεσμού του βάθρου, που ισούται με 1,40m. Προκύπτει δηλαδή, ph = 52,35kN/m<sup>2</sup> • 1,40m = 73,29kN/m.

Όσον αφορά τις πλευρικές πιέσεις, χρησιμοποιείται και πάλι ο τύπος από τον κανονισμό AASHTO §3.7.3.2:

$$p = \frac{C_L V^2}{1000}$$

Θεωρούμε προσεγγιστικά, την ίδια ταχύτητα με την οριζόντια φόρτιση, δηλαδή  $V = 7,82\text{m/s}$ .

Ο συντελεστής  $C_L$  καθορίζεται από τη γωνία πρόσπτωσης της ροής του ποταμού στο βάθρο της γέφυρας. Προκύπτει από τον Πίνακα 3.7.3.2-1 Lateral Drag Coefficient.



Εικόνα 75 – Σκαρίφημα Υπολογισμού του πλευρικού φορτίου πλημμύρας κατά AASHTO

Angle, $\theta$ , between direction of flow and longitudinal axis of the pier	$C_L$
0 degrees	0.0
5 degrees	0.5
10 degrees	0.7
20 degrees	0.9
$\geq 30$ degrees	1.0

Πίνακας 18 - Υπολογισμός συντελεστή σχήματος βάθρου  $C_L$  κατά AASHTO

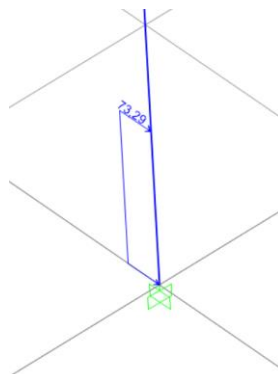
Σύμφωνα με τα σχέδια, η γωνία  $\theta$  ισούται με  $2^\circ$ . Με γραμμική παρεμβολή στον παραπάνω πίνακα προκύπτει  $C_L = 0,2$ .

Η τελική τιμή των πλευρικών πιέσεων προκύπτει ως  $p = 0,0066\text{kN/m}^2$  και για το λόγο αυτό θα αμεληθεί στους υπολογισμούς.

Συνεπώς, στο πρόγραμμα εισάγεται γραμμικά ομοιόμορφο φορτίο  $ph = 73,29\text{kN/m}$  για ύψος  $h = 0,59\text{m}$ .

### 4.2.3 Εισαγωγή Φορτίου στο SAP2000

Το φορτίο εισέρχεται στο πρόγραμμα SAP2000 ως ομοιόμορφα κατανεμημένο, στα δύο βάρθρα που βρίσκονται εντός της κοίτης του ποταμού, κατά τη διεύθυνση της ροής, η οποία στο μοντέλο αντιστοιχεί στην  $-y$ .



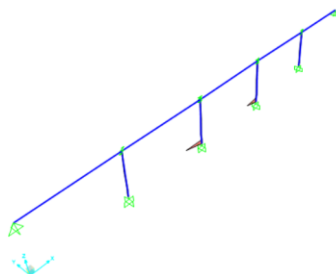
Εικόνα 76 – Εισαγωγή φορτίου Πλημμύρας στο SAP2000

Για την ανάλυση του μοντέλου εισάγεται νέος συνδυασμός (*PLHM1*) ο οποίος περιέχει τα ίδια βάρη, τα κινητά φορτία και το φορτίο της πλημμύρας. Οι συντελεστές αντιστοιχούν σε 1,35 στα ίδια βάρη, μόνιμα και στα κινητά και 1,5 στο φορτίο πλημμύρας.

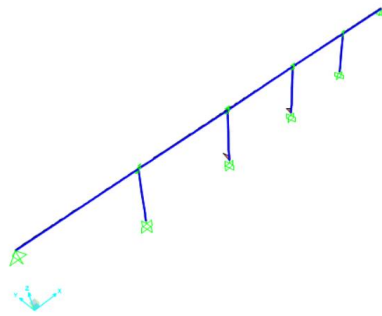
Παρακάτω παρατίθενται οι εικόνες με τα εντατικά μεγέθη όπως αυτά προκύπτουν τόσο από το φορτίο τις πλημμύρας από μόνο του όσο και από τον πλημμυρικό συνδυασμό. Στο τέλος, παρατίθενται τα μέγιστα εντατικά μεγέθη του κάτω δεσμού στο κεντρικό βάρθρο, όπως αυτά προκύπτουν από τον πλημμυρικό συνδυασμό.

Το φορτίο της πλημμύρας έχει εισαχθεί μόνο στο μοντέλο με τα εφέδρανα.

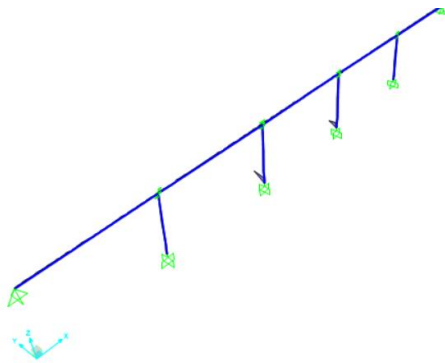
#### Φορτίο Πλημμύρας



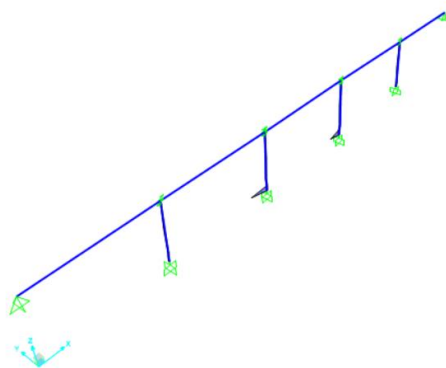
Διάγραμμα Τέμνουσας V2  
για το φορτίο πλημμύρας



Διάγραμμα Τέμνουσας V3  
για το φορτίο πλημμύρας

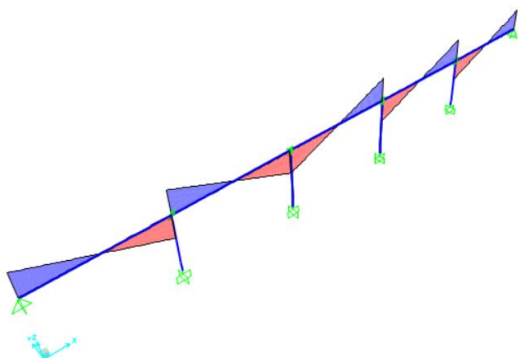


Διάγραμμα Ροπής M2  
για το φορτίο πλημμύρας



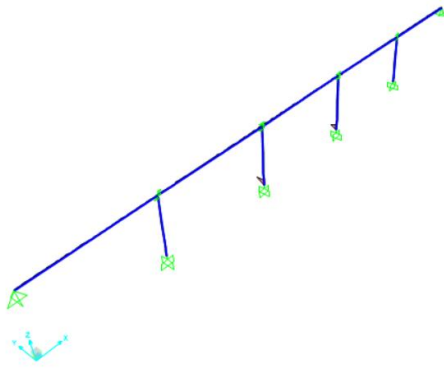
Διάγραμμα Ροπής M3  
για το φορτίο πλημμύρας

Πλημμυρικός Συνδυασμός

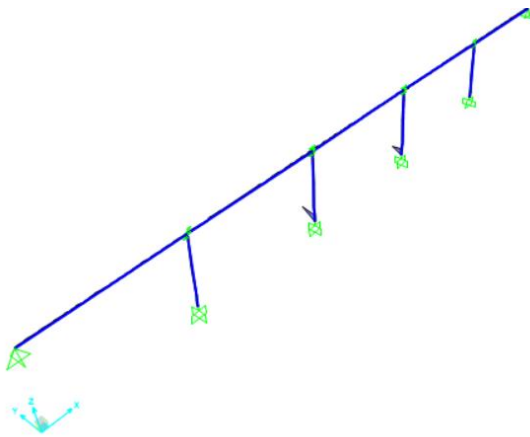


Διάγραμμα Τέμνουσας V2 για  
τον πλημμυρικό συνδυασμό

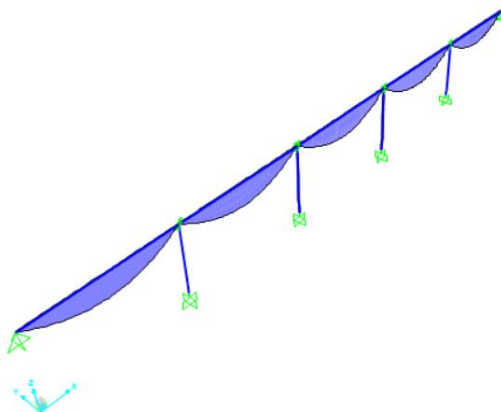




Διάγραμμα Τέμνουσας V3 για τον πλημμυρικό συνδυασμό



Διάγραμμα Ροπής M2 για τον πλημμυρικό συνδυασμό



Διάγραμμα Ροπής M3 για τον πλημμυρικό συνδυασμό

Συγκεντρωτικά, τα μέγιστα εντατικά μεγέθη του κεντρικού βάθρου για τον πλημμυρικό σχεδιασμό, καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα:

Εντατικά Μεγέθη Κεντρικού Βάθρου Μοντέλου Α	
maxM <sub>3</sub>	4,34kNm
maxV <sub>2</sub>	-14,788kN
maxM <sub>2</sub>	11,9766kNm
maxV <sub>3</sub>	-40,633kN

Πίνακας 19 – Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών για το φορτίο πλημμύρας. Μοντέλο Α

Παρατηρούμε ότι η επίδραση του φορτίου της πλημμύρας, δεν δημιουργεί σημαντικά εντατικά μεγέθη, τέτοια ώστε να προκαλέσουν βλάβες στο φορέα. Ωστόσο, λόγω και της κλιματικής αλλαγής, με τις αλλαγές στο γεωλογικό ανάγλυφο καθώς και τις πολύ έντονες βροχοπτώσεις σε ένταση και σύντομες σε χρονική διάρκεια που αυτή επιφέρει θα ονομάσουμε το παραπάνω μοντέλο ως μοντέλο Α και θα δημιουργήσουμε δύο ακόμα μοντέλα (Β και Γ) με διπλάσια και τριπλάσια παροχή αιχμής.

#### Μοντέλο Β

$$Q_{\max B} = 2 \cdot Q_{\max A} = 560 \text{m}^3/\text{s}$$

Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία με τους υπολογισμούς του Μοντέλου Α προκύπτουν:

$$h = 1,53\text{m}$$

$$R = 3,2\text{m}$$

$$E = 216,88\text{m}^2$$

$$\Pi = 130,34\text{m}$$

$$D = 6,66\text{m}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 3,7$$

$$V = 8,62\text{m/s}$$

$$ph = 88,98\text{kN/m}$$

Εισέρχονται, δηλαδή, στο πρόγραμμα, οριζόντιο φορτίο  $ph = 88,98\text{kN/m}$  σε ύψος  $h=1,53-0,48=1,05\text{m}$ .

Η μορφή των εντατικών μεγεθών παραμένει η ίδια ενώ ο πίνακας με τις μέγιστες τιμές μετατρέπεται στον παρακάτω:

<b>Εντατικά Μεγέθη Κεντρικού Βάθρου Μοντέλου Β</b>	
maxM <sub>3</sub>	16,64kNm
maxV <sub>2</sub>	-31,948kN
maxM <sub>2</sub>	46,05kNm
maxV <sub>3</sub>	-87,79kN

Πίνακας 20 - Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών για το φορτίο πλημμύρας. Μοντέλο Β

### Μοντέλο Γ

$$Q_{\max B} = 3 \cdot Q_{\max A} = 840 \text{m}^3/\text{s}$$

Ακολουθώντας ακριβώς την ίδια διαδικασία με τους υπολογισμούς του Μοντέλου Α προκύπτουν:

$$h = 1,88\text{m}$$

$$R = 3,49\text{m}$$

$$E = 238,85\text{m}^2$$

$$\Pi = 131,31\text{m}$$

$$D = 7,28\text{m}$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 3,77$$

$$V = 9,18\text{m/s}$$

$$ph = 101,04\text{kN/m}$$

Εισέρχονται, δηλαδή, στο πρόγραμμα, οριζόντιο φορτίο  $ph = 101,04\text{kN/m}$  σε ύψος  $h=1,88-0,48=1,4\text{m}$ .

Η μορφή των εντατικών μεγεθών παραμένει η ίδια ενώ ο πίνακας με τις μέγιστες τιμές μετατρέπεται στον παρακάτω:

<b>Εντατικά Μεγέθη Κεντρικού Βάθρου Μοντέλου Γ</b>	
maxM <sub>3</sub>	33,52kNm
maxV <sub>2</sub>	-48,36kN
maxM <sub>2</sub>	92,96kNm
maxV <sub>3</sub>	-132,92kN

Πίνακας 21 - Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών για το φορτίο πλημμύρας. Μοντέλο Γ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΥΠΟΣΚΑΦΗΣ

### 5.1 Εισαγωγή – Γενικά Στοιχεία

Κατά τη διάρκεια φαινομένων πλημμύρας, οι Αρχές έρχονται αντιμέτωπες με την πρόκληση της λήψης κατάλληλης απόφασης σχετικά με τη διαχείριση της κυκλοφορίας στις γέφυρες. Αν οι γέφυρες μπορούν να παραμείνουν ανοιχτές, αποτελούν κρίσιμο παράγοντα στην αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων από τα φυσικά φαινόμενα, λόγω του κομβικού, συνδετικού ρόλου που αυτές κατέχουν για απομάκρυνση ατόμων ή παροχή βοήθειας. Ωστόσο, σημαντικές απώλειες ανθρώπων και περιουσιών δύναται να συμβούν εάν οι γέφυρες με κίνδυνο κατάρρευσης, δεν κλείσουν έγκαιρα. Για το λόγο αυτό, υπάρχει ισχυρή απαίτηση για μια αποτελεσματική και ασφαλή μέθοδο εκτίμησης της συμπεριφοράς των γεφυρών που έχουν υποστεί ή πρόκειται να υποστούν υποσκαφή κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.

#### 5.1.1 Περιγραφή Φαινομένου Υποσκαφής

Με τον όρο «υποσκαφή» νοείται η μείωση της επιφάνειας θεμελίωσης λόγω της σταδιακής υποχώρησης του εδαφικού υλικού σε πρισματική έκταση γύρω από τη θεμελιωμένη εντός υδραυλικού εμποδίου κατασκευή. Είναι σύνηθες φαινόμενο σε φέροντα στοιχεία ενταγμένα εντός κοίτης ποταμού, θαλάσσιας περιοχής κ.λπ., όπως τα βάθρα γεφυρών, εξαιτίας των ρεμάτων και των κυμάτων.

Η υποσκαφή είναι το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης κυμάτων και ρεμάτων, τα οποία με τη σειρά τους δημιουργούν διατμητικές τάσεις στον πυθμένα. Η υπέρβαση της κρίσιμης τιμής των διατμητικών τάσεων οδηγεί στην αποκόλληση και αποσταθεροποίηση των κόκκων. Υποσκαφή, ωστόσο, συντελείται και από σεισμούς.

Δεν υπάρχει συγκεκριμένη οδηγία, ούτε αρμόδιος φορέας υπεύθυνος για την πρόληψη τέτοιων φαινομένων. Η όποια παρέμβαση είναι στην κρίση του μηχανικού. Δε γίνεται εφικτός ο τρόπος και η χρονική διάρκεια εξέλιξης του φαινομένου. Οι όποιες παραδοχές, είναι μέσω εμπειρικών τύπων. Η υποσκαφή από μόνη της, δεν μπορεί να προκαλέσει καταπόνηση ή και κατάρρευση του φορέα. Δημιουργεί, ωστόσο, πρόσθετες κατακόρυφες και στροφικές μετακινήσεις, με σημαντική επιρροή στην εντατική κατάσταση. Επιπρόσθετα, συντελεί στη φθορά και διάβρωση του βρεχόμενου τμήματος της κατασκευής, γιατί δεν το περικλείει απλά, αλλά εισέρχεται σε αυτό με δύναμη, λόγω της κίνησης του ύδατος.

#### 5.1.2 Υποσκαφή και Διάβρωση

Όσον αφορά τη βάση των βάθρων τόσο σε γέφυρες, όσο και σε οποιεσδήποτε κατασκευές θεμελιωμένες εντός υδάτινου κωλύματος, η υποσκαφή ευθύνεται για την υπόγεια διάβρωση στην αντίστοιχη περιοχή. Η διάβρωση δεν εξελίσσεται με την ίδια μορφή, ενώ υλοποιείται με διάφορες εκφάνσεις. Συγκεκριμένα,

- Γενική διάβρωση:

Η γενική διάβρωση πραγματοποιείται ανεξάρτητα από την παρουσία της γέφυρας. Αφορά την απομάκρυνση και αποκόλληση του εδαφικού υλικού από τον πυθμένα λόγω της συνεχούς ροής του ύδατος και τα φορτία που αυτή δημιουργεί.

- Διάβρωση λόγω στένωσης:

Πραγματοποιείται εξαιτίας της αλλαγής των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του καναλιού λόγω της παρουσίας της γέφυρας. Τα βάρθρα καταλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό της επιφάνειας του καναλιού, με αποτέλεσμα η καθαρή υδάτινη επιφάνεια να μειώνεται αισθητά. Επηρεάζεται κυρίως, η παράκτια επιφάνεια στο πλάι του ποταμού.

- Τοπική διάβρωση:

Δημιουργείται από την παρεμπόδιση της ροής των υδάτων λόγω της ύπαρξης του βάρθρου της γέφυρας.

Ο μηχανισμός της τοπικής διάβρωσης είναι συγκεκριμένος. Το βάρθρο αποτελεί εμπόδιο στην κίνηση του νερού. Για το λόγο αυτό, η ροή στην περιοχή του βάρθρου παρουσιάζει επιτάχυνση, με ταυτόχρονη δημιουργία στροβίλων. Ως αποτέλεσμα των νέων συνθηκών ροής, δημιουργείται κίνηση στους κόκκους της βάσης του βάρθρου, οι οποίοι απομακρύνονται μέσω των στροβίλων. Ταυτόχρονα, ωστόσο, μετακινείται εδαφικό υλικό από τις ανάντη περιοχές. Όταν ο ρυθμός απομάκρυνσης του εδαφικού υλικού της περιοχής πέριξ του βάρθρου ξεπερνά το ρυθμό μεταφοράς του υλικού των περιοχών ανάντη, τότε δημιουργείται το φαινόμενο της τοπικής διάβρωσης.

Καθοριστικοί παράγοντες για το βάθος της τοπικής διάβρωσης είναι η ταχύτητα και το βάθος της ροής του ύδατος, η κοκκομετρική διαβάθμιση και το μέγεθος των κόκκων.

- Διάβρωση καθαρού νερού:

Δε μεταφέρει στη ροή φερτά υλικά, γίνεται μόνο αερομεταφορά αυτών.

- Διάβρωση ενεργού πυθμένα:

Αναφέρεται στη μεταφορά των φερτών υλικών, δηλαδή ιζήματος και διάφορων συντριμμίων που ενδέχεται να μεταφέρονται στο ρου του ποταμού, πέραν του εδαφικού μόνο υλικού, όπως αυτό περιγράφεται στο φαινόμενο της τοπικής διάβρωσης. Η μάζα των φερτών υλικών στη ροή των υδάτων αυξάνει τις δυνάμεις πρόσκρουσης στο βάρθρο της γέφυρας, με αποτέλεσμα την αύξηση των τάσεων στη βάση του βάρθρου.

Λογικό συμπέρασμα των παραπάνω, προκύπτει ότι η διάβρωση οδηγεί στη μείωση της αντίστασης της γέφυρας. Δημιουργείται μία απώλεια στην ενεργό δυσκαμψία, της τάξης των 5÷10%. Δεδομένου, ότι για τον υπολογισμό της συνολικής ενεργούς δυσκαμψίας, θεωρείται το 50% της γεωμετρικής, το τελικό ενεργό ποσοστό, κατέρχεται πλέον στο 45%.

Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η μεταβολή της ροπής αντοχής σχεδιασμού  $M_{sd}$ . Ωστόσο, όμως, απομείωση συμβαίνει και στην καμπτική ροπή αστοχίας  $M_{Rd}$

που εξαρτάται από τον οπλισμό του κάθε μέλους. Κατά την υποσκαφή, οι δυνάμεις του νερού, «τρίβουν» το βάθρο, με αποτέλεσμα την απομείωση της επικάλυψης. Σε περίπτωση δε, που η απομείωση είναι τέτοια ώστε να επέρχεται αποκάλυψη του οπλισμού, ο ίδιος οξειδώνεται λόγω των μορίων του νερού και διαβρώνεται.

Στα ενδεχόμενα μέτρα προστασίας από τη διάβρωση, ανάλογα με τις επικρατούσες υδραυλικές και γεωλογικές συνθήκες περιλαμβάνονται:

- Ο σχεδιασμός μεταβατικών έργων για την ελαχιστοποίηση της διαφοράς μεταξύ της ταχύτητας εξόδου και ταχύτητας στην κατάντη συνεχόμενη φυσική κοίτη
- Η επένδυση των πρηνών (όχθρων) και της κοίτης με, εύκαμπτα κατά προτίμηση, υλικά όπως π.χ. λιθορριπές (tip – rap) ή λιθοπλήρωτα συρματοστρώματα ή αλλιώς ονομαζόμενα στρώμενες (reno mattresses)
- Τα τοπικά και περιορισμένα έργα κοιτοστρώσεων, με σκυρόδεμα στις προσβάσεις (aprons)
- Οι αναβαθμοί και οι δεξαμενές ηρεμίας για τη θραύση της ενέργειας.

### 5.1.3 Συνέπειες Υποσκαφής

Αναλόγως την έκταση, το βάθος και το υλικό που μετακινείται, η υποσκαφή έχει δυσάρεστες συνέπειες.

Αρχικά, έχουμε μία υποβάθμιση της στάθμης θεμελίωσης με απομάκρυνση τμήματος του εδάφους θεμελίωσης. Όπως είναι κατανοητό, η επιφανειακή θεμελίωση, π.χ. με πέδιλα, είναι πιο ευάλωτη σε τέτοιες μεταβολές. Η έκθεση της θεμελίωσης μιας κατασκευής, αποτελεί παράγοντα απώλειας αντοχής ακόμα και κατάρρευσης της κατασκευής.

Άμεση συνέπεια των παραπάνω, είναι η υποχώρηση στήριξης της κατασκευής, κυρίως σε επιφανειακή θεμελίωση. Η υποχώρηση μπορεί να είναι κατακόρυφη, αλλά και στροφική, ασκώντας στο φορέα εξαναγκασμένη μετακίνηση (δύναμη) ή στροφή (ροπή). Η θεμελίωση μέσω πασσάλων, μπορεί να αποτρέψει αυτό το φαινόμενο.

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε βάθρο γέφυρας το οποίο έχει υποστεί υποσκαφή. Φαίνεται η έκθεση των πασσάλων. Εάν η θεμελίωση δεν είχε πραγματοποιηθεί με πασσάλους, αλλά με επιφανειακά στοιχεία, η κατάρρευση της γέφυρας, θα ήταν βέβαιη.



*Εικόνα 77 – Γέφυρα θεμελιωμένη σε πασσάλους που έχει υποστεί υποσκαφή*

Η υποχώρηση στήριξης, με τη δημιουργία εξαναγκασμένων μετακινήσεων και στροφών, οδηγεί σε νέα εντατική κατάσταση. Η εντατική αυτή κατάσταση, εάν δεν έχει προβλεφθεί, ενδέχεται να καταπονήσει αναίτια το φορέα, καθώς, πέραν του ότι υπάρχει πιθανότητα προσαύξησης των τιμών των εντατικών μεγεθών από αυτές του σχεδιασμού, μπορεί να δημιουργηθεί και ανακατανομή των εντατικών μεγεθών και να οδηγηθούμε σε τοπική ή ολική αστοχία.

Η υποσκαφή μπορεί να επιτελέσει σε απώλεια της λειτουργικότητας της γέφυρας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα, η εμφανής παραμόρφωση του φορέα, που οδηγεί σε αίσθημα ανασφάλειας των χρηστών. Επιπλέον, η υποχώρηση στήριξης οδηγεί και σε υποχώρηση τμήματος του καταστρώματος, το οποίο εάν δεν επιλυθεί έγκαιρα, ενδέχεται να δημιουργήσει προβλήματα στην κυκλοφορία. Κυρίως, σε οδικές γέφυρες, η υψομετρική μεταβολή του καταστρώματος καθίσταται επικίνδυνη για την κυκλοφορία των οχημάτων.

Περαιτέρω των παραπάνω, επέρχεται μείωση της φέρουσας ικανότητας της γέφυρας, που μπορεί να καθίσταται πλέον ανεπαρκής για την κατασκευή, καθώς μειώνονται οι εδαφικές τάσεις που ασκούνται σε αυτήν. Ανά περιπτώσεις, σημαντικός είναι και ο κίνδυνος ανατροπής της θεμελίωσης.

Τέλος, με εφαρμογή επιμέρους ή μεμονωμένων των πιο πάνω παραγόντων, η υποσκαφή μπορεί από μόνη της να οδηγήσει στην κατάρρευση μιας γέφυρας.

Χαρακτηριστικά, η γέφυρα της Διάβας - Καλαμπάκας, όπου τον Ιανουάριο του 2016, αστόχησε το ένα βάθρο λόγω υποσκαφής που προκλήθηκε από τη ροή του ποταμού και, σαν αποτέλεσμα, κατέρρευσαν αμφότερα τα εδραζόμενα σε αυτό τμήματα του καταστρώματος.





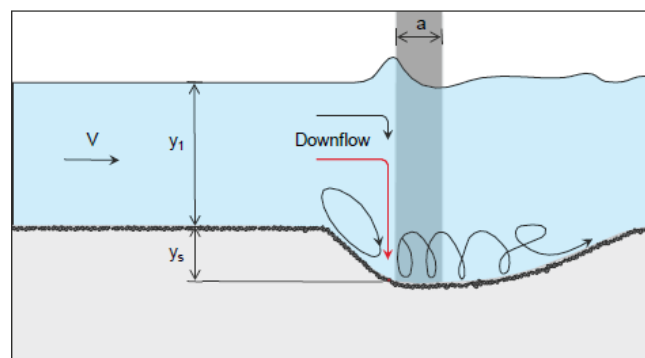
Εικόνα 78 – Κατάρρευση γέφυρας Διάβας λόγω υποσκαφής

## 5.2 Υπολογισμός Φορτίου Υποσκαφής

### 5.2.1 Κατακόρυφη Μετακίνηση

Ο σχεδιασμός έναντι υποσκαφής για την πλημμύρα σχεδιασμού πρέπει να ικανοποιεί την απαίτηση ότι η αντίσταση της θεμελίωσης μετά την υποσκαφή, να είναι μεγαλύτερη από το καθορισμένο μετά την αφαίρεση του απομακρυσμένου, από τη θεμελίωση, εδάφους. Η πλημμύρα – κύμα – παλίρροια που θα λαμβάνεται υπόψη θα είναι η πιο σοβαρή των τελευταίων 100 χρόνων. Για την πλημμύρα ελέγχου της υποσκαφής, η ευστάθεια της θεμελίωσης της γέφυρας πρέπει να διερευνάται για συνθήκες υποσκαφής με χρόνο επαναφοράς τα 500 έτη.

