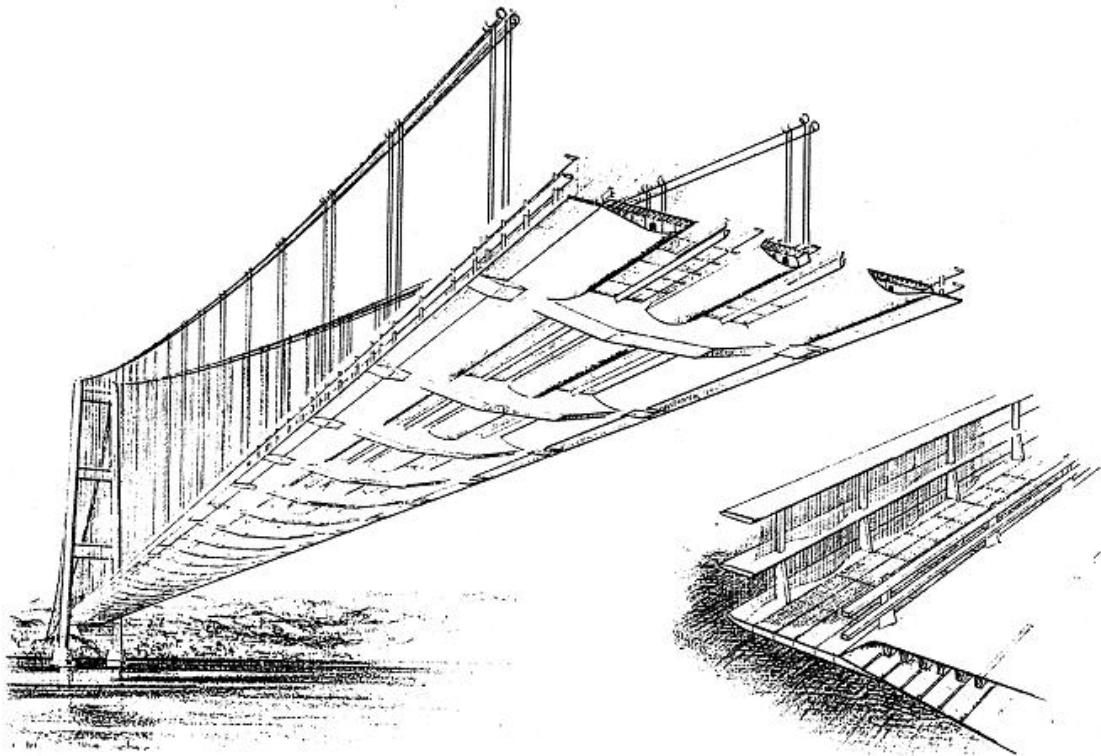


2011

ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ- ΣΤΕΦ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΡΟΖΗ' ΑΓΓΕΛΙΚΗ'
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2011

[Βέλτιστος Προσχεδιασμός σε Προβλήματα Σύμμικτης Γεφυροποιίας]



1 Περιεχόμενα:

2	Γενικά Στοιχεία Πτυχιακής:	5
2.1	General information:	5
3	ABSTRACT	6
3.1	-FOREWORD-	7
4	ΠΕΡΙΛΗΨΗ	9
5	Εισαγωγή	11
6	Ορισμός προβλήματος	11
6.1	Το Πρόβλημα:	11
7	Σύμμικτες	16
7.1	Ιστορική Αναδρομή	16
7.1.1	Γενικά για τις σύμμικτες κατασκευές:	16
7.2	Σύμμικτες δοκοί (τυπικές μορφές)	17
8	Γενικά για την γεφυροποιία:	Error! Bookmark not defined.
8.1	Ορισμοί:	19
8.1.1	Τα κύρια μέρη μιας γέφυρας:	19
8.1.2	Σχόλια περί Σύμμικτης γεφυροποιίας:	19
8.2	Συμπεριφορά σύμμικτων στοιχείων στη φωτιά (αναφορικά)	21
8.3	Συμπεριφορά σύμμικτων στοιχείων στο σεισμό	21
9	Κατάταξη διατομών	Error! Bookmark not defined.
9.1	A) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΠΕΛΜΑΤΟΣ	Error! Bookmark not defined.
9.2	B) ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΟΡΜΟΥ	Error! Bookmark not defined.
10	Το χαλυβδόφυλλο:	22
11	Διατμητικοί σύνδεσμοι -ήλοι κεφαλής	23

11.1	Επιρροή Χαλυβδόφυλλων	27
11.2	Κατασκευαστικοί Περιορισμοί κατά την τοποθέτηση των διατμητικών ήλων κεφαλής	28
11.3	Χάλυβας Κοχλιών	29
12	Βελτιστοποίηση	30
	Βελτιστοποίηση:.....	30
12.1	Μέθοδοι Βελτιστοποίησης.....	30
12.1.1	Κατηγοριοποίηση Μεθόδων Βελτιστοποίησης	32
12.1.2	Μέθοδοι βελτιστοποίησης για προβλήματα συνεχών μεταβλητών σχεδιασμού.....	33
12.1.3	Μέθοδοι βελτιστοποίησης για προβλήματα διακριτών μεταβλητών σχεδιασμού	34
12.2	Γενετικοί Αλγόριθμοι:	35
12.2.1	Συνοπτικά η διαδικασία λειτουργίας των Γ.Α:	37
	12.2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά:	38
12.2.3	Οι Γ.Α:.....	39
12.2.4	Γενετικοί Τελεστές:.....	39
13	ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ:.....	40
13.1	ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ	41
13.1.1	Μοντέλο φόρτισης 1:	41
13.2	ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ	44
13.3	ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ.....	45
13.4	Γενικά για σύμμικτες γέφυρες.....	46
13.4.1	Παραδοχές για τα φορτία της σύμμικτης γέφυρας:	46
14	ΣΕΙΣΜΟΣ:	50
14.1	Σχεδιαστική φιλοσοφία:	50

14.2	Αντισεισμικός σχεδιασμός:	51
14.3	Ζώνες Σεισμικότητας στην Ελλάδα	51
14.4	Σεισμικά φορτία:	52
14.5	Παραδοχές πτυχιακής εργασίας για το σεισμό:	52
15	ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ	55
15.1	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ:.....	56
15.1.1	Πίνακες και παράμετροι για τον άνεμο:	57
15.1.2	Συνοπτικά:.....	60
16	Κόστος Κατασκευής	61
17	ΕΜΠΕΡΙΣΤΑΤΩΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ Error! Bookmark not defined.	
17.1	Για το συνημμένο λογισμικό:	Error! Bookmark not defined.
17.1.1	Ga_optimization_for_excel_1_2	62
17.2	Guidebook	Error! Bookmark not defined.
17.3	USERS GUIDE:	68
	Σχετικά με το εγχειρίδιο:	68
	Τεχνικά χαρακτηριστικά:	68
	Σύμβολα και συμβάσεις:	68
	Το σώμα του προγράμματος:	Error! Bookmark not defined.
	Αρχική σελίδα- Input	68
18	Συμπεράσματα:	71
18.1	SUMMARY.....	Error! Bookmark not defined.
19	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	78
20	ΒΙΒΛΟΓΡΑΦΙΑ.....	79

2 Γενικά Στοιχεία Πτυχιακής:

Εκπαιδευτικό Ίδρυμα: **ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**
Τμήμα: **ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ**

Όνοματεπώνυμο Σπουδάστριάς: **ΡΟΖΗ ΑΓΓΕΛΙΚΗ**
Όνοματεπώνυμο Πατρός: **ΡΟΖΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**
Ημερομηνία Γέννησης: 17/12/1985
ΕΞΑΜΗΝΟ: **ΙΑ**
ΑΜ.: **32269**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Υπεύθυνος καθηγητής: κ. Χρήστος Δήμου

2.1 General information:

Structural Engineer: **Rozi Angeliki**

Piraeus Technical Institution

Department: **Civil Engineering** with emphasis on building constructions.

This is a Thesis for the Degree of Structural Engineer in the Department of Civil Engineering with emphasis on building constructions.

3 ABSTRACT

This thesis presents a methodology to obtain the optimal steel–concrete composite girder bridge arrangement with respect to structural, traffic, wind and seismic loads.

Planning and designing of bridges is part art and part compromise, the most significant aspect of structural engineering. It is the manifestation of the creative capability of designers and demonstrates their imagination, innovation, and exploration¹. The first question architects/designers have to answer is what kind of structural bridge design they are going to create.

Bridge design is a complex engineering problem. The design process includes consideration of numerous factors, such as the choice of bridge system, materials, dimensions, foundations, etc. To investigate these issues and arrive at the best solution, the method of preliminary-initial design is the subject of the discussion in this thesis.

Preliminary design is very important in the case of bridge design in order to obtain solutions that utilize the available financial resources in an optimal manner. The designer must first visualize and imagine the bridge in order to determine its fundamental function and performance.

The objective of the optimization problem is the minimization of the cost of construction of composite bridge decks, subject to the restrictions of EC4. The design Variables of the problem are a) the type of the steel beam, b) the type of the shear stud c) the height of the concrete's slab d) the type and arrangement of the slab's reinforcement and e) the type of the profiled steel sheeting.

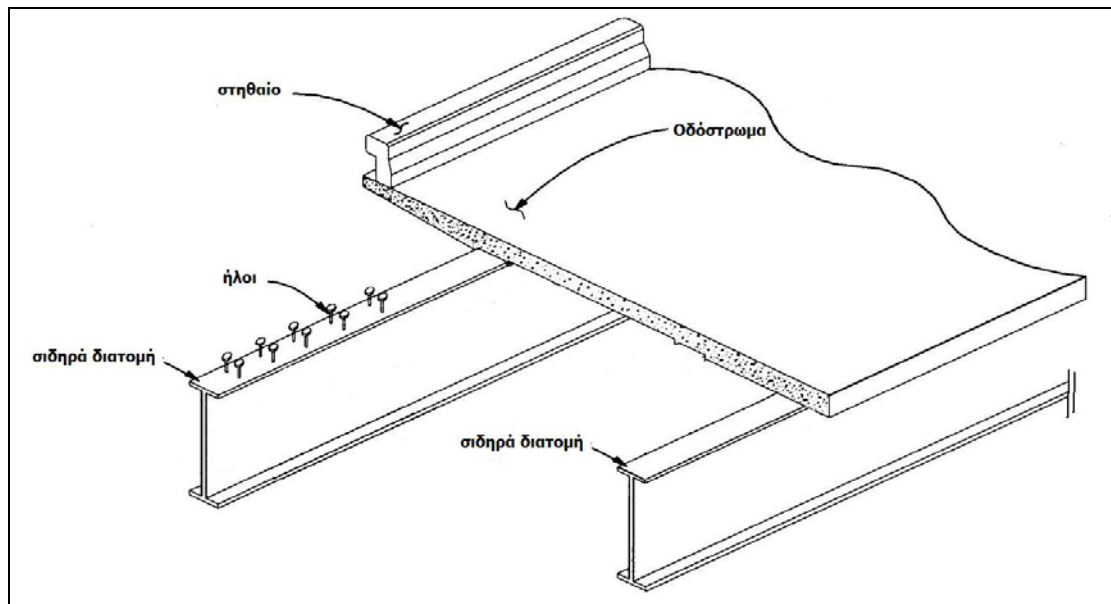
To solve this optimization problem an optimization add-on routine based on genetic algorithms (GAs) is implemented into Microsoft Excel®.

The robustness and computational efficiency of the GA variant is a function of the values of the set of GA parameters used during the optimization process. Various calibration cases are performed to obtain the set of parameters providing the best result (least cost of construction). The

¹ Bridge Engineering Handbook by Wai-Fah Chen, Lian Duan, Susan E. Hida, Yusuf Saleh, and Steve Altman etc. 2000 by CRC Press LLC.

results are presented in chapter 0 and on the spreadsheets that are enclosed with this document.

Using the optimal GA parameters found during the aforementioned calibration study, two main parametric studies with regard to the costs of the materials implemented and the length of the bridge are performed. The results are presented in in chapter 0.



Εικόνα 1 Sketch of a bridge. Bridge deck and structural elements.

3.1 FOREWORD

The purpose of this thesis is to cast the framework which will provide an engineer the tools for the optimal preliminary design of a composite bridge deck.

In this thesis a method to obtain the optimal steel–concrete composite girder bridge arrangement with respect to structural, wind and seismic performance criteria is presented. With the usage of the programming tools (a genetic algorithm add-on & Microsoft Excel®) and the implementation of the structural Eurocodes an Excel spreadsheet is developed so the user can give inputs (i.e. length of the bridge, seismic coefficients etc.) and take as an output the construction arrangement that ensures minimum cost.

The purpose of a bridge is to carry a service over an 'obstacle' (which may be another road or railway, a river, a valley etc). The designer has to

ensure that bridge designs are both safe and economic. Composite construction is a common and economic form of construction for ordinary highway bridges.

Objective:

The objective of this thesis is to describe the tools developed for the optimal pre-design of a composite deck bridge which has the following characteristics:

1. Deck of 2 lanes
2. Parapets and bars on either side
3. Pedestrians lanes on either side
4. Varying length of 20,00m to 40,00m

Thesis Outline

In chapter 1 and 2 the title and relevant information regarding the Institution, and Student are presented. In chapter 3 an abstract in English is presented. In chapter 4 an abstract in Greek is presented. For the subsequent chapter the language used is Greek. In chapter 5 the problem is defined. In chapter 6 a short overview of the theory of steel-concrete composite girder structures is presented. In chapter 7 there are some general information about bridges. In chapters 8, 9 and 10 an overview regarding the aspects of bridge design is presented (steel beams, shear studs, profiled steel sheeting etc). In chapter 11 some aspects regarding genetic algorithms and the optimization process are presented. In chapter 12 the loads of the bridge under investigation are presented. In chapter 13 the earthquake loading is presented based on EC8. In chapter 14, the wind loads based on the considerations of EC1 are presented. In chapter 15, the parameters affecting the cost of the design (unit cost of concrete, structural steel, steel used as reinforcement, profile steel sheeting and shear studs) are presented. In chapter 16, specific information for the GA programme is presented. In chapter 17 some test examples of the GA add-in and their results are presented. In chapter 18, the summary of the results and the conclusions are presented. In chapter 19 the results are presented in an extended form and in chapter 20, the bibliography is presented.

4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι παρακάτω σελίδες αντιστοιχούν στην πτυχιακή εργασία της σπουδάστριας Ροζή Αγγελική και αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία.

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάπτυξη του απαραίτητου λογισμικού για την βέλτιστη προδιαστασιολόγηση του καταστρώματος μια σύμμικτης γέφυρας.

Η σύλληψη και ο σχεδιασμός γεφυρών αποτελεί κατά ένα μέρος τέχνη και κατά ένα άλλο μέρος συγκερασμός απαιτήσεων υπό το πρίσμα των οικονομικών περιορισμών ενός έργου.

Ο σχεδιασμός γεφυρών αποτελεί ένα πολύπλοκο πρόβλημα της σύγχρονης μηχανικής. Η διαδικασία σχεδιασμού, θα πρέπει να λάβει υπόψη μία σειρά παραμέτρων όπως η επιλογή του στατικού συστήματος, τα υλικά, οι διαστάσεις αυτών, ο τύπος της θεμελίωσης κ.λπ. Για την εμπειριστατωμένη μελέτη των θεμάτων αυτών και με στόχο την επίτευξη μίας όσο το δυνατόν βέλτιστης λύσης έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες προ-σχεδιασμού γεφυρών. Στη πτυχιακή αυτή παρουσιάζεται μία μεθοδολογία βέλτιστου προ-σχεδιασμού του καταστρώματος γέφυρας από σύμμικτα υλικά.

Ως αντικειμενική συνάρτηση του προβλήματος ορίζεται το συνολικό εκτιμώμενο κόστος του καταστρώματος και κάθε σχεδιασμός θα πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις και τους περιορισμούς των Ευρωκωδίκων. Οι μεταβλητές σχεδιασμού, που με τον ορισμό τους και σε συνδυασμό με άλλες μεταβλητές που δεν επιλέγονται από τον χρήστη αλλά αποτελούν παραμέτρους του προβλήματος, ορίζεται πλήρως ένα πρόβλημα είναι α) ο τύπος της σιδηράς δοκού β) ο τύπος του διατμητικού ήλου γ) το ύψος της πλάκας σκυροδέματος δ) ο τύπος του οπλισμού σκυροδέτησης της πλάκας σκυροδέματος και ε) ο τύπος του χαλυβδόφυλλου.

Για την επίλυση του μαθηματικού προβλήματος βελτιστοποίησης χρησιμοποιείται μία πρόσθετη ρουτίνα βελτιστοποίησης η οποία στηρίζεται στους Γεννητικούς Αλγορίθμους σε συνδυασμό με το Microsoft Excel®.

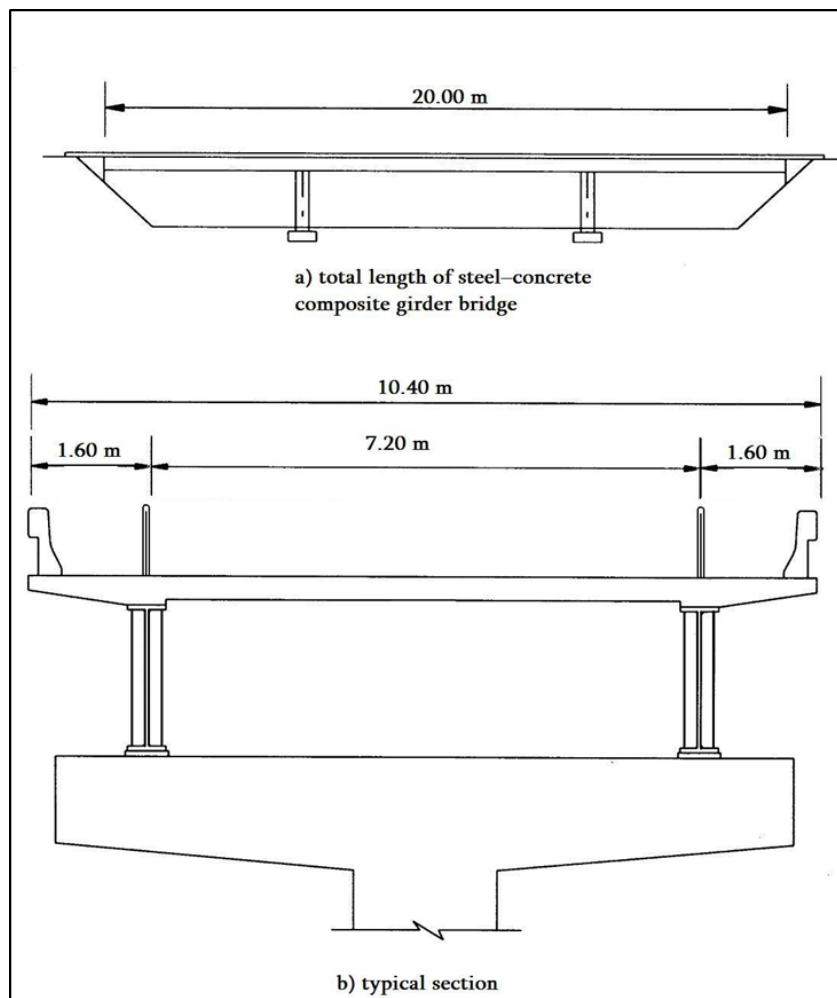
Αρχικά εξετάζεται η ευρωστία και απόδοση της συγκεκριμένης μεθοδολογίας βελτιστοποίησης ως συνάρτηση των παραμέτρων του Γεννητικού Αλγορίθμου για το πρόβλημα του βέλτιστου προ-σχεδιασμού του καταστρώματος σύμμικτων Γεφυρών. Για το σκοπό αυτό ελέγχθηκαν πλήθος συνδυασμών των παραμέτρων του αλγορίθμου και το σετ των παραμέτρων που παρουσίασε την μεγαλύτερη ευρωστία χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την εκτέλεση παραμετρικών μελετών σε συνάρτηση με τις άλλες μεταβλητές του προβλήματος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο κεφάλαιο 0 και στα υπολογιστικά φύλλα των παραρτημάτων.

5 Εισαγωγή

6 Ορισμός προβλήματος

6.1 Το Πρόβλημα:

Στόχος της πτυχιακής είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους μια σύμμικτης γέφυρας (βάση των προδιαγραφών, υποθέσεων, κριτηρίων και παραδοχών που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια) με τη βοήθεια μίας μεθόδου βελτιστοποίησης η οποία βασίζεται στη μέθοδο των γενετικών αλγορίθμων. Για την επίλυση του προβλήματος και του υπολογισμό του κόστους του καταστώματος αναπτύχθηκε ένα υπολογιστικό φύλλο σε Microsoft Excel® το οποίο στη συνέχεια με τη βοήθεια της εξωτερικής πρόσθετης ρουτίνας εντάχθηκε σε μία διαδικασία βελτιστοποίησης ώστε για ένα συγκεκριμένο πρόβλημα να προκύψουν οι βέλτιστες σχεδιαστικές παράμετροι.



Εικόνα 2 Η μορφή της γέφυρας σε διαμήκη και εγκάρσια διεύθυνση

1. Μεταβλητές Σχεδιασμού

Οι μεταβλητές σχεδιασμού συνοψίζονται ως:

- I. Πάχος πλάκας σκυροδέματος
- II. Πάχος χαλυβδόφυλλου
- III. Επιλογή Σιδηράς Διατομής
- IV. Τύποι Ήλων
- V. Διαμήκης Οπλισμός

Οι μεταβλητές αυτές σε συνδυασμό με το μήκος γεφύρωσης L ορίζουν μονοσήμαντα το πρόβλημα υπό εξέταση.

