

**Βελτιστοποίηση Μεταλλικού Φορέα Τύπου
Vierendeel Βάσει Μη Γραμμικών Αριθμητικών
Αναλύσεων**



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Εξεταζόμενος Φοιτ.: Σεβαστιανός Λυριστής
Επιβλέπων Καθηγ.: Χάρης Γαντές

17 Μαρτίου 2022



Περιεχόμενα

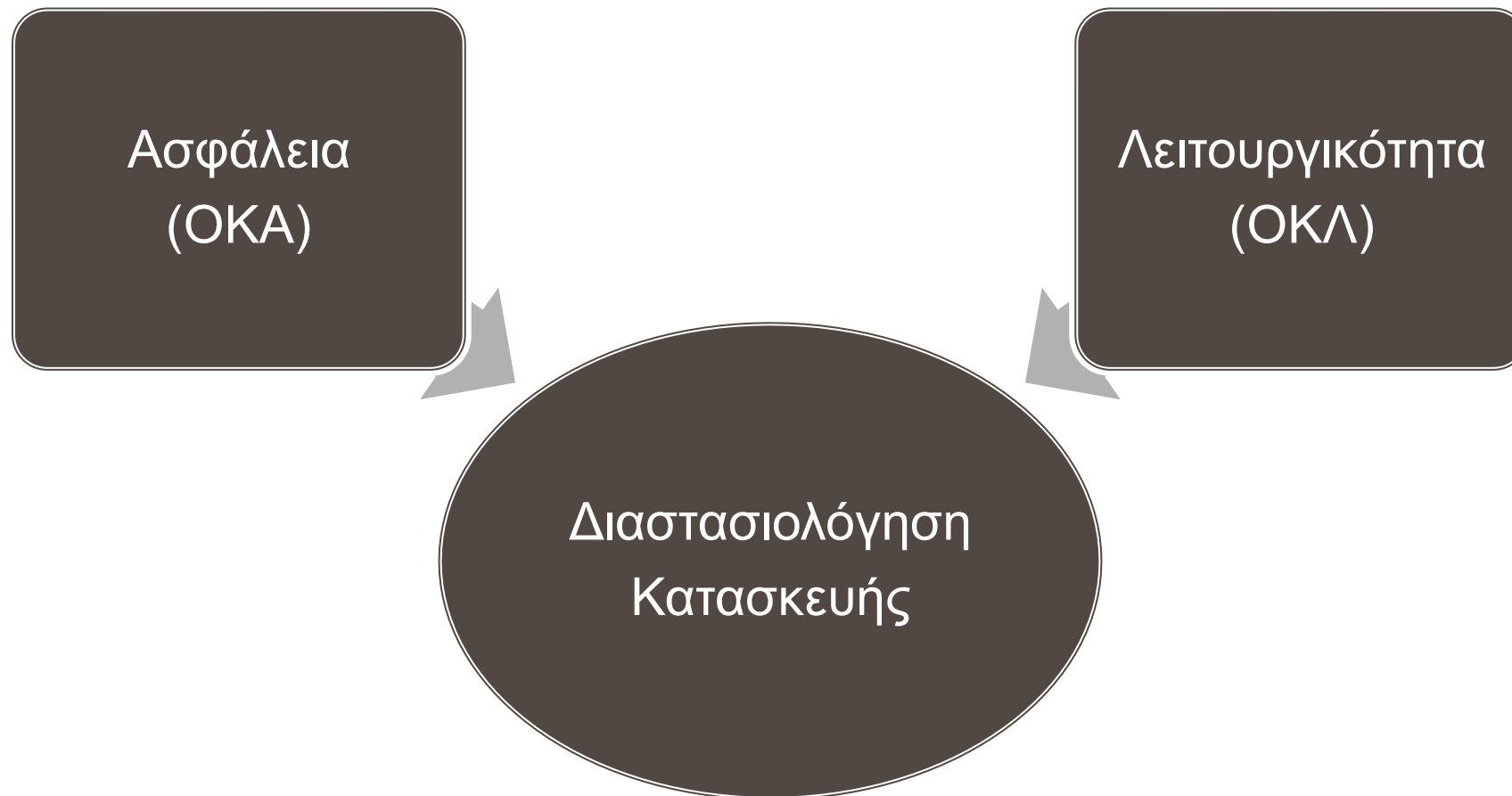
- Εισαγωγή
- Χαρακτηριστικά του Φορέα
- Λογισμικό Adina
- Μοντέλο I – Σχεδιασμός με Στοιχεία Δοκού
- Μοντέλο II – Σχεδιασμός με Στοιχεία Κελύφους
- Βελτιστοποίηση
- Συμπεράσματα
- Σχόλια και Παρατηρήσεις
- Ευχαριστίες