Για την εκτίμηση της μακροχρόνιας υποσκαφής, ο σχεδιαστής πρέπει να υπολογίσει μια ισοδύναμη οπή. Σε περιπτώσεις που ο υδροφόρος ορίζοντας είναι υποβαθμισμένος σε ροή προκαλούνται συνθήκες πισίνας οι οποίες καλύπτουν τα βάθρα. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο σχεδιαστής μεγεθύνει το βάθος της οπής της υποσκαφής καθώς και την ένταση που υπόκειται στο κανάλι.



Εικόνα 79 – Υπολογισμός ισοδύναμης οπής υποσκαφής

### Κατακόρυφη Υποσκαφή

Η εκτίμηση του βάθους υποσκαφής «Ds» γύρω από τα βάθρα των γεφυρών υπολογίζεται σύμφωνα με τον τύπο 10.6-6 του ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ (Κεφ.10 / εξίσωση Inglis).

$$D_s = 4,2 \cdot b' \cdot (y_0/b)^{0,78} \cdot Fr^{0,52}$$

όπου,

b' (m): το πλάτος του βάθρου

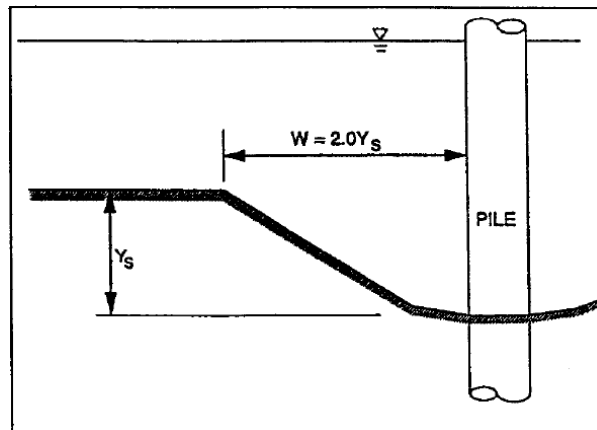
y<sub>0</sub> (m): το βάθος της ροής ανάντη

b (m): το καθαρό άνοιγμα στην κοίτη αφαιρουμένου του πλάτους των μεσοβάθρων

Fr (-): ο αριθμός Froude

### Οριζόντια Υποσκαφή

Σύμφωνα με το U.S. Department Transportation, Federal Highway Administration, η οριζόντια διάσταση της ισοδύναμης οπής ισοδυναμεί με 2 φορές την τιμή της κατακόρυφης, δηλαδή 2 • D<sub>s</sub>.



Εικόνα 80 – Υπολογισμός οριζόντιας διάστασης οπής υποσκαφής

### Γέφυρα Γεροποτάμου

Όπως αναφέρθηκε για τη γέφυρα του Γεροποτάμου η πλημμύρα σχεδιασμού αντιστοιχεί στα  $T=100$  έτη, με μέγιστη πλημμύρα αυτήν του 1937.

Όσον αφορά τον τύπο 10.6-6 του ΟΜΟΕ για τη γέφυρα ισχύουν τα παρακάτω ανά παράμετρο:

- Υπολογισμός πλάτους βάθρου  $b'$  (m)

Σε επαφή με τη ροή του ύδατος, έρχεται ο κάτω δεσμός του βάθρου, του οποίου οι διαστάσεις ανέρχονται σε  $1,40 \times 9,00$ m. Ως πλάτος θεωρούμε τη διάσταση στην οποία προσπίπτει η ροή του ύδατος δηλαδή τα  $1,40$ m.

- Υπολογισμός καθαρού πλάτους  $b$  (m)

Αναφέρεται στο καθαρό άνοιγμα στην κοίτη του ποταμού, με αφαίρεση του πλάτους των μεσοβάθρων.

$$\text{Ισχύει: } b = 61,65 - 4,77 - 3,70 \rightarrow b = 53,18\text{m}$$

- Υπολογισμός του βάθους της ροής ανάντη  $y_0$

Έχει γίνει η θεώρηση για βάθος ροής ανάντη και κατάντη στα  $2$ m.

- Υπολογισμός αριθμού Froude (Fr)

$$\text{Ισχύει ο τύπος: } Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

$$\text{Για } V = 7,82 \text{ m/s, } g = 9,81 \text{ m/s}^2 \text{ και } y = 2 \text{ m, προκύπτει } Fr = 1,76$$

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω προκύπτει για το βάθρο εντός της ροής του ποταμού, μέγιστη κατακόρυφη υποσκαφή  $0,61$ m, ενώ μέγιστη οριζόντια υποσκαφή  $1,22$ m.

Τα παραπάνω ισχύουν για το κεντρικό μεσόβαθρο, που βρίσκεται εξ' ολοκλήρου εντός της ροής της κοίτης του ποταμού. Το τέταρτο βάθρο κατά σειρά από δυτικά, βρίσκεται κατά το ήμισυ εντός της ροής. Συγκεκριμένα, το θεμέλιο του βάθρου βρίσκεται εντός του ύδατος, ενώ το κύριο σώμα του βάθρου στο έδαφος, το οποίο με το πέρασ των ετών έχει υποστεί υποσκαφή και έχει απομακρυνθεί. Για το λόγο αυτό, θεωρούμε ότι και το ίδιο υπόκειται σε κατακόρυφη μετακίνηση σε ποσοστό της τάξεως του  $60\%$  του κεντρικού.



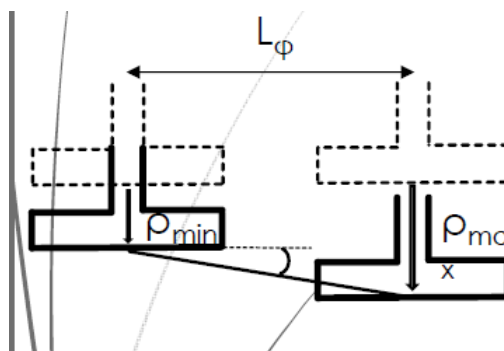
Εικόνα 81 – Υποσκαμμένο έδαφος στο βάθρο γέφυρας Γεροποτάμου

### 5.2.2 Στροφική Μετακίνηση

Η ροή του ποταμού δεν πέφτει κάθετα στο βάθρο, αλλά σχηματίζοντας γωνία της τάξης των  $2^\circ$ . Ωστόσο, η δημιουργία της οπής της υποσκαφής, μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγή κατεύθυνσης της ροής τοπικά. Αυτό, σε συνδυασμό με τη σχετικά μεγάλη ταχύτητα και ορμή των υδάτων μπορεί να οδηγήσει σε εξαναγκασμένη στροφή του βάθρου.

Καθώς όλοι οι παραπάνω υπολογισμοί μας βασίζονται σε υποθέσεις, προφανές είναι ότι ούτε ο υπολογισμός της γωνίας στροφής να μπορεί να γίνει συγκεκριμένος. Για το λόγο αυτό, θα χρησιμοποιηθούν τα όρια των καθιζήσεων – στροφών από τον Ευρωκώδικα 7.

Συγκεκριμένα, ο Ευρωκώδικας 7 παρέχει τύπο υπολογισμού της γωνίας στροφής  $\theta$  για διάφορους τύπους θεμελιώσεων, ανάμεσα σε αυτούς τα μεμονωμένα πέδιλα, οι πεδιλοδοκοί και η γενική κοιτόστρωση. Καθώς, δε γνωρίζουμε τον τύπο της θεμελίωσης της γέφυρας – ο οποίος θα είναι είτε επιφανειακή θεμελίωση με μεμονωμένα πέδιλα, είτε θεμελίωση με πασσάλους – κάνουμε τη θεώρηση για το δυσμενέστερο, δηλαδή την επιφανειακή θεμελίωση.



Εικόνα 82 – Υπολογισμός καθιζήσεων πεδίων. Διαφάνειες μαθήματος Θεμελιώσεων. Βαλσαμής

Ως  $\rho_{\min}$  και  $\rho_{\max}$  θεωρούνται η ελάχιστη και μέγιστη τιμή των κατακορύφων καθιζήσεων, δύο γειτονικά μεμονωμένων πεδίων.

Η γωνία στροφής υπολογίζεται ως:  $\theta = \Delta\rho/L_\phi$ , όπου  $\Delta\rho = \rho_{\max} - \rho_{\min}$  και  $L_\phi$  η μεταξύ των βάρων απόσταση. Σημειώνεται ότι αναφερόμαστε σε πολύ μικρές γωνίες, συνεπώς η τιμή της εφαπτομένης της γωνίας, ταυτίζεται με την ίδια τη γωνία. Τα όρια καθιζήσης δεν πρέπει να ξεπερνάνε τα 50mm όσον αφορά την κατακόρυφη ( $\rho_{\max} \leq 50\text{mm}$ ) ενώ της διαφορικής καθιζήσης τα 20mm ( $\Delta\rho_{\max} \leq 20\text{mm}$ ).

Όσον αφορά τα όρια της στροφής  $\theta$ , αυτά αναφέρονται παρακάτω:

- Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.)  $\rightarrow \theta = 1/500$ .
- Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (Ο.Κ.Α.)  $\rightarrow \theta = 1/150$

Η μεταξύ των δύο κεντρικών, εντός του ποταμού, που υπόκεινται σε υποσκαφή, βάθρων απόσταση στη γέφυρα Γεροποτάμου είναι  $L_\phi = 35,00\text{m}$ . Με εφαρμογή του  $\Delta\rho_{\max} = 20\text{mm}$  προκύπτει  $\theta = 1/1750$ , τιμή αποδεκτή.

### 5.2.3 Εισαγωγή Φορτίου στο SAP2000

Η υποσκαφή εισέρχεται μέσα στο πρόγραμμα SAP2000 ως μετακίνηση – καθιζήση, μεταφορική και στροφική. Καθώς οι υπολογισμοί δίνουν τις μέγιστες τιμές και ενώ το φαινόμενο δεν είναι συγκεκριμένο, θα διακρίνουμε περιπτώσεις εξέτασης και συγκεντρωτικά θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα.

Συγκεκριμένα, θα διακρίνουμε 10 περιπτώσεις εισαγωγής φορτίου. Η μετακίνηση και η στροφή θα εισαχθούν στα δύο βάθρα που βρέχονται από νερό. Τα βάθρα αυτά θα αποκτήσουν την κωδική ονομασία κεντρικό (Κ), αυτό που βρίσκεται εντός της κοίτης του ποταμού και ακριανό (Α), αυτό που βρίσκεται σε επαφή με το έδαφος, στην όχθη του ποταμού. Η λογική των περιπτώσεων είναι να υπάρχει μία προοδευτική αύξηση της κατακόρυφης μετακίνησης από 10cm σε 50cm του κεντρικού βάθρου, με βήμα 10cm, ενώ το ακριανό ακολουθεί με 20cm υψηλότερα. Στις περιπτώσεις, 1 έως 5, στροφή υπάρχει μόνο στο κεντρικό βάθρο ίση με  $\theta=1/500$ , ενώ στις περιπτώσεις 6 έως 10, στο κεντρικό βάθρο εισάγεται γωνία στροφής  $\theta=1/150$  και στο ακριανό  $\theta=1/500$ .

Παρακάτω καταγράφονται οι 10 περιπτώσεις:

Περίπτωση	Μετακίνηση (Κ)	Μετακίνηση (Α)	Στροφή (Κ)	Στροφή (Α)
1	10	0	1/500	0
2	20	0	1/500	0
3	30	10	1/500	0
4	40	20	1/500	0
5	50	30	1/500	0
6	10	0	1/150	1/500
7	20	0	1/150	1/500
8	30	10	1/150	1/500
9	40	20	1/150	1/500
10	50	30	1/150	1/500

Πίνακας 22 – Πίνακας καταγραφής περιπτώσεων Υποσκαφής

Πριν την εισαγωγή του φορτίου, απαιτείται να γίνει ο καθορισμός του, μέσω της εντολής Load Pattern. Η κατακόρυφη μετακίνηση ορίζεται ως καθίζηση, οπότε εισάγεται ως φορτίο settlement με Self-Weight Multiplier 0.

Στη συνέχεια εισάγονται στον κάτω κόμβο του κάτω δεσμού, αντίστοιχα για κάθε ένα από τα 2 βάρη, οι τιμές της μετακίνησης. Να τονιστεί εδώ, ότι το πρόγραμμα δέχεται τη γωνία σε rad και για το λόγο αυτό απαιτείται η μετατροπή της.

Όσον αφορά το συνδυασμό, μέσα στον οποίο θα ενταχθεί και η υποσκαφή, αυτός θα ονομαστεί YPO1 και θα περιέχει τους συντελεστές της Ο.Κ.Α. (AASHTO §11.7.2.3). Στην Ο.Κ.Α. ο συντελεστής αντίστασης για ακραία φαινόμενα υποσκαφής ισούται με τη μονάδα.

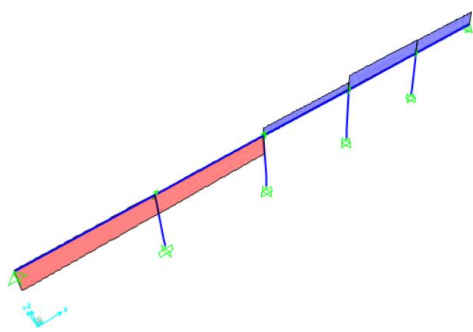
Συνολικά, ο συνδυασμός YPO1 ισούται με:  $1,35 \cdot G + 1,50 \cdot Q + 1 \cdot PLHM + 1 \cdot settlement$

Η διαδικασία των 10 περιπτώσεων έγινε και για τα 3 διαφορετικά προσομοιώματα – μοντέλα Α,Β,Γ όπως αυτά ορίστηκαν στο Κεφάλαιο 4.

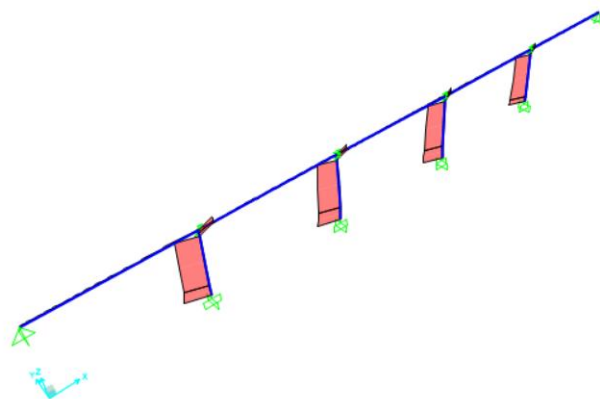
Παρακάτω παρατίθενται οι μορφές των εντατικών διαγραμμάτων, ενδεικτικά κάποιων περιπτώσεων, τόσο για την εφαρμογή του συνδυασμού φόρτισης YPO1, όσο και του φορτίου υποσκαφής απομονωμένο, για να γίνει διακριτή η επιρροή της. Τέλος, θα παρουσιαστούν συγκεντρωτικά, σε μορφή μαθηματικού διαγράμματος τα αποτελέσματα των εντατικών μεγεθών και για τις δύο φορτίσεις, όπως αυτές αναφέρθηκαν προηγουμένως. Τα διαγράμματα αφορούν, ωστόσο, μόνο τον κάτω δεσμό του κεντρικού βάρους, όπου εκεί εμφανίζονται οι μέγιστες τιμές.

Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα διαγράμματα για την περίπτωση 8. Η μορφή των διαγραμμάτων παραμένει ίδια και για τα 3 μοντέλα, αλλάζοντας μόνο η τιμή.

#### Αξονική:



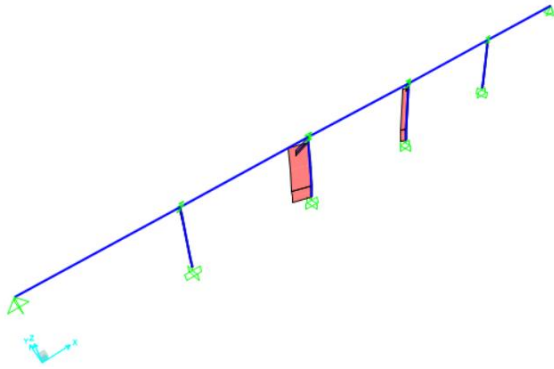
Εικόνα 84 – Διάγραμμα Αξονικής. Φορτίο Υποσκαφής.



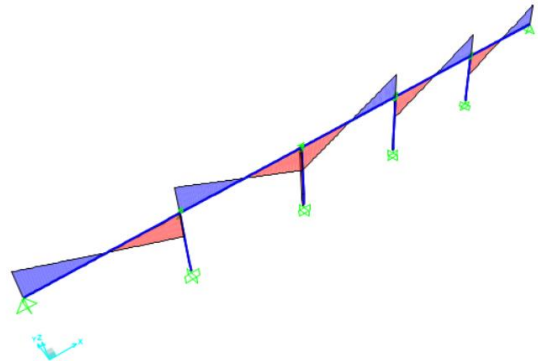
Εικόνα 83 - Διάγραμμα Αξονικής. Φορτίο Συνδυασμού

Παρατηρείται ότι το φορτίο της υποσκαφής αναπτύσσει ένταση μόνο στο κατάστρωμα του φορέα. Ωστόσο, η τιμή αυτή είναι αρκετά μικρή σε σχέση με αυτή που καταπονεί τα βάρη λόγω των λοιπών κατακόρυφων φορτίσεων και για λόγους κλίμακας δεν απεικονίζονται από το πρόγραμμα στο διάγραμμα του συνδυασμού.

### Τέμνουσα V2:



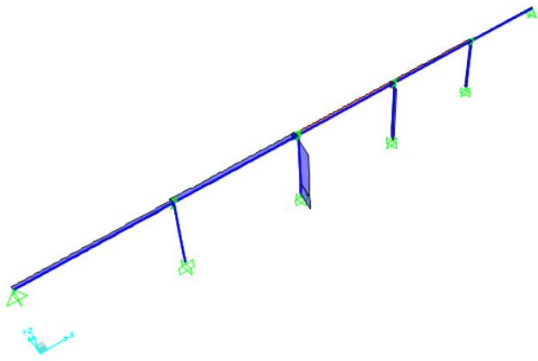
Εικόνα 86 - Διάγραμμα Τέμνουσας V2. Φορτίο Υποσκαφής.



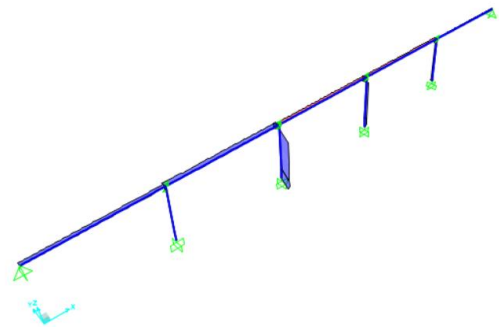
Εικόνα 85 - Διάγραμμα Τέμνουσας V2. Φορτίο Συνδυασμού

Στην περίπτωση της τέμνουσας δύναμης κατά τον άξονα 2-2, η υποσκαφή δεν αναπτύσσει καθόλου ένταση στο κατάστρωμα του φορέα, παρά μόνο στα δύο βάρθρα όπου εφαρμόζεται η κατακόρυφη μετακίνηση.

### Τέμνουσα V3:



Εικόνα 87 - Διάγραμμα Τέμνουσας V3. Φορτίο Υποσκαφής.

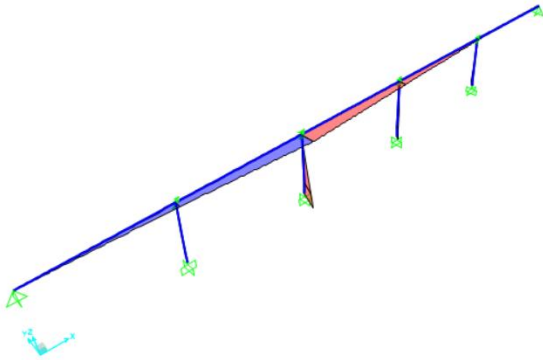


Εικόνα 88 - Διάγραμμα Τέμνουσας V3. Φορτίο Συνδυασμού

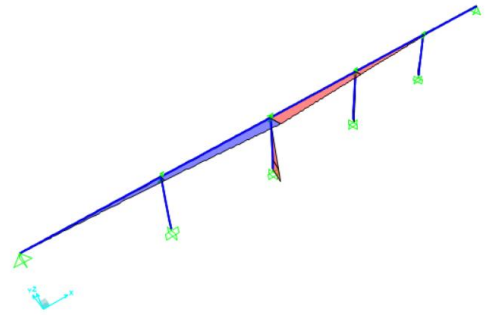
Η υποσκαφή έχει καθοριστική συμβολή στις τιμές των εντατικών μεγεθών της τέμνουσας ως προς τον άξονα 3 – 3. Η μορφή του συνολικού διαγράμματος καθορίζεται ουσιαστικά από την υποσκαφή, ενώ οι τιμές των δύο διαγραμμάτων των μελών είναι παραπλήσιες, με εξαίρεση τον κάτω δεσμό, όπου η συνολική τιμή απομειώνεται εξαιτίας του φορτίου της πλημμύρας.



### Ροπή M2:



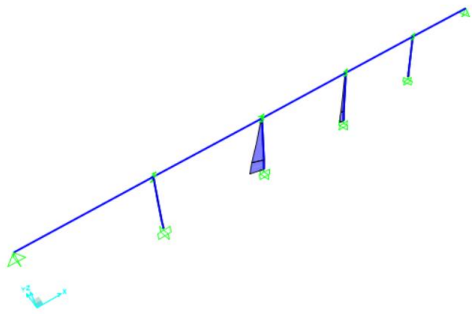
Εικόνα 90 – Διάγραμμα Ροπής M2. Φορτίο Υποσκαφής



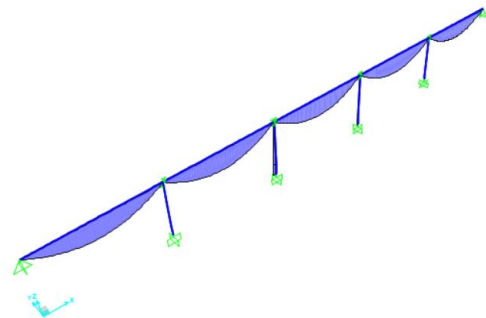
Εικόνα 89 - Διάγραμμα Ροπής M2. Φορτίο Συνδυασμού

Όπως και στην περίπτωση της τέμνουσας ως προς τον άξονα 3 - 3, η υποσκαφή έχει καθοριστική συμβολή στις τιμές των εντατικών μεγεθών της ροπής ως προς τον άξονα 2 - 2. Η μορφή του συνολικού διαγράμματος καθορίζεται ουσιαστικά από την υποσκαφή, ενώ οι τιμές των δύο διαγραμμάτων των μελών είναι παραπλήσιες. Η επιρροή της υποσκαφής είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς τα εντατικά μεγέθη που αναπτύσσονται, έχουν ιδιαίτερα αυξημένες τιμές.

### Ροπή M3:



Εικόνα 92 - Διάγραμμα Ροπής M3. Φορτίο Υποσκαφής



Εικόνα 91 - Διάγραμμα Ροπής M3. Φορτίο Συνδυασμού

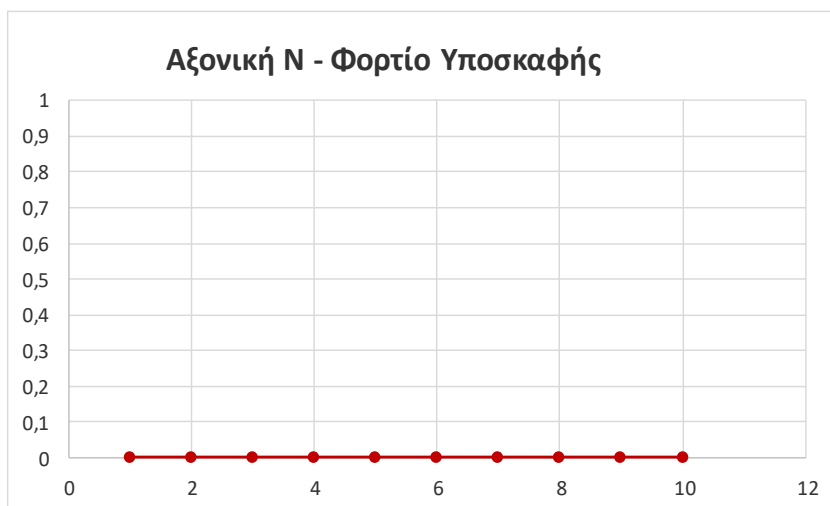
Η ροπή ως προς τον άξονα 3 - 3, όσον αφορά τη φόρτιση της υποσκαφής, επηρεάζει μόνο τα κεντρικά βάρη και καθόλου τα λοιπά μέλη. Παρατηρώντας και από τα μεγέθη των τελικών εντατικών μεγεθών για τη φόρτιση του συνδυασμού, τα κεντρικά βάρη ουσιαστικά φορτίζονται από το φαινόμενο της υποσκαφής.