2. Φορτία

Τα φορτία που λαμβάνονται υπόψη συνοψίζονται ως:

Μόνιμα

- I. Ιδίο βάρος υλικών
- II. Μπάρες (πεζοδρομίου + δρόμου)
- III. Ρείθρα
- IV. Ασφαλτόστρωση (δρόμος)

Κινητά:

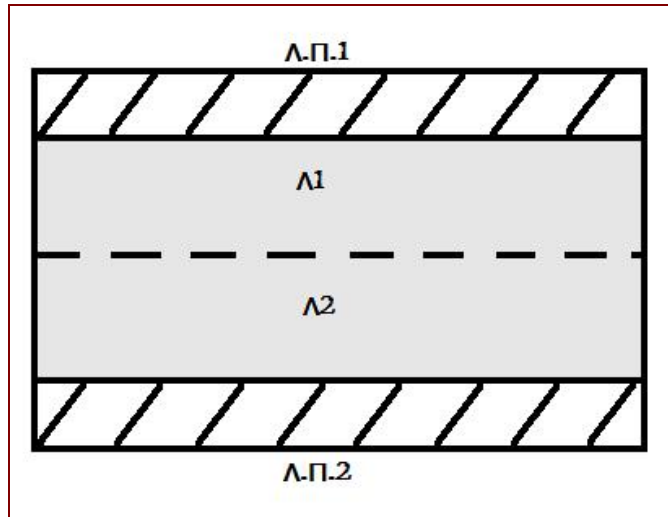
- V. Βαρέα οχήματα
- VI. ομοιόμορφα φόρτιση λόγω μικρών οχημάτων
- VII. πέδηση
- VIII. φορτία πεζών

Τυχηματικά:

- IX. Άνεμος
- X. θερμοκρασία
- XI. Σεισμός

3. Ορισμός λωρίδων

Οι λωρίδες του καταστρώματος παρουσιάζονται στο παρακείμενο σχήμα.



Εικόνα 3 Απεικόνιση λωρίδων κυκλοφορίας

4. Ισοδύναμα φορτία στο τελικό προσομοίωμα

Τα φορτία της παραγράφου 2 προσομοιώνονται ως:

- I. Ίδιο βάρος (ομοιόμορφο κατανεμημένο στο μήκος της δοκού)
- II. Μπάρες (ομοιόμορφο κατανεμημένο στο μήκος της δοκού)
- III. Ρείθρα (ομοιόμορφο κατανεμημένο στο μήκος της δοκού)
- IV. Δρόμος (ομοιόμορφο κατανεμημένο στο μήκος της δοκού)
- V. Βαρέα οχήματα (μεγαλύτερο συγκεντρωμένο φορτίο στη μέση της δοκού κατά τη διαμήκη έννοια, και τα λοιπά συγκεντρωμένα φορτία ανάλογως της μορφής του οχήματος)
- VI. Ομοιόμορφα φορτία (ομοιόμορφο κατανεμημένο στις λωρίδες)
- VII. Πέδηση (ομοιόμορφο φορτίο κατά N & Mz) {υπολογιστικά μόνο σε μια λωρίδα}
- VIII. Φορτία πεζών (ομοιόμορφο κατανεμημένο)
- IX. Άνεμος (αναλύεται σε ζεύγος αξονικών & κατανεμημένων φορτία κατά την εγκάρσια διεύθυνση)
- X. Θερμοκρασία (μόνο παραμορφώσεις και όχι εντάσεις)
- XI. ια) Σεισμός (και κατά τις 3 διευθύνσεις)

5. Συνδυασμοί φορτίσεων

Κατά EC1 & EC8

6. Υπολογισμός Msd, Vsd, Nsd

Εφαρμογή των αρχών της Στατικής

7. Έλεγχος Επάρκειας

- α) Μέγιστη Ροπή + Τέμνουσα + Αξονική
 - β) Μέγιστη Τέμνουσα + (Ροπή) + Αξονική
 - γ) Μέγιστη Αξονική + (Ροπή) + Τέμνουσα
- Σε εφαρμογή των κανονισμών του EC4.

8. Υπολογισμός Ήλων

Σε εφαρμογή των κανονισμών του EC4.

9. Υπολογισμός Βαρών και Ήλων (οικονομοτεχνικά στοιχεία και Κοστολόγηση)

Βάρος Μπετόν x Τιμή	=> Κόστος, Ccost
Βάρος Δ.Ο x Τιμή	
Βάρος Δ.Χ x Τιμή	
Πλήθος Ήλων x Τιμή	

$$\text{Obj} = C_{\text{cost}} + C_{\text{cost,μη επάρκειας}}$$

όπου $C_{\text{cost,μη επάρκειας}} =$

$$C_{\text{max,p}} * \left(\left(\frac{M_{sd}}{M_{rd}} - 1 \right) \leftarrow M_{sd} > M_{rd} \right) +$$

$$0 \leftarrow \text{otherwise}$$

$$+ C_{\text{max,p}} * \left(\left(\frac{V_{sd}}{V_{rd}} - 1 \right) \leftarrow V_{sd} > V_{rd} \right)$$

$$0 \leftarrow \text{otherwise}$$

$$+C_{\max,p} * \left(\begin{array}{l} \left(\frac{Nsd}{Nrd} - 1 \right) \leftarrow Nsd \succ Nrd \\ 0 \leftarrow otherwise \end{array} \right)$$

(εξίσωση 3α).

7 Σύμμικτες - Κατασκευές

²Σύμμικτες Κατασκευές -Αρχές Λειτουργίας

7.1 Ιστορική Αναδρομή

Η χρήση σύμμικτων στοιχείων για την κατασκευή γεφυρών και άλλων έργων μηχανικού ειδικού χαρακτήρα πρωτοεμφανίζεται στη δεκαετία του 1920. Η συστηματική χρήση σύμμικτων στοιχείων (συνδυασμός σκυροδέματος – χάλυβα) σε έργα οικοδομικά έργα απαντάται ήδη από την δεκαετία του 1930 κυρίως στην Ιαπωνία και της Ηνωμένες Πολιτείες. Στην Ευρώπη λόγω του υψηλού κόστους του χάλυβα η χρήση των σύμμικτων στοιχείων στα οικοδομικά έργα εμφανίζεται σε μεγάλη κλίμακα μετά το 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο.

7.1.1 Γενικά για τις σύμμικτες κατασκευές:

οι σύμμικτες κατασκευές είναι:

- κατασκευές από συνεργαζόμενα στοιχεία χάλυβα και σκυροδέματος.
- στα οποία έχει εξασφαλιστεί η συνεργασία των δύο υλικών και η διαμήκης διατμητική τους σύνδεση με μηχανικά μέσα (διατμητικούς συνδέσμους) και όχι με συνάφεια,
- ώστε να αποφεύγεται η σχετική ολίσθηση στην διεπιφάνεια των υλικών και να διατηρείται η επιπεδότητα των διατομών στην καμπτική (κύρια) αλλά και την θλιπτική λειτουργία.

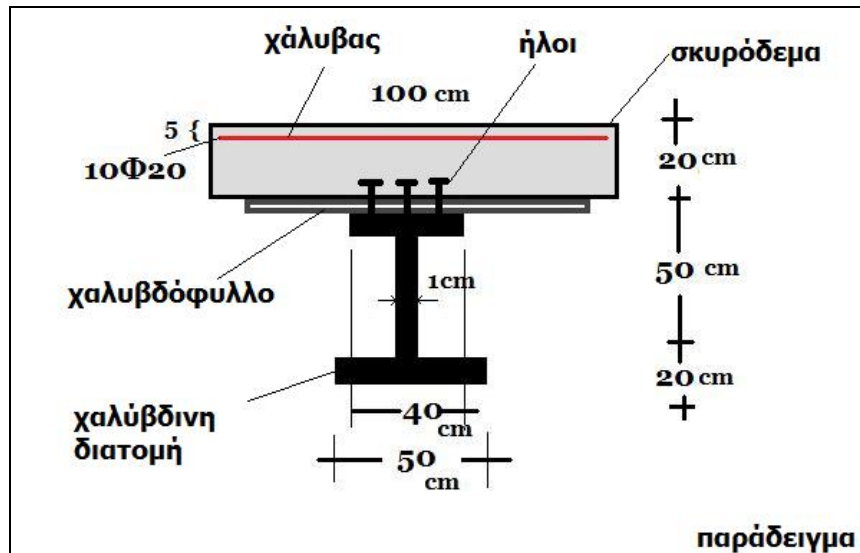
Οι σύμμικτοι φορείς, που θα αντιμετωπίζονταν στο σύνολο τους από έναν κανονισμό θα αποτελούνται από τα επιμέρους σύμμικτα δομικά στοιχεία.

- πλάκες
- δοκοί
- στύλοι – υποστυλώματα
- σύνδεσμοι ακαμψίας

Οι σύμμικτες δοκοί (τυπικές μορφές) αποτελούνται:

² Σύμμικτες Κατασκευές, Χ.Δήμου. Τει Πειραιά

1. από τη συνεργαζόμενη πλάκα σκυροδέματος, συνήθως στο πάνω πέλημα της δοκού ή σε κάποια απόσταση από αυτό, που συνήθως δημιουργείται από το χαλυβδοέλασμα).
2. την χαλύβδινη δοκό, ολόσωμη ή συγκολλητή,
3. τους διατμητικούς συνδέσμους που εξασφαλίζουν την αποφυγή της σχετικής ολίσθησης στην διεπιφάνεια των δυο υλικών.



Εικόνα 4 Προσομοίωση συμμικτης κατασκευής.

7.2 Σύμμικτες δοκοί (τυπικές μορφές)

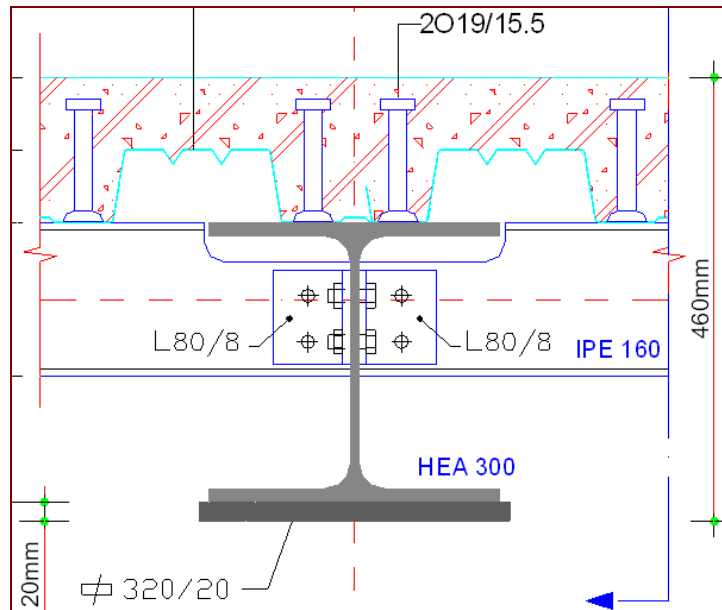
Σε μια τυπική διάταξη σύμμικτης δοκού, πάνω στην μεταλλική δοκό εδράζεται η πλάκα από σκυρόδεμα με ενδιάμεσο υλικό το χαλυβδοέλασμα (που λειτουργεί σαν ξυλότυπος και σαν συνελκόμενος οπλισμός).

Στην περίπτωση αυτή, στην εγκάρσια διεύθυνση,

1. η πλάκα έχει ενεργό πάχος σκυροδέματος το σύνολο του ύψους του σκυροδέματος.
2. ενώ στην διαμήκη διεύθυνση της δοκού μόνο το συμπαγές πάχος πάνω από το χαλυβδοέλασμα.

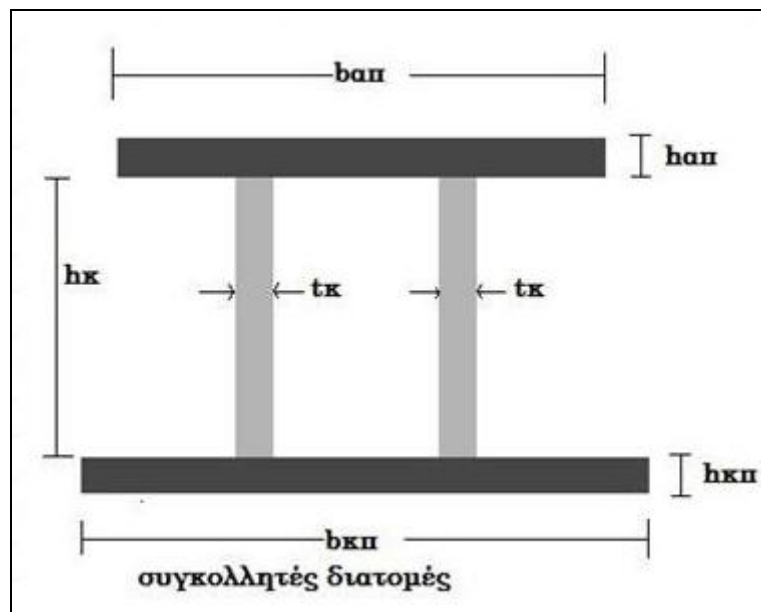
Με την τοποθέτηση διατμητικών συνδέσμων εξασφαλίζουμε την σύνδεση των επιμέρους υλικών και εξασφαλίζουμε την μονολιθικότητα της διατομής. Κατά τον τρόπο αυτό, η λειτουργία των δοκών και των δοκίδων γίνεται σύμμικτη και η αντοχή αλλά και η ακαμψία αυξάνεται σημαντικά. Επίσης εκτός από την αύξηση της αντοχής σε κάμψη έχουμε και την εξασφάλιση έναντι λυγισμού μέρος των στοιχείων της μεταλλικής δοκού. Στην παρούσα

πτυχιακή εργασία λόγω του στατικού προσομοιώματος και της φάσης σχεδιασμού (προ-σχεδιασμός) δεν λαμβάνονται υπόψη θέματα που αφορούν τον στρεπτοκαμπτικό λυγισμό.



Εικόνα 5 Μορφή συμμεκτης σύνδεσης.

Οι διατμητικοί σύνδεσμοι ηλεκτροσυγκολλούνται στις δοκούς συνήθως και με το χαλυβδοέλασμα, και παρέχουν την απαιτούμενη σύνδεση για την σύμμεκτη λειτουργία.



Εικόνα 6 μορφή χαλύβδινης διατομής.

8 Σχεδιασμός Γεφυρών

8.1 Ορισμοί:

Γέφυρα: Γέφυρα είναι κάθε τεχνικό έργο με οποιαδήποτε διάταξη ανοιγμάτων που φέρει μια οδό, μια σιδηροδρομική γραμμή πάνω από οποιοδήποτε εμπόδιο. Οι γέφυρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να γεφυρωθούν υγρά ή ξηρά κωλύματα, για τη δημιουργία άνω και κάτω διαβάσεων σιδηροδρομικών γραμμών και οδών κάθε κατηγορίας και χρήσης.

Κάτω Διάβαση: Κάτω διάβαση είναι ένα τεχνικό έργο με οποιαδήποτε διάταξη ανοιγμάτων που φέρει οδό ή σιδηροδρομική γραμμή κάτω από την κύρια οδό.

Άνω Διάβαση: Άνω διάβαση είναι ένα τεχνικό έργο με οποιαδήποτε διάταξη ανοιγμάτων που φέρει οδό ή σιδηροδρομική γραμμή πάνω από μία δευτερεύουσα οδό.

8.1.1 Τα κύρια μέρη μιας γέφυρας:

Τα κύρια μέρη που συνθέτουν μια γέφυρα είναι :

- Το σύστημα θεμελίωσης
- Τα ακρόβαθρα
- Τα μεσόβαθρα
- Η ανωδομή (πχ. προεντεταμένες δοκοί, πλάκα κυκλοφορίας)
- Οι αρμοί
- Τα εφέδρανα (συσκευές ελέγχου της συμπεριφοράς της κατασκευής σε σεισμό)
- Τα Stoppers/sacrificial elements (όπως προηγουμένως)
- Το σύστημα αποχέτευσης / αποστράγγισης.
- Πυλώνες ηλεκτροφωτισμού
- Τα στηθαία ασφαλείας

8.1.2 Σχόλια περί Σύμμικτης γεφυροποιίας:

Επισημάνεται ότι η ευρωπαϊκή εναρμόνιση στον τομέα της σύμμικτης γεφυροποιίας έχει αρχίσει. Ο EC4, τμήμα 2, περί σύμμικτων γεφυρών βρίσκεται προς το παρόν στο στάδιο του προσχεδίου στην αγγλική γλώσσα.

Ο σχεδιασμός και η κατασκευή σύμμικτων γεφυρών επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις μεθόδους σχεδιασμού και κατασκευής. Για το λόγο αυτό ο σχεδιασμός πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο την προκατασκευή στο εργοστάσιο όσο και την επιτόπια συναρμογή και ανέγερση.

Στη σύμμικτη γεφυροποιία οι διατομές ποικίλουν. Οι μέθοδοι κατασκευής ξεκινούν από απλές εκτελέσεις πλάκας-δοκού και εκτείνονται μέχρι δύστροπες κιβωτοειδείς φορείς. Οι σιδηρές διατομές που χρησιμοποιούνται, για μεγάλα ανοίγματα, είναι σχετικά λυγερές, λεπτότοιχες και συχνά υπάγονται στις κατηγορίες 3 ή 4. Αυτό σημαίνει ότι σε πολλές περιπτώσεις τα εντατικά μεγέθη και τάσεις πρέπει να υπολογιστούν με ελαστική ανάλυση. Αυτό δεν ισχύει για το μεσαίο τμήμα του καταστρώματος, όπου ο χαλύβδινος φορέας βρίσκεται σε ζώνη εφελκυσμού: εδώ η φέρουσα ικανότητα της διατομής μπορεί να προσδιορισθεί και με πλαστική ανάλυση. Ωστόσο οι μεταβολές στις κατανομές των εντατικών μεγεθών οι οποίες προκύπτουν από τις ζώνες πλαστικής παραμόρφωσης στο μέσο τμήμα του φορέα, κατά κανόνα αγνοούνται. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία το σύνολο των εξετάζομενων μεταλλικών διατομών υπάγονται στις κατηγορίες 1 και 2 και για το υπολογισμό των αντιστάσεων αντοχής εφαρμόζεται η μεθοδολογία της πλαστικής ανάλυσης.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές κατασκευές, ο κίνδυνος κόπωσης πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

Για τους διατμητικούς συνδέσμους πρέπει απαραίτητως να διεξάγεται έλεγχος αντοχής σε συνθήκες συμβατικής λειτουργίας. Για αυτό ακριβώς θα πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν επακριβής εκτίμηση των καταπονήσεων με την χρήση κατάλληλων προσομοιωμάτων φορτίων, και συγκεκριμένα τόσο για τις καταπονήσεις των συνδέσμων όσο και για τα σημεία συγκόλλησης αυτών με το πέλμα της μεταλλικής δοκού. Εφόσον ο ουδέτερος άξονας της σύμμικτης διατομής βρίσκεται σε περιοχή θετικών καμπτικών ροπών επάνω από την ή κοντά στην διεπιφάνεια σύμμιξης, αρκεί ο έλεγχος των διατμητικών συνδέσμων σε διάτμηση.

Σύμμικτες πλάκες:

Ο υπολογισμός των πλακών σε κάμψη, είναι αντίστοιχος με αυτόν των δοκών.

8.2 Συμπεριφορά σύμμικτων στοιχείων στη φωτιά (αναφορικά)³

Στη φωτιά, όπως και στο σεισμό, οι σύμμικτες κατασκευές συμπεριφέρονται αντίστοιχα με τις μεταλλικές, αφού το μεταλλικό τμήμα χάνει ανάλογα με την έκθεση της επιφάνειας του σε θερμοκρασία, την αντοχή του. Το ενδιαφέρον στις σύμμικτες προκύπτει από την ενίοτε υπερδιαστασιολόγηση του μεταλλικού τμήματος, από την αρχική φάση σκυροδέτησης χωρίς ακόμη την σύμμικτη λειτουργία. Η υπερδιαστασιολόγηση αυτή μαζί με την μειωμένη φόρτιση του τυχηματικού χαρακτήρα της φωτιάς μπορεί να δώσει ικανοποιητική επάρκεια στο σύμμικτο στοιχείο.

8.3 Συμπεριφορά σύμμικτων στοιχείων στο σεισμό

Για την σεισμική φόρτιση:

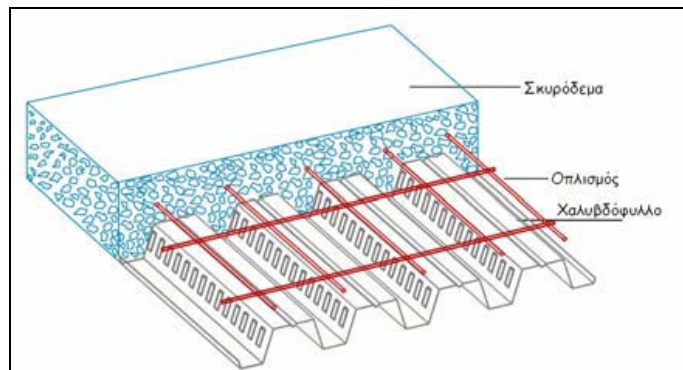
Σε σύμμικτες κατασκευές εφόσον δεν υπάρχουν σύμμικτοι κόμβοι, που είναι κατ'εξοχήν καταπονούμενα σε σεισμό στοιχεία μια κατασκευής ισχύουν ότι περιλαμβάνονται στο αντίστοιχους ευρωκώδικες:

1. EC3 για μεταλλικά κτήρια και κατασκευές
2. και λιγότερο του σκυροδέματος EC2

Αυτό που έχει σημασία είναι η ιδιότητα των σύμμικτων να έχουν μεγάλη αντοχή στο κέντρο των δοκών, που μας επιτρέπει να αφήνουμε τους κόμβους με σημαντικά περιθώρια ανακατανομής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε σεισμικές φορτίσεις.

³ 'Σχεδιασμός σύμμικτων δομικών στοιχείων σύμφωνα με τον EC4'. Φαίδων Σ. Καρυδάκης, pdf file

9 Χαλυβδόφυλλα



Εικόνα 7 Σύμμικτη πλάκα. Ξεχωρίζει το χαλυβδόφυλλο, το σκυρόδεμα και ο οπλισμός

Ο συνήθης τύπος των σύμμικτων πλακών αποτελείται από ένα τραπεζοειδές χαλυβδοέλασμα, με κάποιο σύστημα εγκάρσιων νευρώσεων που παρέχουν διαμήκη διατμητική σύνδεση στη διεπιφάνεια σκυροδέματος χαλυβδοελάσματος⁴.

Το χαλυβδοέλασμα έχει την διπλή λειτουργία του παραμένοντος ξυλοτύπου, στη φάση σκυροδέτησης και του συνελκόμενου οπλισμού, μετά την ωρίμανση του σκυροδέματος.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ειδικών χαλυβδοελασμάτων, μερικά από τα οποία πλέον παράγονται και στην Ελλάδα, με πάχη ελάσματος από 0,6-1,5mm.

Τα χαλυβδόφυλλα σαν καπτόμενα στοιχεία είναι συνήθως κατηγορίας 4 και γι'αυτό ο έλεγχος σε αντοχή και λειτουργικότητα γίνεται συνήθως με τη βοήθεια πινάκων που παρέχουν οι κατασκευαστές.