Εισαγωγή



Διαστασιολόγηση Κατασκευής



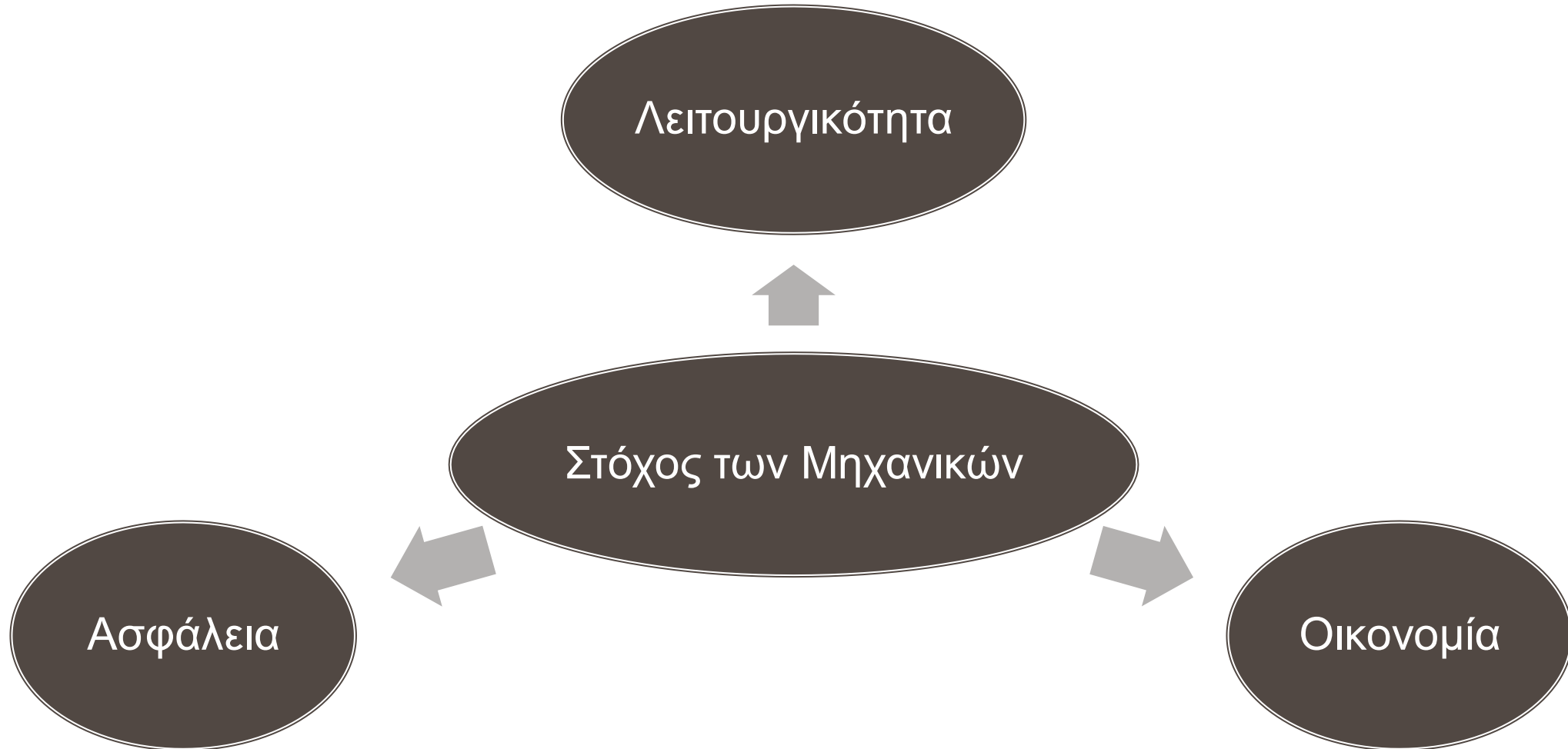


Σχεδιασμός Κατασκευής





Σχεδιασμός Κατασκευής





Σχεδιασμός Κατασκευής

Υπάρχει το περιθώριο επέμβασης στο σχεδιασμό μίας διαστασιολογημένης κατασκευής ώστε να είναι το ίδιο ασφαλής και λειτουργική με χρήση λιγότερου υλικού;