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα των μέγιστων εντατικών μεγεθών για τον κάτω δεσμό:

**Μοντέλο Α:**

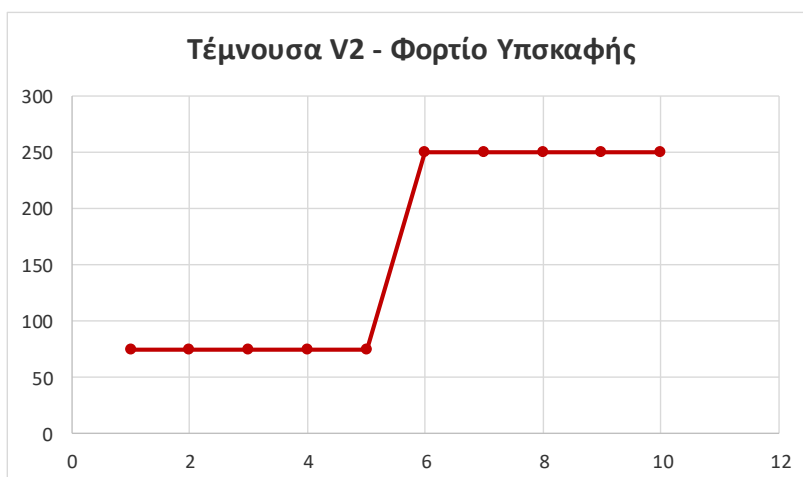
**Φορτίο υποσκαφής:**

Αξονική	
Περίπτωση	Τιμή
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0



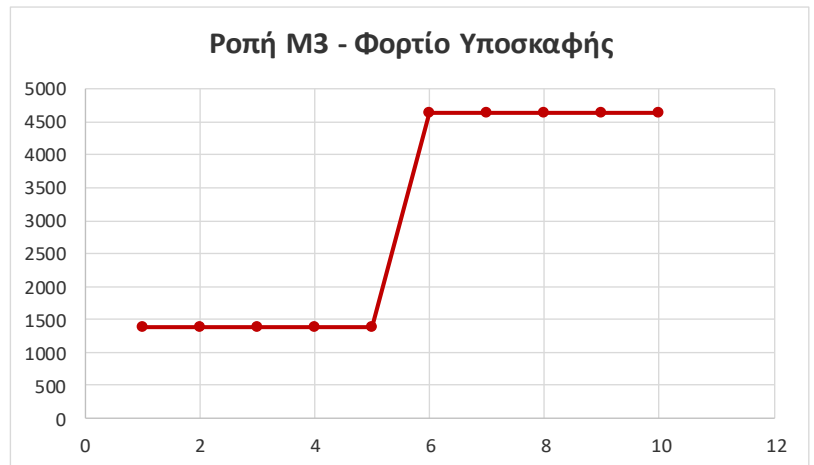
Πίνακας 23 – Αξονική N, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Α

Τέμνουσα V2	
Περίπτωση	Τιμή
1	74,39
2	74,39
3	74,39
4	74,39
5	74,39
6	250,511
7	250,511
8	250,511
9	250,511
10	250,511



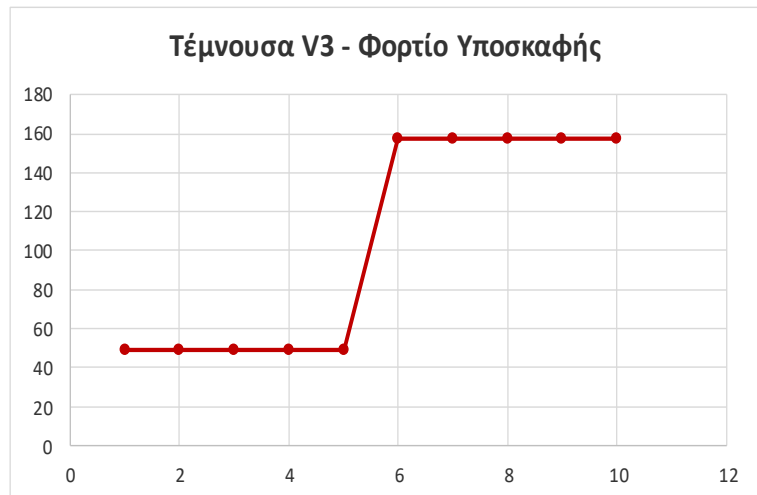
Πίνακας 24 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Α

Ροπή M3	
Περίπτωση	Τιμή
1	1375,239
2	1375,239
3	1375,239
4	1375,239
5	1375,239
6	4631,103
7	4631,103
8	4631,103
9	4631,103
10	4631,103



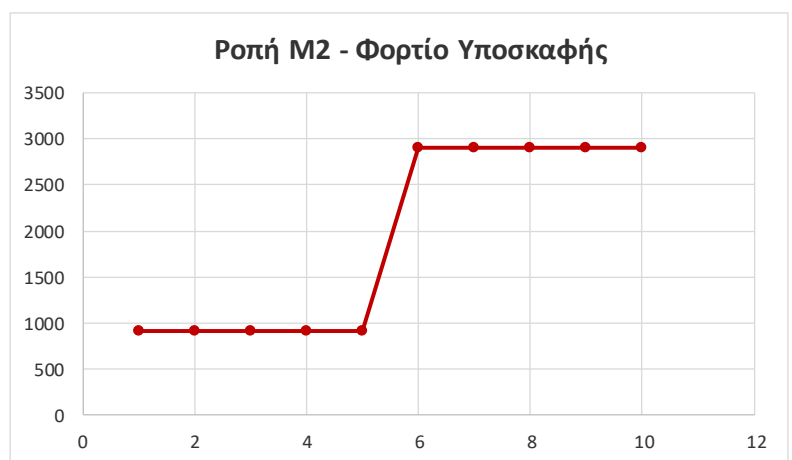
Πίνακας 25 – Ροπή M3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο A

Τέμνουσα V3	
Περίπτωση	Τιμή
1	48,955
2	48,955
3	48,955
4	48,955
5	48,955
6	157,583
7	157,583
8	157,583
9	157,583
10	157,583



Πίνακας 26 – Τέμνουσα V3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο A

Ροπή M2	
Περίπτωση	Τιμή
1	904,5278
2	904,5278
3	904,5278
4	904,5278
5	904,5278
6	2911,795
7	2911,795
8	2911,795
9	2911,795
10	2911,795

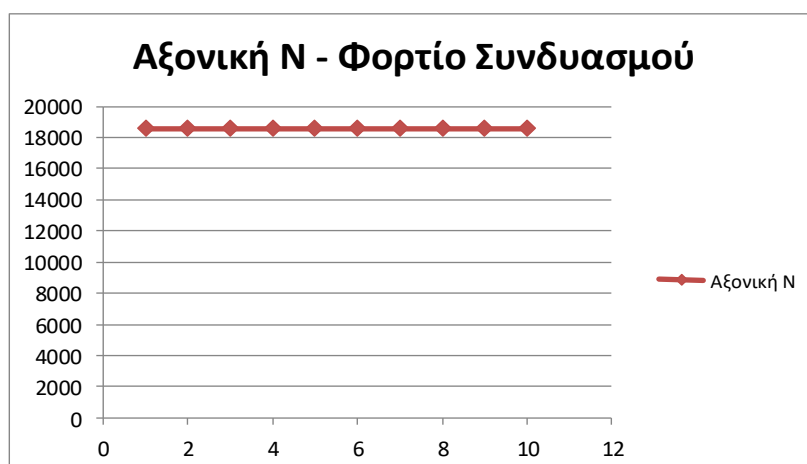


Πίνακας 27 – Ροπή M2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο A

## Μοντέλο Α:

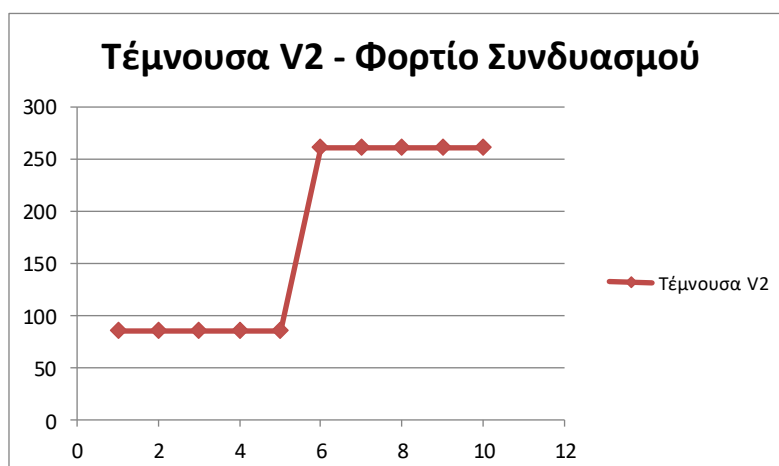
### Φορτιστικός Συνδυασμός:

Αξονική	
Περίπτωση	Τιμή
1	18560,794
2	18560,794
3	18560,794
4	18560,794
5	18560,794
6	18560,794
7	18560,794
8	18560,794
9	18560,794
10	18560,794



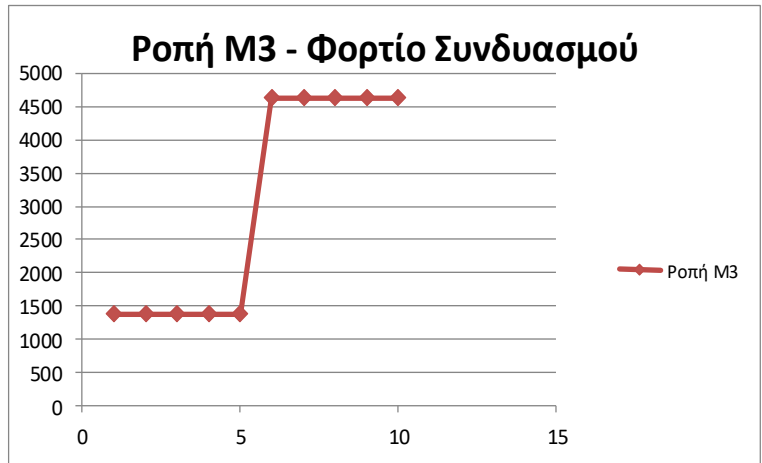
Πίνακας 28 - Αξονική N, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Α

Τέμνουσα V2	
Περίπτωση	Τιμή
1	84,953
2	84,953
3	84,953
4	84,953
5	84,953
6	261,074
7	261,074
8	261,074
9	261,074
10	261,074



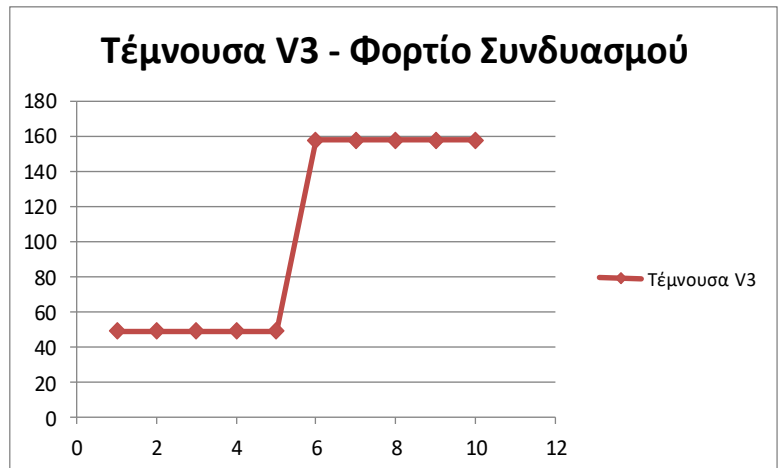
Πίνακας 29 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Α

Ροπή Μ3	
Περίπτωση	Τιμή
1	1378,3409
2	1378,3409
3	1378,3409
4	1378,3409
5	1378,3409
6	4634,2048
7	4634,2048
8	4634,2048
9	4634,2048
10	4634,2048



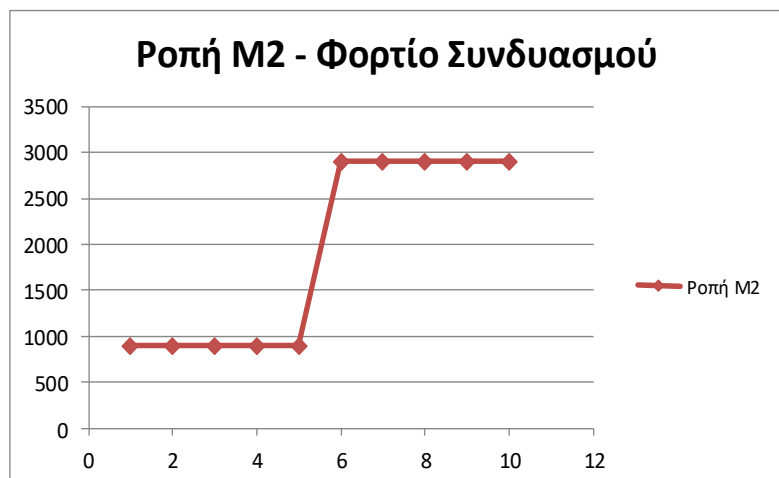
Πίνακας 30 – Ροπή Μ3, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Α

Τέμνουσα V3	
Περίπτωση	Τιμή
1	48,955
2	48,955
3	48,955
4	48,955
5	48,955
6	157,583
7	157,583
8	157,583
9	157,583
10	157,583



Πίνακας 31 – Τέμνουσα V3, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Α

Ροπή Μ2	
Περίπτωση	Τιμή
1	895,9718
2	895,9718
3	895,9718
4	895,9718
5	895,9718
6	2903,2389
7	2903,2389
8	2903,2389
9	2903,2389
10	2903,2389



Πίνακας 32 – Ροπή Μ2, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Α

## Μοντέλο Β:

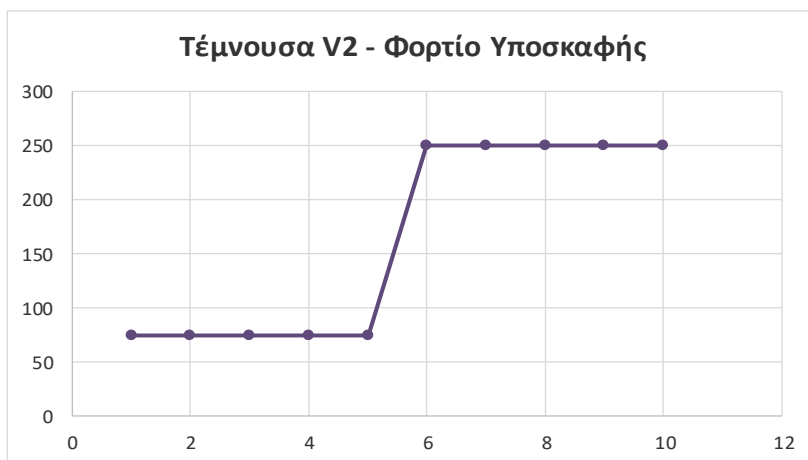
### Φορτίο υποσκαφής:

Αξονική	
Περίπτωση	Τιμή
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0



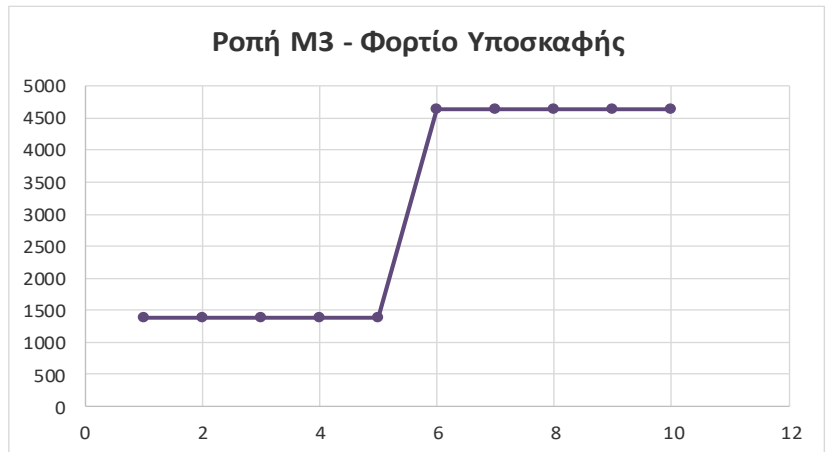
Πίνακας 33 - Αξονική N, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Β

Τέμνουσα V2	
Περίπτωση	Τιμή
1	74,39
2	74,39
3	74,39
4	74,39
5	74,39
6	250,511
7	250,511
8	250,511
9	250,511
10	250,511



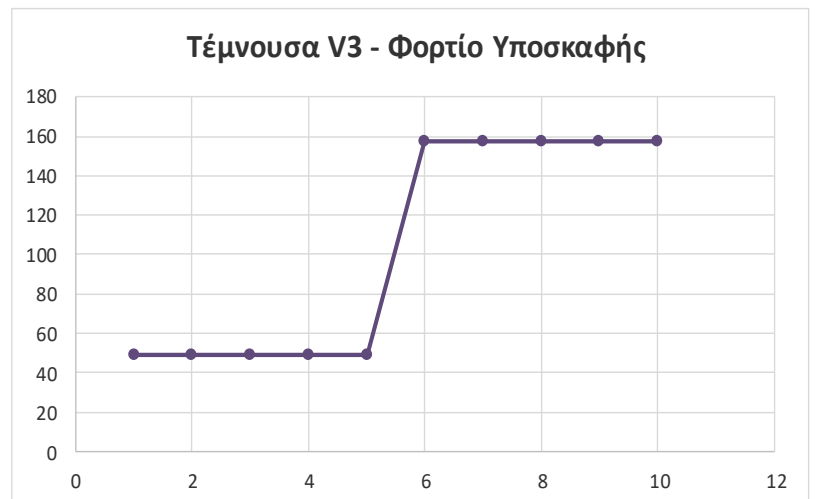
Πίνακας 34 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Β

Ροπή Μ3	
Περίπτωση	Τιμή
1	1375,238
2	1375,238
3	1375,238
4	1375,238
5	1375,238
6	4631,1025
7	4631,1025
8	4631,1025
9	4631,1025
10	4631,1025



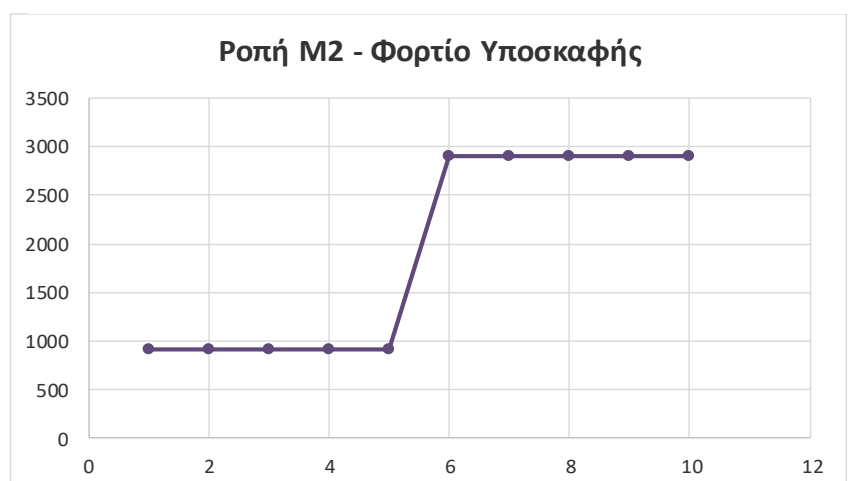
Πίνακας 35 – Ροπή Μ3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Β

Τέμνουσα V3	
Περίπτωση	Τιμή
1	48,955
2	48,955
3	48,955
4	48,955
5	48,955
6	157,583
7	157,583
8	157,583
9	157,583
10	157,583



Πίνακας 36 – Τέμνουσα V3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Β

Ροπή Μ2	
Περίπτωση	Τιμή
1	904,5278
2	904,5278
3	904,5278
4	904,5278
5	904,5278
6	2911,795
7	2911,795
8	2911,795
9	2911,795
10	2911,795

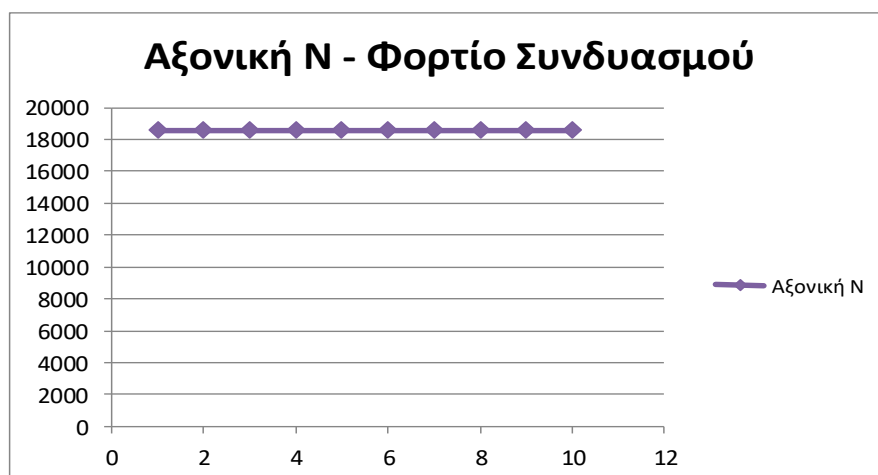


Πίνακας 37 – Ροπή Μ2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Β

## Μοντέλο Β:

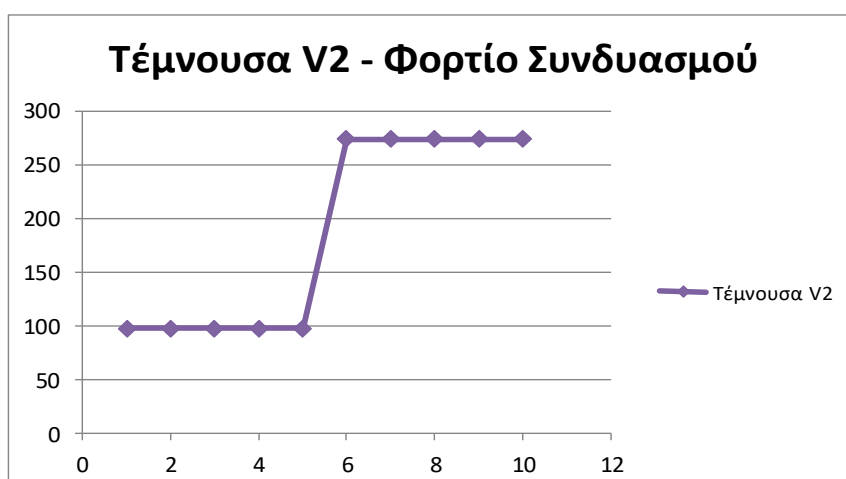
### Φορτιστικός Συνδυασμός:

Αξονική	
Περίπτωση	Τιμή
1	18560,794
2	18560,794
3	18560,794
4	18560,794
5	18560,794
6	18560,794
7	18560,794
8	18560,794
9	18560,794
10	18560,794



Πίνακας 38 - Αξονική N, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Β

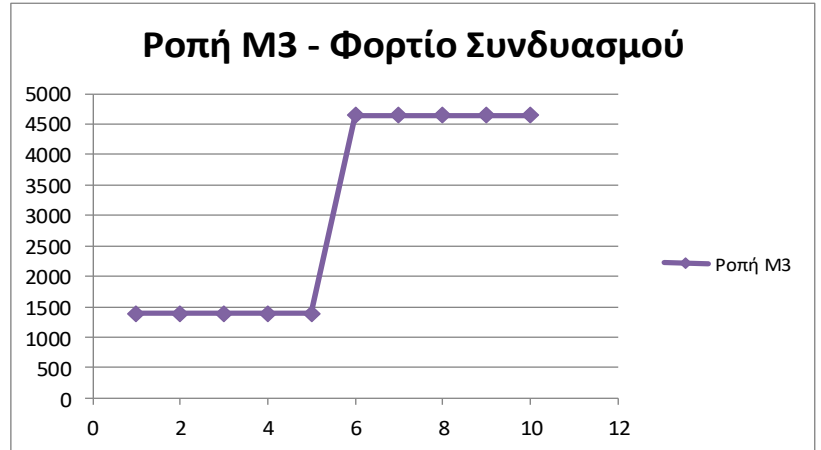
Τέμνουσα V2	
Περίπτωση	Τιμή
1	97,21
2	97,21
3	97,21
4	97,21
5	97,21
6	273,332
7	273,332
8	273,332
9	273,332
10	273,332



Πίνακας 39 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Β

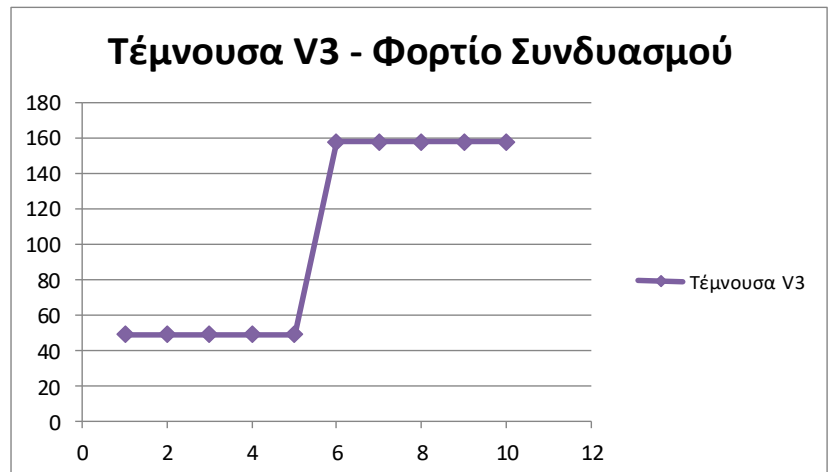


Ροπή Μ3	
Περίπτωση	Τιμή
1	1387,1302
2	1387,1302
3	1387,1302
4	1387,1302
5	1387,1302
6	4642,9941
7	4642,9941
8	4642,9941
9	4642,9941
10	4642,9941



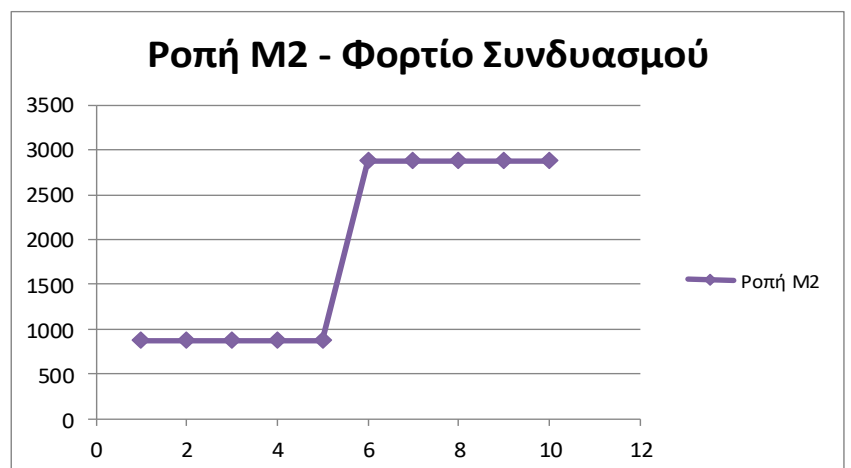
Πίνακας 40 – Ροπή Μ3, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Β

Τέμνουσα V3	
Περίπτωση	Τιμή
1	48,956
2	48,956
3	48,956
4	48,956
5	48,956
6	157,584
7	157,584
8	157,584
9	157,584
10	157,584



Πίνακας 41 – Τέμνουσα V3, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Β

Ροπή Μ2	
Περίπτωση	Τιμή
1	871,6263
2	871,6263
3	871,6263
4	871,6263
5	871,6263
6	2878,8934
7	2878,8934
8	2878,8934
9	2878,8934
10	2878,8934

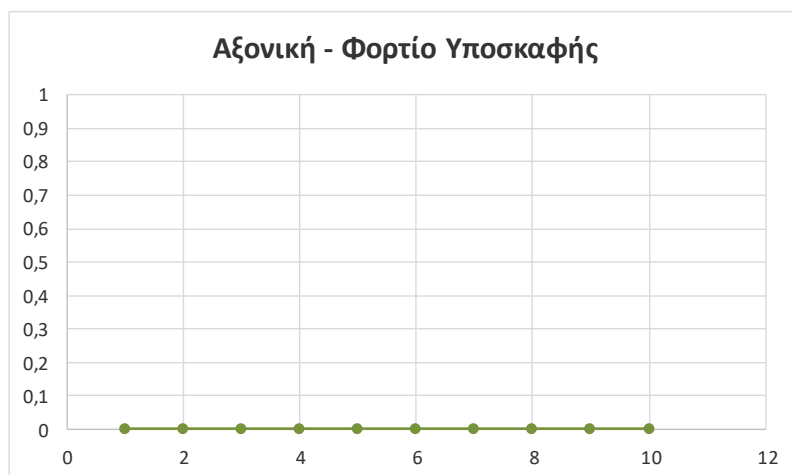


Πίνακας 42 – Ροπή Μ2, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Β

## Μοντέλο Γ:

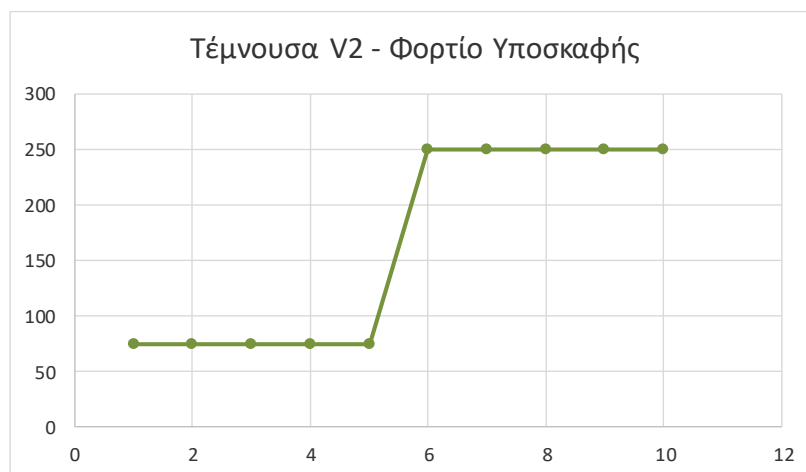
### Φορτίο υποσκαφής:

Αξονική	
Περίπτωση	Τιμή
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0
10	0



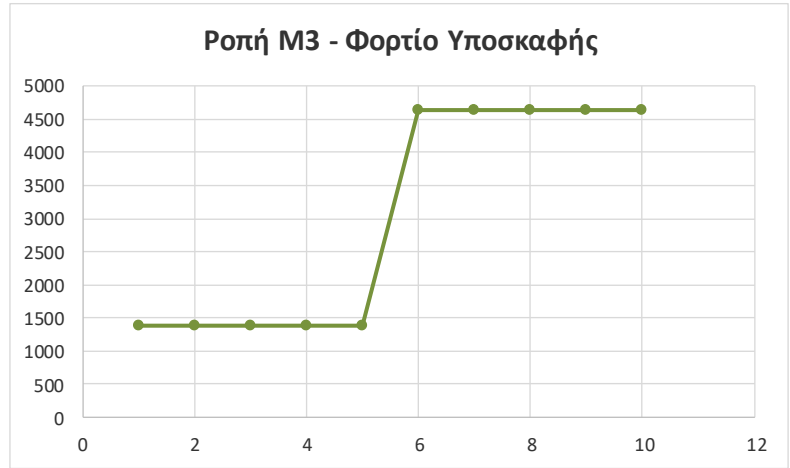
Πίνακας 43 - Αξονική N, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Γ

Τέμνουσα V2	
Περίπτωση	Τιμή
1	74,39
2	74,39
3	74,39
4	74,39
5	74,39
6	250,511
7	250,511
8	250,511
9	250,511
10	250,511



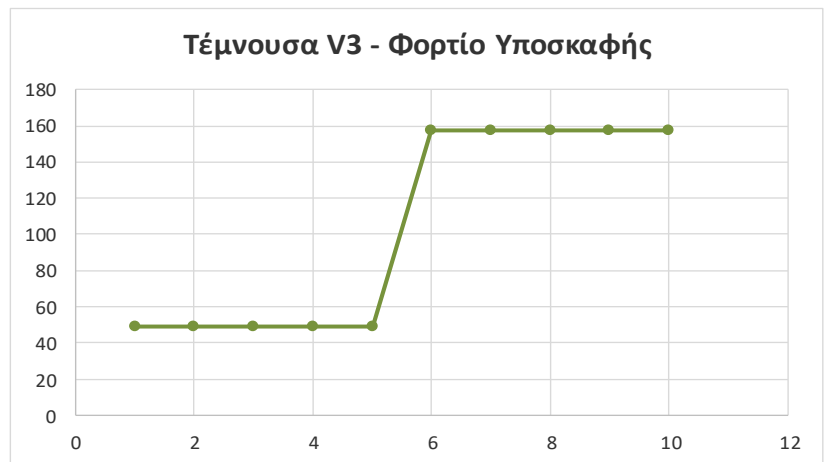
Πίνακας 44 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Γ

Ροπή Μ3	
Περίπτωση	Τιμή
1	1375,2386
2	1375,2386
3	1375,2386
4	1375,2386
5	1375,2386
6	4631,1025
7	4631,1025
8	4631,1025
9	4631,1025
10	4631,1025



Πίνακας 45 – Ροπή Μ3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Γ

Τέμνουσα V3	
Περίπτωση	Τιμή
1	48,955
2	48,955
3	48,955
4	48,955
5	48,955
6	157,583
7	157,583
8	157,583
9	157,583
10	157,583



Πίνακας 46 – Τέμνουσα V3, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Γ

Ροπή Μ2	
Περίπτωση	Τιμή
1	904,5278
2	904,5278
3	904,5278
4	904,5278
5	904,5278
6	2911,795
7	2911,795
8	2911,795
9	2911,795
10	2911,795

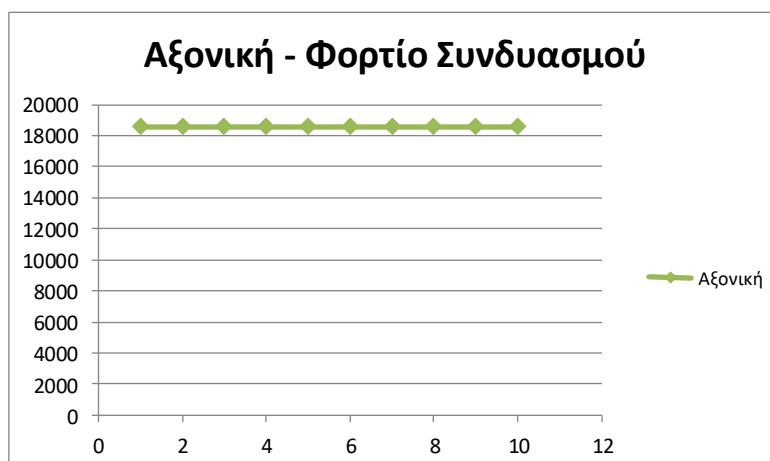


Πίνακας 47 – Ροπή Μ2, Φορτίο Υποσκαφής, Μοντέλο Γ

## Μοντέλο Γ:

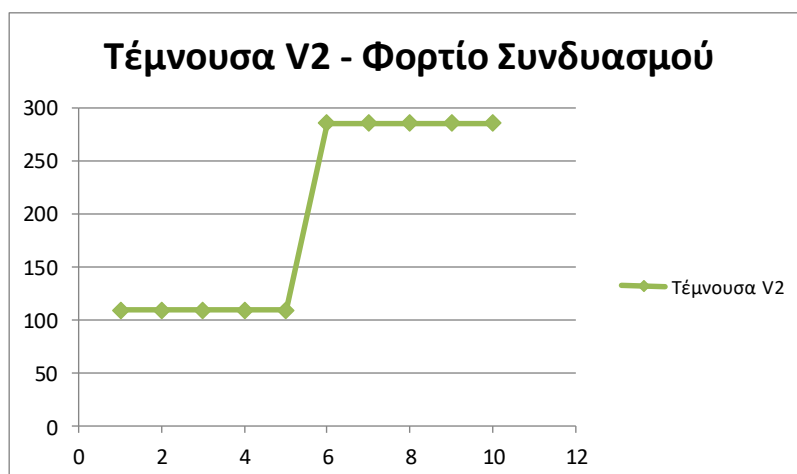
### Φορτιστικός Συνδυασμός:

Αξονική	
Περίπτωση	Τιμή
1	18560,794
2	18560,794
3	18560,794
4	18560,794
5	18560,794
6	18560,794
7	18560,794
8	18560,794
9	18560,794
10	18560,794



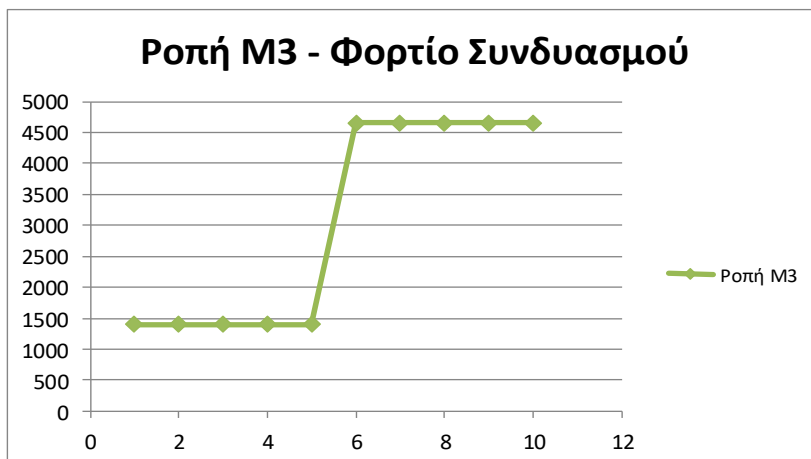
Πίνακας 48 - Αξονική N, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Γ

Τέμνουσα V2	
Περίπτωση	Τιμή
1	108,933
2	108,933
3	108,933
4	108,933
5	108,933
6	285,055
7	285,055
8	285,055
9	285,055
10	285,055



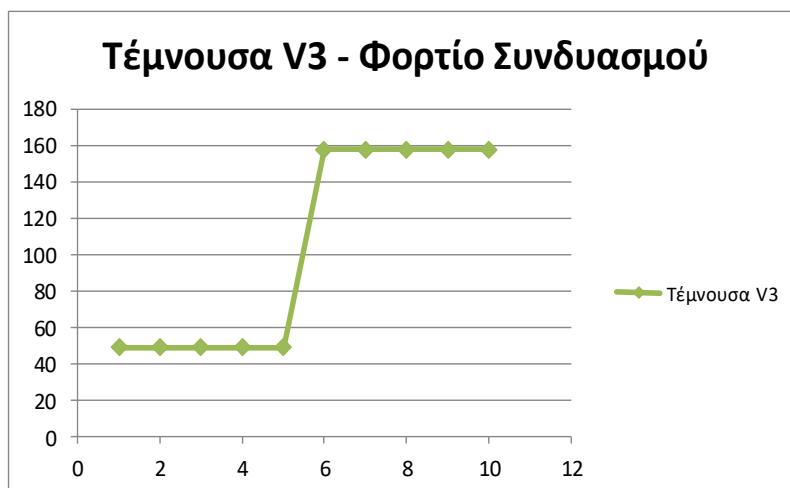
Πίνακας 49 – Τέμνουσα V2, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Γ

Ροπή M3	
Περίπτωση	Τιμή
1	1399,1854
2	1399,1854
3	1399,1854
4	1399,1854
5	1399,1854
6	4655,0493
7	4655,0493
8	4655,0493
9	4655,0493
10	4655,0493



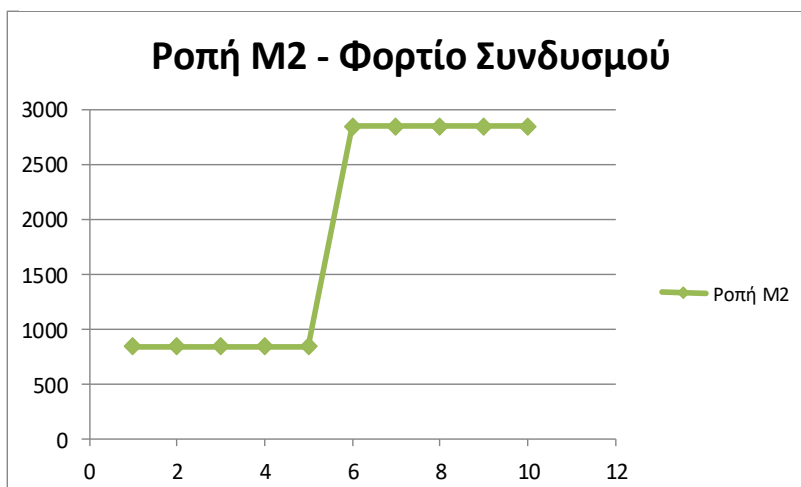
Πίνακας 50 – Ροπή M3, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Γ

Τέμνουσα V3	
Περίπτωση	Τιμή
1	48,955
2	48,955
3	48,955
4	48,955
5	48,955
6	157,583
7	157,583
8	157,583
9	157,583
10	157,583



Πίνακας 51 – Τέμνουσα V3, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Γ

Ροπή M2	
Περίπτωση	Τιμή
1	838,1125
2	838,1125
3	838,1125
4	838,1125
5	838,1125
6	2845,3796
7	2845,3796
8	2845,3796
9	2845,3796
10	2845,3796



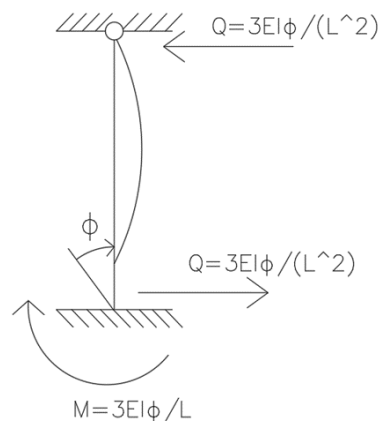
Πίνακας 52 – Ροπή M2, Φορτίο Συνδυασμού, Μοντέλο Γ

## 5.2.4 Συμπεράσματα

Όσον αφορά την επιρροή της υποσκαφής στο φορέα παρατηρούνται τα εξής:

Αρχικά, βλέποντας και από τα διαγράμματα, οι όποιες μεταβολές συντελούνται είναι μεταξύ των περιπτώσεων 5 και 6 δηλαδή, όταν μεταβάλλεται η τιμή της γωνίας στροφής. Συνεπώς, η κατακόρυφη μετακίνηση δεν προκαλεί καμία επιρροή στα εντατικά μεγέθη του φορέα. Η παραπάνω εξέλιξη σχετικά με την κατακόρυφη μετακίνηση είναι λογική, λόγω της μόρφωσης του φορέα με τη μέθοδο των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων και την παρουσία εφεδράνων στο άνω τμήμα του βάθρου, έχοντας συνδετικό ρόλο μεταξύ βάθρων και καταστρώματος. Τα εφέδρανα συμπεριφέρονται ως αρθρώσεις. Συνεπώς, άρθρωση άνω και πάκτωση κάτω ισοδυναμεί με ισοστατικό φορέα που δεν καταπονείται από κατακόρυφη υποχώρηση στήριξης. Εξάλλου, για τους παραπάνω λόγους, η μόρφωση μιας γέφυρας με τη μέθοδο των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων ενδείκνυται σε τέτοιες περιπτώσεις καθώς δεν αναπτύσσεται ένταση από υποχωρήσεις στηρίξεων ή άλλες επιβαλλόμενες παραμορφώσεις. Για το λόγο αυτό, είναι συνήθης η εφαρμογή τους σε περιπτώσεις εδαφών περιορισμένης αντοχής ή όταν δεν διατίθενται αξιόπιστα γεωτεχνικά στοιχεία (Ε. Σαπουντζάκης, Γεφυροποιία II).

Όσον αφορά την επιρροή της στροφής, τα αποτελέσματα δεν είναι ίδια. Παρατηρείται η ανάπτυξη σημαντικών τιμών των εντατικών μεγεθών, τόσο στο κεντρικό βάθρο του φορέα, όσο και σε λοιπά μέλη, καθώς η συνολική κατανομή της έντασης μεταβάλλεται. Η εισαγωγή της στροφής, ως εξαναγκασμένο μέγεθος, σε μονόπακτα μέλη, όπως είναι το βάθρο της γέφυρας, δημιουργεί από μόνη της ένταση σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 93 – Διάγραμμα κατανομής της έντασης για εξαναγκασμένη στροφή  $\phi$

Η στροφή, που ισοδυναμεί με εξαναγκασμένη ροπή, δημιουργείται από τη ροή του ποταμού, η οποία, σύμφωνα με το μαθηματικό μοντέλο, κινείται στην κατεύθυνση y (εγκάρσια, άξονας 2-2), με μικρή λοξότητα που δικαιολογεί τη δημιουργία της. Στην εγκάρσια διεύθυνση, δηλαδή στον άξονα 2-2, σε μη σεισμικές συνθήκες, δρουν μονάχα το φορτίο της υποσκαφής. Για το λόγο αυτό, τα εντατικά μεγέθη της τέμνουσας V2 και της ροπής M3, αναπτύσσονται εξ' ολοκλήρου από τις δύο αυτές φορτίσεις, με σημαντικότερη αυτήν της υποσκαφής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 - Αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της γέφυρας

### 6.1 Γενικά

Η αποτίμηση της συμπεριφοράς των κατασκευών αποτελεί μία πολύ σημαντική διαδικασία μελέτης κατά την οποία εξετάζεται η σεισμική απόκριση της κατασκευής και εκτιμώνται παράγοντες όπως η αντοχή, η διαθέσιμη και η απαιτούμενη πλαστιμότητα του φορέα. Κατά την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς του φορέα προσδιορίζονται οι πιθανές θέσεις σχηματισμού των πλαστικών αρθρώσεων κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης και η σειρά εμφάνισης των βλαβών στις κρίσιμες διατομές. Παράλληλα εκτιμάται η απόκριση του φορέα με την επιβολή σταδιακής οριζόντιας φόρτισης μέχρι το σημείο όπου επέρχεται κατάρρευση.

Η ανελαστική στατική ανάλυση είναι μία από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση των κατασκευών. Με βάση αυτή προσδιορίζεται η διαδοχική σειρά εμφάνισης των σημείων διαρροής και αστοχίας των στοιχείων, η εικόνα παραμόρφωσης του φορέα στην εξεταζόμενη διεύθυνση και ελέγχεται η επάρκεια του φορέα για σεισμική διέγερση που αντιστοιχεί στο σεισμό σχεδιασμού. Εμφανίζει κάποια μειονεκτήματα που αφορούν κυρίως την προσομοίωση της σεισμικής διέγερσης με στατική φόρτιση καθώς και την αδυναμία της να λάβει υπόψη τη συμβολή των ανώτερων ιδιομορφών.

Η ελαστική συμπεριφορά από την άλλη, εξετάζει τα εντατικά μεγέθη που δημιουργούνται από τους σεισμικούς συνδυασμούς και τα συγκρίνει με αυτά της αντοχής. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει σε όρους δυνάμεων – ροπών ή στροφών – καμπυλοτήτων, ενώ η αστοχία που επέρχεται είναι πλάστιμη (αστοχία σε ροπή) ή ψαθυρή (αστοχία σε τέμνουσα). Επιδιώκεται, η όποια αστοχία της γέφυρας να έχει πλάστιμη μορφή, καθώς αυτή είναι προοδευτική και εύκολα επισκευάσιμη, σε αντίθεση με την ψαθυρή αστοχία και είναι απότομη και άμεση. Σύμφωνα με την ελαστική ανάλυση, ο σεισμός παραλαμβάνεται από τα μέλη του φορέα, ενώ σημαντικό ποσοστό – ίσως και 100% αυτού – τον παραλαμβάνουν τα εφέδρανα, εφόσον υπάρχουν. Ωστόσο, καθώς υπάρχει πάντα η πιθανότητα για παραλαβή του σεισμικού φορτίου από τα μέλη του φορέα, αυτά σχεδιάζονται για να συμπεριφερθούν ανελαστικά, εξ' ου και η παραπάνω ανάλυση.\

### 6.2 Σεισμικές δράσεις σχεδιασμού

Η ανάλυση της γέφυρας πραγματοποιείται με εφαρμογή των διατάξεων του αντισεισμικού κανονισμού ΕΚ8 καθώς και της εγκυκλίου Ε39/99 που αφορά τον αντισεισμικό υπολογισμό των γεφυρών.

## 6.2.1 Προσδιορισμός Σεισμικού Φορτίου

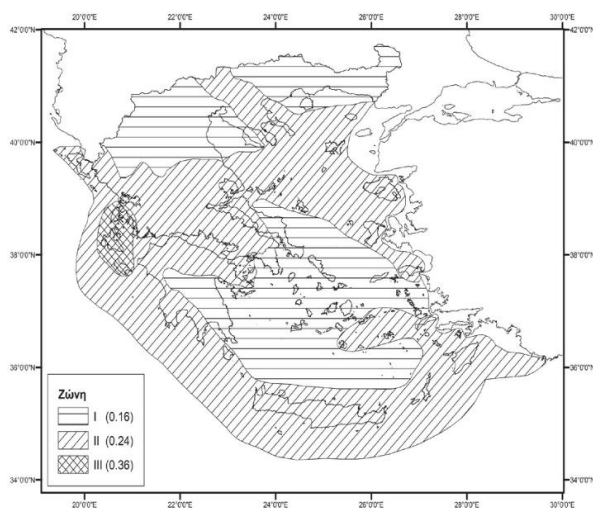
### 6.2.1.1 Σεισμικές παράμετροι

Ως σεισμικές παραμέτρους εννοούμε την Εδαφική Επιτάχυνση Αναφοράς, τη Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας, την Κατηγορία Σπουδαιότητας, την Κατηγορία Εδάφους και το Συντελεστή Συμπεριφοράς. Οι παραπάνω παράμετροι απαιτούνται για τον υπολογισμό του ελαστικού φάσματος απόκρισης, σε περίπτωση που η γέφυρα λειτουργεί ελαστικά ενώ, σε αντίθετη περίπτωση, του φάσματος σχεδιασμού για ανελαστική συμπεριφορά.

#### Εδαφική Επιτάχυνση Αναφοράς $a_{gR}$

Οι αναμενόμενες τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης και ταχύτητας προκύπτουν από μελέτες σεισμικής επικινδυνότητας, μετά από στατιστική επεξεργασία των σεισμικών γεγονότων που έχουν συμβεί στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Στον Ευρωκώδικα 8 (ΕΚ8) έχουν υιοθετηθεί οι σεισμικές ζώνες του Ελληνικού Αντισεισμικού Σχεδιασμού (ΕΑΚ), όπου προβλέπονται τρεις ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας με τις αντίστοιχες τιμές εδαφικής επιτάχυνσης  $a_{gR}$ .

Σύμφωνα με το ΦΕΚ 1154B/12-08-2003, η Κρήτη εντάσσεται σε Ζώνη Σεισμικής Επικινδυνότητας Z2, που συνεπάγεται  $a_{gR} = 0,24g$ .



Εικόνα 94 – Χάρτης προσδιορισμού Ζώνης Σεισμικής Επικινδυνότητας, ΦΕΚ 1154B/12-08-2003



### Συντελεστής Σπουδαιότητας $\gamma_i$

Για κατασκευές μεγάλης αξίας ή σπουδαιότητας, οι τιμές της εδαφικής επιτάχυνσης αναφοράς, πολλαπλασιάζονται με το *συντελεστή σπουδαιότητας*  $\gamma_i$ . Με αυτόν τον τρόπο ο αντισεισμικός σχεδιασμός σημαντικών κατασκευών γίνεται για ισχυρότερο σεισμό που συμβαίνει σπανιότερα, δηλαδή για σεισμό με μεγαλύτερη περίοδο επαναφοράς ( $T_R = 1000$  ή  $2000$  χρόνια), η οποία περίοδος αντιστοιχεί σε μικρότερη πιθανότητα υπέρβασης της εδαφικής επιτάχυνσης σχεδιασμού ή/και σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Έτσι, η εδαφική επιτάχυνση σχεδιασμού ισούται με  $\gamma_i \cdot a_{gR}$ . Στον ΕΚ8, η τιμή αυτή συμβολίζεται με  $a_g$ , δηλαδή,  $a_g = \gamma_i \cdot a_{gR}$ .

Σύμφωνα με την Οδηγία Ε39/99 του Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. σε γέφυρες αυτοκινητοδρόμων, εθνικών οδών και σιδηροδρόμων, η τιμή του συντελεστή σπουδαιότητας λαμβάνεται η μονάδα,  $\gamma_i = 1,00$ .

### Επιρροή εδάφους στη μορφή του φάσματος σχεδιασμού – Κατηγορία Εδάφους

Η παραπάνω τιμή  $a_g$  αντιστοιχεί σε βραχώδες ή πολύ σκληρό έδαφος. Σύμφωνα με τον ΕΚ8, σε μαλακά εδάφη η τιμή αυτή πρέπει να επαυξάνεται με το *συντελεστή εδάφους*  $S$ , ο οποίος κυμαίνεται από 1,00 έως 1,40, ανάλογα με την κατηγορία εδάφους. Στον ΕΚ8 προβλέπονται πέντε κατηγορίες εδάφους Α, Β, Γ, Δ και Χ.

Εκτός από την τιμή της εδαφικής επιτάχυνσης που επηρεάζεται από την κατηγορία του εδάφους, η ποιότητα του εδάφους πάνω στο οποίο θα θεμελιωθεί η κατασκευή επηρεάζει σημαντικά και τη μορφή του φάσματος σχεδιασμού που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Η εξάρτηση του φάσματος σχεδιασμού από τις ιδιότητες του εδάφους είναι αναμενόμενη, αφού η κατασκευή θα διεγερθεί με την κίνηση του εδάφους στη στάθμη θεμελίωσης, η οποία είναι αποτέλεσμα της απόκρισης του εδάφους στη σεισμική μόνωση. Σε σκληρά και βραχώδη εδάφη, τα φάσματα δείχνουν μεγάλες επιταχύνσεις σε μικρές περιόδους, οι οποίες μειώνονται γρήγορα όσο μεγαλώνει η περίοδος της κατασκευής. Αντίθετα, σε μαλακά εδάφη εμφανίζονται μεγάλες φασματικές επιταχύνσεις ακόμη και σε αρκετά μεγάλες περιόδους.

Ο προσδιορισμός των εδαφικών παραμέτρων θα γίνει μέσω του ΕΚΩΣ 2000 (Πίνακας 2.5). Η γέφυρα Γεροποτάμου είναι θεμελιωμένη τόσο σε εδαφικό χώρο με ανεβασμένο τον υδροφόρο ορίζοντα, όσο και εντός του υδάτινου κωλύματος και καθώς το υλικό στη στάθμη θεμελίωσης είναι αργιλοαμμώδες. Θεωρείται κατηγορία εδάφους Χ (ή Ε).