Κατά τη φάση σκυροδέτησης, που συνήθως είναι η δυσμενέστερη για το χαλυβδόφυλλο σημαντικό είναι να περιοριστούν τα βέλη, ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο συσσώρευσης του σκυροδέματος. (ponding).

Το μέγιστο βέλος κάμψης θα πρέπει να είναι $f_{\max} < 1/250$ ή $f_{\max} < 20\text{mm}$

⁴ 'Σχεδιασμός σύμμικτων δομικών στοιχείων σύμφωνα με τον EC4'. Φαίδων Σ. Καρυδάκης, pdf file

Στον έλεγχο αυτό, όπως και στον έλεγχο αντοχής λαμβάνονται υπόψη οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί φορτίσεων, και πρόσθετα φορτία σκυροδέτησης, $0,75\text{kN/m}^2$, σε όση επιφάνεια είναι δυσμενές, και επιπρόσθετο φορτίο $0,75\text{kN/m}^2$, σε μια επιφάνεια $3.0 \times 3.0\text{m}$ στη δυσμενέστερη θέση.

Φάση Λειτουργίας:

Στη φάση λειτουργίας διεξάγονται έλεγχοι που αφορούν την ικανότητα παραλαβής της έντασης έναντι αρνητικής και θετικής ροπής κάμψης καθώς και έναντι κατακόρυφης και διαμήκους διάτμησης. Επίσης ελέγχονται οι παραμορφώσεις, οι οποίες θα πρέπει να είναι συμβατές με προκαθορισμένα όρια.

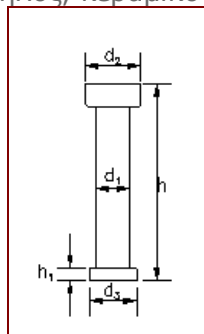
Στην κάμψη το χαλυβδοέλασμα, σαν συνελκόμενος οπλισμός υπερεπαρκεί.

10 Διατμητικοί σύνδεσμοι -ήλοι κεφαλής

Ο συνηθέστερος τύπο σύνδεσης των δυο επιφανειών των σύμμικτων υλικών (σκυρόδεμα –χάλυβας) είναι οι ήλοι κεφαλής.



Εικόνα 8 ήλος, κεραμικό δακτυλίδι.



Οι διατμητικοί ήλοι κεφαλής, χαρακτηρίζονται από:

- την διάμετρο τους d_1 (συνήθως Φ13, Φ15, Φ19, Φ22)
- το ύψος τους h ,
- τη διάμετρο της κεφαλής τους, η οποία είναι ανάλογα μεγαλύτερη (d_2),
- μια ακίδα που φέρουν στο πόδα και η οποία βοηθά στην διαδικασία συγκόλλησης,
- συνοδεύονται από ένα κεραμικό δακτυλίδι, που προφυλάσσει από την οξειδωση στην υψηλή θερμοκρασία της τήξης και της συγκόλλησης και βοηθάει στη διαμόρφωση της τελικής επιφάνειας συγκόλλησης.

Η αντοχή των διατμητικών συνδέσμων καθορίζεται από την αντοχή του μέσου σύνδεσης, και την αντοχή του σκυροδέματος σε σύνθλιψη άντυγας. Ειδικότερα, η οριακή αντοχή του ήλου εντός συμπαγούς πλάκας σκυροδέματος προσδιορίζεται από τη σχέση⁵:

$$P_{rd} = \min \left\{ 0.8 \cdot f_u \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_s^2}{4} \right) \cdot \frac{1}{\gamma_V}, 0.29 \cdot \alpha \cdot d_s^2 \cdot \sqrt{E_{cm} \cdot f_{ck}} \cdot \frac{1}{\gamma_V} \right\} \text{ Εξίσωση 10a}$$

όπου f_u η ονομαστική τιμή αντοχής του ήλου (η οποία σύμφωνα με τις οδηγίες του EC4 δεν δύναται να υπερβεί τα 500 MPa⁶), d_s η διάμετρος του κορμού του ήλου, f_{ck} η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος, E_{cm} το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος, γ_V ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας ($\gamma_V=1.25$). Ο συντελεστής α δίδεται από τη σχέση:

⁵ Συμμικτες Κατασκευές, Τει Πειραιά, κ.Χ.Δήμου

⁶ Βάγιας Ι. Κ., (2001) «Σύμμικτες Κατασκευές – 2η Έκδοση», Εκδόσεις Κλειδάριθμος

$$a = \begin{cases} 0.2 \cdot \left(\frac{h}{d_s} + 1 \right) & 3 \leq \frac{h}{d_s} \leq 4 \\ 1 & 4 < \frac{h}{d_s} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 10β}$$

όπου h το ύψος του ήλου. Η παραπάνω σχέση σύμφωνα με τον EC4⁷ παρουσιάζεται διαφοροποιημένη ως προς τα όρια του λόγου ύψος προς διάμετρο ως:

$$a = \begin{cases} 0.2 \cdot \left(\frac{h}{d_s} + 1 \right) & 2 \leq \frac{h}{d_s} \leq 4 \\ 1 & 4 < \frac{h}{d_s} \end{cases} \quad \text{Εξίσωση 10γ}$$

Σε κάθε περίπτωση δεν επιτρέπεται η χρήση ήλων με λόγους h/d_s μικρότερους από 3 ή 2 αντίστοιχα.

Στην περίπτωση όπου μεταξύ του σκυροδέματος και της διατομής του χάλυβα παρεμβάλλεται αυλακωτό χαλυβδόφυλλο η αντοχή δίδεται από τη σχέση:

$$P_{rd} = k \cdot P_{rd} \quad \text{Εξίσωση 10δ}$$

Όπου ως k (k_l ή k_t ανάλογα της διεύθυνσης των αυλακώσεων ως προς το διαμήκη άξονα της δοκού) ορίζεται μειωτικός συντελεστής. Στην περίπτωση χρήσης αυλακωτού χαλυβδόφυλλου με διεύθυνση αυλακώσεων παράλληλη προς τον διαμήκη άξονα της σιδηροδοκού ο μειωτικός συντελεστής δίδεται ως:

⁷ Ευρωκώδικας 4 «Υπολογισμός Σύμμικτων Κατασκευών με τον Ευρωκώδικα 4», Έκδοση 99-05.

$$k_l = 0.6 \cdot \frac{b_o}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) \quad h \leq h_p + 75\text{mm}$$

Εξίσωση 10ε

Όπου το μέσο πλάτος της αυλάκωσης b_o ορίζεται σύμφωνα με το πιο κάτω σχήμα ανάλογα της μορφής των αυλακώσεων και h_p είναι το ύψος του μεταλλικού φύλλου. Το ύψος του ήλου δεν δύναται να είναι μικρότερο του ύψους μεταλλικού φύλλου. Στην περίπτωση όπου η διεύθυνση των αυλακώσεων του χαλυβδόφυλλου είναι κάθετη στο διαμήκη άξονα της δοκού (αυλακώσεις κατά τον εγκάρσιο άξονα) ο μειωτικός συντελεστής ορίζεται ως:

$$k_t = \frac{0.7}{\sqrt{N_r}} \cdot \frac{b_o}{h_p} \cdot \left(\frac{h}{h_p} - 1 \right) \quad h \leq h_p + 75\text{mm}$$

Εξίσωση 10στ

Όπου ως N_r ορίζεται το πλήθος των διατμητικών ήλων σε κάθε αυλάκωση στη σύνδεση με τη δοκό. Είναι απαραίτητο σε κάθε αυλάκωση να τοποθετείται ένας ή περισσότεροι ήλοι αλλά για τη τιμή του N_r ισχύει ότι $N_r \leq 2$.

Τέλος στην περίπτωση όπου ένας διατμητικός ήλος εξασφαλίζει σύνδεση και σε δοκό και σε πλάκα και παραλαμβάνει διατμητικές τάσεις τόσο από τη δοκό όσο και από τη πλάκα ($F_{l,SD}$ και $F_{t,SD}$ αντίστοιχα) για τον καθορισμό της αντοχής της διατμητικής σύνδεσης ισχύει η σχέση αλληλεπίδρασης:

$$\frac{(F_{l,SD})^2}{(P_{l,rd})^2} + \frac{(F_{t,SD})^2}{(P_{t,rd})^2} \leq 1$$

Εξίσωση 10ζ

Η παραπάνω σχέση αλληλεπίδρασης στην περίπτωση των σύμμικτων πλακών κατά Βάγια δίδεται από τη σχέση:

$$\frac{(F_{l,SD})^2}{(P_{rd})^2} + \frac{(F_{t,SD})^2}{(k \cdot P_{rd})^2} \leq 1$$

Εξίσωση 10η

Μία συντηρητική προσέγγιση των εξισώσεων 7-8 δίδεται ως:

$$\frac{F_{l,SD}}{k \cdot P_{rd}} + \frac{F_{t,SD}}{P_{rd}} \leq 1$$

Εξίσωση 10θ

Εφόσον $F_{l,SD}$ είναι μεγαλύτερο του $F_{t,SD}$.

Κατανομή διατμητικών συνδέσμων

Ο συνολικός αριθμός των απαιτούμενων διατμητικών συνδέσμων (N) εντός του κρίσιμου μήκους προκύπτει από το πηλίκο της δρώσας δύναμης προς την αντοχή του συνδέσμου:

$$N = \frac{V_{l,d}}{P_{rd}}$$

Εξίσωση 2ι

Η κατανομή των συνδέσμων εντός του μήκους όπου υπολογίζεται η διατμητική δρώσα δύναμη σχεδιασμού ($V_{l,d}$) μπορεί να γίνει κατ' αναλογία του διαγράμματος τεμνουσών δυνάμεων στην περίπτωση της ελαστικής ανάλυσης. Στην περίπτωση της πλαστικής ανάλυσης απαιτείται ακόμα ότι οι σύνδεσμοι θα πληρούν τις απαιτήσεις ολκιμότητας.

10.1 Επιρροή Χαλυβδόφυλλων

Εφόσον τα φατνώματα του χαλυβδόφυλλου διέρχονται παράλληλα πριν διαμήκη άξονα της δοκού, τότε η περιοχή του σκυροδέματος, στην οποία βρίσκονται οι ήλοι (κεφάλαιο 10), έχει τη μορφή μαρκίζας. Η οριακή δύναμη του ήλου προκύπτει από την επιβολή μειωτικού συντελεστή k_p επί της τιμής

της οριακής δύναμης για συμπαγές σκυρόδεμα, ο οποίος δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$K_p = 0,6 * \left(\frac{b_o}{h_p}\right) * \left(\frac{h}{h_p} - 1\right) \leq 1,0 \text{ (εξίσωση 10.1}^{\alpha}\text{)}$$

Όπου $h = h_p + 75$ (mm)

Έαν τα φατνώματα του χαλυβδόφυλλου διέρχονται κάθετα προς τον άξονα της δοκού, τότε για φάτνωμα ύψους κυψέλης h_p όχι μεγαλύτερο από 85mm και πλάτους b_o όχι μικρότερο του h_p η οριακή δύναμη των ήλων προκύπτει με την επιβολή μειωτικού συντελεστή kt επί της οριακής δύναμης για συμπαγές σκυρόδεμα ο οποίος υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$kt = \frac{0,7}{\sqrt{N_r}} * \frac{b_o}{h_p} * \left[\frac{h}{h_p} - 1\right] \text{ (εξίσωση 10.1}^{\beta}\text{)}$$

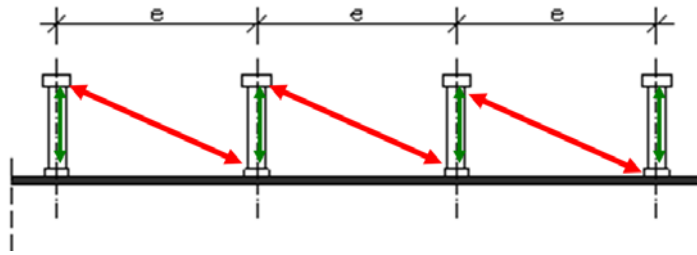
Όπου N_r ο αριθμός των ήλων ανά κυψέλη φατνώματος, μέγιστος 2.

10.2 Κατασκευαστικοί Περιορισμοί κατά την τοποθέτηση των διατμητικών ήλων κεφαλής¹⁰

Στην περίπτωση των διατμητικών ήλων πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Αν τοποθετούνται 2 ή περισσότεροι ήλοι στην ίδια θέση (ως προς το διαμήκη άξονα της σιδηροδοκού) τότε το $\sum d_{s,i} \leq 2,5 \cdot t_f$ όπου t_f το πάχος του πέλματος.
2. Οι ελάχιστες αποστάσεις διατμητικών ήλων διαμέτρου d_s είναι:
 - a. $5 \cdot d_s$ στη διεύθυνση της δύναμης (διαμήκης άξονας)

- b. $2.5 \cdot d_s$ ή $4 \cdot d_s$ κάθετα στη διεύθυνση αυτής για συμπαγείς ή σύμμικτες πλάκες (πλάκες με χαλυβδόφυλλα) αντίστοιχα.



Εικόνα 10 οι απόστασεις μεταξύ των ήλων, εδώ $e = d_s$

3. Η μέγιστη απόσταση των ήλων να μην υπερβαίνει το $6 \cdot d$ (όπου d πάχος πλάκας) ή τα 800mm.
4. Η μέγιστη καθαρή απόσταση ήλων και άλλων τύπων συνδέσμων από το άκρο του πέλματος της δοκού είναι ίση με $9 \cdot t_f \cdot \varepsilon$ όπου $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$.
5. Η ελάχιστη επικάλυψη των ήλων καθώς και των λοιπών τύπων συνδέσμων να είναι ίση με 20mm ή ότι προβλέπεται βάσει του κανονισμού σκυροδέματος μείον 5mm.

10.3 Χάλυβας Κοχλιών

Οι ποιότητες των κοχλιών καθορίζονται από την προδιαγραφή ISO 898. Η ποιότητα συμβολίζεται με 2 αριθμούς ως εξής:

- 1^{ος} Αριθμός: 1/100 της εφελκυστικής αντοχής f_{ub} [MPa]
- 2^{ος} Αριθμός: ο λόγος f_{yb}/f_{ub} (όπου f_{yb} το όριο διαρροής) επί 10.

Ποιότητα Κοχλία	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb}	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub}	400	400	500	500	600	800	1000

Πίν. 4: Όριο διαρροής και εφελκυστικής αντοχής για κοχλίες⁸ (MPa)

⁸ Βάγιας, Ι.Κ. (2001) "Σύμμικτες Κατασκευές", Εκδόσεις Κλειδαριθμός.

¹⁰ Σύμμικτες Κατασκευές, Τει Πειραιά, κ.Χ.Δήμου

Για το συντελεστή ασφαλείας $\gamma_{bw}=1.25$. Ο λόγος της επιλογής υψηλότερου συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με τους αντίστοιχους συντελεστές για το δομικό χάλυβα και το χάλυβα σκυροδέτησης αποδίδεται στο ψαθυρό τρόπο θραύσης των κοχλιών.

11 Βελτιστοποίηση

Βελτιστοποίηση:

1. Βελτιστοποίηση: Η διαδικασία εύρεσης της καλύτερης δυνατής λύσης ενός προβλήματος ως προς κάποια παράμετρο (αντικειμενική) υπό την προϋπόθεση εξασφάλισης των αρχών σχεδιασμού (περιορισμοί).

2. Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης αποτελούν εργαλεία με τα οποία πραγματοποιείται μία καθοδηγούμενη προσπάθεια διερεύνησης του προβλήματος του σχεδιασμού. Οι μέθοδοι αυτές εστιάζουν την προσπάθεια τους στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας της οριστικής μελέτης ή σε προβλήματα βέλτιστου τυπολογικού σχεδιασμού καλύπτουν και τη φάση της προμελέτης. Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό κατασκευών για 4 περίπου δεκαετίες. Η πρώτη αναφορά σε προβλήματα κατασκευών συνδυασμού μεθόδων ανάλυσης με μεθόδους βελτιστοποίησης αποδίδεται στον Schmit το 1960.

3. Στόχος των μεθόδων βελτιστοποίησης είναι μέσω της μεταβολής των τιμών των σχεδιαστικών παραμέτρων, η επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος ως προς συγκεκριμένο κριτήριο, για συγκεκριμένο πρόβλημα, ικανοποιώντας μία σειρά περιορισμών. Με άλλα λόγια, η βασική αρχή του βέλτιστου σχεδιασμού είναι η κατανομή των διαθέσιμων πόρων κατά τρόπο στη φάση της μελέτης και προμελέτης ενός έργου που να μεγιστοποιεί την ωφέλεια από τη χρήση του.

11.1 Μέθοδοι Βελτιστοποίησης

Εισαγωγή

Ο σχεδιασμός των κατασκευών πραγματοποιείται κατά φάσεις. Συνήθως η μελέτη ξεκινά με μία ή περισσότερες ιδέες που αποτελούν και την προκαταρκτική μελέτη οι οποίες στη συνέχεια υποβάλλονται στη δοκιμασία της συμμόρφωσης με τις λειτουργικές και αισθητικές απαιτήσεις καταλήγοντας στο στάδιο της προμελέτης. Στη φάση αυτή συνήθως ο φορέας έχει ορισθεί πλήρως ως προς την τοπολογία και τις χρήσεις του. Με βάση την προμελέτη καταρτίζεται στη συνέχεια η οριστική μελέτη που καλύπτει και τις απαιτήσεις των κανονιστικών διατάξεων ως προς την αντοχή και τη λειτουργικότητα της.

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης αποτελούν εργαλεία με τα οποία πραγματοποιείται μία καθοδηγούμενη προσπάθεια διερεύνησης του προβλήματος του σχεδιασμού. Οι μέθοδοι αυτές εστιάζουν την προσπάθεια τους στην αυτοματοποίηση της διαδικασίας της οριστικής μελέτης ή σε προβλήματα βέλτιστου τοπολογικού σχεδιασμού καλύπτουν και τη φάση της προμελέτης. Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό κατασκευών για 4 περίπου δεκαετίες. Η πρώτη αναφορά σε προβλήματα κατασκευών συνδυασμού μεθόδων ανάλυσης με μεθόδους βελτιστοποίησης αποδίδεται στον Schmit το 1960.

Στόχος των μεθόδων βελτιστοποίησης είναι μέσω της μεταβολής των τιμών των *σχεδιαστικών παραμέτρων*, η επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος ως προς *συγκεκριμένο κριτήριο*, για συγκεκριμένο πρόβλημα, ικανοποιώντας μία *σειρά περιορισμών*. Με άλλα λόγια, η βασική αρχή του βέλτιστου σχεδιασμού είναι η κατανομή των διαθέσιμων πόρων κατά τρόπο στη φάση της μελέτης και προμελέτης ενός έργου που να μεγιστοποιεί την ωφέλεια από τη χρήση του.

Ως βέλτιστος σχεδιασμός ορίζεται η σχεδίαση η οποία πληροί το σύνολο των προϋποθέσεων σχεδιασμού και ελαχιστοποιεί μία συγκεκριμένη αντικειμενική συνάρτηση. Στην περίπτωση των πολυκριτηριακών προβλημάτων ως βέλτιστος σχεδιασμός ορίζεται «ο σχεδιασμός που

προσφέρει τον καλύτερο δυνατό συμβιβασμό για σύνολο αντιμαχόμενων στόχων.

Ως αντικειμενική συνάρτηση ορίζεται η ποσότητα για την οποία απαιτείται η ελαχιστοποίηση ή η μεγιστοποίηση της σε συγκεκριμένο πεδίο τιμών. Ως συναρτήσεις περιορισμών ορίζονται οι απεικονίσεις του συνόλου των περιορισμών που πρέπει να πληρούνται από κάθε υποψήφιο βέλτιστο σχεδιασμό ώστε ο σχεδιασμός αυτός να θεωρείται αποδεκτός. Η αντικειμενική συνάρτηση ή στην περίπτωση πολυκριτηριακής βελτιστοποίησης, το πλήθος των αντικειμενικών συναρτήσεων καθώς και το σύνολο των συναρτήσεων που εκφράζουν τους περιορισμούς του προβλήματος δίδονται ως σχέσεις του διανύσματος των μεταβλητών σχεδιασμού.

Ως μεταβλητές σχεδιασμού (μ.σ) ορίζονται οι σχεδιαστικές παράμετροι του προβλήματος για τις οποίες αναζητείται ο συνδυασμός που θα ελαχιστοποιήσει ή μεγιστοποιήσει την αντικειμενική συνάρτηση ή θα προσφέρει τον καλύτερο δυνατό συμβιβασμό στην περίπτωση των πολυκριτηριακών προβλημάτων. Το σύνολο των μ.σ, ορίζει το διάνυσμα των μ.σ. Οι μ.σ, μπορεί να είναι συνεχείς ή διακριτές.

11.1.1 Κατηγοριοποίηση Μεθόδων Βελτιστοποίησης

Τα προβλήματα βελτιστοποίησης ανάλογα με την υφή των μ.σ, καθώς και το τύπο της αντικειμενικής συνάρτησης και των συναρτήσεων περιορισμού χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Συνεχείς μ.σ, συναρτήσεις αντικειμενικής, και συναρτήσεις περιορισμών. Οι συναρτήσεις της αντικειμενικής και των περιορισμών παραγωγίσιμες με συνεχείς πρώτες παραγώγους.
- Μίξη συνεχών και διακριτών μ.σ υπό την προϋπόθεση ότι οι διακριτές μεταβλητές αντιμετωπίζονται ως συνεχείς. Οι συναρτήσεις της αντικειμενικής και των περιορισμών είναι συνεχείς και παραγωγίσιμες με συνεχείς πρώτες παραγώγους.

- Μίξη συνεχών και διακριτών μ.σ όπου οι συναρτήσεις αντικειμενικής και περιορισμών είναι μη παραγωγίσιμες στο χώρο σχεδιασμού και οι διακριτές μεταβλητές αντιμετωπίζονται ως συνεχείς.
- Μίξη συνεχών και διακριτών μ.σ όπου οι συναρτήσεις της αντικειμενικής και των περιορισμών είναι δυνατό να είναι ή να μην είναι συνεχείς και παραγωγίσιμες και οι διακριτές μεταβλητές αντιμετωπίζονται ως διακριτές.
- Μίξη συνεχών και διακριτών μ.σ όπου οι συναρτήσεις της αντικειμενικής και των περιορισμών είναι δυνατό να είναι ή να μην είναι συνεχείς και παραγωγίσιμες και οι διακριτές μεταβλητές είναι πεπλεγμένες με άλλες μεταβλητές και η τιμή για μία οι περισσότερες από αυτές καθορίζει την τιμή των υπολοίπων πεπλεγμένων μεταβλητών.