Στόχος της Εργασίας

Υπάρχει το περιθώριο επέμβασης στο σχεδιασμό μίας διαστασιολογημένης κατασκευής ώστε να είναι το ίδιο ασφαλής και λειτουργική με χρήση λιγότερου υλικού;

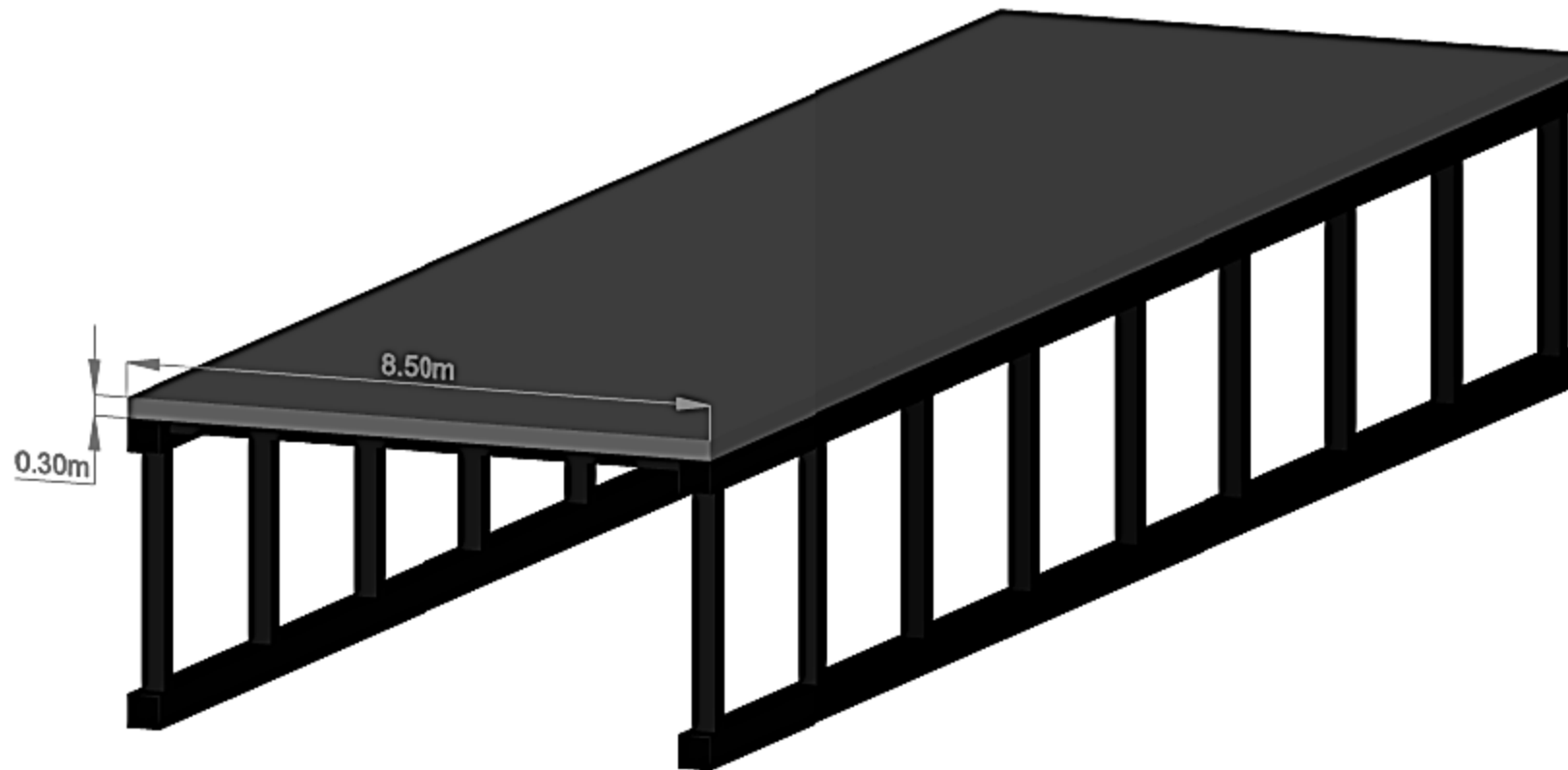
Αντικείμενο της εργασίας είναι η βελτιστοποίηση ως προς το πάχος των διατομών μίας μεταλλικής δοκού τύπου Vierendeel.