Πίνακας 2.5: Κατηγορίες Εδάφους.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
A	Βραχώδεις ή ημιβραχώδεις σχηματισμοί εκτεινόμενοι σε αρκετή έκταση και βάθος, με τη προϋπόθεση ότι δεν παρουσιάζουν έντονη αποσάθρωση Στρώσεις πυκνού κοκκώδους υλικού με μικρό ποσοστό ιλοαργιλικών προσμίξεων, πάχους μικρότερου των 70μ. Στρώσεις πολύ σκληρής προσυμπεσμένης αργίλου πάχους μικρότερου των 70μ.
B	Εντόνως αποσαθρωμένα βραχώδη ή εδάφη που από μηχανική άποψη μπορούν να εξομοιωθούν με κοκκώδη. Στρώσεις κοκκώδους υλικού μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μεγάλης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Στρώσεις σκληρής προσυμπεσμένης αργίλου πάχους μεγαλύτερου των 70μ.
Γ	Στρώσεις κοκκώδους υλικού μικρής σχετικής πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 5μ. ή μέσης πυκνότητας πάχους μεγαλύτερου των 70μ. Ιλοαργιλικά εδάφη μικρής αντοχής σε πάχος μεγαλύτερο των 5μ.
Δ	Έδαφος με μαλακές αργίλους υψηλού δείκτη πλασιμότητας ( $I_p > 50$ ) συνολικού πάχους μεγαλύτερου των 10μ.
X	Χαλαρά λεπτόκοκκα αμμοίλιωδη εδάφη υπό τον υδάτινο ορίζοντα, που ενδέχεται να ρευστοποιηθούν (εκτός αν ειδική μελέτη αποκλείσει τέτοιο κίνδυνο, ή γίνει βελτίωση των μηχανικών τους ιδιοτήτων) Εδάφη που βρίσκονται δίπλα σε εμφανή τεκτονικά ρήγματα. (Βλπ. και παρ. 5.1[3]). Απότομες κλίσεις καλυπτόμενες με προϊόντα χαλαρών πλευρικών κορημάτων. Χαλαρά κοκκώδη ή μαλακά ιλοαργιλικά εδάφη, εφόσον έχει αποδειχθεί ότι είναι επικίνδυνα από άποψη δυναμικής συμπεριφοράς ή απώλειας αντοχής. Πρόσφατες χαλαρές επιχωματώσεις (μπάζα). Οργανικά εδάφη. Εδάφη κατηγορίας Γ με επικινδύνως μεγάλη κλίση.

Πίνακας 53 – Πίνακας 2.5 Προσδιορισμός Κατηγορίας Εδάφους ΦΕΚ 1154B/12-08-2002

Από τα παραπάνω, προκύπτουν συντελεστές  $T_B = 0,15\text{sec}$ ,  $T_C = 0,50\text{sec}$ ,  $T_D = 2,50\text{sec}$  και  $S = 1,40$ .

## 6.2.2 Συντελεστής Συμπεριφοράς q

Ο συντελεστής συμπεριφοράς q ορίζεται από τη σχέση:  $q = F_e / F_d$ , όπου  $F_e$  είναι το σεισμικό φορτίο που αναπτύσσεται στο ισοδύναμο απείρως ελαστικό σύστημα και  $F_d$  το φορτίο σχεδιασμού. Ο συντελεστής συμπεριφοράς εφαρμόζεται ως μειωτικός συντελεστής, ο οποίος μειώνει το ελαστικό φορτίο  $F_e$  ώστε να προκύψει το σεισμικό φορτίο σχεδιασμού  $F_d$  που αναμένεται να αναπτυχθεί για ανελαστική συμπεριφορά του συστήματος, δηλαδή  $F_d = F_e / q$ . Για το φορτίο σχεδιασμού  $F_d$  γίνεται ελαστική ανάλυση από την οποία προκύπτουν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού.

Σύμφωνα με τον ΕΚ8-2, η μέγιστη τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς q που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μελέτη των γεφυρών εξαρτάται από το υλικό κατασκευής, την υπερστατικότητα και τη μορφή των βάθρων. Οι μέγιστες τιμές δίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

<b>Βάθρα από Ω.Σ.</b>	
Κατακόρυφα βάθρα	3.5·λ(α <sub>s</sub> )
Βάθρα με κεκλιμένες αντηρίδες	2.1·λ(α <sub>s</sub> )
<b>Μεταλλικά βάθρα</b>	
Κατακόρυφα βάθρα	3.5
Βάθρα με κεκλιμένες αντηρίδες	2.0
Βάθρα με κανονικούς συνδέσμους (bracing)	2.5
Βάθρα με έκκεντρους συνδέσμους (bracing)	3.5
<b>Ακρόβαθρα σταθερά συνδεδεμένα με το φορέα</b>	
Γενικώς	1.5
Συστήματα που ακολουθούν την εδαφική κίνηση	1.0
<b>Τόξα</b>	2.0

Πίνακας 54 – Πίνακας Προσδιορισμού συντελεστή συμπεριφοράς q, ΕΚ8-2

Ο συντελεστής λ που εμφανίζεται εξαρτάται από το λόγο διάτμησης α<sub>s</sub> και παίρνει τις παρακάτω τιμές:

$$\text{Για } 1 \leq \alpha_s \leq 3: \lambda(\alpha_s) = (\alpha_s/3)^{0.5}$$

$$\text{Για } \alpha_s \geq 3: \lambda(\alpha_s) = 1$$

Ο λόγος διάτμησης α<sub>s</sub> ορίζεται από τη σχέση α<sub>s</sub> = L<sub>s</sub>/h, όπου L<sub>s</sub> είναι το διατμητικό μήκος που ισούται με την απόσταση μεταξύ της θέσης της πλαστικής άρθρωσης και του σημείου μηδενισμού των ροπών και h είναι το ύψος της διατομής παράλληλα προς τη διεύθυνση κάμψης. Το διατμητικό μήκος L<sub>s</sub> υπολογίζεται από τη σχέση: L<sub>s</sub> = M/V, όπου M είναι η ροπή στη βάση και V η τέμνουσα.

Η συμπεριφορά της γέφυρας Γεροποτάμου, λόγω της ιδιαίτερης γεωμετρίας των βάθρων της είναι διαφορετική σε κάθε διεύθυνση. Αυτό δεν καθιστά πρόβλημα για τον υπολογισμό του συντελεστή συμπεριφοράς καθώς επιτρέπεται η χρήση διαφορετικής τιμής q στη διαμήκη και την εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας.



Εικόνα 95 – Όψη βάθρου γέφυρας Γεροποτάμου

Τα βάθρα της γέφυρας, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι πολύστυλα, λόγω του μεγάλου πλάτους καταστρώματος. Τα πολύστυλα βάθρα λειτουργούν ως πλαίσια στην εγκάρσια διεύθυνση. Καθώς η σύνδεση των βάθρων με το κατάστρωμα δεν είναι μονολιθική, αλλά απαιτείται η παρουσία των εφεδράνων για την αρτιότερη σεισμική συμπεριφορά και αύξηση των τιμών της ιδιοπεριόδου, κατασκευάζεται η δοκός έδρασης στην κεφαλή των στύλων, δηλαδή μια δοκός η οποία συνδέει τους στύλους και επί της οποίας εδράζονται τα εφέδρανα και με τη σειρά του ο φορέας.

Τα πολύστυλα βάθρα έχουν γενικώς καλή σεισμική συμπεριφορά, λόγω της υπερστατικότητας που διαθέτουν στο επίπεδο του πλαισίου. Στη διαμήκη διεύθυνση, τα βάθρα αυτά συμπεριφέρονται ως μονόστυλα.

Συγκεντρωτικά, συμπεραίνουμε τα εξής:

- Στην εγκάρσια διεύθυνση λειτουργεί το πλαίσιο. Θεωρείται πρακτικά ελαστική συμπεριφορά. Προκύπτει  $q = 1,5$ .
- Στη διαμήκη διεύθυνση δε λειτουργεί το πλαίσιο. Οι στύλοι συμπεριφέρονται ως μονόπακτοι, εξαιτίας της παρουσίας των εφεδράνων. Προκύπτει  $q = 3,5 \cdot \lambda(\alpha_s)$ .

Προτού υιοθετήσουμε απευθείας την τιμή  $\alpha_s = 1$ , λόγω του ότι το διατμητικό μήκος, δηλαδή η απόσταση μεταξύ της θέσης της πλαστικής άρθρωσης και του σημείου μηδενισμού των ροπών, ισούται με το ύψος της διατομής του βάθρου  $h$ , αξίζει να αναφερθεί η παρακάτω παρατήρηση σχετικά με τη διαφοροποίηση του ύψους των βάθρων αλλά τον τελικό ενιαίο συντελεστή συμπεριφοράς για όλα τα βάθρα.

Επειδή ο λόγος διάτμησης  $\alpha_s$  είναι διαφορετικός για κάθε βάθρο, είναι πιθανόν να προκύπτουν διαφορετικές τιμές  $q$  για διαφορετικά βάθρα. Όμως, τα φορτία σχεδιασμού σε κάθε διεύθυνση σεισμικής δράσης υπολογίζονται για ενιαία τιμή συντελεστή

συμπεριφοράς  $q$  σε όλη τη γέφυρα. Επομένως, εάν στη γέφυρα υπάρχουν βάθρα στα οποία αντιστοιχούν διαφορετικές τιμές  $q$ , η αντισεισμική μελέτη γίνεται με την τιμή του  $q$  που αντιστοιχεί στα βάθρα που αναλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα της σεισμικής δύναμης.

Στη δική μας περίπτωση για  $\alpha_s = 1$ , έχουμε  $\lambda(\alpha_s) = 0,577$ .

Προκύπτει  $q = 3,5 \cdot \lambda(\alpha_s) = 3,5 \cdot 0,577 = 2$ .

Ο συντελεστής συμπεριφοράς  $q$  χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του ανελαστικού φάσματος σχεδιασμού. Συγκεκριμένα, στον Ευρωκώδικα 8, το ανελαστικό φάσμα σχεδιασμού ορίζεται διαιρώντας το αντίστοιχο ελαστικό φάσμα με το συντελεστή συμπεριφοράς  $q$ . Προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις υπολογισμού του:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

### 6.2.3 Εισαγωγή Σεισμικού Φορτίου στο SAP2000

Αρχικά να αναφερθεί πως τόσο η εισαγωγή του φορτίου σεισμού, όσο και οι καμπύλες pushover θα γίνουν για την περίπτωση 7 και για τα 3 μοντέλα Α,Β,Γ.

Περίπτωση	7
Μετακίνηση (K)	20
Μετακίνηση (A)	0
Στροφή (K)	1/150
Στροφή (A)	1/500

Η διαδικασία εισαγωγής του σεισμικού φορτίου έγινε μέσω της εντολής δημιουργίας Load Patterns για κάθε μία από τις δύο διευθύνσεις X,Y. Αγνοούμε την κατακόρυφη επίδραση του σεισμού. Οι φορτίσεις παίρνουν στο SAP την κωδική ονομασία EQX και EQY.

Πατώντας Modify Lateral Load Pattern, ορίζουμε και τη διεύθυνση δράσης καθώς και τις απαραίτητες παραμέτρους προσδιορισμού.

Συγκεκριμένα η εισαγωγή φαίνεται στις παρακάτω δύο εικόνες:

The screenshot shows the '2004 Eurocode8 Seismic Load Pattern' dialog box. The 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity' section has 'Global X Direction' selected. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0,05. The 'Time Period' section has 'Program Calc' selected. The 'Lateral Load Elevation Range' section has 'Program Calculated' selected. The 'Parameters' section includes: Country (Other), Ground Acceleration, ag/g (0,24), Spectrum Type (1), Ground Type (E), Soil Factor, S (1,4), Spectrum Period, Tb (0,15), Spectrum Period, Tc (0,5), Spectrum Period, Td (2,5), Lower Bound Factor, Beta (0,2), Behavior Factor, q (2), and Correction Factor, Lambda (1). 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Εικόνα 96 – Εισαγωγή σεισμικού φορτίου κατά τη διεύθυνση X

The screenshot shows the '2004 Eurocode8 Seismic Load Pattern' dialog box. The 'Load Direction and Diaphragm Eccentricity' section has 'Global Y Direction' selected. The 'Ecc. Ratio (All Diaph.)' is set to 0,05. The 'Time Period' section has 'Program Calc' selected. The 'Lateral Load Elevation Range' section has 'Program Calculated' selected. The 'Parameters' section includes: Country (Other), Ground Acceleration, ag/g (0,24), Spectrum Type (1), Ground Type (E), Soil Factor, S (1,4), Spectrum Period, Tb (0,15), Spectrum Period, Tc (0,5), Spectrum Period, Td (2,5), Lower Bound Factor, Beta (0,2), Behavior Factor, q (1,5), and Correction Factor, Lambda (1). 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Εικόνα 97 - Εισαγωγή σεισμικού φορτίου κατά τη διεύθυνση Y

#### 6.2.4 Σεισμικός συνδυασμός δράσεων

Ο σεισμικός συνδυασμός δράσεων ορίζεται ως εξής:

$$E_d = G_k + P + A_{Ed} + \psi_{21} Q_{1k} + Q_2$$

όπου:

$G_k$  : είναι το σύνολο των μόνιμων δράσεων με τη χαρακτηριστική τους τιμή (ίδιο βάρος και πρόσθετα μόνιμα)

$P$  : είναι η τελική τιμή δράσεων από προένταση, η οποία αμελείται στην παρούσα διπλωματική

$A_{Ed}$  : είναι ο συνδυασμός των σεισμικών δράσεων

Συγκεκριμένα, διακρίνουμε 3 συνδυασμούς σεισμικών δράσεων :

a.  $0,30 \cdot EQX + 0,30 \cdot EQY$

b.  $1,00 \cdot EQX + 0,30 \cdot EQY$

c.  $0,30 \cdot EQX + 1,00 \cdot EQY$

$Q_{1k}$  : είναι η χαρακτηριστική τιμή του μεταβλητού φορτίου κυκλοφορίας

$\psi_{21}$  : ο αντίστοιχος συντελεστής συνδυασμού ίσος προς 0,2 για οδικές γέφυρες

$Q_2$  : είναι η οιονεί μόνιμη τιμή δράσεων με μεγάλη διάρκεια (π.χ. ώθηση γαιών, άνωση, πίεση ροής κ.λπ.)

Εντάσεις καταναγκασμού επιτρέπεται να μην λαμβάνονται υπόψη στο σεισμικό συνδυασμό δράσεων, με εξαίρεση την περίπτωση γεφυρών, στις οποίες η σεισμική δράση λαμβάνεται από ελαστομεταλλικά εφέδρανα. Παρόλα αυτά εντάσεις καταναγκασμού που επιτρέπονται να μη λαμβάνονται υπόψη στο σεισμικό συνδυασμό δράσεων είναι θερμοκρασιακές μεταβολές, ο ερπυσμός και η συστολή ξήρανσης, οι υποχωρήσεις στηρίξεων και οι παραμένουσες εδαφικές μετακινήσεις προερχόμενες από σεισμικά ρήγματα.

Στην περίπτωση όμως των γεφυρών με ελαστομεταλλικά εφέδρανα, όπως στη γέφυρα που εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική, επειδή η μόρφωση του φορέα είναι με ανεξάρτητα αμφιέριστα ανοίγματα, επομένως αγνοείται εξαρχής η κατακόρυφη μετακίνηση, και η στροφή που δημιουργείται είναι πολύ μικρής λοξότητας, γίνεται η παραδοχή της αγνόησης της επιρροής του συγκεκριμένου μεγέθους στο σεισμικό σχεδιασμό.

Όσον αφορά τη φόρτιση της πλημμύρας, καθώς αυτή αποτελεί οριζόντια φόρτιση κάνουμε την παραδοχή, οι συντελεστές της να εξαρτώνται άμεσα από τους σεισμικούς συντελεστές. Συγκεκριμένα θεωρούμε συντελεστή ίσο με τη μονάδα για την περίπτωση (a) και συντελεστή 0,30 για τις περιπτώσεις (b) και (c).

Με βάση τα παραπάνω ορίζονται οι ακόλουθοι συνδυασμοί από το πρόγραμμα:

<b>Συνδυασμός EQ1</b>	
<b>Φόρτιση</b>	<b>Συντελεστής</b>
Ίδιο βάρος	1,00
Πρόσθετα Μόνιμα	1,00
Κινητά	0,20
Πλημμύρα	1,00
EQX	0,30
EQY	0,30

<b>Συνδυασμός EQ2</b>	
<b>Φόρτιση</b>	<b>Συντελεστής</b>
Ίδιο βάρος	1,00
Πρόσθετα Μόνιμα	1,00
Κινητά	0,20
Πλημμύρα	0,30
EQX	1,00
EQY	0,30

<b>Συνδυασμός EQ3</b>	
<b>Φόρτιση</b>	<b>Συντελεστής</b>
Ίδιο βάρος	1,00
Πρόσθετα Μόνιμα	1,00
Κινητά	0,20
Πλημμύρα	0,30
EQX	0,30
EQY	1,00



### 6.3 Προσδιορισμός της αντοχής και της πλαστιμότητας των κρίσιμων διατομών

Οι θέσεις πιθανών πλαστικών αρθρώσεων, βρίσκονται στην κορυφή και στη βάση των βάθρων, εκτός από την περίπτωση που στην κορυφή έχουμε ελαστομεταλλικά εφέδρανα. Τότε, οι πλαστικές αρθρώσεις υπάρχουν μόνο στη βάση. Καθώς, ο κάτω δεσμός λειτουργεί ως στερεό σώμα, οι κρίσιμες διατομές οι οποίες αποτελούν και πιθανές θέσεις πλαστικών αρθρώσεων αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια μεταξύ των στύλων και του κάτω δεσμού.



Εικόνα 98 – Προσδιορισμός Πλαστικών Αρθρώσεων στη βάση των κυκλικών υποστλωμάτων

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εφαρμόζεται η μέθοδος της ελαστικής ανάλυσης, με τη χρήση του προγράμματος SAP2000, για την αποτίμηση της σεισμικής συμπεριφοράς της γέφυρας. Κατά την αποτίμηση λαμβάνονται υπόψη οι οπλισμοί των κρίσιμων διατομών, στην περίπτωσή μας δηλαδή, των στύλων. Καθώς δεν έχουμε πληροφορίες για τον οπλισμό των μελών της γέφυρας, θα κάνουμε υπόθεση για αυτούς, αξιοποιώντας και τα δεδομένα της εποχής.

Το πρόγραμμα για την προσομοίωση της ανελαστικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων ενός φορέα, χρησιμοποιεί το προσομοίωμα συγκεντρωμένης πλαστιμότητας ή σημειακών πλαστικών αρθρώσεων. Το πρώτο και πιο κρίσιμο στάδιο για την αποτίμηση μιας κατασκευής είναι η ορθή και κατά το δυνατόν αξιόπιστη εκτίμηση της αντοχής και της διαθέσιμης στροφής στα σημεία των ενδεχόμενων πλαστικών αρθρώσεων. Απαιτείται δηλαδή η ανάπτυξη ενός νόμου ροπών – στροφών ( $M-\theta$ ) για κάθε σημείο πιθανής εμφάνισης πλαστικής άρθρωσης. Τα διαθέσιμα ζεύγη τιμών αντιστοιχούν στη στροφή διαρροής και τη ροπή αστοχίας της διατομής. Η διαθέσιμη ικανότητα της πλαστικής στροφής, και εν συνεχεία η ικανότητα πλαστιμότητας μέλους, εξαρτώνται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της διατομής, το ποσοστό διαμήκους οπλισμού, τα μεγέθη ορθής έντασης και το ποσοστό του εγκάρσιου οπλισμού που στην περίπτωσή μας αγνοείται.

### 6.3.1 Καθορισμός της ανελαστικής συμπεριφοράς διατομής οπλισμένου σκυροδέματος

Ο καθορισμός της ανελαστικής συμπεριφοράς μιας διατομής οπλισμένου σκυροδέματος, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την εκπόνηση ανελαστικών αναλύσεων, έχει κατά κύριο λόγο ως στόχο τον προσδιορισμό διαγραμμάτων ροπής – στροφής (M-θ) ή ροπής καμπυλότητας (M-κ) για την εν λόγω διατομή. Ασφαλώς αντίστοιχες καμπύλες μπορούν να προκύψουν και για τα υπόλοιπα εντατικά μεγέθη, είναι όμως ήσσονος σημασίας, καθώς η κύρια μορφή ανελαστικής παραμόρφωσης των διατομών οπλισμένου σκυροδέματος σχετίζεται με την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων λόγω καμπτικής ροπής.

Ο υπολογισμός των διαγραμμάτων που προαναφέρθηκαν μπορεί να γίνει αυτόματα από το SAP2000. Για τη διαδικασία αυτόματου υπολογισμού από το πρόγραμμα, απαιτείται μια ιδιαίτερα λεπτομερής περιγραφή των υλικών και των διατομών του φέροντος οργανισμού του φορέα που σχετίζονται με:

- την ανελαστική συμπεριφορά του σκυροδέματος,
- την ανελαστική συμπεριφορά του χάλυβα των ράβδων οπλισμού.

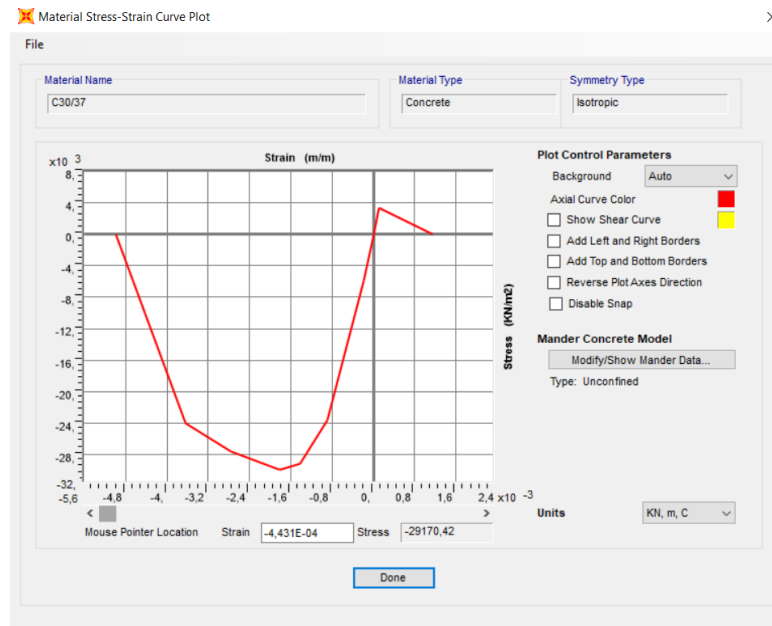
#### 6.3.1.1 Ανελαστική συμπεριφορά σκυροδέματος

Για τον προσδιορισμό της καμπύλης ανελαστικής συμπεριφοράς σκυροδέματος είναι απαραίτητος ο καθορισμός του τύπου (ποιότητας) του σκυροδέματος που χρησιμοποιείται. *Εκτός αν ορίζεται διαφορετικά, οι ιδιότητες των στοιχείων πρέπει να βασίζονται στις μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών. Για νέους φορείς, οι μέσες τιμές των ιδιοτήτων των υλικών μπορούν να υπολογιστούν από τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές βάσει των πληροφοριών που παρέχονται στα EN1992 έως EN1996 ή σε EN υλικών. (EK8 §4.3.3.4.1.(4))*

Συνεπώς για σκυροδέμα C30/37 (που έχουμε υποθέσει για τη γέφυρα Γεροποτάμου) προκύπτουν οι παρακάτω τιμές (EC2 Table 3.1):

- μέση τιμή επιβατικού μέτρου ελαστικότητας  $E = 3,3 \cdot 10^7 \text{kPa}$
- μέση τιμή θλιπτικής αντοχής σκυροδέματος  $f_{cm} = 38000 \text{kPa}$
- τιμή θλιπτικής παραμόρφωσης στη μέγιστη τάση  $\varepsilon_{c1} = 2,2\%$
- τιμή θλιπτικής παραμόρφωσης αστοχίας  $\varepsilon_{cu} = 3,5\%$

Με την εισαγωγή των παραπάνω τιμών στις ιδιότητες του υλικού, προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων. Σημειώνεται ότι η μορφή της καμπύλης του οφείλεται στο ότι οι αρνητικές τιμές εμφανίζονται στην κάτω πλευρά του άξονα Υ. Στο ίδιο διάγραμμα διακρίνονται οι μικρές αντοχές του σκυροδέματος σε εφελκυστικές τάσεις.



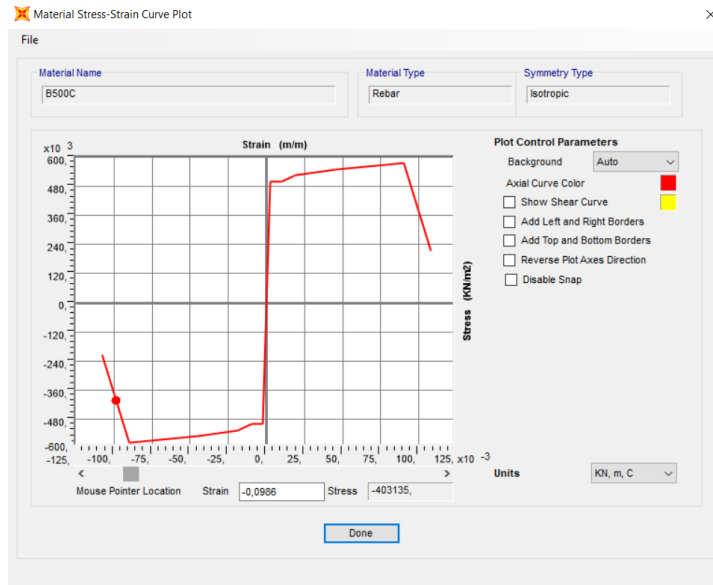
Εικόνα 99 – Διάγραμμα τάσεων σκυροδέματος

### 6.3.1.2 Ανελαστική συμπεριφορά χάλυβα ράβδων οπλισμού

Για την προσομοίωση του υλικού του χάλυβα οπλισμού ορίζεται ένα νέο υλικό, με κωδική ονομασία Material Type: Rebar. Στη συνέχεια, με Modify/Show Properties, τίθενται οι τιμές των ελαστικών αλλά και ανελαστικών χαρακτηριστικών του χάλυβα, βάσει των μέσων τιμών των ιδιοτήτων του.