11.1.2 Μέθοδοι βελτιστοποίησης για προβλήματα συνεχών μεταβλητών σχεδιασμού

Οι μέθοδοι γραμμικού προγραμματισμού (Linear Programming LP) και μη γραμμικού προγραμματισμού (Non Linear Programming, NLP) αποτελούν και τις πιο διαδεδομένες κατηγορίες μεθόδων για τη λύση προβλημάτων συνεχών μεταβλητών. Για τις μεθόδους αυτές πρέπει να εξασφαλίζεται η συνέχεια και ύπαρξη παραγώγων για την αντικειμενική συνάρτηση και τις συναρτήσεις περιορισμών. Οι μέθοδοι αυτές χωρίζονται στην κατηγορία των άμεσων μεθόδων και έμμεσων μεθόδων:

- ✓ Μέθοδος μέγιστης κλίσης- (Method of Steepest Descent)
- ✓ Μέθοδος των δυνατών διευθύνσεων (Method of Feasible Directions)
- ✓ Τροποποιημένη Μέθοδος Δυνατών Διευθύνσεων - (Modified MFD)
- ✓ Μέθοδος Γραμμικού Προγραμματισμού – (Sequential Linear Programming)

- ✓ Μέθοδος των Εγγεγραμμένων Σφαιρών – (Method of Inscribed Spheres MIS)
- ✓ Μέθοδος Δευτεροβάθμιου Προγραμματισμού – (Sequential Quadratic Programming SQP)
- ✓ Μέθοδος Κυρτού Προγραμματισμού – (Sequential Convex Programming)
- ✓ Μέθοδος Μεταβαλλόμενων Ασύμπτωτων – (Method of Moving Asymptotes)

Οι μέθοδοι βελτιστοποίησης που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα άμεσα ή έμμεσα στηρίζονται στη μεγιστοποίηση ή ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης ικανοποιώντας ταυτοχρόνως το πλήθος απαιτήσεων σχεδιασμού.

Ο τρόπος ορισμού του προβλήματος εξασφαλίζει ότι οι μέθοδοι αυτές θα βελτιώσουν την αρχική σχεδίαση ή θα επιβεβαιώσουν ότι ο αρχικός σχεδιασμός αποτελεί για την ευρύτερη περιοχή του χώρου των μ.σ, ο καλύτερος δυνατός σχεδιασμός.

11.1.3 Μέθοδοι βελτιστοποίησης για προβλήματα διακριτών μεταβλητών σχεδιασμού

Οι κυριότερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται σε προβλήματα βελτιστοποίησης με διακριτές μ.σ χωρίζονται στις αναλυτικές μεθόδους και τις στοχαστικές μεθόδους.

Στην κατηγορία των αναλυτικών μεθόδων κατατάσσονται οι μέθοδοι:

- Διακλάδωσης και Φραγής (Branch and Bound Method).
- Διαδοχικής Γραμμικοποίησης (Sequential Linearization Method).
- Ακέραιου Προγραμματισμού (Integer Programming).

Στην κατηγορία των στοχαστικών μεθόδων κατατάσσονται οι μέθοδοι:

- Γενετικών Αλγορίθμων (Genetic Algorithms)
- Εξερεύνησης Tabu (Tabu Search)
- Προσομοιωμένης Ανόπτησης (Simulated Annealing)
- Εξελικτικές Στρατηγικές (Evolutionary Strategies)
- Συνεξελικτικές Στρατηγικές (Coevolution Strategies)

Οι αναλυτικές μέθοδοι αντιμετωπίζουν το πρόβλημα βελτιστοποίησης κατά ντετερμινιστικό τρόπο μέσω της κατάστρωσης ενός μαθηματικού προβλήματος και της εύρεσης της λύσης που ικανοποιεί τα κριτήρια του προβλήματος αυτού. Στην περίπτωση κυρτού χώρου σχεδιασμού διασφαλίζεται η εύρεση της ακρότατης τιμής.

Οι στοχαστικές μέθοδοι αντιμετωπίζουν το πρόβλημα βελτιστοποίησης με ποικίλους τρόπους. Βασικό τους γνώρισμα είναι ότι δεν είναι δυνατό να διασφαλιστεί η εύρεση του απόλυτου ελαχίστου ή μεγίστου εφόσον οι μέθοδοι αυτές στηρίζονται στην εξέλιξη ακολουθιών τυχαίων γεγονότων.

11.2 Γενετικοί Αλγόριθμοι⁹:

Οι γενετικοί αλγόριθμοι (Genetic algorithms) μαζί με τον Εξελικτικό Προγραμματισμό (Evolutionary Programming), τις Στρατηγικές εξέλιξης, τα συστήματα ταξινόμησης και το γενετικό προγραμματισμό, αποτελούν μια κατηγορία συστημάτων επίλυσης προβλημάτων που είναι ευρύτερα γνωστή με τον ορο εξελικτικοί αλγόριθμοι (Evolutionary Algorithms).

Εισαγωγικά, η πρώτη εμφάνιση των Γενετικών Αλγορίθμων χρονολογείται στις αρχές του 1950, όταν διάφοροι επιστήμονες από το χώρο της βιολογίας αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν υπολογιστές στην προσπάθειά τους να προσομοιώσουν πολύπλοκα βιολογικά συστήματα.

⁹ Έξελικτικός προγραμματισμός: Νέες μέθοδοι βελτιστοποίησης' Σωκράτης Κ. Κάτσικας, Τμήμα Μηχ/κών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων. Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Η συστηματική τους ανάπτυξη όμως οδήγησε στην μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Στις αρχές του 1970 ο John Holland (Holland 1975) και οι συνεργάτες του από το Πανεπιστήμιο Michigan έκαναν την αρχή.

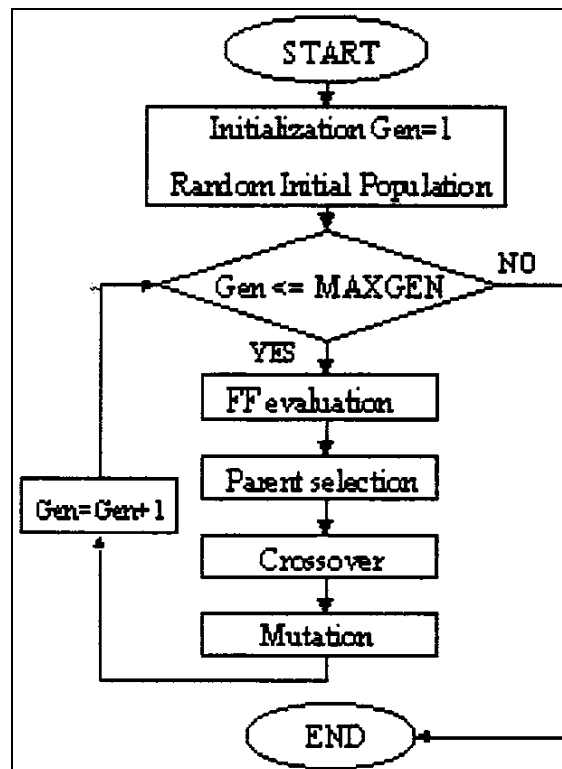
Η βασική ιδέα που κρύβεται πίσω από τους Γενετικούς αλγορίθμους είναι η μίμηση των μηχανισμών της βιολογικής εξέλιξης που βρίσκουμε και στη φύση.

Οι Γ.Α. χρησιμοποιούν ορολογία δανεισμένη από το χώρο της Φυσικής Γενετικής. Αναφέρονται σε άτομα (Individuals) ή γενότυπους (genotypes) μέσα σε ένα πληθυσμό. Κάθε άτομο ή γενότυπος αποτελείται από χρωμοσώματα (chromosomes). Στους Γ.Α. αναφερόμαστε συνήθως σε άτομα με ένα μόνο χρωμόσωμα. Τα χρωμοσώματα αποτελούνται από γονίδια (genes) που είναι διατεταγμένα σε γραμμική ακολουθία. Κάθε γονίδιο επηρεάζει την κληρονομικότητα ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών. Τα γονίδια που επηρεάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του ατόμου βρίσκονται και σε συγκεκριμένες θέσεις του χρωμοσώματος που καλούνται loci. Κάθε χαρακτηριστικό γνώρισμα του ατόμου έχει τη δυνατότητα να εμφανιστεί με διαφορές μορφές, ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το αντίστοιχο γονίδιο που το επηρεάζει. Οι διαφορετικές αυτές καταστάσεις που μπορεί να πάρει το γονίδιο καλούνται alleles (τιμές χαρακτηριστικού γνωρίσματος).

Κάθε γενότυπος αναπαριστά μια πιθανή λύση σε ένα πρόβλημα. Το «αποκωδικοποιημένο» περιεχόμενο ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος καλείται φαινότυπος (phenotype). Μια διαδικασία εξέλιξης που εφαρμόζεται πάνω σ' ένα πληθυσμό αντιστοιχεί σε ένα εκτενές ψάξιμο στο χώρο των πιθανών λύσεων. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχημένη έκβαση του ψαξίματος αποτελεί η εξισορρόπηση δυο διαδικασιών που είναι προφανές αντικρουόμενες, της εκμετάλλευσης και της διατήρησης των καλύτερων λύσεων και της όσο δυνατόν καλύτερης εξερεύνησης όλου του διαστήματος.

Οι Γ.Α. διατηρούν έναν πληθυσμό πιθανών λύσεων σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους αναζήτησης που επεξεργάζονται ένα μόνο σημείο του διαστήματος αναζήτησης. Έτσι ένα Γ.Α. πραγματοποιεί αναζήτηση σε πολλές κατευθύνσεις και υποστηρίζει καταγραφή και ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ αυτών των κατευθύνσεων. Ο πληθυσμός υφίσταται μια προσομοιωμένη γενετική εξέλιξη. Σε κάθε γενιά οι σχετικά «καλές» λύσεις αναπαράγονται, ενώ οι σχετικά «κακές» απορρίπτονται. Ο διαχωρισμός και η αποτίμηση των διαφόρων λύσεων γίνεται με τη βοήθεια μια αντικειμενικής συνάρτησης (Objective ή fitness function) η οποία παίζει το ρόλο του περιβάλλοντος μέσα στο οποίο εξελίσσεται ο πληθυσμός.

11.2.1 Συνοπτικά η διαδικασία λειτουργίας των Γ.Α:



Εικόνα 11 Flow Chart. Διάγραμμα ροής

- **Ένας Γ.Α. αποτελείται από:**

- Γενετική αναπαράσταση
- Τρόπο δημιουργίας ενός αρχικού πληθυσμού
- Αντικειμενική συνάρτηση αξιολόγησης

- Γενετικούς τελεστές
- Τιμές για τις διάφορες παραμέτρους

11.2.2 Βασικά Χαρακτηριστικά:

Τα βασικά χαρακτηριστικά των Γενετικών Αλγορίθμων συνοψίζονται ως:

- Δουλεύουν με μια κωδικοποίηση του συνόλου τιμών που μπορούν να λάβουν οι μεταβλητές και όχι με τις ίδιες τις μεταβλητές του προβλήματος.
- Κάνουν αναζήτηση σε πολλά σημεία ταυτόχρονα και όχι μόνο σε ένα.
- Χρησιμοποιούν μόνο την αντικειμενική συνάρτηση και καμία επιπρόσθετη πληροφορία.
- Χρησιμοποιούν πιθανοθεωρητικούς κανόνες μετάβασης και όχι ντετερμινιστικούς.

Τα **Πλεονεκτήματα** της μεθόδου συνοψίζονται ως:

- Μπορούν να επιλύουν δύσκολα προβλήματα γρήγορα και αξιόπιστα.
- Μπορούν εύκολα να συνεργαστούν με τα υπάρχοντα μοντέλα και συστήματα
- Είναι εύκολα επεκτάσιμοι και εξελίξιμοι.
- Μπορούν να συμμετέχουν σε υβριδικές μορφές με άλλες μεθόδους.
- Εφαρμόζονται σε πολύ περισσότερα πεδία από κάθε άλλη μέθοδο.
- Δεν απαιτούν περιορισμούς στις συναρτήσεις που επεξεργάζονται.
- Δεν ενδιαφέρει η σημασία της υπό εξέταση πληροφορίας.
- Έχουν από τη φύση τους το στοιχείο του παραλληλισμού.
- Είναι μία μέθοδος που κάνει ταυτόχρονα εξερεύνηση του χώρου αναζήτησης και εκμετάλλευση της ήδη επεξεργασμένης πληροφορίας.
- Επιδέχονται παράλληλη υλοποίηση.

Τα βασικά **Μειονεκτήματα** της μεθόδου συνοψίζονται ως:

- Υψηλό υπολογιστικό κόστος σε σύγκριση με τις μαθηματικές μεθόδους βελτιστοποίησης.

- Ευαισθησία ως προς τις βασικές παραμέτρους του αλγορίθμου.

11.2.3 Οι Γ.Α:

- Διατηρούν έναν πληθυσμό κωδικοποιημένων πιθανών λύσεων
- Εξελίσσουν τον πληθυσμό εφαρμόζοντας σ αυτόν διάφορες γενετικές διαδικασίες:
 - Διαδικασίες επιλογής,
 - Διαδικασίες αναπαραγωγής,
 - Διαδικασίες μετάλλαξης.
- Δημιουργούν νέο πληθυσμό που αντικαθιστά τον προηγούμενο.
- Επαναλαμβάνουν τη διαδικασία έως ότου «βρουν λύση».

11.2.4 Γενετικοί Τελεστές:

- **Επιλογή:** Με συγκεκριμένο τρόπο επιλέγονται τα «καταλληλότερα» μέλη του πληθυσμού για διασταύρωση και μεταφορά στην επόμενη γενεά.
- **Διασταύρωση:** συνδυάζει τα στοιχεία δύο χρωμοσωμάτων γονέων για να δημιουργήσει δύο νέους απογόνους ανταλλάσσοντας αντίστοιχα κομμάτια από τους γονείς.
- **Μετάλλαξη:** αλλάζει αυθαίρετα ένα ή περισσότερα γονίδια ενός συγκεκριμένου χρωμοσώματος.

12 ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ:

ΦΟΡΤΙΑ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΕ ΓΕΦΥΡΕΣ.¹⁰

Ε 1991-2 (ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2003)

ΓΕΝΙΚΑ:

Το μέρος 2 του ΕΝ 1991 (ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 1) **προδιαγράφει** τα επιβαλλόμενα φορτία (κατακόρυφα και οριζόντια) τα οποία χρησιμοποιούνται για οδικές, σιδηροδρομικές και γέφυρες πεζών, σε συνδυασμό με τα υπόλοιπα μέρη των Ευρωκωδίκων 0-9 (ΕΝ 1990-ΕΝ1999) που αναφέρονται σε γέφυρες.

Δεν προδιαγράφονται: ειδικά φορτία σχετικά με την κίνηση στρατιωτικών οχημάτων, τραμ, γέφυρες όπου εξυπηρετούν συγχρόνως οδικά οχήματα και τρένα, καθώς επίσης προσκρούσεις πλοίων ή αεροπλάνων.

Εδώ γίνεται αναφορά μόνο στις δράσεις επί οδικών γεφυρών και πεζογεφυρών. Οι δράσεις αυτές διακρίνονται σε:

- a. Μεταβλητές
- b. Τυχηματικές

Όταν πρόκειται για κανονικές συνθήκες χρήσης τα φορτία κυκλοφορίας οχημάτων και πεζών θεωρούνται ως μεταβλητές δράσεις. Οι δράσεις που προκαλούνται από πρόσκρουση ή άλλου είδους ατυχήματα, όταν δεν έχουν ληφθεί επαρκή προστατευτικά μέτρα, θεωρούνται ως τυχηματικές δράσεις.

Οι διάφορες αντιπροσωπευτικές τιμές των μεταβλητών δράσεων διακρίνονται σε:

- Χαρακτηριστικές (στατιστικές ή ονομαστικές)
- Συχνές (frequent) με μέση περίοδο επαναφοράς μια εβδομάδα

¹⁰ Ευρωκώδικας 1. Κεφάλαιο 5. ΕΝ1991-2 Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες.

- Ημιμόνιμες (quasi-permanent)

12.1 ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΑ ΦΟΡΤΙΑ

Στον κανονισμό ορίζονται τέσσερα (4) μοντέλα φόρτισης (Μ.Φ.) για τα κατακόρυφα φορτία και δίνονται οι αντίστοιχες χαρακτηριστικές τιμές τους. Μέσω των μοντέλων αυτών επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός της επίδρασης των φορτίων κυκλοφορίας για τους ελέγχους σε οριακή κατάσταση αστοχίας καθώς και ορισμένους ελέγχους σε κατάσταση λειτουργικότητας.

12.1.1 Μοντέλο φόρτισης 1: ¹¹

Αποτελείται από συγκεντρωμένα και ομοιόμορφα φορτία και καλύπτει τις περισσότερες από τις επιδράσεις της κυκλοφορίας επιβατηγών και φορτηγών αυτοκινήτων και χρησιμεύει για γενικούς και τοπικούς ελέγχους.

Απαρτίζεται από 2 επιμέρους συστήματα:

α) τα συγκεντρωμένα φορτία δυο αξόνων (διαξονικό σύστημα-tandem system: TS), όπου ο κάθε άξονας έχει βάρος ίσο με:

$$a_Q \times Q_k$$

Όπου, a_Q

Είναι συντελεστές προσαρμογής

Q_k , Είναι η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου ενός άξονα.

Το αντίστοιχο βάρος του κάθε τροχού είναι $a_Q \cdot Q_k / 2$, η δε επιφάνεια επαφής του τροχού λαμβάνεται ίση με $0,40 \times 0,40 \text{ m}^2$

β) ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο (UDL) σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας ίσο με:

$$a_q \times q_k$$

όπου a_q είναι συντελεστές προσαρμογής

q_k είναι η χαρακτηριστική τιμή του ομοιομόρφου ανά m^2 .

Το αντίστοιχο φορτίο στην απομένουσα είναι ίσο με:

$$a_{qr} \times q_{rk}$$

¹¹ Ευρωκώδικας 1, Κεφάλαιο 5: EN 1991-2: Φορτία κυκλοφορίας σε γέφυρες.

Σε κάθε λωρίδα κυκλοφορίας επιτρέπεται να τοποθετείται κεντρικά κατά μήκος του άξονα της λωρίδας, μόνον ένα διαξονικό όχημα στην πλήρη μορφή, στην πλέον δυσμενή θέση, κατά μήκος μέσα στη λωρίδα. Το ίδιο ισχύει και για το διανεμημένο φορτίο, το οποίο πρέπει να τίθεται μόνον στα τμήματα εκείνα των επιφανειών επιρροής, τα οποία επαυξάνουν τις δυσμενείς επιπτώσεις λόγω κινητών φορτίων.

Στον πίνακα 6, φαίνονται οι βασικές τιμές των συγκεντρωμένων και ομοιομόρφων διανεμημένων φορτίων για κάθε λωρίδα, αλλά και για την απομένουσα επιφάνεια.

θέση		Διαξονικό όχημα (TS)	ομοιόμορφα διανεμημένο φορτίο (UDL)
		Φορτίο άξονα Q_{ik} (kN)	q_{rk} (kN/m ²)
Λωρίδα	1	300	9
Λωρίδα	2	200	2.5
Λωρίδα	3	100	2.5
Λοιπες Λωρίδες		0	2.5
Απομένουσα επιφάνεια q_{rk}		0	2.5

Πίνακας 6. Βασικές τιμές των συγκεντρωμένων και ομοιομόρφων διανεμημένων φορτίων

Σημείωση: το φορτίο q_{rk} τίθεται και στην επιφάνεια όπου τοποθετείται το διαξονικό όχημα. Δεν είναι απαραίτητο τα διαξονικά οχήματα των διαφόρων λωρίδων κυκλοφορίας να τοποθετούνται το ένα παραπλεύρως του άλλου κατά την εγκάρσια εννοια, αν από τις επιφάνειες επιρροής προκύπτει δυσμενέστερη διάταξη με τα οχήματα μετατοπισμένα. Υπάρχει όμως περιορισμός, για τοπικούς ελέγχους μόνον όπου μπορεί να γίνει και εγκάρσια μετατόπιση του διαξονικού οχήματος, η εγκάρσια απόσταση των αξόνων των τροχών στα γειτονικά οχήματα να είναι μεγαλύτερη ή ίση με 0,50m.

Για τον προσδιορισμό γενικών επιδράσεων, τα διαξονικά οχήματα θα θεωρούνται ότι κινούνται κατά μήκος των αξόνων των αντίστοιχων λωρίδων κυκλοφορίας. Όπως προαναφέρθηκε, δεν απαιτείται καμιά προσαύξηση προκειμένου να ληφθεί υπόψη η δυναμική επιρροή, αφού έχει ήδη συμπεριληφθεί στις τιμές των φορτίων Q_{ik} και q_{ik} .

Σχετικά με τους συντελεστές προσαρμογής a_{Qi} a_{qi} a_{qr} , εάν δεν υπάρχει συγκεκριμένη προδιαγραφή θα λαμβάνονται σαν μονάδα. Για γέφυρα χωρίς ειδική σήμανση περιορισμού βάρους των κυκλοφορούντων οχημάτων, θα τίθεται

$$a_{Qi} \geq 0.8$$

$$a_{qi} \geq 1.2 \text{ για } i \geq 2$$

Σε περίπτωση που μπορεί να γίνει ανεξάρτητος υπολογισμός των γενικών και τοπικών επιδράσεων, επιτρέπεται από τον κανονισμό οι γενικές επιδράσεις να υπολογίζονται εναλλακτικά με ένα από τα ακόλουθα απλοποιημένα συστήματα φόρτισης:

A. τα διαξονικά οχήματα της δεύτερης και τρίτης λωρίδας αντικαθίσταται από ένα διαξονικό όχημα που τοποθετείται στη δεύτερη (2^η) λωρίδα και έχει φορτίο άξονα ίσο με $200a_{q2} + 100a_{q3}$ σε KN.

B. για ανοίγματα μεγαλύτερα των 10m το καθένα από τα διαξονικά οχήματα όλων των λωρίδων αντικαθίσταται αντίστοιχα με ένα άξονα βάρους ίσου προς το βάρος του κάθε οχήματος. ($2 Q_{ik} a_{qi}$).

Υπάρχουν άλλα 3 μοντέλα αλλά δεν θα αναφερθούμε εδώ. (EC1, 5.2.2.1-4). Αναφορικά μόνο θυμίζεται ότι το μοντέλο φόρτισης 2 είναι για μονοαξονικό μοντέλο, το 3 για ειδικά οχήματα και το 4 για ανθρωποσυστοιχισμό.