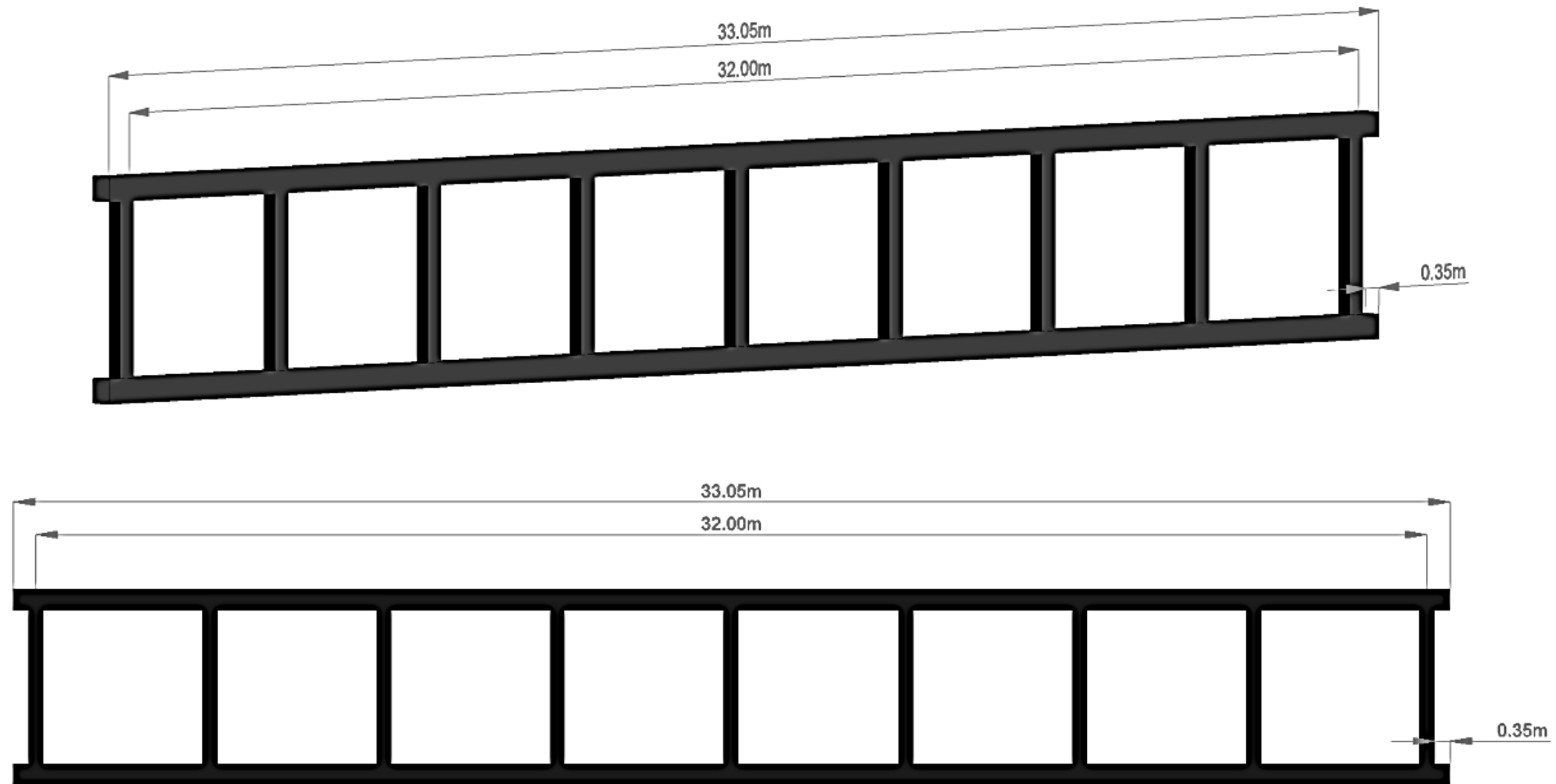
Χαρακτηριστικά του Φορέα



Γεωμετρία Γέφυρας



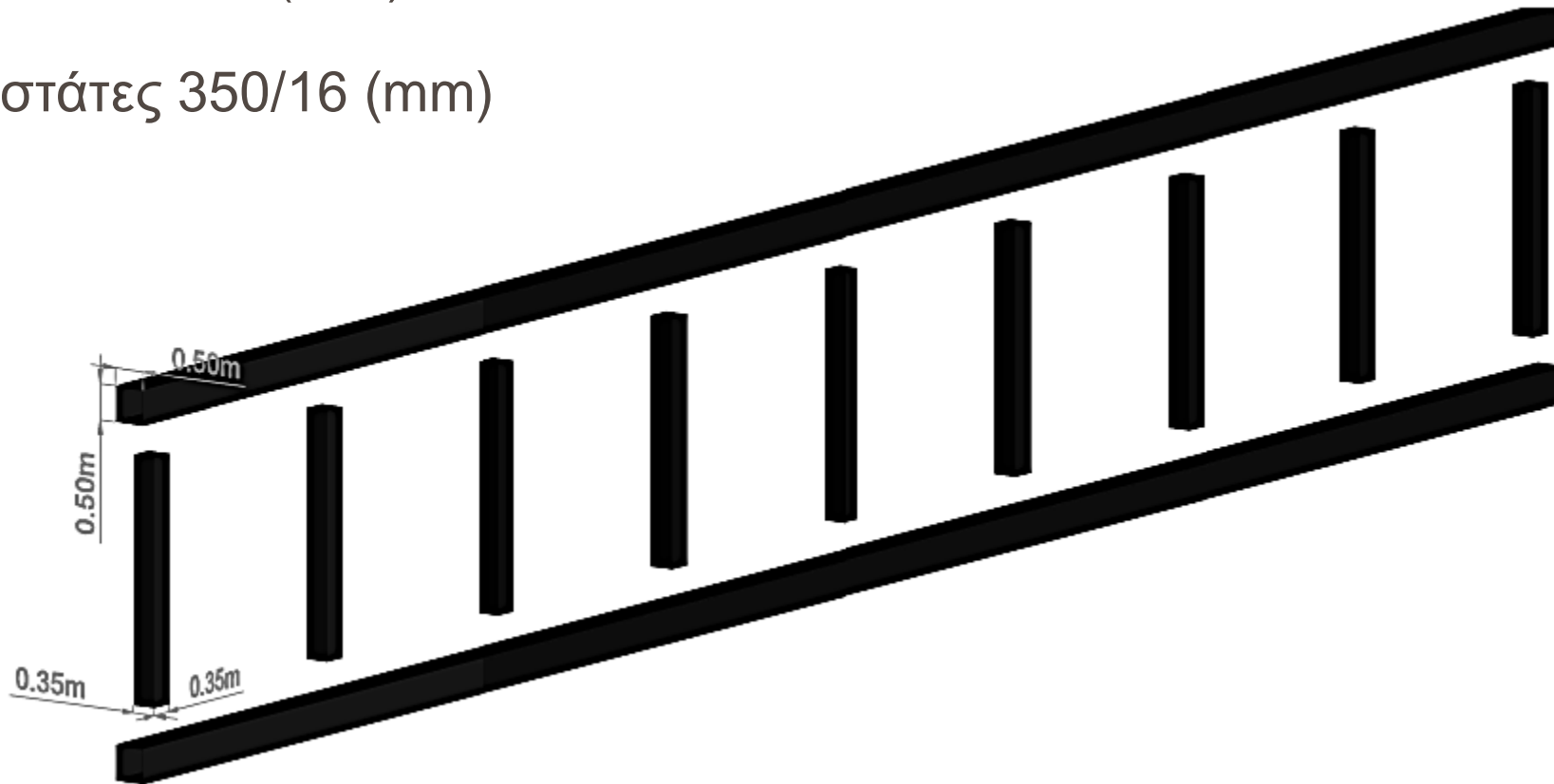
Γεωμετρία δοκού Vierendeel



Διατομές Δοκού Vierendeel