Για τον προσδιορισμό της ανελαστικής συμπεριφοράς του χάλυβα των ράβδων οπλισμού, είναι απαραίτητος ο καθορισμός του τύπου (ποιότητας) του χάλυβα που χρησιμοποιείται. Συγκεκριμένα, απαιτούνται οι τιμές της τάσης διαρροής και της μέγιστης εφελκυστικής τάσης του χάλυβα. Οι ιδιότητες του χάλυβα που ορίζονται κατά τις μη γραμμικές μεθόδους θα πρέπει να αντιστοιχούν στις μέσες τιμές των ιδιοτήτων του υλικού (EC8 §4.3.3.4.1(4)). Συνεπώς, για χάλυβα B500C, προκύπτουν οι παρακάτω τιμές (οι συμβολισμοί ακολουθούν αυτούς που εμφανίζονται στο πρόγραμμα):

- μέτρο ελαστικότητας  $E = 2 \cdot 10^8 \text{ kPa}$
- λόγος Poisson 0,3
- συντελεστής γραμμικής διαστολής  $12 \cdot 10^{-6}$
- τάση διαρροής (ονομαστική)  $F_y = 500 \text{ MPa}$
- τάση διαρροής (μέση τιμή)  $F_{ye} = 1,15 \cdot 500 = 575 \text{ MPa}$
- εφελκυστική αντοχή (ονομαστική)  $F_u = 1,25 \cdot 500 = 625 \text{ MPa}$
- Εφελκυστική αντοχή (μέση τιμή)  $F_{ue} = 1,10 \cdot 625 = 687,5 \text{ MPa}$
- συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο  $\epsilon_u \geq 7,5\%$

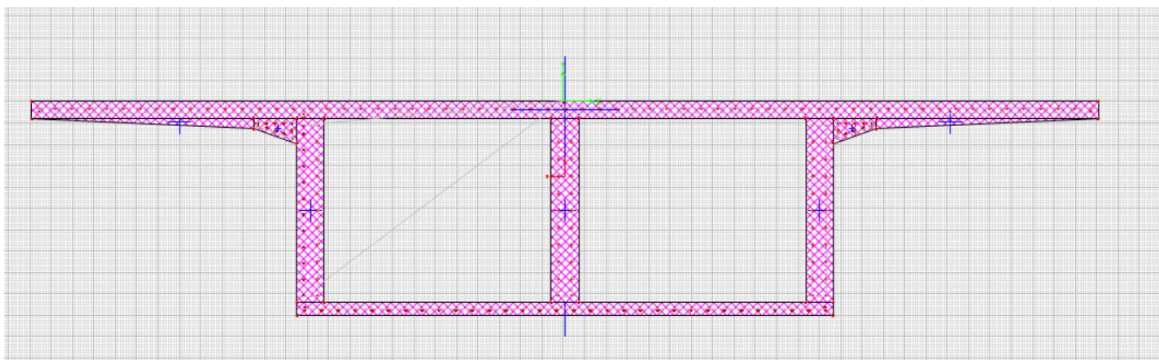


Εικόνα 100 – Διάγραμμα τάσεων χαλύβδινων ράβδων οπλισμού

### 6.3.1.3 Ανελαστική συμπεριφορά σε επίπεδο διατομής

Για τη σχεδίαση των διατομών των μελών είναι υποχρεωτική η εισαγωγή των οπλισμών τους, για τον προσδιορισμό της ροπής αντοχής  $M_{Rd}$ . Καθώς δεν έχουμε γνώση των οπλισμών που έχουν ήδη τοποθετηθεί, θα κάνουμε υπόθεση για αυτόν με δεδομένη τη χρονολογία κατασκευής (1971). Ο οπλισμός θα εισαχθεί στη διατομή του καταστρώματος, καθώς εκεί θα εισαχθεί η στοχευόμενη μετακίνηση, και των στύλων, καθώς εκεί βρίσκεται η πιθανή θέση δημιουργίας πλαστικών αρθρώσεων.

Η διατομή του καταστρώματος, μαζί με τους οπλισμούς της φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 101 – Οπλισμένη διατομή του καταστρώματος στο SAP2000

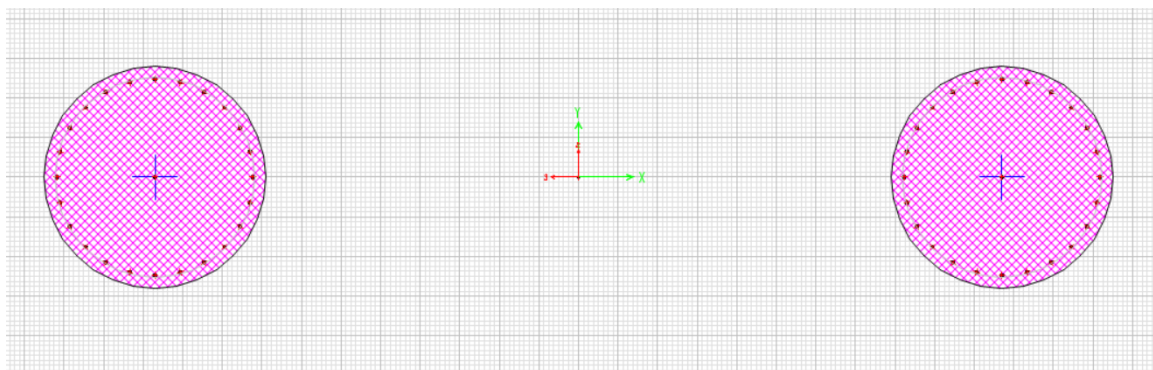
Συγκεκριμένα τοποθετούνται:

- Οπλισμός Άνω Πλάκας Φ20/20
- Οπλισμός Κάτω Πλάκας Φ25/18

- Οπλισμός Κατακόρυφων Μελών  $\Phi 16/12$
- Οπλισμός Βραχέων Προβόλων  $\Phi 8/12$

Παντού η επικάλυψη ισούται με 7cm.

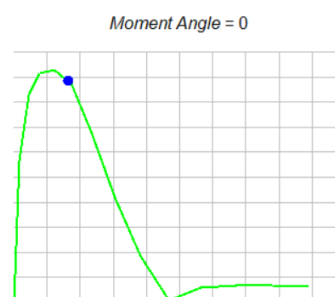
Στη συνέχεια, παρατίθενται η διατομή των στύλων με διαμήκη οπλισμό 24 $\Phi 20$ .



Εικόνα 102 – Οπλισμένη διατομή κυκλικών υποστυλωμάτων στο SAP2000

Με την εισαγωγή των οπλισμών στις διατομές, μπορούμε να εξάγουμε απευθείας τις χαρακτηριστικές τιμές τους, όπως την καμπυλότητα και ροπή διαρροής, αστοχίας, σκυροδέματος καθώς και το διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων του κάθε μέλους, για το μέγιστο αξονικό φορτίο που του ασκείται από τους σεισμικούς συνδυασμούς.

Παρακάτω παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα στοιχεία για κάθε βάθρο μέσω φωτογραφιών από το SAP, με αρίθμηση από ανατολή προς δύση, που συνεπάγεται πως το κεντρικό βάθρο που βρίσκεται εντός της κοίτης του ποταμού είναι το βάθρο 3 και αυτό που βρίσκεται κατά το ήμισυ στο νερό, το βάθρο 4.



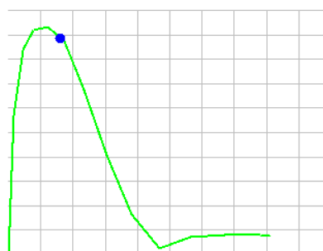
#### Results For Exact-Integration

$\phi_i(\text{Initial}) = 2,952\text{E-}03$   
 $M_y = 7666,9535$   
 $\phi_{\text{max}} = 0,0712$   
 $M_{\text{max}} = 628,4694$   
 $\phi_{\text{concrete}} = 0,013$   
 $M_{\text{concrete}} = 8838,3906$   
 $\phi_{\text{steel}} = \text{N/A}$   
 $M_{\text{steel}} = \text{N/A}$

Εικόνα 103 – Χαρακτηριστικές Τιμές  $M$ ,  $\phi$  για το βάθρο 1

MOMENT CURVATURE ( $M-\phi$ ) GRAPH - KN, m, C

Axial Load = -10627  
Moment Angle = 0



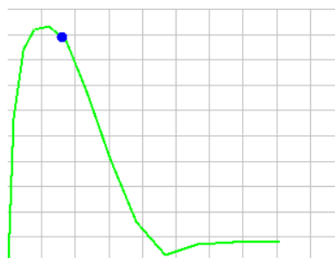
Results For Exact-Integration

$\phi_{y(Initial)} = 2,959E-03$   
 $M_y = 7727,2437$   
 $\phi_{max} = 0,0649$   
 $M_{max} = 769,6094$   
 $\phi_{concrete} = 0,0129$   
 $M_{concrete} = 8875,4775$   
 $\phi_{steel} = N/A$   
 $M_{steel} = N/A$

Εικόνα 104 - Χαρακτηριστικές Τιμές  $M$ ,  $\phi$  για το βέθρο 2

MOMENT CURVATURE ( $M-\phi$ ) GRAPH - KN, m, C

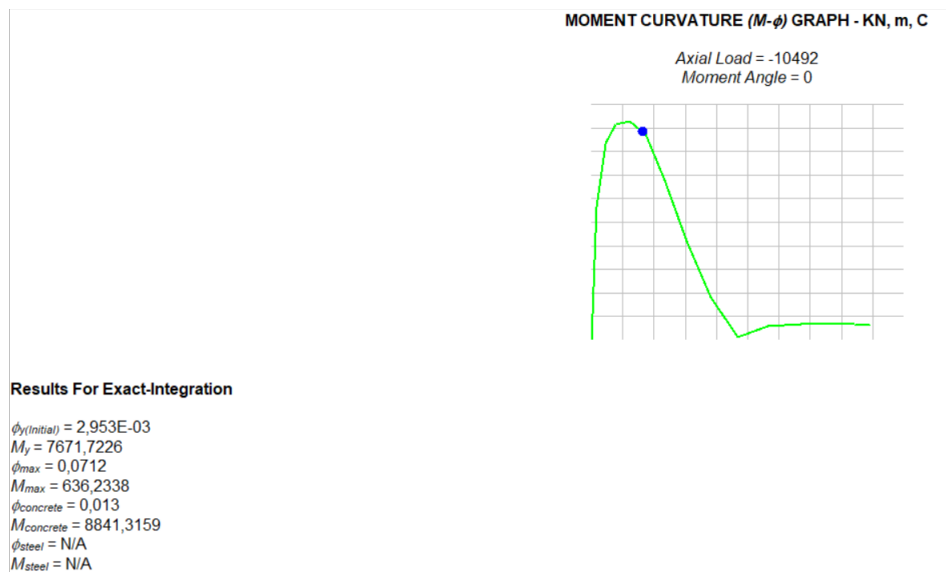
Axial Load = -10638  
Moment Angle = 0



Results For Exact-Integration

$\phi_{y(Initial)} = 2,959E-03$   
 $M_y = 7731,9148$   
 $\phi_{max} = 0,0649$   
 $M_{max} = 808,0655$   
 $\phi_{concrete} = 0,0129$   
 $M_{concrete} = 8878,3526$   
 $\phi_{steel} = N/A$   
 $M_{steel} = N/A$

Εικόνα 105 - Χαρακτηριστικές Τιμές  $M$ ,  $\phi$  για το βέθρο 3



Εικόνα 106 - Χαρακτηριστικές Τιμές  $M$ ,  $\phi$  για το βάθρο 4

## 6.4 Εισαγωγή Πλαστικών Αρθρώσεων (hinges)

### 6.4.1 Εισαγωγικά – Θεωρητικά Στοιχεία

Ως θέσεις πιθανής ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων ορίζονται οι διατομές στην αρχή και στο τέλος των δομικών στοιχείων, καθώς πρόκειται για τα σημεία του φορέα όπου αναπτύσσονται οι μέγιστες καμπτικές ροπές κατά τη σεισμική φόρτιση. Ο τύπος πλαστικών αρθρώσεων που κατά κανόνα χρησιμοποιείται, αναφέρεται σε καθαρή κάμψη ( $M3$  στο SAP2000) για τις δοκούς και σε αλληλεπίδραση διαξονικής κάμψης με αξονικό φορτίο ( $P-M-M$  στο SAP2000) για τα υποστυλώματα.

Η πλαστική άρθρωση σε μία διατομή ενεργοποιείται μόνο όταν η ροπή από την ανάλυση ξεπεράσει την αντίστοιχη ροπή διαρροής. Σε κάθε άλλη περίπτωση, το συγκεκριμένο δομικό στοιχείο συμπεριφέρεται ελαστικά και οι πλαστικές αρθρώσεις που έχουν τοποθετηθεί δε λαμβάνονται καθόλου υπόψη.

Όταν η στήριξη του φορέα στα βάθρα γίνεται μέσω ελαστομεταλλικών εφεδράνων, το μεγαλύτερο τμήμα της σεισμικής μετακίνησης του φορέα οφείλεται στην παραμόρφωση των εφεδράνων, γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιείται συντελεστής κοντά στη μονάδα. Αυτό γίνεται γιατί, μετά τη διαρροή του βάθρου, όλη η πλαστική παραμόρφωση συμβαίνει στο βάθρο και καθόλου στα εφείδρανα με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μεγάλης απαιτούμενης πλαστιμότητας στο βάθρο.

Όσον αφορά, το συνολικό αριθμό των πλαστικών αρθρώσεων, πρέπει να επιδιώκεται ο σχηματισμός τους σε όσο το δυνατόν περισσότερα βάθρα. Σημειώνεται, όμως, ότι δεν είναι απαραίτητο όλα τα βάθρα μιας γέφυρας να σχεδιάζονται για πλαστική συμπεριφορά. Είναι σύνηθες κάποια βάθρα να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μη συμμετέχουν ή να συμμετέχουν λίγο στην παραλαβή των σεισμικών φορτίων. Αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας εφείδρανα ολίσθησης ή ελαστομεταλλικά εφείδρανα για

τη σύνδεσή τους με το φορέα. Για τα βάθρα που σχεδιάζονται να διαρρέουν στο σεισμό σχεδιασμού, πρέπει να επιδιώκεται η είσοδος στη διαρροή να συμβαίνει σχεδόν ταυτόχρονα σε όλα τα βάθρα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι η σχέση ροπής αντοχής προς ροπή υπολογισμού πρέπει να είναι περίπου σταθερή σε όλα τα βάθρα.

Όσον αφορά τη γέφυρα του Γεροποτάμου, όπως προαναφέρθηκε, θεωρούμε θέσεις πιθανών πλαστικών αρθρώσεων, το κάτω μέρος της διατομής των στύλων, σε επαφή με τον κάτω δεσμό. Υπενθυμίζεται ότι η διατομή των δύο στύλων έχει προσομοιωθεί ως ένα ενιαίο γραμμικό στοιχείο, χωρίς, ωστόσο, αυτό να μας δημιουργεί πρόβλημα στη θεώρησή μας, καθώς λαμβάνεται υπόψη στα χαρακτηριστικά υπολογισμού. Θεωρούμε ταυτόχρονη δημιουργία και στα τέσσερα βάθρα της γέφυρας.

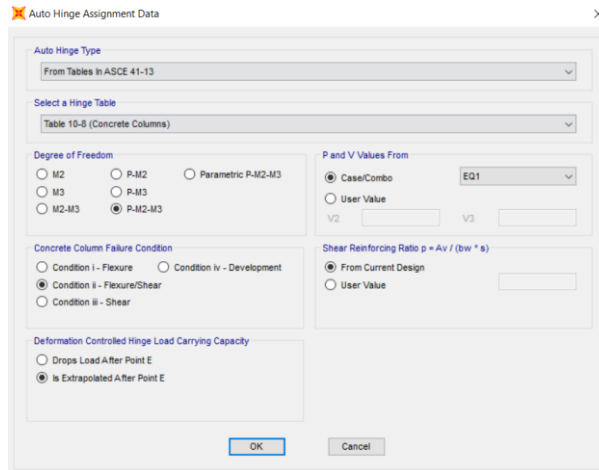
#### 6.4.2 Ιδιότητες των Πλαστικών Αρθρώσεων

Με βάση τις ιδιότητες των υλικών και την αναλυτική περιγραφή των διατομών που δόθηκαν στα προηγούμενα βήματα, το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει τις ιδιότητες των πλαστικών αρθρώσεων. Πριν τον υπολογισμό και την ανάθεση των πλαστικών αρθρώσεων, θα πρέπει να οριστεί μια νέα φορτιστική κατάσταση στατικού, μη γραμμικού τύπου (Static, Non – linear), η οποία θα εμπεριέχει το συνδυασμό κατακόρυφων φορτίων  $G + 0,3Q$  που είναι ταυτόχρονα με τα σεισμικά. Για το λόγο αυτό, δημιουργείται νέος συνδυασμός, παραπλήσιος με τον EQ1 (βλ. §6.2.4) με μοναδική διαφορά ότι ο συντελεστής επαύξησης των κινητών από 0,2 μεταβλήθηκε σε 0,3. Κάποιες από τις τιμές εντατικών μεγεθών που θα προκύψουν από το συγκεκριμένο συνδυασμό, θα χρησιμοποιηθούν από το πρόγραμμα για την αυτόματη προσαρμογή των διαγραμμάτων στις πλαστικές αρθρώσεις.

Η εισαγωγή των προκαθορισμένων (default) ιδιοτήτων των πλαστικών αρθρώσεων στα κατάλληλα σημεία των δομικών στοιχείων, γίνεται αρχικώς επιλέγοντας τις διατομές των στύλων και επιλέγοντας *Assign / Frame / Hinges*. Η εισαγωγή τους θα γίνει με την εντολή *Add*, ενώ η επιλογή της *Relative Distance*, εξαρτάται από το σημείο του μέλους στο οποίο θεωρούμε την ανάπτυξη πλαστικής άρθρωσης καθώς και τον προσανατολισμό αυτού στο πρόγραμμα (δηλαδή αν έχει σχεδιαστεί από κάτω προς τα πάνω ή αντίστροφα).

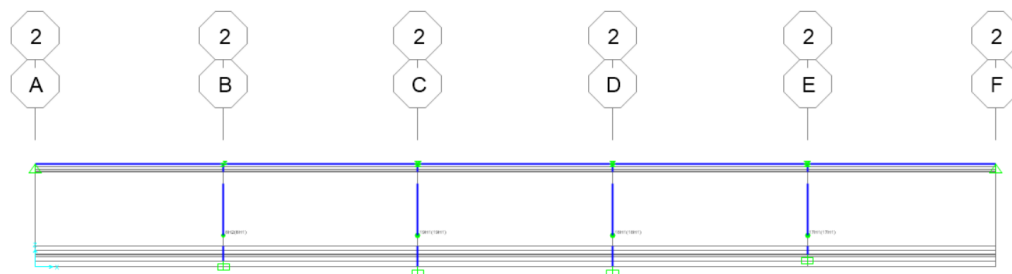
Στη συνέχεια, ανοίγει νέο παράθυρο *Auto Hinge Assignment Data*, όπου εκεί προσδιορίζονται οι ιδιότητες των πλαστικών αρθρώσεων. Στον τύπο της πλαστικής άρθρωσης – *Auto Hinge Type* – επιλέγω *ASCE 41-13*, ενώ στο *Hinge Table* → *Table 10-8 (Concrete Columns)*. Στην επιλογή *Degree of Freedom* εισάγω *P-M2-M3*, που ισχύει λόγω της διαξονικής κάμψης των υποστυλωμάτων. Μελετάμε διατμητική αστοχία, σαν πιο κρίσιμη από την καμπτική και για το λόγο αυτό επιλέγουμε *Concrete Column Failure Condition : Condition ii – Flexure / Shear*. Όσον αφορά τον οπλισμό περίσφιγξης, καθώς δεν έχουμε εισάγει, επιλέγουμε *From Current Design*. Τέλος, επιλέγεται το *Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity Is Extrapolated After Point E*, για να αποφευχθούν αστάθειες κατά την ανάλυση.





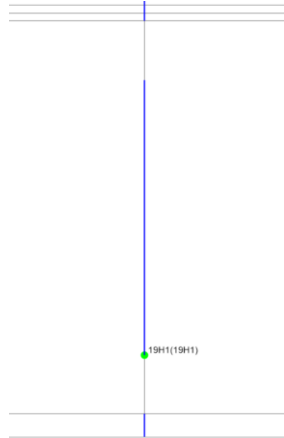
Εικόνα 107 – Ιδιότητες Πλαστικών Αρθρώσεων. Ισχύει P-M2-M3 λόγω της διαζωνικής κάμψης των υποστυλωμάτων

Ο τρόπος εμφάνισης των πλαστικών αρθρώσεων στον φορέα παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 108 – Πλαστικές Αρθρώσεις όπως φαίνονται μετά τον προσδιορισμό τους στο SAP2000

Παρατηρείται πως η αυτόματη αρίθμηση από το πρόγραμμα της κάθε παραγόμενης πλαστικής άρθρωσης περιλαμβάνει τρεις χαρακτήρες. Ο πρώτος αφορά την ονομασία (*Label*) του γραμμικού δομικού στοιχείου, ο δεύτερος το γράμμα H (*Hinge*) και ο τρίτος λαμβάνει την τιμή 1 ή 2 για την αρχή και το πέρας του κάθε στοιχείου αντίστοιχα.



Εικόνα 109 – Εισαγωγή της πλαστικής άρθρωσης στη διατομή των κυκλικών υποστρώματων του βάθρου – λεπτομέρεια. Διαφαίνεται η κωδική ονομασία

Για τη δημιουργία των καμπυλών ροπών – στροφών των πλαστικών αρθρώσεων, απαιτείται ο υπολογισμός των γωνιών διαρροής ( $\theta_y$ ) και αστοχίας ( $\theta_u$ ), απαραίτητων και για την εξαγωγή των Σταθμών Επιτελεστικότητας.

Ο υπολογισμός των παραπάνω μεγεθών έγινε μέσω του προγράμματος Excel, ακολουθώντας το πρότυπο ΔΙΑΤΟΜΗ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΘΛΙΒΟΜΕΝΗ ΖΩΝΗ. ΔΟΚΟΙ – ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ / ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2<sup>η</sup> ΑΝΑΘΕΩΡΗΣΗ/ ΜΟΥΖΑΚΗΣ – ΚΑΡΑΠΙΤΑ, προσαρμοσμένο για κυκλικό υποστύλωμα.

Συγκεντρωτικά κάποιες παρατηρήσεις για τον υπολογισμό των μεγεθών:

- Θεωρήθηκε και για τα 4 υποστρώματα ενιαίο ύψος  $h=13,2m$ .
- Στις διαστάσεις του μέλους, έγινε εισαγωγή της διαμέτρου. Η διατομή θεωρείται ενιαία και με τους δύο στύλους. Ωστόσο, ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών έγινε εισάγοντας τη διάμετρο του ενός μόνο στύλου, ως το δυσμενέστερο σενάριο, δηλαδή 1,40m.
- Το αξονικό φορτίο δίνεται από την ελαστική ανάλυση για το φορτίο EQ1, το οποίο έχει επιλεγεί και για την εξαγωγή των συμπερασμάτων της στατικής ανελαστικής ανάλυσης.
- Διαθέτουμε μόνο θλιβόμενο οπλισμό
- Η ροπή διαρροής  $M_y$  δίνεται από το πρόγραμμα και έχει τις τιμές που παρουσιάζονται στις εικόνες 103, 104, 105 και 106.
- Μετά τις παραπάνω παρατηρήσεις και χρησιμοποιώντας τους τύπους Σ2 της παραγράφου 7.2.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ. προκύπτουν στροφές διαρροής ως παρακάτω:

Βάθρο 1	$\theta_y = 0,1059\%$
Βάθρο 2	$\theta_y = 0,1045\%$
Βάθρο 3	$\theta_y = 0,1044\%$
Βάθρο 4	$\theta_y = 0,1058\%$

Πίνακας 55 – Τιμές προσδιορισμού των γωνιών διαρροής  $\theta_y$

- Για τον υπολογισμό της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία χρησιμοποιείται ο τύπος:  $\theta_u = \theta_u \cdot \lambda_v \cdot \lambda_{\alpha\omega w} \cdot \lambda_{pd}$ . Αγνοούνται τα  $\lambda_{\alpha\omega w}$  και  $\lambda_{pd}$ , λόγω του ογκομετρικού ποσοστού οπλισμού περίσφιγξης και του δισδιαγώνιου οπλισμού.
- Όσον αφορά το  $\alpha_s$  χρησιμοποιείται η τιμή 1, ως την ελάχιστη που διαθέτει ο Πίνακας. Μέσω γραμμικής παρεμβολής προκύπτουν τιμές  $\theta_u$ . Ωστόσο, καθώς οι πίνακες αυτοί προκύπτουν για κατασκευαστικές διατάξεις μετά του 1985, οι τιμές πρόκειται να τροποποιηθούν. Συγκεκριμένα, σε στοιχεία χωρίς αντισεισμικές κατασκευαστικές λεπτομέρειες (προ 1985) τίθενται  $\alpha \cdot \omega_w = 0$ , αν οι συνδετήρες δεν είναι κλειστοί προς τα μέσα. Επιπλέον η μέση τιμή της γωνίας στροφής στην αστοχία ( $\theta_u$ ) πολλαπλασιάζεται επί 0,833 στην περίπτωση σιδηροοπλισμών με νευρώσεις – όπως θα γίνει και στη δική μας περίπτωση – και επί 0,80 στην περίπτωση λείων χαλύβων. Προκύπτει  $\theta_u$ , προτού πολλαπλασιαστεί με το  $\lambda_v$  σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα:

Βάθρο 1	$\theta_u = 4,74\%$
Βάθρο 2	$\theta_u = 4,74\%$
Βάθρο 3	$\theta_u = 4,74\%$
Βάθρο 4	$\theta_u = 4,74\%$

Πίνακας 56 – Πίνακας γωνιών αστοχίας  $\theta_u$  προτού πολλαπλασιαστούν με τους κατάλληλους συντελεστές

- Υπολογίζεται ο διορθωτικός συντελεστής λόγω ανηγμένου αξονικού φορτίου  $v$ :

Βάθρο 1	$v = 0,5674$
Βάθρο 2	$v = 0,5753$
Βάθρο 3	$v = 0,5759$
Βάθρο 4	$v = 0,5680$

Πίνακας 57 – Διορθωτικός συντελεστής  $v$

- Μέσω γραμμικής παρεμβολής προκύπτει συντελεστής  $\lambda_v$ .
- Τέλος, η τελική τιμή της καμπύλης αστοχίας  $\theta_u$  (%) ισούται με:

Βάθρο 1	$\theta_u = 2,012\%$
Βάθρο 2	$\theta_u = 1,9932\%$
Βάθρο 3	$\theta_u = 1,9918\%$
Βάθρο 4	$\theta_u = 2,0105\%$

Πίνακας 58 – Τελική γωνία αστοχίας  $\theta_u$

Παρακάτω φαίνονται οι υπολογισμοί όπως αυτοί πραγματοποιήθηκαν στο Excel:

1. Γεωμετρικά και Μηχανικά Χαρακτηριστικά Διατομής		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 4
Υψος υποστυλώματος H(m)		13,2	13,2	13,2	13,2
Διαστάσεις διατομής	d(m)	1,40	1,40	1,40	1,40
	h(m)	0,00	0,00	0,00	0,00
Διάμετρος διαμήκους οπλισμού db(m)		0,02	0,02	0,02	0,02
Διάμετρος συνδετήρα ανά απόσταση	dw(m)	0,010	0,010	0,010	0,010
	s(m)	0,010	0,010	0,010	0,010
	dw/s	1,00	1,00	1,00	1,00
Επικάλυψη c(m)		0,07	0,07	0,07	0,07
Μέση τιμή αντοχής σκυροδέματος $f_c$ (kPa)		12000	12000	12000	12000
Μέτρο ελαστικότητας σκυροδέματος $E_c$ (kPa)		33000000	33000000	33000000	33000000
Μέση τιμή διαρροής χάλυβα $f_y$ (kPa)		450000	450000	450000	450000
Μέτρο ελαστικότητας χάλυβα $E_s$ (kPa)		200000000	200000000	200000000	200000000
Αξονικό Φορτίο Υποστυλώματος N(kN)		10480,44	10626,76	10638,11	10491,79
Στατικό ύψος d (απόσταση κ.β. εφελκόμενου οπλισμού από την περισσότερη θλιβόμενη ίνα):					
	$d_0=d-2c-dw-db/2$	1,31	1,31	1,31	1,31
Υψος d' (απόσταση κ.β. θλιβόμενου οπλισμού από την ακραία θλιβόμενη ίνα):					
	$d'=c+dw+db/2$	0,09	0,09	0,09	0,09
	$\delta=d'/d$	0,0687	0,0687	0,0687	0,0687
Λόγος Μέτρου Ελαστικότητας χάλυβα / Μέτρο Ελαστικότητας σκυροδέματος:					
	$\alpha=E_s/E_c$	0,165	0,165	0,165	0,165
Ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού $A_s$ :					
	$A_s(cm^2) =$	75,40	75,40	75,40	75,40
	$\rho=A_s/(b_w*d)$	0,00411	0,00411	0,00411	0,00411
Ογκομετρικό ποσοστό θλιβόμενου οπλισμού $A_s$ :					
	$\omega=A_s/(b_w*d)*(f_y/f_c)$	0,154	0,154	0,154	0,154
Υψος περισφιγμένου πυρήνα $b_0$ :					
	$d_0=d-2c-2dw-db/2-db/2$	1,22	1,22	1,22	1,22
	Διαμητικό μήκος $L_s$ :	6,6	6,6	6,6	6,6
	Λόγος Διάτμησης $a_s=L_s/h$	4,714	4,714	4,714	4,714

2. Υπολογισμός καμπυλότητας στη διαρροή και ροπή διαρροής (ΚΑΝ.ΕΠΕ. - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7Α)

I. Καμπυλότητα διαρροής λόγω διαρροής εφελκόμενου οπλισμού		ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 1	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 2	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 3	ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ 4
$(1/r)_y =$		0,001832523	0,00183334	0,001833402	0,001832586
A =		0,016810081	0,01698738	0,017001131	0,016823839
B =		0,01298139	0,01315868	0,01317244	0,012995148
Υψος θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή, $\xi_y$		0,062736275	0,0631533	0,063185526	0,062768743
II. Καμπυλότητα διαρροής λόγω παραμορφώσεων σκυροδέματος					
$(1/r)_y =$		0,000932603	0,00091992	0,000918951	0,000931606
A =		-1,599291117	-1,62341351	-1,62341351	-1,60102817
B =		0,000282444	0,000282444	0,000282444	0,000282444
Υψος θλιβόμενης ζώνης στη διαρροή, $\xi_y$		0,535761894	0,54314814	0,543721188	0,53633504
Τελική καμπυλότητα προκύπτει η μίν των I και II					
$(1/r)_y$		0,000932603	0,00091992	0,000918951	0,000931606

3. Γωνία στροφής χορδής θγ για υποστυλώματα/δοκάρια (Σ.2 παρ. 7.2.2 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.)