12.1.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΜΕΝΩΝ ΓΟΡΤΙΩΝ

Τα συγκεντρωμένα φορτία των Μοντέλων 1 και 2 υποτίθεται ότι κατανέμονται ομοιόμορφα στις αντίστοιχες επιφάνειες επαφής. Η περαιτέρω κατανομή τους μέχρι το μέσο επίπεδο της πλακάς του καταστρώματος γίνεται υπό γωνία 45° .

12.2 ΟΡΙΖΟΝΤΙΑ ΦΟΡΤΙΑ

Τα οριζόντια φορτία τα οποία λαμβάνονται υπόψη, είναι η δύναμη τροχοπέδησης ή επιτάχυνσης που ενεργεί κατά το διαμήκη άξονα της γέφυρας και η φυγόκεντρη δύναμη που ενεργεί εγκάρσια προς το διαμήκη άξονα. Τα φορτία αυτά εφαρμόζονται στην επιφάνεια του τελειωμένου τάπητα της γέφυρας.

Η χαρακτηριστική τιμή Q_{ik} της δύναμης τροχοπέδησης ή επιτάχυνσης (με αντίθετη φορά) υπολογίζεται με βάση τα φορτία της Λωρίδας 1 για το μοντέλο φόρτισης 1, ως ακολούθως:

$$Q_{ik} = 0,6a_{Q1}(2Q_{1k}) + 0,10 a_{q1}w_1L \quad \text{με τον περιορισμό } 180 a_{Q1} \text{ KN} < 900 \text{ KN}$$

Όπου L το μήκος του καταστρώματος ή του τμήματος που ελέγχεται.

Έτσι εάν ληφθεί $a_{Q1} = a_{q1} = 1$ και $w_1 = 3,0\text{m}$ τότε για $L \geq 1,2\text{m}$ προκύπτει:

$$Q_{ik} = 360 + 2,7L \quad (\leq 900\text{KN})$$

Η δύναμη αυτή θεωρείται ότι εφαρμόζει κατά μήκος του άξονα οποιασδήποτε λωρίδας κυκλοφορίας. Εάν όμως η επιρροή της εκκεντρότητας είναι ασήμαντη, μπορεί να θεωρηθεί ότι δρα κατά μήκος του άξονα του οδοστρώματος, ομοιόμορφα διανεμημένη στο φορτιζόμενο μήκος L .

Η χαρακτηριστική τιμή της φυγόκεντρης δύναμης στην οποία περιλαμβάνεται και η δυναμική επιρροή και η οποία θεωρείται ότι δρα ως συγκεντρωμένη δύναμη ακτινικά σε κάθε διατομή, δίνεται στον παρακάτω πίνακα 7.

$Q_{tk} = 0,2Q_v$ (KN)	εάν $r < 200m$
$Q_{tk} = 40Q_v/r$ (KN)	εάν $200 \leq r \leq 1500m$
$Q_{tk} = 0$ (KN)	εάν $r > 1500m$

Πίνακας 7. Χαρακτηριστικές τιμές φυγόκεντρης δύναμης

Όπου:

r είναι η οριζόντια ακτίνα του άξονα του οδοστρώματος σε m

Q_v είναι το συνολικό βάρος των διαξονικών οχημάτων του μοντέλου φορτίσης (δηλ. $\sum a_{Qi}(2Q_{ik})$).

12.3 ΤΥΧΗΜΑΤΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

Οι δράσεις αυτές είναι αποτέλεσμα πρόσκρουσης οχημάτων στα βάρθα ή το κατάστρωμα της γέφυρας, καθώς και στα κράσπεδα ή τα στηθαία ασφαλείας. Είναι επίσης αποτέλεσμα βαρέως τροχού πάω σε πεζοδρόμια. Όταν δεν υπάρχει προστασία μέσω στηθαίου ασφαλείας.

Οι δυνάμεις πρόσκρουσης στα βάρθα ή άλλα στοιχεία στήριξης της γέφυρας ενεργούν σε ύψος 1,25μ πάνω από την επιφάνεια του οδοστρώματος και λαμβάνονται ίσες με τις ακόλουθες συνιστώμενες τιμές:

1000KN παράλληλα προς την διεύθυνση κυκλοφορίας

500KN κάθετα προς την διεύθυνση κυκλοφορίας

Οι δυνάμεις πρόσκρουσης στο κατάστρωμα θα προσδιορίζονται κατά περίπτωση από τις αρμόδιες αρχές, ανάλογα με το καθαρό ύψος κάτω από τη γέφυρα, την πιθανότητα διέλευσης ασυνήθης υψηλών οχημάτων, καθώς και άλλους παράγοντες. Εναλλακτικά μπορεί να προτείνονται διάφορα προστατευτικά μέτρα, οπότε δεν απαιτείται να ληφθούν υπόψη δυνάμεις πρόσκρουσης.

12.4 Σύμμικτες γέφυρες ¹²

12.4.1 Τυπικά Στοιχεία - Μορφολογία

Τα ανοίγματα των σύμμικτων γεφυρών κυμαίνονται από 30 έως 100 μέτρα. Στο πιο κάτω πίνακα 7β παρουσιάζονται μερικές τυπικές διαστάσεις γεφυρών. Οι φορείς είναι αμφιέριστες ή συνεχείς δοκοί με κιβωτοειδή κυρίως διατομή. Σε έργα μικρότερου μήκους (από 20,00 ως 40,00 μέτρα ήτοι η κατηγορία των σύμμικτων καταστρωμάτων γεφυρών που εξετάζεται στην παρούσα πτυχιακή εργασία) η συνήθης διατομή οδού για 2 λωρίδες κυκλοφορίας αποτελείται από δυο ή περισσότερες κύριες δοκούς και πλάκα από σκυρόδεμα. Οι διαδοκίδες μπορεί να συνδέονται με την πλάκα καταστρώματος. Οι πλάκες του καταστρώματος λειτουργούν ως τετραέριστες στη περίπτωση σύνδεσης των διαδοκίδων, οι οποίες τότε πρέπει να διατάσσονται πυκνότερα. Προς αποφυγή διαδοκίδων είναι δυνατή η διάταξη περισσότερων κύριων δοκών σε μικρότερη απόσταση.

Πίνακας 7β. Τυπικές διαστάσεις γεφυρών

τυπικές διαστάσεις	A m	B m	C m	H/L	d cm	E m
οδικές γέφυρες	7,5- 21	6- 12,5	2-7,0	1/20 - 1/28	20-30	6-11,0
σιδηροδρομικές	6- 12,6	5-6,0	6-7,0	1/15,0	40-45	6-7,0

A= συνολικό μήκος,

B= απόσταση δοκών

C= απόσταση από

άκρο

E= απόσταση διαδοκίδων

12.4.2 Παραδοχές για τα φορτία της σύμμικτης γέφυρας

12.4.2.1 Φορτία Βαρέων Οχημάτων

Για την εύρεση των φορτίων κυκλοφορίας και την εξέταση τους ως προς τις εντάσεις τους ακολουθήσαμε τις πιο κάτω παραδοχές:

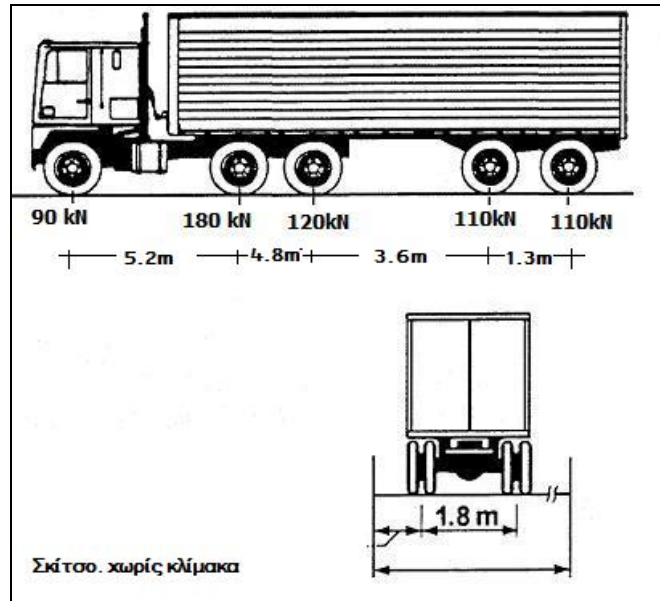
¹² «Σύμμικτες κατασκευές» Ι. Βάγιας

- Τα βαρέα οχήματα έχουν την μορφή (εικόνα 19).
Φορτία στον κύριο άξονα κάτω από την καμπίνα 90kN.
Φορτία στον πρώτο άξονα πίσω από την καμπίνα 180kN.
Φορτία στον δεύτερο άξονα πίσω από την καμπίνα 120kN.
Φορτία στον προτελευταίο άξονα (φορτηγό με 5 άξονες) 110kN.
Φορτία στον τελευταίο άξονα (φορτηγό με 5 άξονες) 110kN.
- Η απόσταση των αξόνων είναι η ακόλουθη:
από τον κύριο άξονα ως τον πρώτο άξονα πίσω από την καμπίνα =5.2m
από τον πρώτο άξονα πίσω από την καμπίνα μέχρι τον δευτερο=4.8m
από τον δεύτερο μέχρι τον προτελευταίο =3.6m
και από τον προτελευταίο άξονα έως τον τελευταίο =1.3m

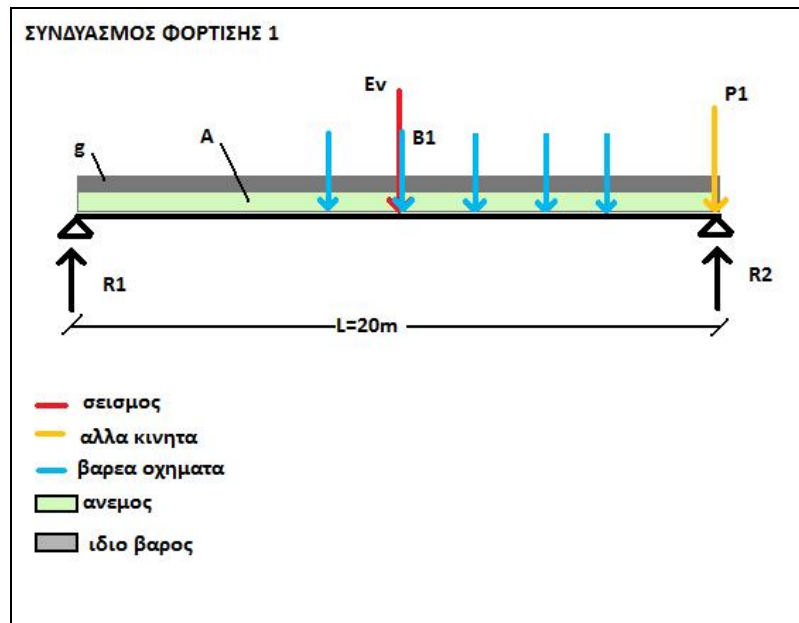
Τα κινητά φορτία είχαν της ακόλουθη σειρά στον υπολογισμό των μεγεθών.

1. Μοντέλο 1. Το βαρύ όχημα εισέρχεται στην γέφυρα.
2. Μοντέλο 2. Το βαρύ όχημα είναι στην μέση της γέφυρας, πιο συγκεκριμένα το μεγαλύτερο βάρος άξονα, αυτό του πρώτου άξονα πίσω από την καμπίνα βρίσκεται στο μέσο της γέφυρας κατά την διαμήκη έννοια.
3. Μοντέλο 3. Το βαρύ όχημα έχει αρχίσει να εξέρχεται της γέφυρας.

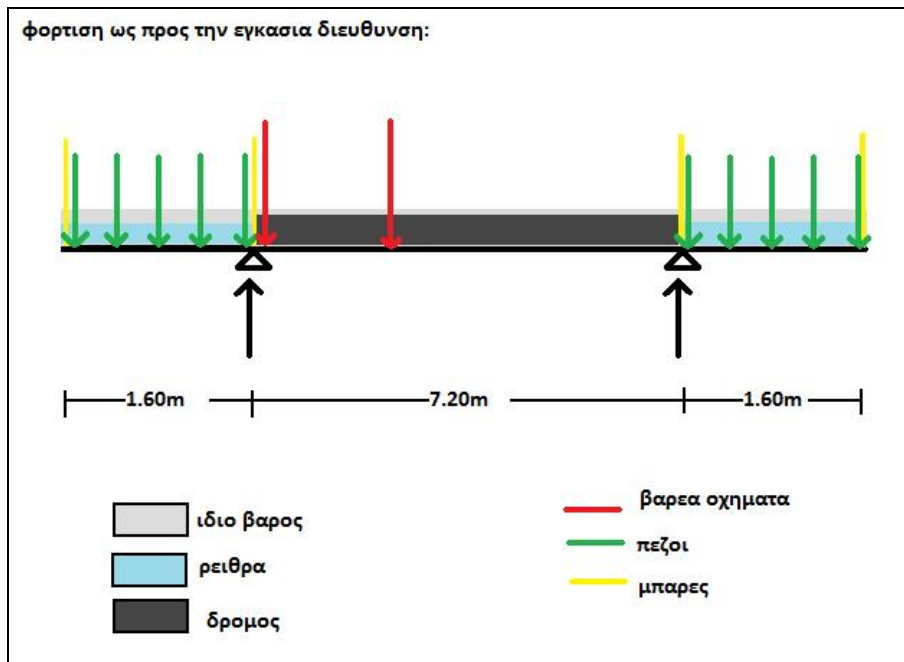
Τα φορτία ως προς την εγκάρσια διεύθυνση της γέφυρας είχαν την μορφή που δείχνει η εικόνα 21.



Εικόνα 12 Μορφή φορτηγού καθώς και τα φορτία στους άξονες.



Εικόνα 13. προσομοίωμα συνδυασμού φόρτισης ενός μοντέλου φόρτισης.



Εικόνα 14 προσομοίωμα φορτίσεων ως προς την εγκάρσια διεύθυνση.

12.4.2.2 Άλλα Φορτία

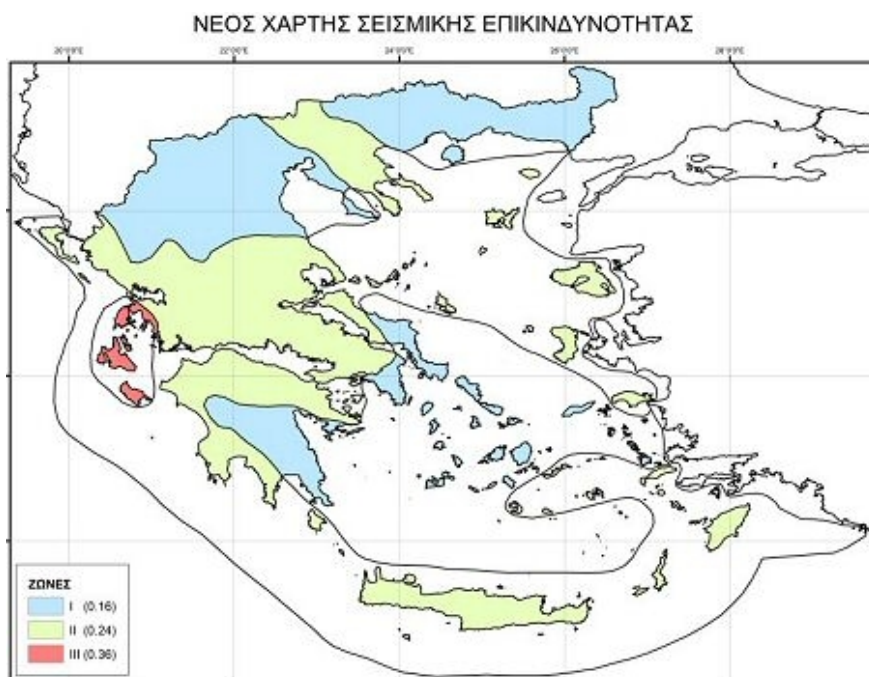
Ο κάτωθι πίνακας δίνει τις χαρακτηριστικές τιμές των λοιπών φορτίων του καταστρώματος υπό εξέταση. Σημειώνεται ότι οι μπάρες και τα στηθαία υπολογίστηκαν κατά σύμβαση σαν ενιαία και σημειώνεται ότι είναι διάτρητοι για αεροδυναμική.

ΜΟΝΙΜΑ			
	ΙΔΙΟ ΒΑΡΟΣ	52.00	kN/m
	ΜΠΑΡΕΣ	0.82	kN/m
	ΡΕΙΘΡΑ	8.00	kN/m
	ΔΡΟΜΟΣ	18.00	kN/m
	Σύνολο	78.82	kN/m
ΚΙΝΗΤΑ			
	ΠΕΖΟΙ	5.00	kN/m

Πίνακας 8. Λοιπά Φορτία

13 ΣΕΙΣΜΟΣ

Στην κάτωθι Εικόνα παρουσιάζεται ο χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας της Ελλάδος όπως ισχύει σήμερα (2011).



Εικόνα 15. νέος χάρτης της Ελλάδας με την αντίστοιχη σεισμική επικινδυνότητα

13.1 Σχεδιαστική φιλοσοφία:

Για το σχεδιασμό συνηθισμένων γεφυρών, η βασική φιλοσοφία είναι να αποτρέψουμε την κατάρρευση της γέφυρας λόγω σεισμού. για να γίνει αυτό χρησιμοποιούνται δυο (2) εναλλακτικές μέθοδοι.

Στην πρώτη μέθοδο υπολογίζεται μια συμβατική δύναμη στη βάση (τέμνουσα βάσης) ή μία κατανομή επιταχύνσεων ή εκτιμάται μία χρονοϊστορία επιβαλλόμενων μετατοπίσεων - επιταχύνσεων του εδάφους (επιταχυνσιογράφημα) και τα εντατικά μεγέθη της κατασκευής υπολογίζονται είτε με την ισοδύναμη στατική μέθοδο είτε με τη μέθοδο της φασματικής ανάλυσης είτε σε περίπτωση όπου είναι διαθέσιμα επιταχυνσιογραφήματα με γραμμική ή μη γραμμική ανάλυση χρονοϊστορίας. Στόχος της ανάλυσης είναι

η εξασφάλιση ότι οι αναπτυσσόμενες εντάσεις λόγω των συνδυασμών φορτίσης σε σεισμού να μην υπερβαίνουν τις αντοχές σχεδιασμού του υλικού. Στη δεύτερη μέθοδο κρίσιμη παράμετρος είναι οι μετατοπίσεις του φορέα, και κατά την ανάλυση εξετάζεται αν οι αναπτυσσόμενες μετατοπίσεις σε ορισμένα προκαθορισμένα σημεία του φορέα είναι μικρότερες των τιμών στόχων.

13.2 Αντισεισμικός σχεδιασμός:¹³

Κτίρια με σκελετό από σύμμικτα στοιχεία έχουν πλεονεκτικότερη αντισεισμική συμπεριφορά σε σύγκριση με κτίρια τόσο από οπλισμένο σκυρόδεμα όσο και από μεταλλικό σκελετό. Συνοπτικά μπορεί να αναφερθεί ότι η παρουσία της χαλύβδινης διατομής πχ. σε υποστυλώματα από κοίλες διατομές γεμισμένα με σκυρόδεμα, εξασφαλίζει την αναγκαία περίσφυξη στο σκυρόδεμα και προσδίδει πλαστιμότητα στο στοιχείο. Η παρουσία επίσης του σκυροδέματος εμποδίζει την εμφάνιση τοπικού λυγισμού σε χαλύβδινα στοιχεία, η οποία μειώνει πολλές φορές την ικανότητα απορρόφησης ενέργειας και συνεπώς την πλαστιμότητα του. Φυσικά η ολκιμότητα των σύμμικτων κτιρίων δεν πρέπει να θεωρηται δεδομένη από μόνη την ολκιμότητα του χάλυβα ως υλικού. Η εμφάνιση διαφόρων μορφών αστάθειας (τοπικός, καμπτικός, στρεπτοκαμπτικός λυγισμός) ή φαινόμενα ολιγοκυκλικής κόπωσης στη περιοχή των κόμβων, μπορούν να επιφέρουν μείωση της ολκιμότητας και ψαθυρή συμπεριφορά.

13.3 Ζώνες Σεισμικότητας στην Ελλάδα

Οι χαρακτηριστικές ζώνες δίνονται στην εικόνα, και έχουν ως εξής:

- Ζώνη I: χαμηλή σεισμικότητα με 0.16g
- Ζώνη II: μέτριας σεισμικότητας με 0.24g
- Ζώνη III: υψηλής σεισμικότητας με 0.36g

¹³ 'Συμμικτες κατασκευές' Ι. Βάγιας

13.4 Σεισμικά φορτία:

Τα σεισμικά φορτία χαρακτηρίζονται σαν οριζόντιες δυνάμεις και υπολογίζονται σύμφωνα με τις οδηγίες του EC8.

13.5 Παραδοχές πτυχιακής εργασίας για το σεισμό:

1. Γέφυρα ενός ανοίγματος (αμφιέριστη δοκός)
2. Ζώνη σεισμικότητας **II**, με **a=0.24g**
3. Συντελεστής σπουδαιότητας **S₄=1.40**
4. Κρίσιμη γέφυρα, (η γέφυρα παραμένει ανοικτή για την κυκλοφορία μετά το σεισμό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από οχήματα εκτάκτου ανάγκης και για σκοπούς άμυνας μετά από πολύ μεγάλο σεισμό περιοδικότητας 2500 ετών)
5. Κανονική χρησιμότητα
6. Κατηγορία εδάφους II (σκληρά σταθερά εδάφη με βάθος μεγαλύτερο των 60m και επιπλέον εναποθέσεις σταθερή άμμος, χαλίκι ή σκληρός πηλός).
7. Το κέντρο μάζας ταυτίζεται εδώ με την Ουδέτερη Γραμμή (ΟΓ).
8. Χώρος: Περιοχή Πάτρας.