Μετά από προμελέτη με παραμετρικές αναλύσεις προκύπτουν:

- Πέλματα 500/20 (mm)
- Ορθοστάτες 350/16 (mm)



Στηρίξεις – Συνοριακές Συνθήκες

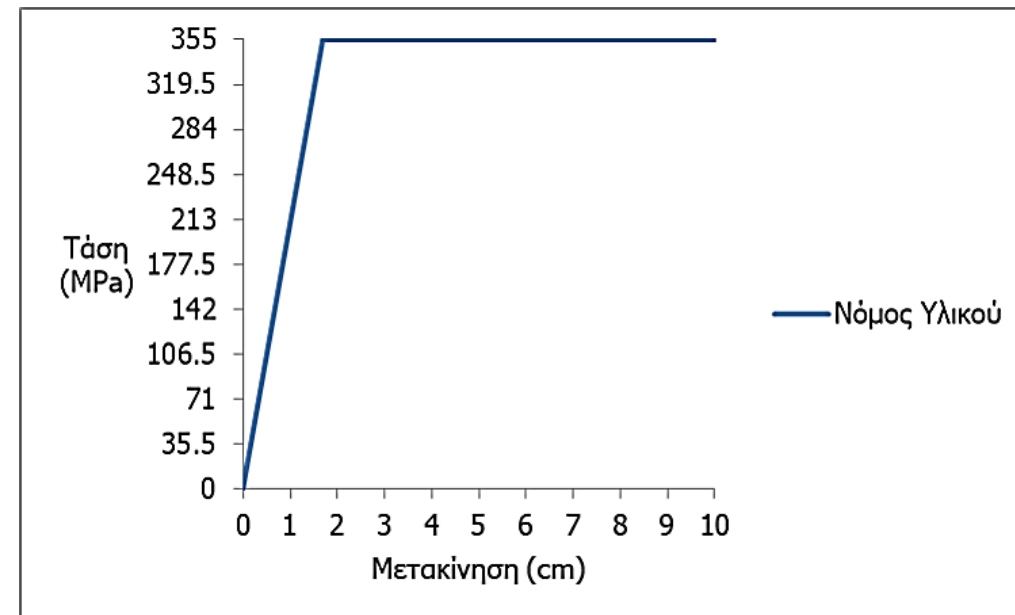


- Εφέδρανα με δυσκαμψία 1000MN/m (κατακόρυφη δυσκαμψία)
- Δέσμευση οριζόντιων μετακινήσεων στην αριστερή στήριξη
- Πλευρική εξασφάλιση στο μέσο επίπεδο της δοκού