$V_{r,c}$ (kN) =	85268,72	86423,19	86512,75	85358,30
$M_y$ (kNm) =	7667,00	7732,00	7732,00	7672,00
$V_{mu}$ (kN) =	1161,67	1170,76	1171,52	1162,42
$\alpha_v =$	0	0	0	0
$\theta_{\gamma} =$	0,1059	0,1045	0,1044	0,1058

4. Μέση τιμή της γωνίας στροφής χορδής κατά την αστοχία  $\theta_u = \theta_u^* \lambda_{\nu}^* \lambda_{\rho d}$

$f_c^* \omega' / (\omega + \omega_{\nu}) =$	12	12	12	12
$\alpha_s$				
Για $\alpha_s=1$ (μίν τιμή του πίνακα) από γραμμική παρεμβολή προκύπτουν:				
$\theta_u$ (%) =	4,74	4,74	4,74	4,74
Για κανονισμούς προ του 1985:				
$\theta_u^* 0,833 =$	3,95	3,95	3,95	3,95
Διαρθρωτικός συντελεστής τιμής $\theta_u$ λόγω ανηγμένου αξονικού φορτίου $\nu=N/(bhfc)$ :				
$\nu =$	0,5674	0,5753	0,5759	0,5680
$\lambda_{\nu} =$	0,5096	0,5048	0,5045	0,5092
$\theta_u(\%)_{τελ} =$	2,0120	1,9932	1,9918	2,0105

Πίνακας 59 – Πίνακας αναλυτικών υπολογισμών για τα κρίσιμα μεγέθη υπολογισμού των καμπυλοτήτων μέσω Excel

#### 6.4.2.1 Στάθμες Επιτελεστικότητας

Η εισαγωγή των διαγραμμάτων M-θ των πλαστικών αρθρώσεων στο πρόγραμμα, απαιτεί και τον ταυτόχρονο προσδιορισμό των Σταθμών Επιτελεστικότητας της κάθε κρίσιμης διατομής. Για το λόγο αυτό, αξίζει μία αναφορά σε αυτές προτού προχωρήσουμε στον υπολογισμό τους για κάθε βάρη.

##### Στόχοι σεισμικής ικανότητας

Οι στόχοι της σεισμικής ικανότητας μιας κατασκευής αποτελούν συνδυασμό μιας στάθμης επιτελεστικότητας (δηλαδή του αποδεκτού επιπέδου βλαβών) και ενός επιπέδου της σεισμικής δράσης, που συνήθως καθορίζεται από την ανεκτή πιθανότητα υπέρβασης στη διάρκεια ζωής της κατασκευής ή την ισοδύναμη περίοδο επανάληψης. Δηλαδή κάθε στόχος σεισμικής ικανότητας καθορίζει μία ανεκτή οριακή κατάσταση βλαβών για συγκεκριμένη ισχύ της σεισμικής δόνησης, η οποία καθορίζεται από την αντίστοιχη πιθανότητα υπέρβασης. Αφού καθοριστεί ο επιθυμητός στόχος σεισμικής ικανότητας, μπορεί στη συνέχεια να γίνει η αποτίμηση μιας υφιστάμενης κατασκευής ή ο ανασχεδιασμός της (ενίσχυσή της) ή ο σχεδιασμός μιας νέας κατασκευής. Ο καθορισμός του στόχου για τον οποίο θα γίνει ο σχεδιασμός εξαρτάται από τον επιθυμητό συνδυασμό ασφάλειας και κόστους, λαμβάνοντας υπόψη και τη σπουδαιότητα της κατασκευής.

Όλοι οι κανονισμοί ορίζουν, με μικροδιαφορές, τρεις βασικές στάθμες επιτελεστικότητας για το φέροντα οργανισμό και τα μη φέροντα στοιχεία, ανάλογα με το επίπεδο βλαβών, όπως αυτές περιγράφονται παρακάτω:

##### Άμεση χρήση μετά το σεισμό (Immediate occupancy)

Στη στάθμη αυτή το επίπεδο βλαβών είναι τέτοιο ώστε καμία λειτουργία να μη διακόπτεται κατά τη διάρκεια του σεισμού ή μετά από αυτόν, εκτός ενδεχομένως από δευτερεύουσας σημασίας λειτουργίες. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι επιτρέπονται μόνο μερικές αραιές τριχοειδείς ρωγμές καμπτικού χαρακτήρα, οι οποίες δεν επηρεάζουν την ικανότητα της κατασκευής να φέρει τα κατακόρυφα και τα οριζόντια φορτία.

##### Προστασία Ζωής (Life Safety)

Στη στάθμη αυτή αναμένεται να εμφανιστούν βλάβες οι οποίες είναι επισκευάσιμες και δεν αποτελούν αιτία απώλειας της στατικής ευστάθειας της κατασκευής ή σοβαρού τραυματισμού ατόμων (μικροί τραυματισμοί, οι οποίοι όμως δεν αποτελούν κίνδυνο απώλειας ζωής, μπορούν να συμβούν) ή σημαντικών ζημιών σε αντικείμενα που βρίσκονται στην κατασκευή. Για την επαναχρησιμοποίηση της κατασκευής μετά το σεισμό απαιτείται να επισκευαστούν οι βλάβες.

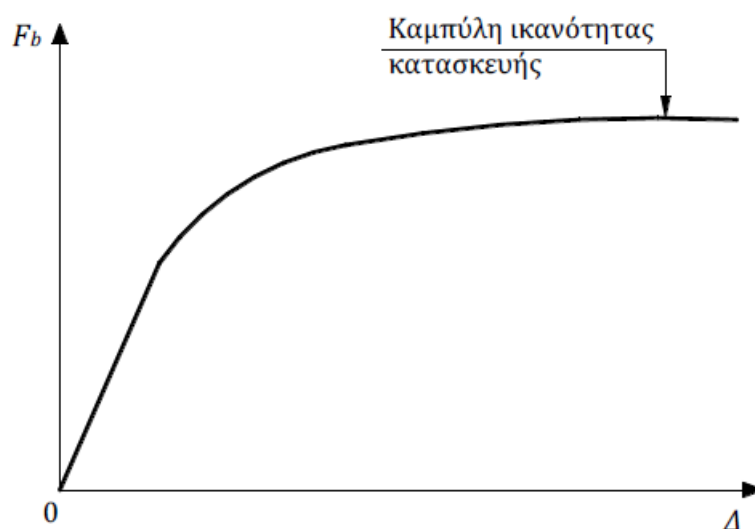
##### Οιονεί κατάρρευση (Structural stability)

Στη στάθμη αυτή αναμένεται να εμφανιστούν εκτεταμένες, μη – επισκευάσιμες κατά πλειονότητα βλάβες. Ο φέρων οργανισμός έχει ακόμη την ικανότητα να φέρει τα

κατακόρυφα φορτία, αλλά η οριζόντια δυσκαμψία και η ικανότητα αντίστασης σε οριζόντια φορτία έχουν μειωθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα η κατασκευή να μη διαθέτει άλλα περιθώρια ασφάλειας έναντι ολικής ή μερικής κατάρρευσης. Γι' αυτό υπάρχει κίνδυνος κατάρρευσης σε μετασεισμούς. Ο κίνδυνος σοβαρού τραυματισμού ατόμων από πτώσεις στοιχείων της κατασκευής είναι μεγάλος, εντός και εκτός αυτής. Για την επαναχρησιμοποίησή της κατασκευής μετά το σεισμό απαιτούνται εκτεταμένες επιδιορθώσεις, ενώ είναι πιθανόν να μην είναι τεχνικά ή οικονομικά δυνατή η επισκευή της.

### Καμπύλη Ικανότητας

Ο καθορισμός των διαφόρων σταθμών επιτελεστικότητας γίνεται πάνω στην καμπύλη ικανότητας της κατασκευής, η οποία εκφράζει τη μη – γραμμική σχέση μεταξύ του επιβαλλόμενου οριζόντιου φορτίου και της μετατόπισης της κορυφής. Για την κατασκευή αυτής της καμπύλης γίνονται πολλές στατικές αναλύσεις με σταδιακή αύξηση της τέμνουσας βάσης και υπολογισμό της μετακίνησης της κορυφής σε κάθε βήμα (μεθοδολογία pushover), λαμβάνοντας υπόψη τη μειωμένη δυσκαμψία των στοιχείων που έχουν διαρρεύσει σε κάθε βήμα.

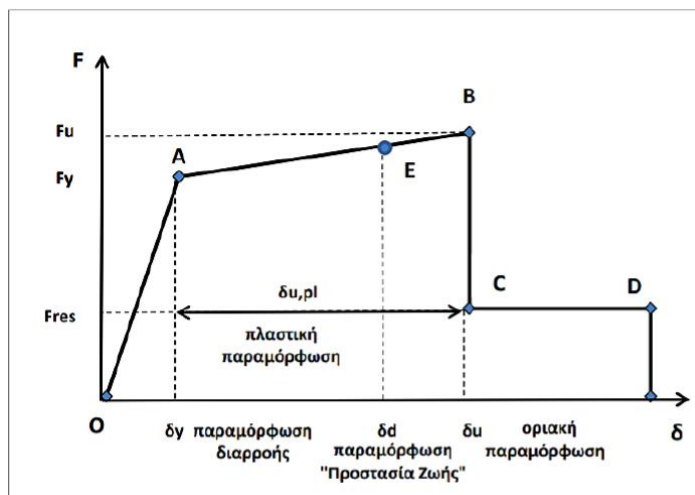


Εικόνα 110 – Καμπύλη ικανότητας κατασκευής όπως αυτή ορίζεται στον ΕΚ8

### Καμπύλη F – δ δομικού στοιχείου ή διατομής

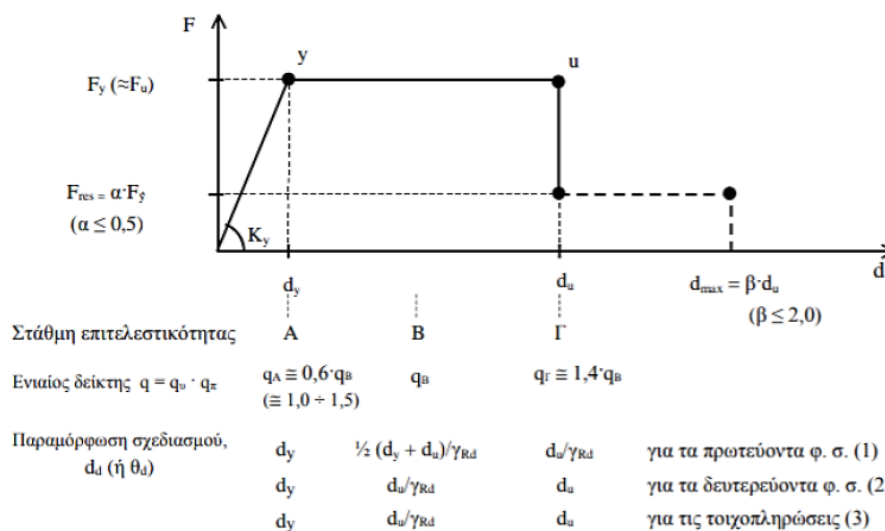
Για την παραπάνω διαδικασία απαιτείται ο καθορισμός των νόμων που διέπουν την ανελαστική συμπεριφορά των μελών της κατασκευής, οι οποίοι περιγράφονται μέσω διαγραμμάτων που σχετίζουν εντατικά μεγέθη, που συμβολίζονται με «F», με παραμορφώσεις ή σχετικές μετακινήσεις, που συμβολίζονται με «δ». Τα μεγέθη F μπορούν να είναι δυνάμεις ή ροπές και οι σχετικές μετακινήσεις δ μπορούν να είναι μετατοπίσεις, παραμορφώσεις, καμπυλότητες ή στροφές.

Στα στοιχεία από Ω.Σ., η καταλληλότερη επιλογή F και δ είναι η ροπή κάμψης M και η γωνία στροφής χορδής θ στα άκρα του στοιχείου.



Εικόνα 111 – Καμπύλη ικανότητας δομικού μέλους με σημειωμένες τις Στάθμες Επιτελεστικότητας, όπως αυτή ορίζεται στον Ευρωκώδικα 8

Τόσο η αποτίμηση όσο και ο ανασχεδιασμός του φορέα πραγματοποιούνται έτσι ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή στάθμη επιτελεστικότητας, όπως ορίζεται από τους κανονισμούς. Σύμφωνα με το Παράρτημα 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ, από το παρακάτω σχήμα προκύπτουν οι τιμές των παραμορφώσεων που αντιστοιχούν σε διάφορες στάθμες επιτελεστικότητας και σε πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα στοιχεία και τοιχοπληρώσεις.



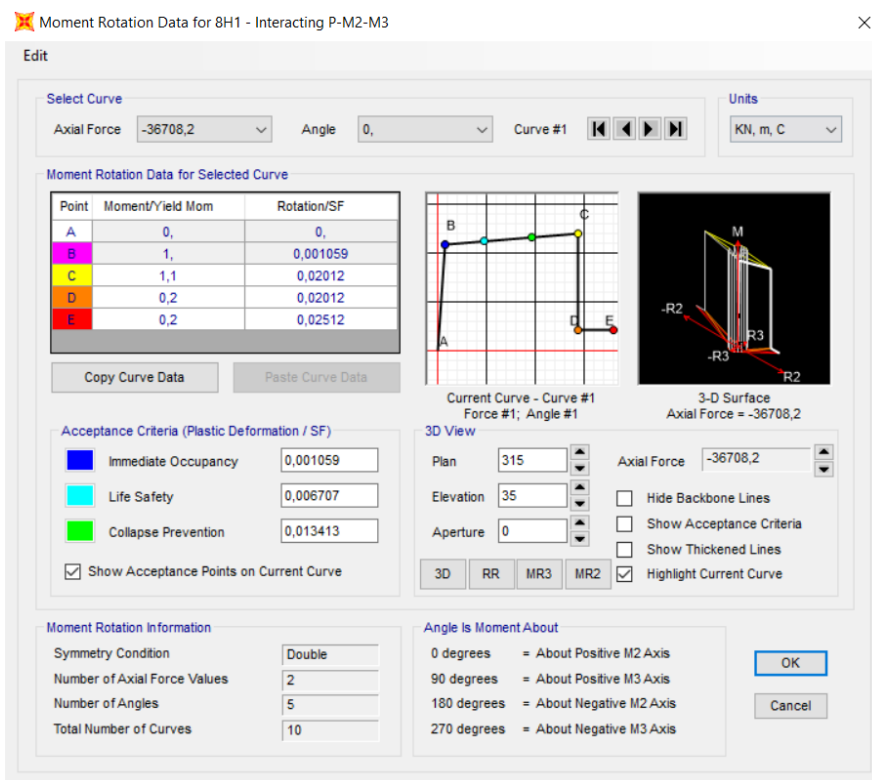
Εικόνα 112 – Υπολογισμός των κρίσιμων μετατοπίσεων και καμπυλοτήτων για τις Στάθμες Επιτελεστικότητας, όπως αυτές ορίζονται στο Παράρτημα 4.4 του ΚΑΝ.ΕΠΕ.

Στους παραπάνω τύπους, εάν αντικατασταθεί η μετακίνηση  $d$  με τη στροφή  $\theta$ , γίνονται εύκολα οι υπολογισμοί για τα βάθρα. Συγκεκριμένα όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί φαίνονται παρακάτω:

Σ. Ε.	Βάθρο 1	Βάθρο 2	Βάθρο 3	Βάθρο 4
A.X.	0,001059	0,001045	0,001044	0,001058
Π.Ζ.	0,006707	0,006644	0,006639	0,006702
Ο.Κ.	0,013413	0,013288	0,013279	0,013403

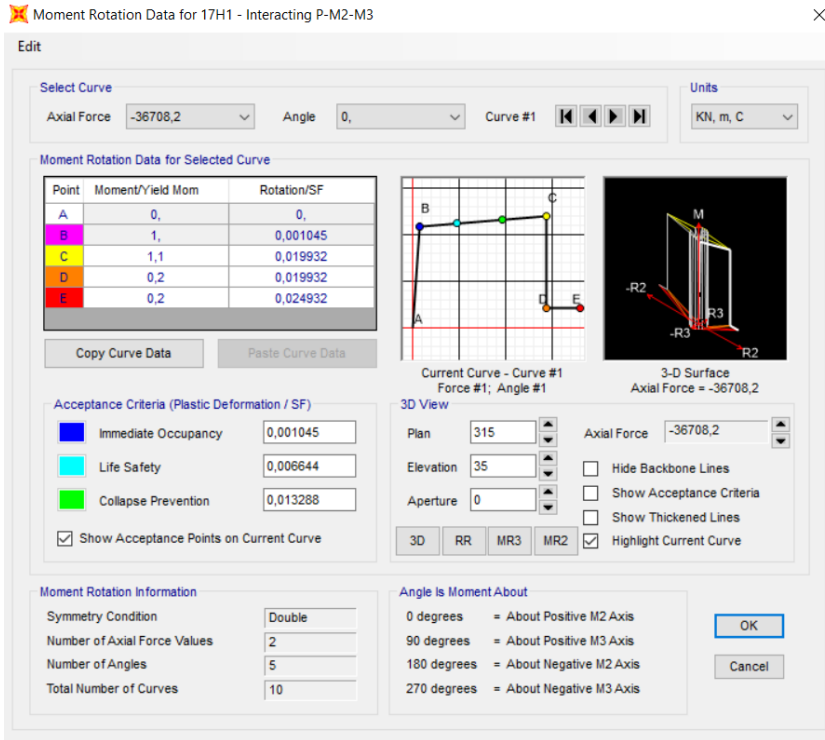
Πίνακας 60 – Συγκεντρωτικός Πίνακας υπολογισμού των καμπυλοτήτων διαρροής και αστοχίας για κάθε βάθρο

Στα επόμενα σχήματα φαίνεται ο τρόπος εισαγωγής του διαγράμματος M- $\theta$  των πλαστικών αρθρώσεων για κάθε μία από τις κρίσιμες διατομές των βάθρων.

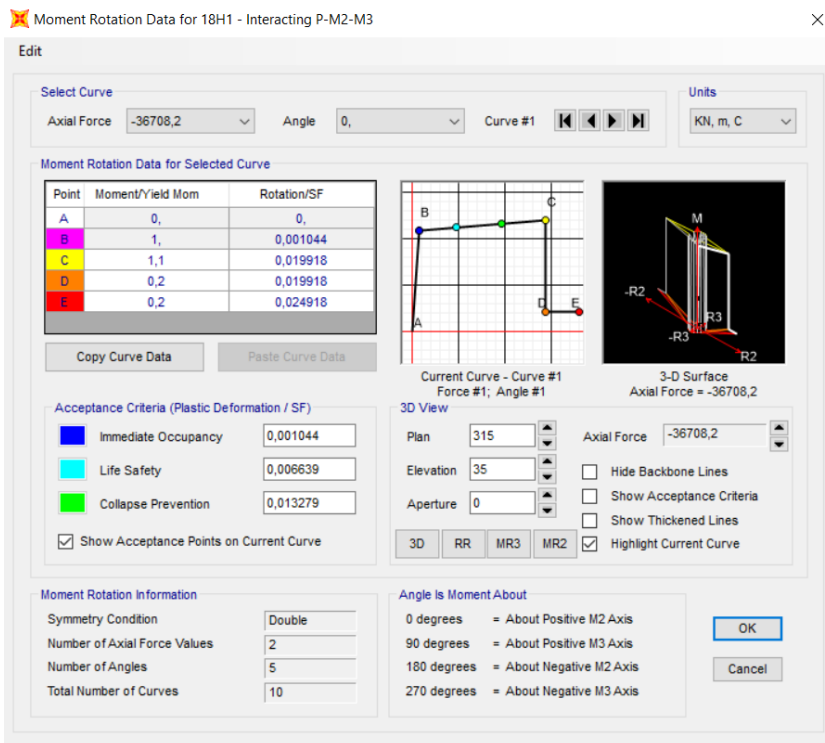


Εικόνα 113 – Διάγραμμα ροπών στροφών για τη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάθρου 1

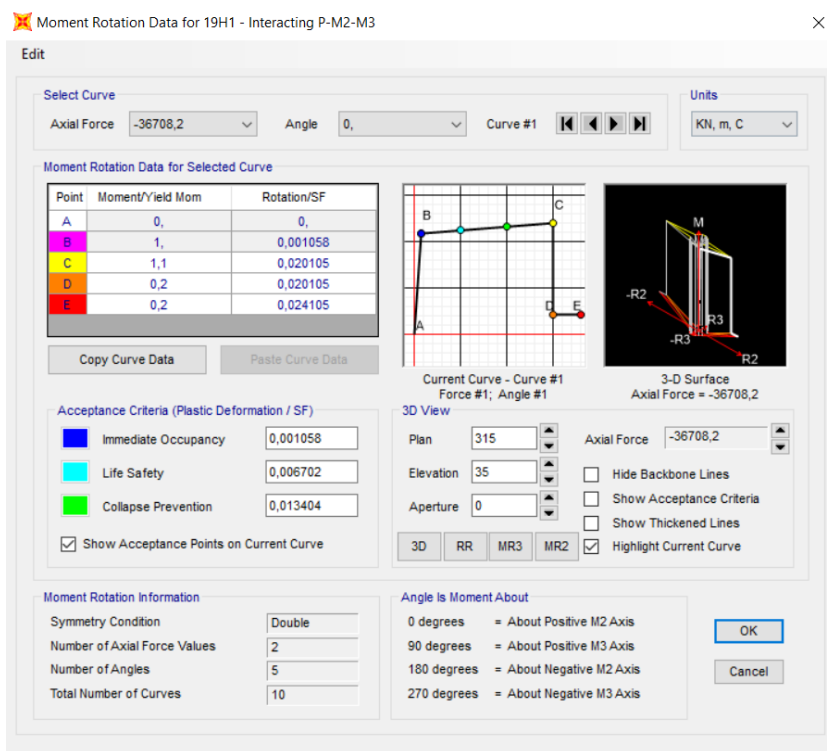




Εικόνα 114 - Διάγραμμα ροπών στρεφών για τη διατομή των κυκλικών υποστρωμάτων του βάρου 2



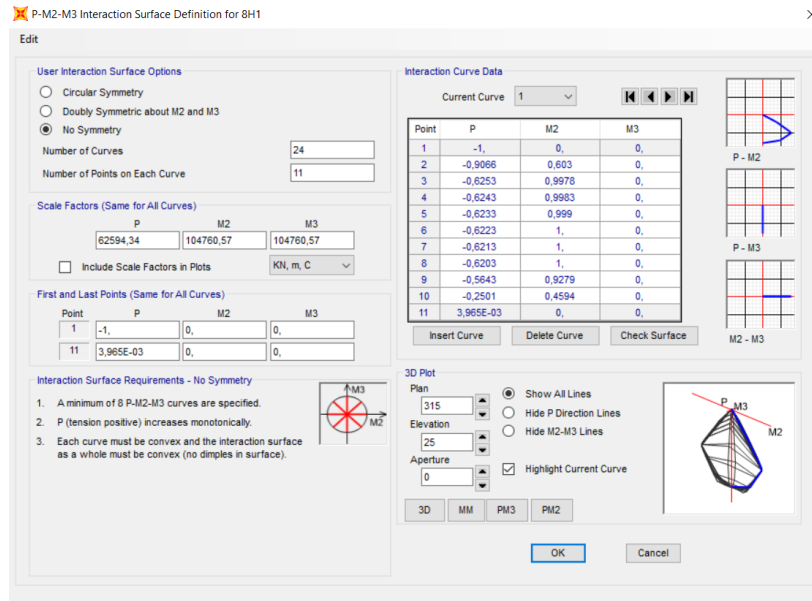
Εικόνα 115 - Διάγραμμα ροπών στρεφών για τη διατομή των κυκλικών υποστρωμάτων του βάρου 3



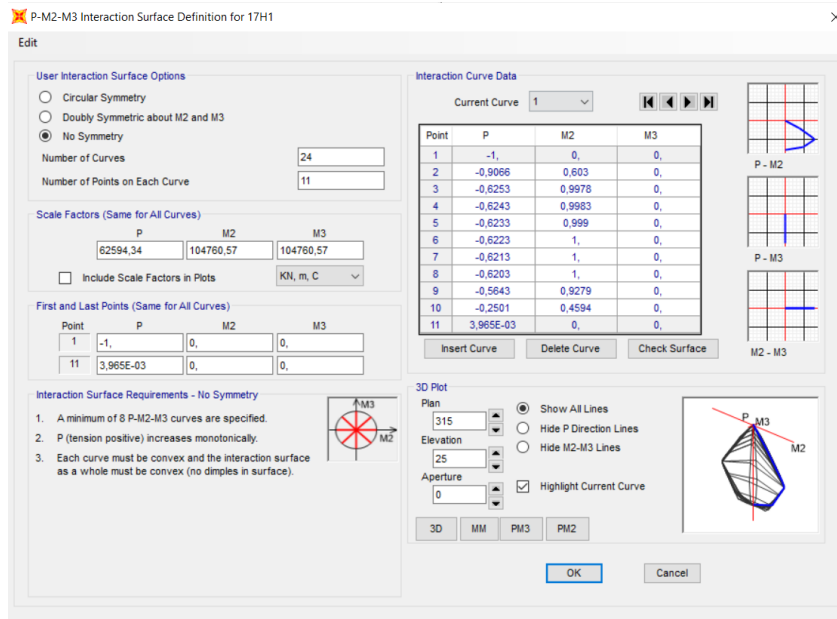
Εικόνα 116 - Διάγραμμα ροπών στρεφών για τη διατομή των κυκλικών υποστυλωμάτων του βάρθρου 4

#### 6.4.2.2 Καμπύλες Αλληλεπίδρασης

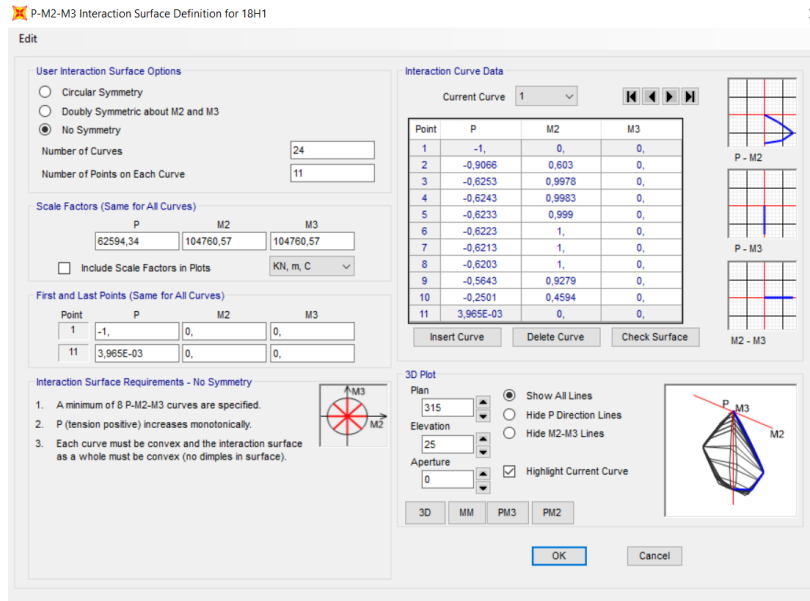
Για τη μελέτη της απόκρισης ενός χωρικού μοντέλου, είναι απαραίτητη η γνώση της διαξονικής συμπεριφοράς των διαξονικών πλαστικών αρθρώσεων. Η αξονική δύναμη που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης στη διατομή μεταβάλλεται έντονα ανάλογα με το σεισμικό φορτίο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ροπές αντοχής των διατομών στις κρίσιμες περιοχές σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων, να μεταβάλλονται συναρτήσει του αξονικού φορτίου που αναπτύσσεται κάθε στιγμή. Κρίνεται απαραίτητος ο ορισμός κατάλληλων καμπύλων αλληλεπίδρασης P-M2-M3, ώστε να είναι δυνατός ο υπολογισμός της αναπτυσσόμενης ροπής αντοχής κατά τη διάρκεια της σεισμικής διέγερσης. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται μία πιο σαφής εκτίμηση των περιοχών σχηματισμού πλαστικών αρθρώσεων και γενικότερα της σεισμικής απόκρισης της κατασκευής.