Ο σεισμός και οι τεκτονικές μετακινήσεις:

Η περιοχή της Πάτρας και κυρίως η περιοχή κοντά στη ζεύξη του Ρίου-Αντιρρίου ανήκει στην ίδια σειсмоγενή ζώνη που διασχίζει την Ηπειρωτική Ελλάδα. Ένα σεισμικό ρήγμα του Θεσσαλικού χώρου (Παγασητικός – Φάρσαλα – Καρδίτσα) ανήκει στη σειсмоγενή ζώνη η οποία διασχίζει την Ηπειρωτική Ελλάδα από ΒΑ προς ΝΔ. Η ζώνη αυτή ξεκινά από την περιοχή των Σποράδων και καταλήγει στον Πατραϊκό Κόλπο, όπου ενώνεται με το σεισμικό κέντρο των Επτανήσων. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από υψηλή σεισμικότητα και εντάσσεται **στην κατηγορία II** του Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού (ΕΑΚ 2000 με τις αλλαγές του σεισμικού χάρτη της Ελλάδος και τις σχετικές τροποποιήσεις), με σεισμική επιτάχυνση εδάφους ίση

με 24% της επιτάχυνσης της βαρύτητας, και κατηγορία εδάφους Γ με Δ. Προτείνεται δε συντελεστής σπουδαιότητας $\Sigma 4=1.40$.¹⁴ (σύμφωνα με τον EC8 – η τιμή αυτή σύμφωνα με τον ΕΑΚ2000 λαμβάνεται ίση με $\Sigma 4=1.30$).

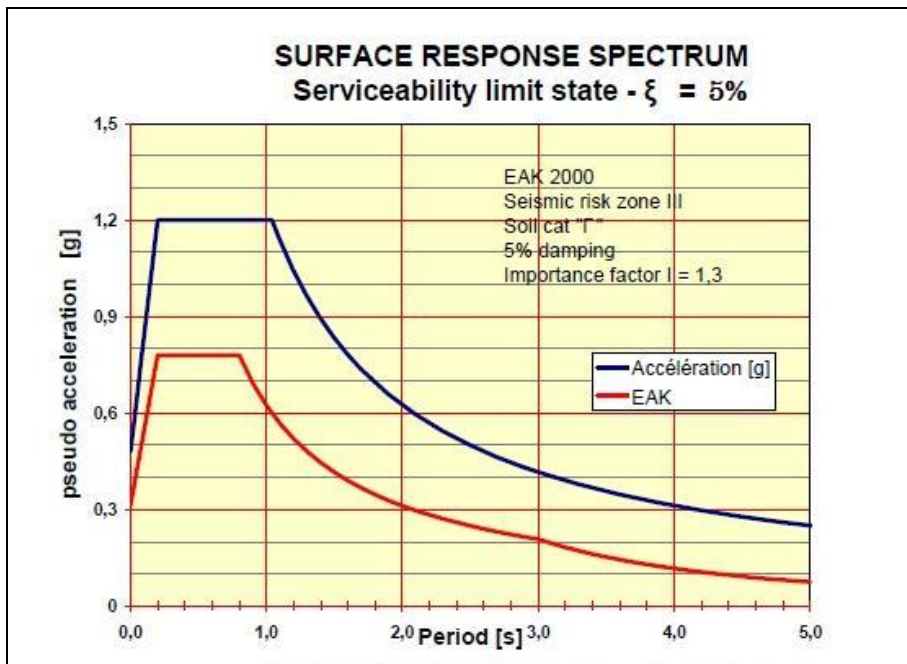
Τα ενεργά τεκτονικά ρήγματα που υπάρχουν στον Κορινθιακό Κόλπο και κυρίως στις βόρειες ακτές της Πελοποννήσου (π.χ. Ξυλόκαστρου, Αιγίου, Ελίκης, Ψαθόπυργου, κλπ) προκαλούν τεκτονικές μετακινήσεις και την πλειοψηφία των σεισμών που συμβαίνουν στην ευρύτερη περιοχή του έργου. Η περιοχή της Πάτρας και κυρίως κοντά στη ζεύξη του Ρίου-Αντιρρίου ανήκει, όπως προείπαμε, στην κατηγορία III του ΕΑΚ.

Πίνακας 10. Σύγκριση σεισμικότητας Μαλιακού και Πατραϊκού κόλπου (Παπαζάχος, Ημερίδα διπλής ζεύξης Μαλιακού – ΤΕΕ –ΤΜ Μαγνησίας, Βόλος 4 Μαρτίου 2005)

	Μαλιακός Κόλπος	Πατραϊκός Κόλπος
Περίοδο επαναφοράς σεισμού μεγέθους M6,0	190 χρόνια	30 χρόνια
Περίοδο επαναφοράς σεισμού μεγέθους M6,5	760 χρόνια	110 χρόνια
Πιθανότητα υπέρβασης σεισμού M6,0 σε 100 χρόνια	42%	97%
Πιθανότητα υπέρβασης σεισμού M6,5 σε 100 χρόνια	12%	61%

Τα κριτήρια και οι κανόνες σχεδιασμού που περιλαμβάνονται στον ΕΑΚ-2000 και στον EC8, καλύπτουν τα λεγόμενα έργα «κανονικού κινδύνου», κυρίως κτιριακά. Ο κανονισμός δεν καλύπτει θαλάσσια έργα, και απαιτεί συμπληρωματικές διατάξεις για ορισμένες ειδικές κατηγορίες έργων, όπως γέφυρες και για έργα για τα οποία απαιτείται μερική ή πλήρη αντισεισμική μόνωση.

¹⁴ ΤΕΧΝΙΚΑ ΓΕΦΥΡΩΣΗΣ ΔΙΑΥΛΩΝ ΚΝΗΜΙΔΑΣ ΚΑΙ ΩΡΕΩΝ -Σύγκριση με τη Ζεύξη του Ρίου-Αντιρρίου Π. Κ. Παπανικόλας Δρ. Πολιτικός Μηχανικός



Εικόνα 16. Φάσμα σεισμικής απόκρισης.

14 ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Θεωρητικά¹⁵:

Ο άνεμος μπορεί να προκαλέσει αστάθεια και εντεταμένες δονήσεις στις μεγάλου μήκους γέφυρες. Βασικά με τον όρο αστάθεια νοούνται οι μικρές μετακινήσεις που μπορούν να προκληθούν. Η αστάθεια μπορεί να είναι είτε αεροδυναμική είτε αεροελαστική. Ως δόνηση νοείται μια περιοδική κίνηση που προκαλείται από δυναμικά φαινόμενα.

Κατά τον σχεδιασμό μίας γέφυρας πρέπει να ληφθεί υπόψη και η αεροδυναμική συμπεριφορά της. Η αεροδυναμική συμπεριφορά μιας γέφυρας εξαρτάται κυρίως από τέσσερις παραμέτρους: 1) από την μορφή της κατασκευής (structural form), 2) την μορφή της διατομής και τις λεπτομέρειες της (cross section shape and its details), 3) την στιβαρότητα της (stiffness) 4) και το συντελεστή αεροδυναμικής-δυναμικής απόσβεσης (aeroelastic-dynamic damping).

Αναλόγως των αεροδυναμικών χαρακτηριστικών της περιοχής υπολογίζεται και μία ταχύτητα αναφοράς του ανέμου. Ο Ελλαδικός χώρος χωρίζεται σε δύο περιοχές (ενδοχώρα και παράλια) με θεμελιώδεις τιμές ανέμου $V_{ref,0}=27.00\text{m/sec}$ και $V_{ref,0}=33.00\text{m/sec}$

Η θεμελιώδης τιμή βασικής ταχύτητας ανέμου η οποία έχει ληφθεί υπόψη και θα θεωρείται δεδομένη κατά τους υπολογισμούς είναι ίση με $V_{ref,0}=30.00\text{m/sec}$. (επαυξημένη τιμή κατά 10% της βασικής τιμής της ταχύτητας αναφοράς της ενδοχώρας).

¹⁵ Bridge Engineering Handbook by Wai-Fah Chen, Lian Duan, Susan E. Hida, etc. 2000 by CRC Press LLC.

14.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΕΜΟΥ:

- ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ:

- Κατηγορία εδάφους : II

- $K_T = 0.19$

- $Z_0(m) = 0.05$

- $Z(\min) = 4.00$

- $B = 60,00$

- $D = 25,00$

- $H = 6,00$

▪ Θεμελιώδης τιμή βασικής ταχύτητας ανέμου: $V_{ref,0} = 30.00 \text{ m/sec}$

▪ Ταχύτητα αναφοράς ανέμου: $v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0} = 1,00 \times 1,00 \times 1,00 \times 30,00 = 30,00 \text{ m/sec}$

▪ Πίεση αναφοράς ανέμου: $q_{ref} = (1/2) \rho v_{ref}^2 = 1/2 \times 1,25 \times 30,00^2 = 0,563 \text{ kN/m}^2$

▪ Ύψος αναφοράς $Z_e(m) = 6,00 \text{ m}$

▪ Συντελεστής τραχύτητας σε υψος $Z_e(m)$:

▪ $c_r(z_e) = k_T \ln(z_e/z_0) = 0,19 \times \ln(6,00/0,05) = 0,910$

▪ Συντελεστής αναγλύφου $c_t(z_e) = 1,00$

▪ Συντελεστής Εκθέσεως $c_e(z_e)$

▪ $c_e(z_e) = c_r^2(z_e) \cdot c_t^2(z_e) \cdot [1 + 7k_T / (c_r(z_e) \cdot c_t(z_e))] = (0,910)^2 \cdot (1,00)^2 \cdot [1 + 7 \times 0,19 \times 0,910 \times 1,00] = 2,04$

$\rho =$	0,00125	t/m ³	
$V_b =$	30	m/sec	
$C =$	4.07443		
$C_{fx} =$	2	από πίνακα	
$b =$	11		
$d_{tot} =$	5.5		
$b/d_{tot} =$	2		
$L =$	20	m	

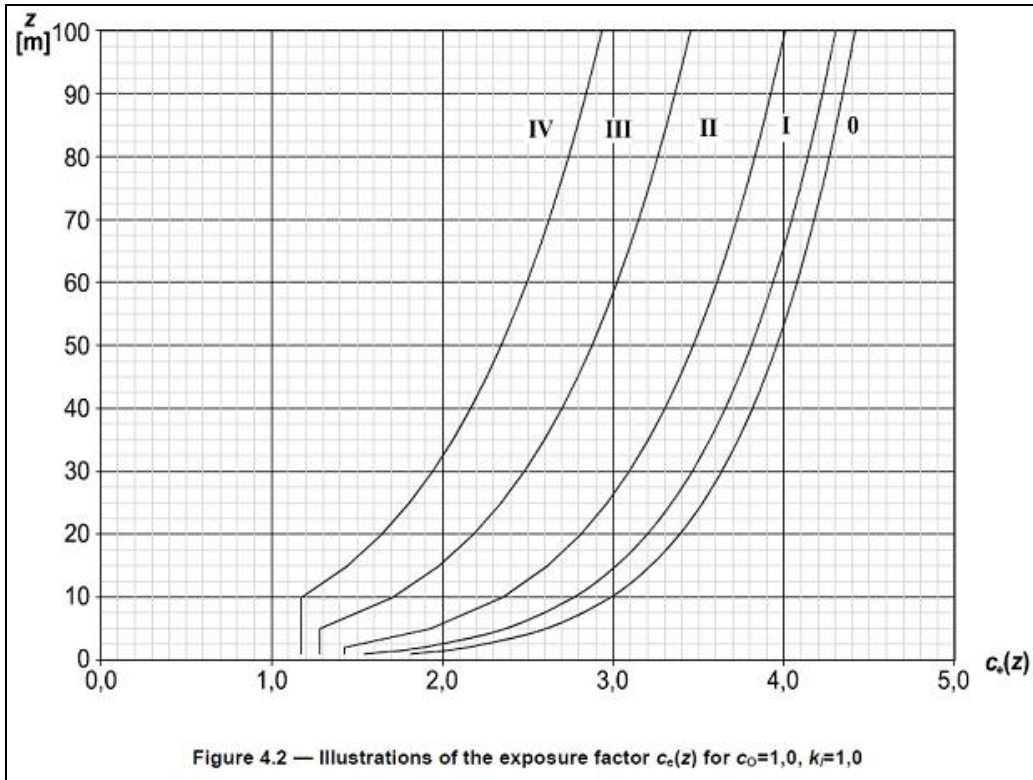
$$f_w = \frac{1}{2} \rho v_b^2 C \times A_{ref} = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \times c_e \times C_{fx} \times d_{tot} \quad (\text{εξίσωση 10.α})$$

14.1.1 Πίνακες και παράμετροι για τον άνεμο

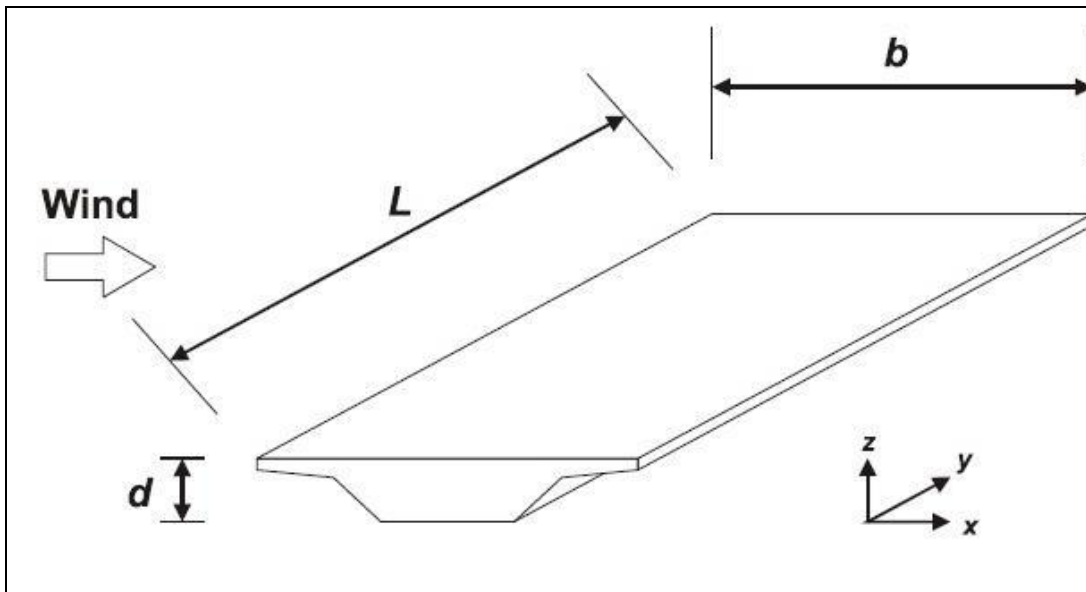
Ανάλογα των χαρακτηριστικών του αναγλύφου μία περιοχής υπολογίζονται οι συντελεστές z_0 & z_{min} από τους οποίους προκύπτει τελικά η εκτιμώμενη ανεμοπίεση. Οι τιμές αυτές ανά κατηγορία αναγλύφου (εδάφους) παρουσιάζονται στον παρακείμενο πίνακα.

Κατηγορία εδάφους		z_0 m	z_{min} m
O	Sea or coastal area exposed to the open sea	0.003	1
I	Lakes or flat and horizontal area with negligible vegetation and without obstacles	0.01	1
II	Area with low vegetation such as grass and isolated obstacles (trees, buildings) with separations of at least 20 obstacle heights	0.05	2
III	Area with regular cover of vegetation or buildings or with isolated obstacles with separations of maximum 20 obstacle heights (such as villages, suburban terrain, permanent forest)	0.30	5
IV	Area in which at least 15 % of the surface is covered with buildings and their average height exceeds 15 m	1.00	10
The terrain categories are illustrated in Annex A.1.			

Πίνακας XX: Κατηγορίες εδάφους.

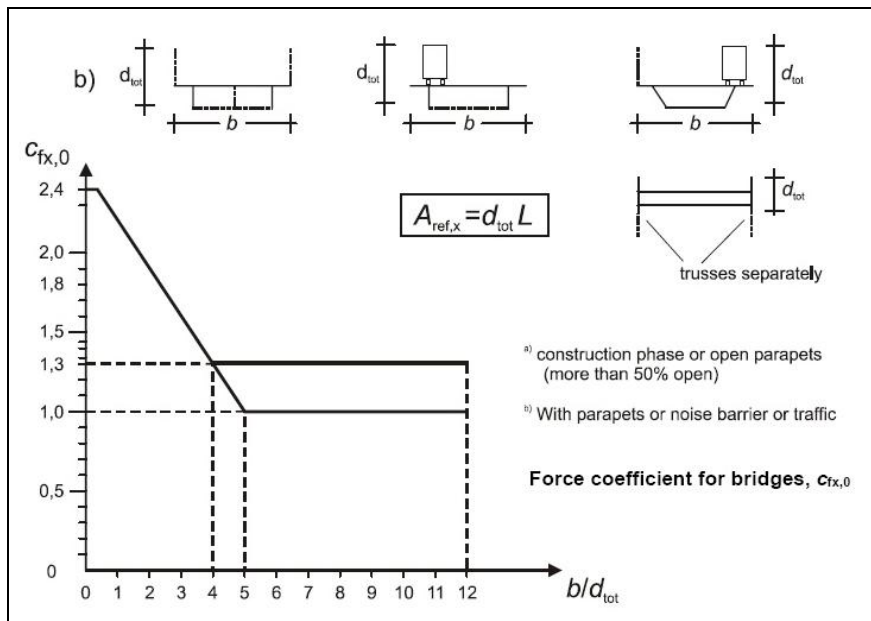


Εικόνα 17 Παράγοντες $c_e(z)$ για $c_{00}=1,0$ & $k_f=1,0$ –από Ευρωκώδικα 1, παράρτημα 1,4



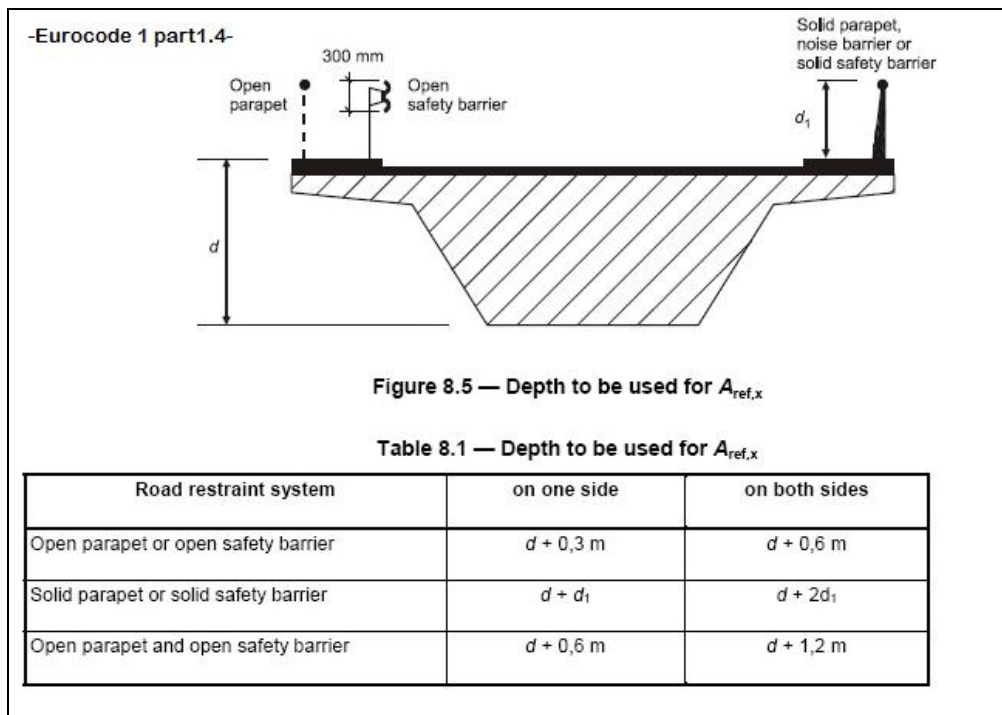
Εικόνα 18 Διευθυνση του ανέμου στις γέφυρες. Eurocode 1 .Παράρτημα 1.4.

Το $C_{fx,0}$ μπορεί να λαμβανεται ίσο με 1,3.



Εικόνα 19 Force coefficient for bridges, $C_{fx,0}$.

Παραθέτονται επίσης οι πίνακες για τα παραπετάσματα και τις μπάρες.



Εικόνα 20 πίνακας για ευρεση του d για το $A_{ref,x}$.

14.1.2 Συνοπτικά:

Η βασική τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι 30m/sec. Ο παράγοντας $C=c_e \cdot C_{fx}$ όπου το $C_{fx}=2$ (σύμφωνα με σχετικό πίνακα). Άρα το $C=4.07443$.

Το συνολικό ύψος της γεφυρας στην εγκάρσια διεύθυνση που μας ενδιαφέρει είναι $d_{tot}= 5.5m$ μαζί με το ύψος του φορτηγού ($=3.00m$).

Η πυκνότητα του αέρα λαμβάνεται ίση με $\rho= 0,00125t/m^3$. Το C_0 λαμβάνεται ίσο με τη μονάδα καθώς και το $K_{(t)}=1,0$.

Άρα η εξίσωση: $f_w = 1/2 \rho v_b^2 C \times A_{ref} = 1/2 \times \rho \times v_b^2 \times c_e \times C_{fx} \times d_{tot}$

δίνει σαν αποτέλεσμα: 9,60kN/m.

15 Κόστος Κατασκευής

Για τον υπολογισμό του κόστους της σύμμικτης γέφυρας θεωρήθηκαν αρχικά οι τιμές ανά μονάδα που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα 9.

ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	τιμές (€)	Ανα μονάδα	Κόστος
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ:	170,00	m ³	Τιμές Χ όγκοι/κιλά €
ΧΑΛΥΒΔΙΝΗ ΔΟΚΟΣ	2000,00	tono	€
ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	750,00	tono	€
Ήλοι	2,00	ηλο	€
ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΟ	1100,00	tono	€

Πίνακας 9. ενδεικτικές τιμές υλικών.

Οι τιμές λήφθηκαν από το «ΝΕΟ ΑΤΟΕ ΕΚΔΟΣΗ 2.0 ΟΚΤ 2007» από σχετική έκδοση για την σύγκριση παλαιών και νέων τιμών – Π.Ε.Σ.Ε.Δ.Ε. 2007.