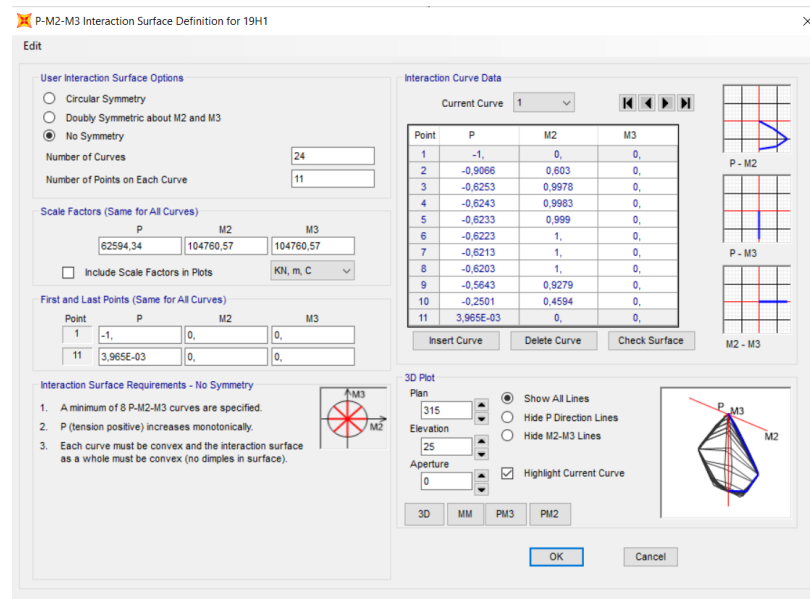
Εικόνα 117 – Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων (δεδομένα καμπλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 1



Εικόνα 118 - Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων (δεδομένα καμπλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 2



Εικόνα 119 - Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων (δεδομένα καμπυλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 3



Εικόνα 120 - Εμφάνιση ιδιοτήτων πλαστικών αρθρώσεων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων στη διατομή των 2 κυκλικών υποστλωμάτων (δεδομένα καμπυλών αλληλεπίδρασης ροπής – αξονικής). Βάθρο 4

Παρατηρούμε ότι και στα τέσσερα βάθρα, η μέγιστη αξονική δύναμη παραλαβής ανέρχεται στην τιμή  $P = 62594,34\text{kN}$ , ιδιαίτερα αυξημένο με αυτό που προκύπτει από την ανάλυση, ενώ οι αντίστοιχες τιμές των ροπών  $M2$  και  $M3$  ανέρχονται στην τιμή των  $104760,57\text{kNm}$  όταν το αξονικό φορτίο παίρνει τιμή  $-0,6223P$  για τη  $M2$  και  $-0,6212P$  για τη  $M3$ .

## 6.5 Ελαστική Ανάλυση

### 6.5.1 Περιγραφή της μεθόδου

Η ελαστική ανάλυση μπορεί να πραγματοποιηθεί επιβάλλοντας σεισμικές δυνάμεις και αξιολογώντας αυτές με της τιμές αντοχής. Σε κάθε περίπτωση, ο τύπος φόρτισης που θα επιβληθεί στην κατασκευή προέρχεται από κατάλληλο συνδυασμό επιμέρους φορτίσεων, η κλιμάκωση των οποίων μπορεί να διαφοροποιηθεί.

Σε περίπτωση ύπαρξης εφεδράνων, αυτά παραλαμβάνουν σημαντικό ποσοστό από τις σεισμικές δυνάμεις, ίσως και 100% αυτών. Ωστόσο, απαιτείται και η μελέτη παραλαβής της σεισμικής καταπόνησης και από τα μέλη του φορέα, καθώς η χρήση των εφεδράνων δεν είναι πάντοτε άρτια καθώς ενδέχεται να παρεμβαίνουν και πολλοί παράγοντες, όπως η γήρανσή τους, η πλημμελής έκθεσή τους σε καιρικά φαινόμενα κ.λπ. Για το λόγο αυτό, απαιτείται να προσδιοριστεί και η ανελαστική συμπεριφορά των μελών του φορέα, οι πιθανές θέσεις ανάπτυξης πλαστικών αρθρώσεων κ.ο.κ. Η ελαστική ανάλυση γίνεται είτε σε όρους δυνάμεων ροπών, είτε στροφών – καμπυλοτήτων, για πλάστιμη ή ψαθυρή μορφή αστοχίας. Η πλάστιμη μορφή αστοχίας επέρχεται, όταν η ροπή που αναπτύσσεται από τη σεισμική καταπόνηση ξεπερνάει τη ροπή αντοχής. Δημιουργούνται τριχοεδείς ρωγμές, γίνεται σε βραδύ ρυθμό, γεγονός που την καθιστά αντιμετώπισιμη, σε περίπτωση έγκαιρης διαπίστωσής της. Η ψαθυρή αστοχία, επέρχεται όταν η τέμνουσα που αναπτύσσεται, ξεπερνά την τέμνουσα αντοχής. Είναι ταχέως ρυθμού και δημιουργείται ξαφνικά, με απότομη αστοχία, ενώ συνήθως η μορφή της είναι με μία διαγώνια ρωγμή. Στο σχεδιασμό, απαιτείται να λαμβάνεται υπόψη και να διαστασιολογείται ανάλογα.

Στην παρούσα διπλωματική, η ανάλυση της γέφυρας κατά την αποτίμηση, πραγματοποιείται με τη μέθοδο δυνάμεων - ροπών. Συγκρίνονται οι τιμές της ροπής που προκύπτει για κάθε έναν από τους τρεις σεισμικούς συνδυασμούς, καταγεγραμμένοι στο κεφάλαιο 6.2.4, με τις τιμές ροπής αντοχής, όπως αυτές προέκυψαν από την εισαγωγή των διαμήκων οπλισμών στα κυκλικά υποστυλώματα. Η σύγκριση θα γίνει, για όλες τις διατομές των κυκλικών υποστυλωμάτων, όλων των βάρων, όπου έχουμε θεωρήσει την ανάπτυξη πλαστικών αρθρώσεων και για τα 3 μοντέλα Α,Β,Γ. Δε θα γίνει έλεγχος σε ψαθυρή μορφή αστοχίας, καθώς το πρόγραμμα, δεν επιτρέπει την εισαγωγή εγκάρσιων οπλισμών, σε καθορισμένες και σχεδιασμένες από το χρήστη διατομές (εντολή Section Designer) και συνεπώς είναι αδύνατη η εξαγωγή της τέμνουσας αντοχής. Καθώς οι διατομές που θα εξεταστούν είναι κυκλικές, η σύγκριση θα γίνει σε διαξονική κάμψη, με τις τιμές της ροπής, να προκύπτουν από τον παρακάτω τύπο:

$$SM = \sqrt{M_2^2 + M_3^2}$$

## 6.5.2 Εφαρμογή της ελαστικής μεθόδου στο SAP2000

Η διαδικασία που ακολουθείται γενικά είναι η εξής:

- Εισαγωγή των τριών σεισμικών συνδυασμών (ορισμένοι στην § 6.2.4)
- «Τρέξιμο» του προγράμματος
- Εξαγωγή εντατικών μεγεθών και υπολογισμός μέσω των ροπών M2 και M3 της συνισταμένης ροπής ΣΜ
- Σύγκριση της ροπής αυτής με τις ροπές διαρροής και αντοχής για κάθε βάθρο.

## 6.5.3 Αποτελέσματα Ανάλυσης Pushover

Παρακάτω παρουσιάζονται σε πίνακα, όλες οι τιμές των εντατικών μεγεθών των ροπών των κυκλικών στύλων για κάθε βάθρο, συνδυασμό και μοντέλο. Με κόκκινο καταγράφονται οι περιπτώσεις, όπου η ροπή λόγω σεισμού ξεπερνά τη ροπή αντοχής και για το λόγο αυτό, απαιτείται η ενίσχυση του φορέα. Να σημειωθεί ότι η πλημμύρα δεν εφαρμόζεται στη διατομή των στύλων και αποτέλεσμα αυτού, οι τιμές των μεγεθών να αλλάζουν για λίγα δεκαδικά.

Μοντέλο Α

Βάθρο	Τιμές Αντοχής	Συνδυασμοί	Εντατικό Μέγεθος ΣΜ
1	My=7666,95 Mmax=8838,39	EQ1	2911,91
		EQ2	4852,12
		EQ3	8459,94
2	My=7727,24 Mmax=8875,48	EQ1	3917,02
		EQ2	5521,41
		EQ3	12085,76
3	My=7731,91 Mmax=8878,35	EQ1	3928,74
		EQ2	5530,84
		EQ3	12126,72
4	My=7671,72 Mmax=8841,32	EQ1	2673,52
		EQ2	4730,48
		EQ3	7576,82

Πίνακας 61 – Πίνακας εντατικών μεγεθών ροπών για τους σεισμικούς συνδυασμούς μοντέλο Α

## Μοντέλο Β

Βάθρο	Τιμές Αντοχής	Συνδυασμοί	Εντατικό Μέγεθος ΣΜ
1	My=7666,95	EQ1	2911,91
		EQ2	4852,12
	Mmax=8838,39	EQ3	8459,86
2	My=7727,24	EQ1	3916,97
		EQ2	5521,41
	Mmax=8875,48	EQ3	12085,63
3	My=7731,91	EQ1	3928,74
		EQ2	5530,61
	Mmax=8878,35	EQ3	12126,5
4	My=7671,72	EQ1	2673,39
		EQ2	4730,32
	Mmax=8841,32	EQ3	7576,78

Πίνακας 62 - Πίνακας εντατικών μεγεθών ροπών για τους σεισμικούς συνδυασμούς μοντέλο Β

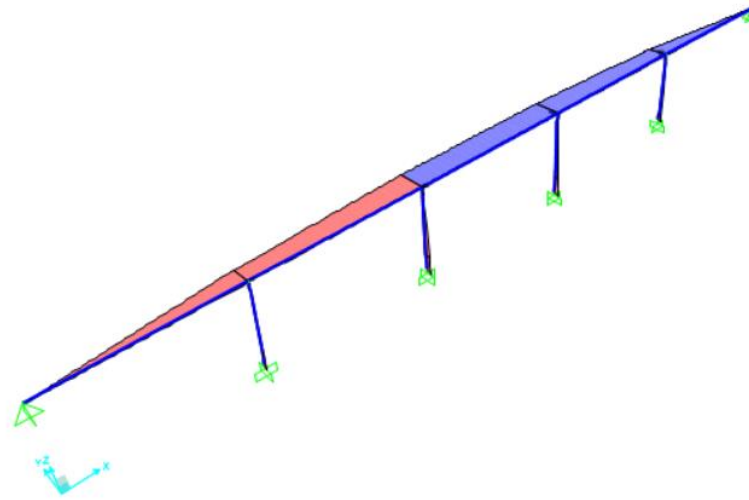
## Μοντέλο Γ

Βάθρο	Τιμές Αντοχής	Συνδυασμοί	Εντατικό Μέγεθος ΣΜ
1	My=7666,95	EQ1	2911,98
		EQ2	4852,34
	Mmax=8838,39	EQ3	8459,94
2	My=7727,24	EQ1	3917,12
		EQ2	5521,62
	Mmax=8875,48	EQ3	12085,84
3	My=7731,91	EQ1	3928,88
		EQ2	5530,75
	Mmax=8878,35	EQ3	12126,63
4	My=7671,72	EQ1	2673,53
		EQ2	4730,46
	Mmax=8841,32	EQ3	7576,91

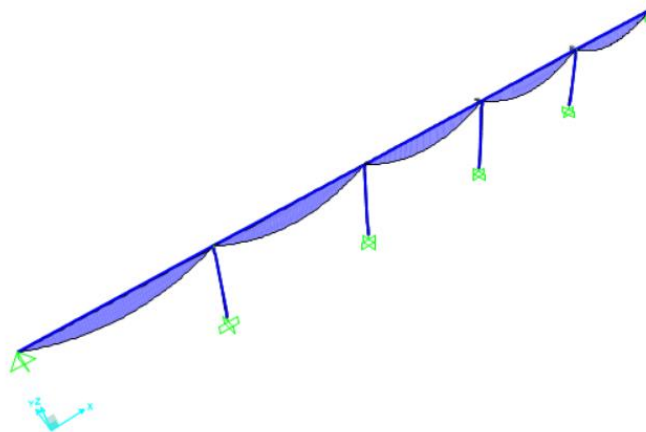
Πίνακας 63 - Πίνακας εντατικών μεγεθών ροπών για τους σεισμικούς συνδυασμούς μοντέλο Γ

Παρατηρούμε ότι, για το σεισμικό συνδυασμό 3, με κύρια την επιβολή σεισμού ως προς την εγκάρσια διεύθυνση  $y$ , η παραγόμενη ροπή ξεπερνά τη ροπή αντοχής. Αυτό μπορεί να δικαιολογηθεί, καθώς ως προς την εγκάρσια διεύθυνση αναπτύσσεται η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος, ενώ εκεί ασκούνται τα φορτία πλημμύρας. Η λήψη μέτρων για την ενίσχυση του φορέα είναι απαραίτητη.

Τα διαγράμματα ροπών  $M_2$  και  $M_3$ , φαίνονται παρακάτω. Ενδεικτικά παρουσιάζονται για το μοντέλο Β, συνδυασμός EQ3. Η μορφή του διαγράμματος δεν αλλάζει.



Εικόνα 121 – Διάγραμμα ροπής  $M_2$  για το σεισμικό συνδυασμό EQ3



Εικόνα 122 - Διάγραμμα ροπής  $M_3$  για το σεισμικό συνδυασμό EQ3



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με τη λήξη της διπλωματικής, παρατίθενται τα παρακάτω αποτελέσματα:

1. Η παρουσία των εφεδράνων κατέχει σημαντικό ρόλο στη σεισμική απόκριση του φορέα καθώς αυξάνει τη διάρκεια των ιδιοπεριόδων, με αποτέλεσμα οι σεισμικές καταπονήσεις που αναπτύσσονται να είναι ασθενέστερες. Η ευεργετική αυτή ιδιότητα αναπτύσσεται ακόμη και με τη θεώρηση αυξημένου μέτρου δυσκαμψίας,  $G$ , των εφεδράνων, λόγω της γηραιότητας τους και της αποδιοργάνωσης τους, όπως αυτή φαίνεται στις φωτογραφίες. Για το συγκεκριμένο φορέα, λόγω και των ιδιαίτερων σεισμικών απαιτήσεων της περιοχής, απαιτείται η αντικατάσταση των εφεδράνων, καθώς πλέον, έχουν περάσει το χρονικό όριο λειτουργικότητας τους (50 έτη) ενώ παρουσιάζονται έντονες οξειδώσεις στο σώμα τους.
2. Το σκυρόδεμα, σε πολλά σημεία, έχει υποστεί διάβρωση, λόγω της ροής του ποταμού και την απόθεση αλάτων από τα όμβρια. Η διάβρωση οδηγεί σε απολέπιση επικάλυψης καθώς και αποκάλυψης οπλισμών που οδηγεί σε οξείδωσή τους. Η οξείδωση των οπλισμών προκαλεί απώλεια της ικανοτικής τους αντοχής και στατικής λειτουργίας. Ιδιαίτερα το πρόβλημα εμφανίζεται στους πλίνθους έδρασης των εφεδράνων καθώς και στους κάτω δεσμούς, που ανά σημεία έχουμε αποκάλυψη. Χρειάζεται αποκατάσταση με επισκευαστικό κονίαμα και σκυροδέμα καταλλήλου για επαφή σε υδάτινο περιβάλλον (κατηγορίας XS).
3. Το διάκενο του αρμού είναι πληρωμένο με φερτά και χαλίκια, γεγονός που καθιστά δυσχερή τη λειτουργία των ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων και συνεπώς ανακατανέμει την ένταση στα μέλη, πέραν των αναμενόμενων από τη μελέτη και τη διαστασιολόγηση.
4. Το φορτίο της πλημμύρας δεν κρίνεται κρίσιμο για τη γέφυρα καθώς η ροή του ποταμού είναι μικρή, με μικρή για τα δεδομένα παροχή και κλίση. Σε μη πλημμυρικές συνθήκες, η στάθμη του ύδατος έχει κατέλθει και έχει αποκαλύψει το θεμέλιο, οπότε η ανύψωση του κατά την πλημμύρα δεν είναι σημαντική.
5. Ωστόσο, σε γέφυρες θεμελιωμένες εντός πιο ορμητικών ποταμών, η παράμετρος της πλημμύρας μπορεί να θεωρηθεί κρίσιμη. Η δύναμη πρόσπτωσης που αναπτύσσεται λόγω των κυματισμών που δημιουργούνται από την παρεμπόδιση της υδάτινης ροής, είναι ιδιαίτερος σημαντική. Επιπλέον, μπορεί να προκληθεί αλλαγή της στάθμης ύδατος, μονομερώς, με ταυτόχρονη ανάπτυξη πλευρικού φορτίου, το οποίο εάν ξεπεράσει την κρίσιμη δύναμη αντοχής σχεδιασμού, ενδέχεται να οδηγήσει μέχρι και σε ανατροπή του βάρου.
6. Η επιλογή μόνρφωσης του φορέα μορφής ανεξάρτητων αμφιέριστων ανοιγμάτων κρίνεται κατάλληλη για τέτοιου είδους κατασκευές, καθώς η κατακόρυφη μετατόπιση δεν αναπτύσσει πρόσθετη ένταση. Δεν ισχύει το ίδιο, ωστόσο, με τη στροφή. Για το λόγο αυτό, η τοποθέτηση των βάθρων χρειάζεται να εισέρχεται παράλληλα με τη ροή του ποταμού, είτε με μικρή κλίση, για να αποφευχθούν φαινόμενα παράσυρσης.
7. Η χρήση πασσάλων ενδείκνυται σε κατασκευές βάθρων που υπόκεινται σε υποσκαφή, καθώς, η όποια αποκάλυψη θεμελίωσης συμβεί, με έγκαιρη επέμβαση, να μην οδηγήσει σε κατάρρευση.

8. Όσον αφορά τα σεισμικά φαινόμενα, αυτά δημιουργούν έντονα προβλήματα στην απόκριση της γέφυρας. Πέραν των πλαστικών αρθρώσεων που δημιουργούνται, το έδαφος εντός της ροής ενδέχεται να αποδιοργανωθεί και να δημιουργήσει προβλήματα στη θεμελίωση.
9. Συνεπάγεται ότι η γέφυρα Γεροποτάμου Κρήτης απαιτεί:
- i. Μέτρα Αντισεισμικής προστασίας. Βασική παράμετρος σε αυτό είναι η αντικατάσταση των εφεδράνων.
  - ii. Αντιπλημμυρικά έργα και έργα διαχείρισης ομβρίων υδάτων, όπως η δημιουργία αντιπλημμυρικών αναχωμάτων, η αναβάθμιση των τεχνητών συστημάτων αποχέτευσης και η διαχείριση συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων, καθώς εκβάλλουν στην περιοχή με κατασκευαστικές αλλά και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
  - iii. Εκσκαφή και δημιουργία αναχωμάτων, από χαλαρά υλικά παράλληλα προς τη ροή του ποταμού, με τα οποία καθορίζεται ορισμένος χώρος κοίτης. Η διεύρυνσή του οδηγεί σε μικρότερη ανύψωση του νερού λόγω πλημμύρας. Για την προστασία των αναχωμάτων από διάβρωση του πόδα, χρησιμοποιείται λιθορριπή.
  - iv. Τοπική αποκατάσταση σε σημεία φθαρμένα, με αποκάλυψη οπλισμών.
  - v. Εισαγωγή λιθοταπήτων, πέριξ του υποσκαμμένου βάθρου, ώστε να καλυφθεί η οπή της υποσκαφής και να προσαρμόζονται, γενικότερα, οι μεταβολές του πυθμένα που την παρεμποδίζουν.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Γιάννης Ν. Ψυχάρης, Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Τεύχος 1, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2016
- Γιάννης Ν. Ψυχάρης, Σημειώσεις Αντισεισμικής Τεχνολογίας, Τεύχος 2, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2015
- Γιάννης Ν. Ψυχάρης, Αντισεισμικός Σχεδιασμός Γεφυρών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα 2016
- Ε.Ι. Σαπουντζάκης, Αρχές Σχεδιασμού Γεφυρών, Σημειώσεις του μαθήματος Γεφυροποιία
- CSi Knowledge Base, SAP2000
- Expert Travel, Παραλία Γέφυρα Γεροποτάμου
- [www.cretanbeaches.com](http://www.cretanbeaches.com), Ταξιδιωτικός Οδηγός Κρήτης – Παραλία γεροποτάμου
- AASHTO, LRFD Bridg Design Specification, §3.7.3, p.79-81
- Ε. Μπαλτάς, Νέες Τεχνολογικές προσεγγίσεις στην αντιμετώπιση αστικών πλημμυρών – Διεθνής εμπειρία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σημειώσεις μαθήματος Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου
- Ε. Μπαλτάς, Βελτίωση Προειδοποίησης Πλημμυρών και Επικοινωνίας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σημειώσεις μαθήματος Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου
- ΦΕΚ 2687B/06-07-2018
- Οδηγία 2007/60/EK – Οδηγία για την Αξιολόγηση και τη Διαχείριση των Κινδύνων Πλημμύρας, [www.floods.ypeka.gr](http://www.floods.ypeka.gr)
- Θ. Κολυδάς, 18 Οκτωβρίου 1937 – Η φονικότερη Πλημμύρα του 20<sup>ου</sup> αιώνα στην Κρήτη, kolydas.gr
- Μιχάλης Καλές, Χαρακτηρισμός των υδάτινων σωμάτων Ανατολικής Κρήτης, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2013
- Α. Στάμου, Εφαρμοσμένη υδραυλική – Ροή υπό πίεση και με ελεύθερη επιφάνεια, 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2016
- Ε.Α. Μπαλτάς, Μ.Α. Μιμίκου, Τεχνική Υδρολογία, 6<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Οκτώβριος 2018
- Chung – Chan Hung, Wen – Gi Yau, Behavior of scoured bridge piers subjected to flood – induced loads, Science Direct, September 2014
- Α. Βαλσαμής, Θεμελιώσεις – Καθιζήσεις Επιφανειακών Θεμελιώσεων Ι, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διαφάνεια 44
- U.S. department of Transportation, Federal Highway Administration, Evaluating Scour at Bridges, Fifth Edition, April 2012
- ΟΜΟΕ, Κεφάλαιο 10, Έργα Διευθετήσεων
- ΟΜΟΕ, Κεφάλαιο 4, Σχεδιασμός γεφυρών από Σκυρόδεμα

- Βαφειάδης Μ., Ευθυμίου Ν., Ανάλυση και προσομοίωση φαινομένων υποσκαφής γεφυρών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη 2009
- Φ. Μάρης, Ορεινή Υδροδυναμική II, Παράλληλοι Τοίχοι, πρόβολοι, λιθεπενδύσεις κοιτών, διώρυγες, αναχώματα, γέφυρες, Τόμος IIβ, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης
- ΦΕΚ 1154B/12-08-2003
- Ιωάννης Ε. Αβραμίδης, Στατική των Κατασκευών, Τόμος II, Υπερστατικοί Φορείς – Κλασσικές Μέθοδοι Ανάλυσης και Μητρική Στατική, Β' Έκδοση, Σοφία, Θεσσαλονίκη 2017
- Μανόλης Παπανδρακάκης, Μαθήματα Στατικής V, Πλαστική ανάλυση ραβδωτών φορέων, Σύγχρονες μέθοδοι, Εκδόσεις Τσιότρα, Αθήνα, Οκτώβριος 2013
- Μουζάκης, Καραπίτα, Διατομή οπλισμένου σκυροδέματος με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη. Δοκοί – Υποστυλώματα / ΚΑΝ.ΕΠΕ. 2<sup>η</sup> Αναθεώρηση.