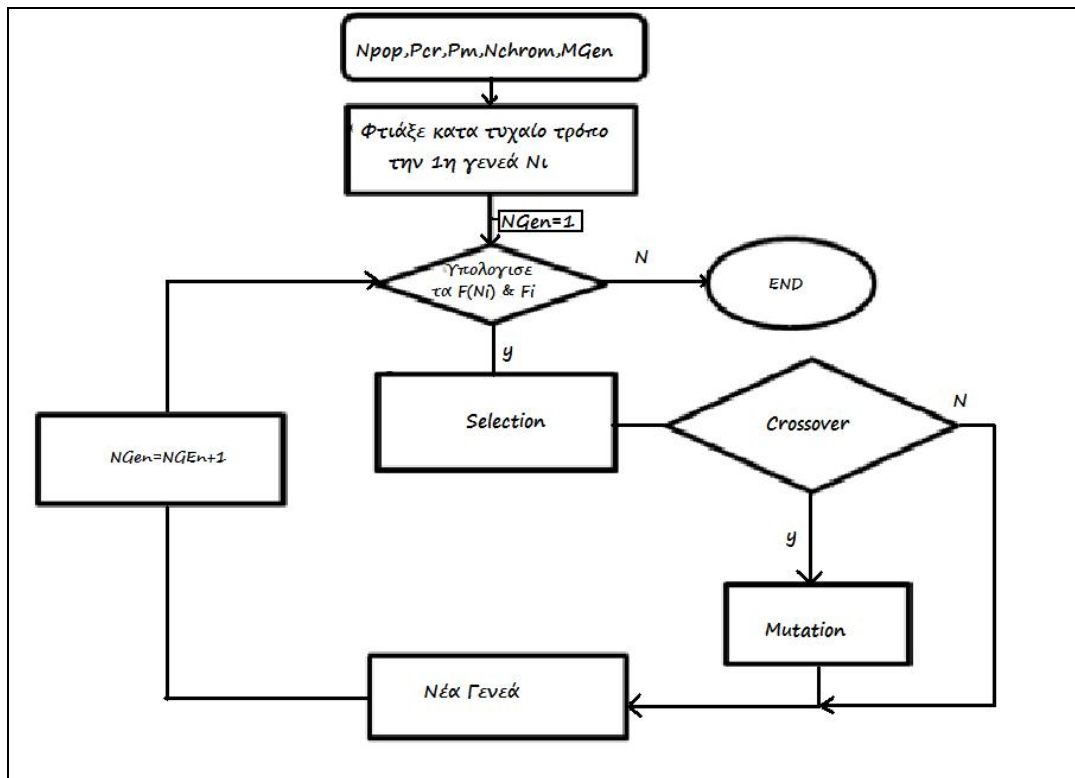
Κατά την ανάλυση του φορέα λήφθηκαν υπόψη οι κάτωθι διαμυκάνσεις τιμών:

Τιμή Σκυροδέματος	Τιμή Χάλυβα Σκυροδέτησης	Τιμή Δομικού Χάλυβα	Τιμή Χαλυβδόφυλλου	Ήλοι
130€	0,6€	0,81€	0,6885€	1,5€
εως	εως	εως	εως	εως
180€	1,2€	1,98€	1,683€	2,5€

Κατά την ανάλυση επιλέγησαν διάφορα σενάρια τα οποία εξετάζουν όλους τους πιθανούς συνδυασμούς κόστους των επιμέρους υλικών με τις αντίστοιχες συσχετίσεις τιμών για ομοειδή υλικά (πχ. Δομικός χάλυβας και κόστος χαλυβδοφύλλων κ.λπ.)

16 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για τους Γ.Α. η διαδικασία βελτιστοποίησης συνοψίζεται στην εικόνα 21.



Εικόνα 22 Flow chart- Διάγραμμα ροής γενετικού αλγορίθμου.

16.1.1 Ga_optimization_for_excel_1_2

Για να βρεθεί η βέλτιστη λύση θα πρέπει να την συνδυάσουμε τη το πρόγραμμα του Alexander Schreyer 'ga_optimization_for_excel_1_2' το οποίο διατίθεται δωρεάν στο website του δημιουργού <http://www.alexschreyer.de/projects/xloptim/>.

16.1.1.1 Περιγραφή του λογισμικού

Κατά την ενεργοποίηση του προγράμματος Εμφανίζονται τα εξής (1^η σελίδα): Model Formulation, στο οποίο θέτουμε τα ακόλουθα:

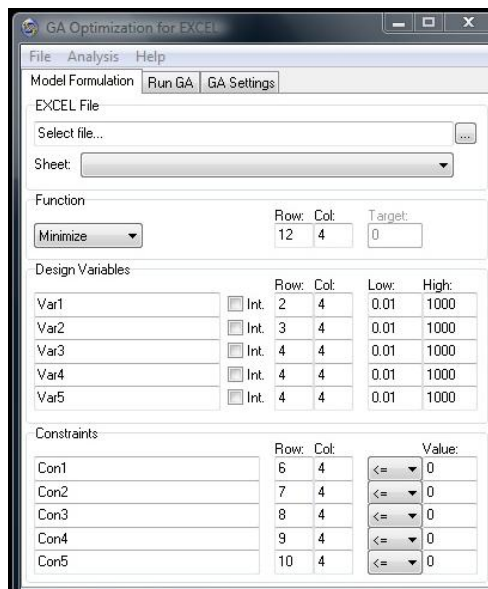
Στο πεδίο excel file επιλέγουμε το αρχείο στο οποίο θέλουμε να πραγματοποιήσουμε την βελτιστοποίηση.

Στο πεδίο function επιλέγουμε τί θέλουμε να κάνει η βελτιστοποίηση, δηλαδή να βρεί την ελάχιστη (minimize), τη μέγιστη (maximize) ή μια συγκεκριμένη τιμή (target value).

Δίπλα εμφανίζονται το εξής 3 κελία: Row (σειρά), Col (στήλη) και Target (τιμή που θέτουμε σαν στόχο).

Έπειτα ακολουθούν οι επιλογή των μεταβλητών (Design Variables). Το όνομα της μεταβλητής, η σειρά και η στήλη της στο φύλλο του Excel καθώς και η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή που μπορεί να πάρει (άνω και κάτω όριο). Επίσης υπάρχει και η επιλογή Int. για την επιλογή ακεραίων αριθμών ή όχι.

Τέλος ακολουθούν οι περιορισμοί (constrains). Το όνομα τους, η σειρά και η στήλη τους στο φύλλο του Excel καθώς και η τιμή που μπορεί να πάρει \geq μικρότερο ή ίσο, \leq μεγαλύτερο ή ίσο, ή μόνον ίσο = από μια τιμή που επίσης ορίζεται.



Εικόνα 23 αρχική σελίδα του προγράμματος GA Optimization for Excel

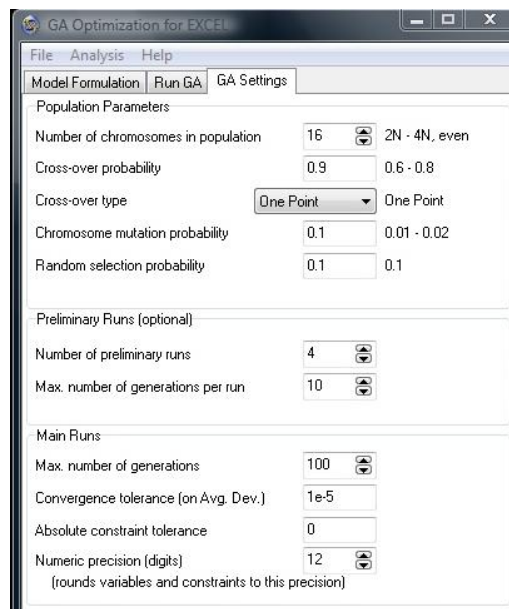
Η 2η σελίδα του προγράμματος (Run GA) εκτελεί την διεργασία του αλγορίθμου.

Η 3η σελίδα του προγράμματος (Ga Settings) είναι η καρτέλα των επιλογών του γενετικού αλγορίθμου. (εικόνα 37)

Στο πεδίο που εμφανίζεται πάνω πάνω (Population) μπορούμε να επιλέξουμε τον αριθμό των χρωμοσωμάτων του πληθυσμού (number of chromosomes in population), η πιθανότητα διασταύρωσης καθώς και ο τύπος της διασταύρωσης (με επιλογές 1 point, 2 point, uniform, random method). Επίσης δίδονται τιμές για την πιθανότητα μετάλλαξης του χρωμοσώματος όπως και για την πιθανότητα τυχαίας επιλογής ενός χρωμοσώματος για διασταύρωση που αποτελεί και ιδιορυθμία του συγκεκριμένου αλγορίθμου ξεφεύγοντας από τον κανόνα του κλασσικού Γ.Α..

Ακολουθούν οι επιλογές των πρωταρχικών 'τρεξιμάτων' (Preliminary runs) με σκοπό την δημιουργία ενός αντιπροσωπευτικού αρχικού πληθυσμού όπως και ο αριθμός των ατόμων που αποτελούν τον πληθυσμό.

Πιο κάτω εμφανίζονται οι επιλογές των κυρίως 'τρεξιμάτων'. Κατ' αρχήν δίδεται ο μέγιστος αριθμός γενεών (maximum number of generations). Εν συνεχεία η σχετική και απόλυτη ανοχή όσον αφορά την εξέλιξη της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης ώστε να θεωρηθεί η διαδικασία βελτιστοποίησης ως ολοκληρωμένη και τέλος η απαιτούμενη ακρίβεια για τον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης.



Εικόνα 24 Καρτέλα επιλογών του Γ.Α.

16.2 Υπολογιστικό Φύλλο προ-σχεδιασμού του καταστρώματος της σύμμικτης γέφυρας

Αναπτύχθηκε ειδικά για την περίπτωση ένα υπολογιστικό φύλλο προ-σχεδιασμού του καταστρώματος της σύμμικτης γέφυρας/

Αρχικό μενού:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Input												
2													
3	ΤΥΠΟΣ ΗΕΒ	10	> δεσ τυπο ΗΕΒ										
4	ΠΑΧΟΣ Χαλυβδόφυλλου	1.2	mm										
5	ΥΨΟΣ Σκυροδεματος	20	mm										
6	μηκος σκυροδεματος	500	mm										
7	% As πανω	70	mm										
8	% As κατω	30	mm										
9	ΤΥΠΟΣ ήλων	3	> δεσ τυπο ήλων										
10													
11													
12	ΜΗΚΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	20	m										
13													
14	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ												
15													
16	ΠΡΟΣΟΧΗ ΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΕΙΝΑΙ ΓΙΑ ΓΕΦΥΡΑ ΜΕ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΠΟΥ												
17	ΥΠΑΡΧΟΥΝ ΣΤΗΝ ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ Τ ΣΥΝΟΔΕΥΕΙ. Guide book												
18													

Εικόνα 25 αρχική σελίδα excel. Δημιουργία Ροζή Αγγελική

Στην πρώτη σελίδα (φύλλο Input – εικόνα 33) ορίζονται τα δεδομένα:

a. ο τύπος της διατομής,

για τον τύπο της ΗΕΒ: αναφέρεται πως δεχεται τιμές απο 1-60 εναλλαξ για τις συγκολλητες και τις ΗΕΒ. Λεπτομέριες παρουσιάζονται στους παρακείμενους πίνακες.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
3	αριθμ	h	b	s	t	r	a	d	A	G	xx				yy	ορες πελματων κατά DIN997				
4	HEB	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm2	kg/m	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm	d1	w1w2	w3
6	100	100	100	6	10	12	22	56	26	20.4	450	89.9	4.16	167	33.5	2.53	8.63	13.1	56	-
7	120	120	120	6.5	11	12	23	74	34	26.7	864	144	5.04	318	52.9	3.06	10.5	17	66	-
8	200	200	200	9	15	18	33	134	78.1	61.3	5700	570	8.54	2000	200	5.07	17.7	25	110	-
9	220	220	220	9.5	16	18	34	152	91	71.5	8090	736	9.43	2 840	258	5.59	19.6	25	120	-
10	240	240	240	10	17	21	38	164	106	83.2	11260	938	10.3	3 920	327	6.08	21.4	25	96	35
11	260	260	260	10	17.5	24	41.5	177	118	93	14920	1150	11.2	5130	395	6.58	23.3	25	106	40
12	280	280	280	10.5	18	24	42	196	131	103	19270	1380	12.1	6 590	471	7.09	25.1	25	110	45
13	300	300	300	11	19	27	46	208	149	117	25170	1680	13.0	8560	571	7.58	26.9	28	120	45
14	320	320	300	11.5	20.5	27	47.5	225	161	127	30820	1930	13.8	9 240	616	7.37	28.7	28	120	45
15	340	340	300	12	21.5	27	48.3	243	171	134	96660	2160	14.6	9690	646	7.53	30.4	28	120	45
16	360	360	300	12.5	22.5	27	49.5	261	181	142	43190	2400	15.5	10140	676	7.49	32.2	28	120	45
17	400	400	300	13.5	24	27	51	298	198	155	57680	2880	17.1	10820	721	7.4	35.7	28	120	45
18	450	450	300	14	26	27	53	344	218	171	79 890	3550	19.1	11720	781	7.33	40.1	28	120	45
19	500	500	300	14.5	28	27	55	390	239	187	107200	4290	21.2	12620	842	7.27	44.5	28	120	45
20	550	550	300	15	29	27	56	438	254	199	136700	4970	23.2	13080	872	7.17	48.9	28	120	45
21	600	600	300	15.5	30	27	57	486	270	212	171000	5700	21.2	13530	902	7.08	52.2	28	120	45
22	650	650	300	16	31	27	58	534	286	225	210600	6480	27.1	13980	932	6.99	57.5	28	120	45
23	700	700	300	17	32	27	59	582	306	241	256900	7340	29.0	14440	963	6.87	61.7	28	126	45
24	800	800	300	17.5	33	30	63	674	334	262	359100	8980	32.8	14900	994	6.68	70.2	28	130	40
25	900	900	300	18.5	35	30	65	770	371	291	494100	10980	36.3	15820	1050	6.53	78.5	28	130	40
26	1000	1000	300	19	36	30	66	868	400	314	644700	12890	40.1	16280	1090	6.38	86.8	28	130	40

Εικόνα 26 Διαστάσεις διατομών τύπου ΗΕΒ.

Για τον τύπο της συγκολλητής διατομής:

ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ						
α/α	b απ (mm)	hαπ (mm)	hκ (mm)	tk(mm)	hκπ (mm)	b κπ (mm)
1	400,0	4	700,0	8,0	4	600,0
2	450,0	5	750,0	8,5	5	650,0
3	500,0	6	800,0	9,0	6	700,0
4	550,0	7	825,0	9,5	7	750,0
5	600,0	8	850,0	10,0	8	800,0
6	650,0	9	875,0	10,5	9	850,0
7	700,0	10	900,0	11,0	10	900,0
8	750,0	12	950,0	11,5	12	950,0
9	800,0	14	1000,0	12,0	14	1000,0
10	850,0	16	1100,0	12,5	16	1100,0

Εικόνα 27 διαστάσεις συγκολλητών διατομών του προγράμματος

β. ο τύπος του χαλυβδόφυλλου.

Επιλέγεται εκ των προτέρων σαν χαλύβδινο φύλλο συγκεκριμένου πάχους. Λεπτομέρειες δίνονται στο παράρτημα του προγράμματος στη σελίδα Sheet1 του excel.

HE-B				ΤΥΠΟΣ ήλων			Τύπος Διατομής (1=Εξελασμένη, 2=Συγκολλητή)		Ποιότητα Χαλύβα (1=S235n, 2=S255n, 3=S275n)	
α/α	α	β	γ	α	β	γ	α	β	α	β
1	1	2,2	10,0	450	1	1	1	400	1	1
2	2	1,9	7,5	400	2	2	2	400	2	2
3	3	1,2	8,0	400	3	3	3	400	3	3
4	4	2,4	12,0	480	4	4	4	400	4	4
5	5	1,2	6,0	400	5	5	5	400	5	5
6	6	1,2	6,0	400	6	6	6	400	6	6
7	7	1,2	6,0	400	7	7	7	450	7	7
8	8	1,2	6,0	400	8	8	8	450	8	8
9	9	1,2	6,0	400	9	9	9	450	9	9
10	10	1,2	6,0	400	10	10	10	450	10	10
11	11	1,2	6,0	400	11	11	11	450	11	11
12	12	1,2	6,0	400	12	12	12	450	12	12
13	13	1,4	7,0	450	13	13	13	500	13	13
14	14	1,6	8,0	500	14	14	14	500	14	14
15	15	1,8	9,0	550	15	15	15	500	15	15
16	16	1,2	6,0	400	16	16	16	500	16	16
17	17	1,2	6,0	400	17	17	17	500	17	17
18	18	1,2	6,0	400	18	18	18	500	18	18
19	19	1,2	6,0	400	19	19	19	550	19	19
20	20	1,2	6,0	400	20	20	20	550	20	20
21	21	1,2	6,0	400	21	21	21	550	21	21
22	22	1,2	6,0	400	22	22	22	550	22	22
23	23	1,2	6,0	400	23	23	23	550	23	23
24	24	1,2	6,0	400	24	24	24	550	24	24
25	25	1,2	6,0	400	25	25	25	600	25	25
26	26	1,2	6,0	400	26	26	26	600	26	26
27	27	1,2	6,0	400	27	27	27	600	27	27
28	28	1,2	6,0	400	28	28	28	600	28	28
29	29	1,2	6,0	400	29	29	29	600	29	29
30	30	1,2	6,0	400	30	30	30	600	30	30
31	31	1,2	6,0	400	31	31	31	650	31	31
32	32	1,2	6,0	400	32	32	32	650	32	32
33	33	1,2	6,0	400	33	33	33	650	33	33

Εικόνα 28 Παράρτημα. Φύλλο Sheet1 του excel.

- c. το ύψος του σκυροδέματος
- d. το μήκος της πλάκας σκυροδέματος
- e. % As πάνω (16 αποδεκτες τιμές)
- f. % As κάτω είναι δεδομένα και δε θα πρέπει να αλλαχθεί
- g. και ο τύπος των ήλων.

Αποδεκτές τιμές ακέραιοι μόνο απο 1-5.

Λεπτομέριες δίνονται στο παράρτημα του προγράμματος στη σελίδα Sheet1 του excel.

- h. καθώς και το μήκος της γέφυρας (αποδεκτή αρχική λύση 20.00m)

Δεκτες τιμές από 20,00 ως και 40,00M

16.3 USERS GUIDE:

16.3.1 Σχετικά με το εγχειρίδιο:

Αυτό το εγχειρίδιο συντάχθηκε για να βοηθήσει στη χρήση του επισυναπτόμενου προγράμματος του excel με τίτλο programm7.2 το οποίο δημιουργήθηκε από την φοιτήτρια Ροζή Αγγελική με επιβλέποντα καθηγητή και εισηγητή κ. Χ. Δήμου, καθηγητή Τει Πειραιά.

16.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά:

Ονομασία: programm7.2

Λειτουργικό: excel, office 03 (visual basic)

Χρήση: για το βέλτιστο προσχεδιασμό σύμμεικτης γεφυροποιίας με χρήση γενετικών αλγορίθμων, στο πλαίσιο πτυχιακής εργασίας.

Ημερομηνία οριστικοποίησης προγράμματος: Υπό συνεχή εξέλιξη

Τύπος: Ερευνητικό/Ακαδημαϊκό

Γλώσσα: ελληνικά, αγγλικά

Σύμβολα και συμβάσεις:

Τα σύμβολα που χρησιμοποιήθηκαν είναι σε συμφωνία με τους Ευρωκώδικες και τα ελληνικά συγγράμματα.

Αρχική σελίδα- Input

Στην αρχική σελίδα του προγράμματος βρίσκεται η κυρία στήλη για την εισαγωγή των δεδομένων. Οι γραμμές με γκρι χρώμα είναι αυτές στις οποίες επιβάλλεται ο χρήστης να ορίσει μια αρχική τιμή. Στις περιοχές με γαλάζιο φόντο δεν επιτρέπονται αλλαγές εκτός και αν γίνει αλλαγή στις παραδοχές-υποθέσεις του υπολογιστικού φύλλου με αντίστοιχες μετατροπές στα επιμέρους στοιχεία του. Με κόκκινο χρώμα υποδηλώνονται οι τιμές οι οποίες δεν πρέπει να αλλαχτούν χωρίς πλήρη αναδιαμόρφωση του προγράμματος. Όλα τα υπόλοιπα στοιχεία τις σελίδας υπολογίζονται αυτόματα.

Μόνο τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου και τις σεισμικής επιτάχυνσης θα παραμένουν σταθερά. Σε περίπτωση που ο χρήστης διαφωνεί μπορεί να τα αλλάξει στην αρχή πριν την εκτέλεση του αλγορίθμου.

Ο χρήστης μπορεί να πληκτρολογήσει τα ακόλουθα:

Τύπο διατομής, τύπο χαλυβδόφυλλου, ύψος σκυροδέματος, τύπο για ποσοστό %As και τύπο ήλων. Για τους τύπου των υλικών βλέπε το δεύτερο υπολογιστικό φύλλο του Excel, Sheet1.

Επίσης ο χρήστης μπορεί να πληκτρολογήσει το μήκος της γέφυρας (προσοχή, σε χιλιοστά). Μήκη από 20.00μ έως 40.00μ.

Στα δεξιά της αρχικής σελίδας (input) εμφανίζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα. Αυτά αλλάζουν αυτόματα κατά την εκτέλεση του αλγορίθμου.

Τα βοηθητικά νούμερα που βρίσκονται στο πλάι είναι για τον αλγόριθμο αποκλειστικά. Δεν πρέπει να αλλάχτούν από το χρήστη.

Σημείωση: το πρόγραμμα δουλεύει και χειροκίνητα χωρίς τη χρήση των γενετικών αλγορίθμων για την εύρεση μιας ή περισσότερων λύσεων.

Ουσιαστικά ο χρήστης τοποθετεί δεδομένα στην σελίδα input, σύμφωνα με τις οδηγίες-σχόλια που εμφανίζονται δίπλα από κάθε κελί. Ότι χρειάζεται βρίσκεται στην αρχική σελίδα (input). Συνεπώς δεν θα επεκταθούμε στο τι γίνεται στο υπόλοιπο σώμα του προγράμματος. Μια αναφορά των υπόλοιπων υπολογιστικών φύλλων γίνεται πιο πάνω.

Input

ΤΥΠΟΣ Διατομής	80	Angelina Rezi: 1-81 αναλόγως συγκολλητής-HEB από 60-81 μόνο συγκολλητής
ΤΥΠΟΣ Χαλυβδόφυλλου	2	Angelina Rezi: 1-5 για τύπο χαλυβδόφυλλου
ΥΨΟΣ Σκυροδέματος	4	Angelina Rezi: μετ: 1-3 Για 200-550mm
ΜΗΚΟΣ σκυροδέματος	5200	mm
τύπος για ποσοστό %As	6	Angelina Rezi: στο πλάσι, 1-16 επιλογής
% As πάνω	24	mm
% As κάτω	20	mm
ΤΥΠΟΣ ηλών	2	Angelina Rezi: 1-5 ΤΥΠΟΙ ΗΛΩΝ, ΔΕΣ sheet
ΜΗΚΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ	20000	mm
ΕΠΙΡΟΣΘΕΤΑ:		
ΣΥΣΤΗΜΙΚΗ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗ	0,24	g
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ	V=	33 m/sec
Επιλογή μήκους γεφυρας για σενاريو "a"	20	m

για τις διατομές: OK

είδος	Τύπος	Τύπος Διατομής	Ποσότητα Χάλυβα F	Χάλυβος
ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΗ	1500		2	2

για εγγραφή constrain για τον οριζό των ηλών:

3n=L/5ds	
nmax=L/15ds	
ds=	19
nmax=	55
Nt=5nmax	274

Angelina Rezi: μόν το αλλοζες

Angelina Rezi: ΑΠΟ 20.000 ΕΩΣ 40.000 (20000mm-40000mm) αυτό αλλοζι χρησιμοποιη από δύο πριν το γε

Angelina Rezi: επίλεξε α) μόνο σενάριο β) σενάριο σενάριο γ) σενάριο σενάριο φ) σενάριο σενάριο με ελληνικούς χαρακτήρες

Rezi: από 82-144

Rezi: μελέ επιλογής παραμετροι 1-81

ΕΛΕΓΧΟΙ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΝΟΠΤΙΚΑ

copyright@AR

Κόστος	126.927,11	€	
ΕΛΕΓΧΟΙ	ΒΟΗΘ.	ΒΟΗΣΗΤΙΚΑ	
ΡΟΠΕΣ	ΕΠΑΡΚΗΣ	1	-0,854
ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ	ΕΠΑΡΚΗΣ	1	-0,790
ΗΛΟΙ	240	274	240
ΠΕΡΙΦ. ΗΛΩΝ	OK	1	1,000
ΑΣΟΝΚΕΣ	ΕΠΑΡΚΗΣ	1	-0,478
ΟΥΔΕΤ. ΓΡΑΜΜΗ	ΔΕ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ		
	ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΟ ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΟ		

ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ Κόστος

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ	6552,00	€
ΧΑΛΥΒΩΔΗ ΔΟΚΟΣ	10484,46	€
ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	39944,10	€
ΗΛΟΙ	6123,00	€
ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΟ	360,00	€
ΟΛΑ ΕΠΙ Σ	126927,11	€

ΣΕΝΑΡΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ: β

ΑΚΡΙΒΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ ΦΟΙΒΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

από δύο διαλεγόμενα σενάρια

ΠΕΣ	103	95	103
ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ*	150	180,00 €	150
ΧΑΛΥΒΑΣ ΣΚΥΡΟΔΕ	0,9	0,60 €	0,9
ΔΟΜΙΚΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ	1,35	0,81 €	1,35
ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΟ	1,1475	0,69 €	1,1475
ΗΛΟΙ	2	1,50 €	2

βλ. φύλλο excel κοστος

20 = μήκος (m)

Rezi: από 82-144

Screen capture της σελίδας input 17.1

17 Συμπεράσματα:

Κατά την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας αναπτύχθηκε πρόγραμμα υπολογισμού των εντατικών μεγεθών μια σύμμικτης γέφυρας με στόχο την ανάπτυξη του πλαισίου που θα επιτρέψει τον βέλτιστο προσχεδιασμό καταστρώματος σύμμικτης γέφυρας. Για την βελτιστοποίηση χρησιμοποιήθηκε πρόσθετη βιβλιοθήκη βελτιστοποίησης (add-on) στην οποία ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης στηρίζεται στη θεωρία των Γεννητικών Αλγορίθμων. Κατόπιν με αλλαγή των δεδομένων (πχ. Κόστος υλικών, παραρτημα 1, φύλλο Excel «σενاريو α», ΜΗΚΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ σενάριο κόστους Α, παράρτημα 2, φύλλο Excel «σενاريو β», ΜΗΚΟΣ ΓΕΦΥΡΑΣ σενάριο κόστους Β, φύλλο Excel «σενاريو γ») βρέθηκαν άλλα, διαφορετικά αποτελέσματα τα οποία αντικατοπτρίζουν και την ευελιξία του προγράμματος που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό.

Για τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης διαπιστώθηκε ότι με τις ακόλουθες τιμές των παραμέτρων του Γ.Α. εβρέθη η λύση με το μικρότερο κόστος. (Βλ. screen capture 18.1)

Αριθμός χρωμοσωμάτων: 8

Πιθανότητα cross-over: 0.6

Τυπος cross-over: one point

Πιθανότητα μετάλαξης: 0.01

Τυχαία πιθανότητα επιλογής: 0.1



screen capture 18.1

Εξετάστηκαν και πλήθος άλλων συνδυασμών τιμών για τις παραμέτρους του Γ.Α. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τους συνδυασμούς αυτούς

παρουσιάζονται αναλυτικά στα φύλλα Excel που επισυνάπτονται παράρτημα 2.

Ο πίνακας 18.0.1 παρουσιάζει τα αποτελέσματα με την ολοκλήρωση της διαδικασίας βελτιστοποίησης ήτοι τις βέλτιστες τιμές των μεταβλητών σχεδιασμού και το εκτιμώμενο κόστος της σχεδίασης.

ΤΥΠΟΣ Διατομής	80
ΤΥΠΟΣ Χαλυβδόφυλλου	2
ΥΨΟΣ Σκυροδεματος	4
ΜΗΚΟΣ σκυροδεματος	5200
τύπο για ποσοστό %As	6
% As πάνω	24
% As κάτω	20
ΤΥΠΟΣ ήλων	2
ΚΟΣΤΟΣ	126.927,11 €

Πίνακας 18.0.1

Ερμηνεία του παραπάνω πίνακα:

Βρέθηκε ότι η διατομή που δίνει την βέλτιστη λύση είναι:

b απ (mm)	h _{απ} (mm)	h _κ (mm)	t _κ (mm)	h _{κπ} (mm)	b κπ (mm)
1500	25	1800	16	25	1800

Ομοίως για το σκυρόδεμα:

υψος σκυροδεματος	
350	mm

Ομοίως για το χαλυβδόφυλλο:

ΧΑΛΥΒΔΟΦΥΛΛΟ		
παχος	=	10 mm

Για το As%:

As%	πάνω	Κάτω
	24mm	20mm

Για τους ήλους:

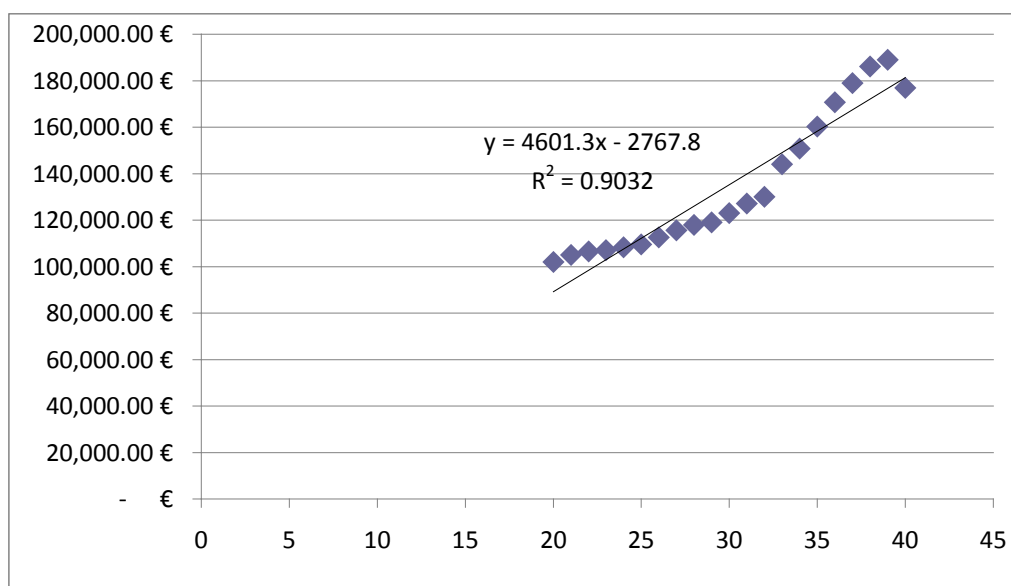
ΗΛΟΙ			
ds	=	19	mm
hs	=	75	mm
fu	=	0,41	Mpa

Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκαν διάφορες παραμετρικές μελέτες.

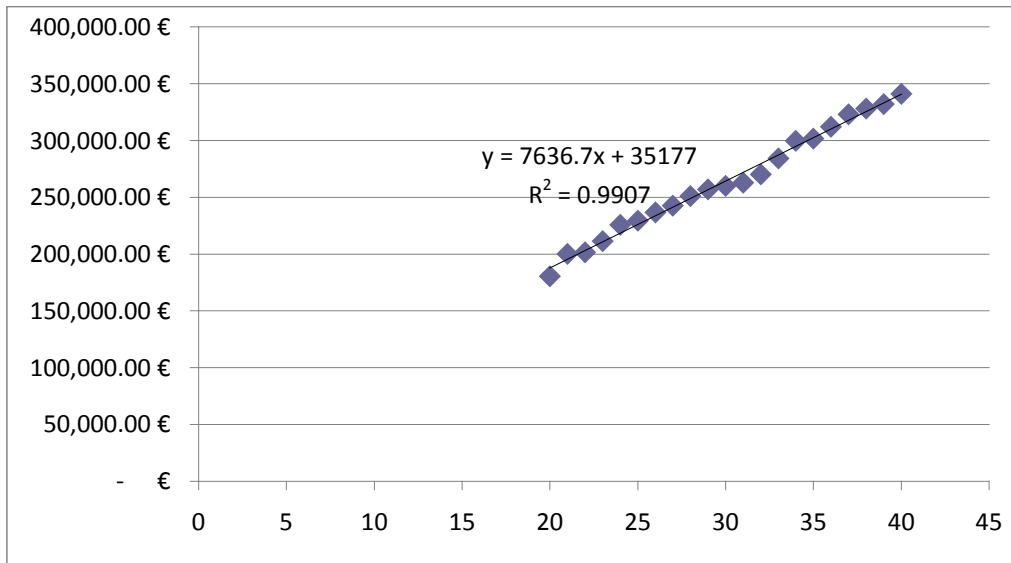
Αναλυτικότερα:

Για διαφορες τιμες του μηκους της γεφυρας (L=20-40 μέτρα) η διαδικασία βελτιστοποίησης επαναλήφθηκε με τη χρήση των ίδιων τιμών για τις παραμέτρους του Γ.Α. με τις τιμές του screen capture 18.1. Τα αποτελέσματα των αναλύσεων αυτών παρουσιάζονται εκτενώς στο παραρτημα 1, σεναρια α,β,γ.

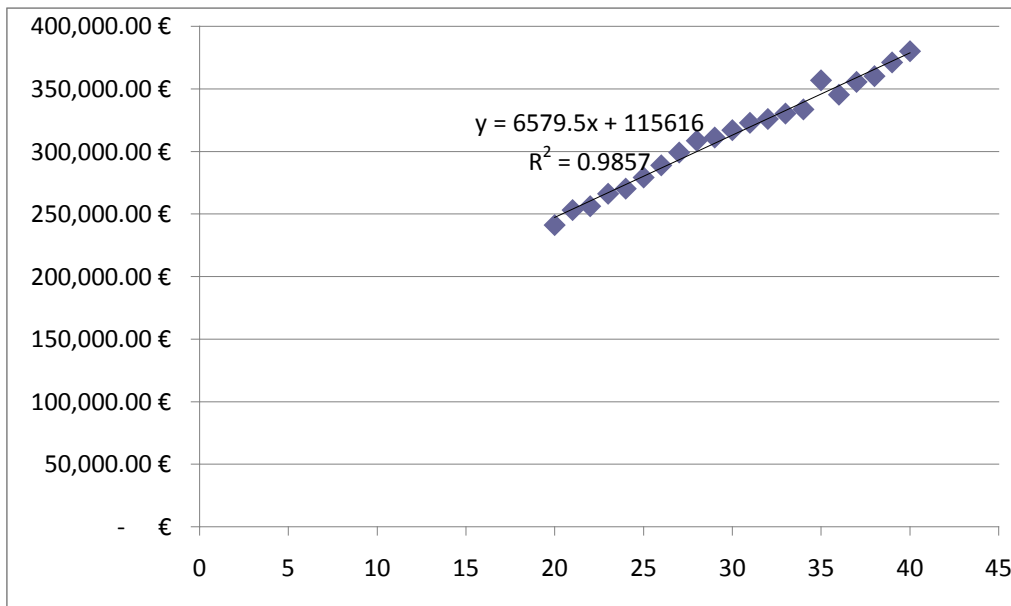
Στα διαγράμματα 1,2 και 3 παρατηρείται μια σχεδόν γραμμική μεταβολή με την αύξηση του μήκους της γέφυρας του κόστος της κατασκευής. Το διάγραμμα 1 προκύπτει από τις τιμές κόστους των επιμέρους υλικών ($C_{\Sigma K}=150.000\text{€}$, $C_{\chi\Delta}=0.900\text{€}$, $C_{\Delta\chi}=1.350\text{€}$, $C_{\text{ΗΛ}}=2.000\text{€}$ $C_{\chi\text{ΑΛ}}=1.148\text{€}$). Αντίστοιχα το διάγραμμα 2 προκύπτει από τιμές κόστους ($C_{\Sigma K}=150.000\text{€}$, $C_{\chi\Delta}=0.900\text{€}$, $C_{\Delta\chi}=1.350\text{€}$, $C_{\text{ΗΛ}}=2.000\text{€}$, $C_{\chi\text{ΑΛ}}=1.148\text{€}$) και το διάγραμμα 3 από τιμές κόστους $C_{\Sigma K}=150.000\text{€}$, $C_{\chi\Delta}=0.900\text{€}$, $C_{\Delta\chi}=1.350\text{€}$, $C_{\text{ΗΛ}}=2.000\text{€}$ $C_{\chi\text{ΑΛ}}=1.148\text{€}$).



διάγραμμα 1



διάγραμμα 2



διάγραμμα 3

Από το παραρτημα 1 , σενاريو β, φαίνεται η αλλαγή του κόστους. Ενδεικτικά για 3 μήκη έχουμε:

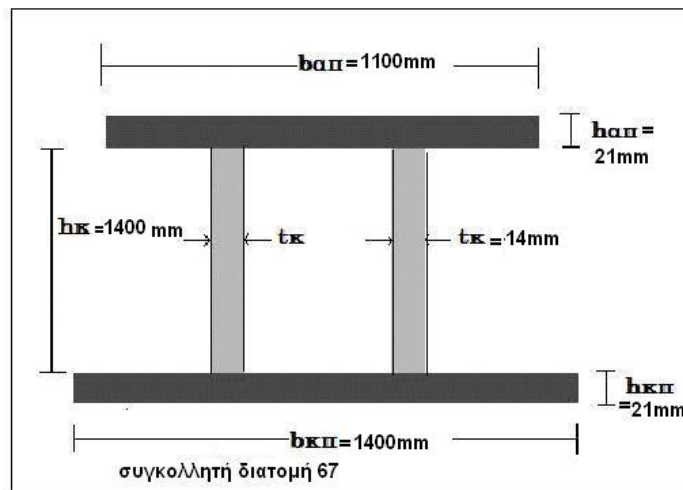
Κοστος: 101.998,78 € στα 20.00 μέτρα.

Κοστος: 123.030,83 € στα 30.00 μέτρα.

Κοστος: 176.850,11 € στα 40.00 μέτρα.

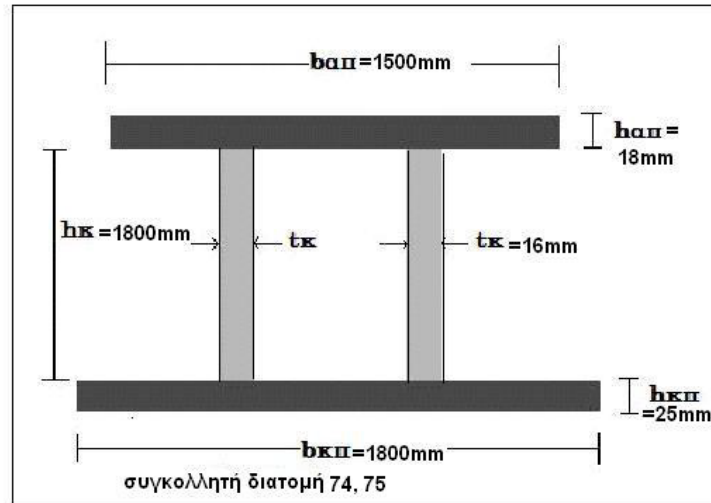
Παρατηρείται μια αύξηση του κόστους κατά περίπου 75% όταν το μήκος της γεφυρας φτάνει τα 40.00 μέτρα (ήτοι διπλασιάζεται σε σχέση με το μήκος αναφοράς των 20,00μέτρων).

Όσον αφορά τη μορφή της διατομής, όπως ήταν αναμενόμενο καθώς αυξάνεται το μήκος της γέφυρας αυξάνεται και το μέγεθος της σιδηράς διατομής (Εικόνα 29 όπου $L=20,00$ μέτρα και Εικόνα 30 όπου $L=40,00$ μέτρα). Αντίστοιχα το πάχος της πλάκας σκυροδέματος είναι για $L=20,00$ μέτρα ίσο με 0.350 μέτρα και για $L=40,00$ μέτρα ίσο με 0.350 μέτρα.



number 67

Εικόνα 29 . διατομή 67



number: 74, 75

Εικόνα 30 διατομή 74 & 75

Ενδεικτικά παρατείθεται ένας από τους πίνακες (πίνακας 1) του παραρτηματος 3 όπου από ένα συνολο 64 δοκιμών βρέθηκαν τα εξής αποτελέσματα χωρισμένα κατά αριθμό των ατόμων που αποτελούν τον πληθυσμό του Γ.Α.

Number of Chromosomes	Data	Total cost
8	Average of kostos	133101,2267
	Max of kostos	299182,5012
	Min of kostos	107300,574
12	Average of kostos	113365,374
	Max of kostos	116447,074
	Min of kostos	107300,574
16	Average of kostos	115180,4029
	Max of kostos	124537,414
	Min of kostos	108172,754
20	Average of kostos	112065,0762
	Max of kostos	116969,034
	Min of kostos	107300,574
24	Average of kostos	110836,2318
	Max of kostos	113610,774
	Min of kostos	107090,574
28	Average of kostos	586052,1473

	Max of kostos	3902623,22
	Min of kostos	107300,574
32	Average of kostos	109544,494
	Max of kostos	113610,774
	Min of kostos	107090,574
Total Average of kostos		175688,1533
Total Max of kostos		3902623,22
Total Min of kostos		107090,574

Πίνακας 1

Σε αυτόν τον πίνακα παρατηρείται ότι η λύση με το μικρότερο κόστος βρέθηκε κατά την εκτέλεση των αναλύσεων με πληθυσμό 24 και 32 χρωμοσώματα και το εκτιμώμενο κόστος αυτής είναι 107090,574Euro. Στην περίπτωση της εκτέλεσης των αναλύσεων με πλήθος χρωμοσωμάτων ίσο με 28 παρατηρήθηκε ότι ο αλγόριθμος συνέκλινε σε μία μη βέλτιση (η οποία ταυτόχρονα παραβιάζει και τους περιορισμούς σχεδιασμού) με κόστος ίσο με 3902623,22Euro. Η ύπαρξη της λύσης αυτής επηρέασε και το μέσο κόστος των λύσεων για το αυτό πλήθος χρωμοσωμάτων. (Επισημαίνεται ότι το πρόγραμμα του αλγορίθμου παρουσίασε ένα σφάλμα κατά την εκτέλεση του σε μια από τις εφαρμογές για αυτό το λόγο παρατηρούμε αυτό το φαινόμενο της μη συμβατής λύσης, καθώς αυτή η τιμή δεν παραβλέφθηκε).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΗ ΣΕΛΙΔΑ

Στις σελίδες που ακολουθούν παρατάσσονται τα παραρτήματα 1-3, στα οποία παραθέτονται τα αποτελέσματα των τεστ που πραγματοποιήθηκαν για επίτευξη της πτυχιακής εργασίας αυτής.

18 ΒΙΒΛΟΓΡΑΦΙΑ

1. «Σιδηρές και Σύμμικτες κατασκευές», Ι. ΕΡΜΟΠΟΥΛΟΣ, εκδ. Κλειδάριθμος, Αθήνα 2000
2. «Ευρωπαϊκές Σύμμικτες Κατασκευές- Εκτέλεση και διαστασιολόγηση, σύμφωνα με τον EC4 και άλλα συναφή Πρότυπα», Bode, εκδ. Μ. Γκιούρδας
3. Σημειώσεις «Σύμμικτες κατασκευές», Χ. Δήμου, Τει Πειραιά
4. Ευρωκώδικες 1, 4.
5. «Εξελικτικός προγραμματισμός: Νέες μέθοδοι βελτιστοποίησης» Σωκράτης Κ. Κάτσικας. Τμήμα Μηχ/κών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων. Πανεπιστήμιο Αιγαίου. pdf file.
6. «Σύμμικτες Κατασκευές – 2η Έκδοση», Βάγιας Ι. Κ., (2001) Εκδόσεις Κλειδάριθμος
7. «Bridge Engineering Handbook» by Wai-Fah Chen, Lian Duan, Susan E. Hida, Yusuf Saleh, and Steve Altman etc. 2000 by CRC Press LLC.
8. «Belegundu A. Chandrupatla, T. Optimization concepts and application in engineering». Prentice-Hall Inc. 1999 New Jersey. 'Coding and modifications by Carlos Coronado'.
9. «Σχεδιασμός σύμμικτων δομικών στοιχείων σύμφωνα με τον EC4». Φαίδων Σ. Καρυδάκης
10. <http://www.alexschreyer.de/projects/xloptim/> ,Alexander Schreyer's, (τελευταία πρόσβαση 23/1/2011,ωρα 17.42 GMT +2)
11. «Users guide to PIKAIA 1.0». [1] Charbonneau, P., KNapp, B (1995). NCAR Technical note TN-418-IA
12. «Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning» [2] Goldberg,D. (1989).. Addison-Wesley.
13. «Νεο ΑΤΟΕ Έκδοση 2.0 ΟΚΤ 2007» από έκδοση για την σύγκριση παλαιών και νέων τιμών – Π.Ε.Σ.Ε..Ε. 2007.
14. «Τεχνικά Γεφυρώσης Διαυλων ΚΝΗΜΙΔΑΣ και ΩΡΕΩΝ» -Σύγκριση με τη Ζεύξη του Ρίου-Αντιρρίου Π. Κ. Παπανικόλας Δρ. Πολιτικός Μηχανικός.

copyright@ AR.