Ιδιότητες Υλικού – Νόμος Υλικού

- Δομικός Χάλυβας S355
- Μέτρο ελαστικότητας $E=210\text{GPa}$
- Λόγος Poisson $\nu=0.3$
- Ισοτροπικό Υλικό





Λογισμικό Adina



Αλγόριθμοι επίλυσης

Ανάλυση Μοντέλου με δύο αλγορίθμους επίλυσης:

- Statics → μέθοδος Newton Rapshon ή Modified Newton Rapshon
- Collapse → μέθοδος Arc-Length



Αλγόριθμος Collapse

- Απεικόνιση καθοδικών κλάδων ισορροπίας.
- Προκύπτουν αποτελέσματα και συμπεράσματα για τη μεταλυγισμική συμπεριφορά του φορέα.



Μοντέλο Ι – Σχεδιασμός με Στοιχεία Δοκού



Σχεδιασμός Μοντέλου I

- Σχεδιασμός με στοιχεία δοκού.
- Η δοκός είναι αμφιέρειστη.
- Φορτίο καταναμημένο στο άνω πέλμα – 80kN/m.





Προμελέτη – Επιλογή Διατομών

- Διαδικασία διερεύνησης με μοντέλα διαφορετικών διατομών, με κριτήριο το βέλος κάμψης του φορέα (παραμετρικές αναλύσεις).
- Όλες οι αναλύσεις είναι γραμμικές ελαστικές.
- Επίλυση με χρήση του αλγορίθμου Statics.



Πίνακας Παραμετρικών Αναλύσεων

Μονάδες Μέτρησης σε χιλιοστά (mm).

Πλάτος Πελμάτων	Πάχος Πελμάτων	Πλάτος ορθοστατών	Πάχος Ορθοστατών	Ποσοστό μεταβολής	Βέλος	L/250	Έλεγχος
400	20	300	16	-20%	273.2	128	FALSE
450	20	300	16	-20%	249.8	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
550	20	300	16	+10%	215.3	128	FALSE
600	20	300	16	+20%	200.9	128	FALSE
500	16	300	16	-20%	244.5	128	FALSE
500	18	300	16	-20%	237.3	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
500	22	300	16	+10%	225.9	128	FALSE
500	24	300	16	+20%	221.3	128	FALSE
500	20	240	16	-20%	386.2	128	FALSE
500	20	270	16	-20%	294.8	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
500	20	330	16	+10%	186.2	128	FALSE
500	20	360	16	+20%	153.8	128	FALSE
500	20	300	12	-25%	276.9	128	FALSE
500	20	300	14	-12.5%	251.1	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
500	20	300	18	+12.5%	215.4	128	FALSE
500	20	300	20	+25%	202.6	128	FALSE



Επιλογή Διατομών

Επιλογή διατομών (mm):

- Πέλματα → 500/20
- Ορθοστάτες → 350/16

Πλάτος Πελμάτων	Πάχος Πελμάτων	Πλάτος ορθοστατών	Πάχος Ορθοστατών	Ποσοστό μεταβολής	Βέλος	L/250	Έλεγχος
400	20	300	16	-20%	273.2	128	FALSE
450	20	300	16	-20%	249.8	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
550	20	300	16	+10%	215.3	128	FALSE
600	20	300	16	+20%	200.9	128	FALSE
500	16	300	16	-20%	244.5	128	FALSE
500	18	300	16	-20%	237.3	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
500	22	300	16	+10%	225.9	128	FALSE
500	24	300	16	+20%	221.3	128	FALSE
500	20	240	16	-20%	386.2	128	FALSE
500	20	270	16	-20%	294.8	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
500	20	330	16	+10%	186.2	128	FALSE
500	20	360	16	+20%	153.8	128	FALSE
500	20	300	12	-25%	276.9	128	FALSE
500	20	300	14	-12.5%	251.1	128	FALSE
500	20	300	16	0	231.2	128	FALSE
500	20	300	18	+12.5%	215.4	128	FALSE
500	20	300	20	+25%	202.6	128	FALSE

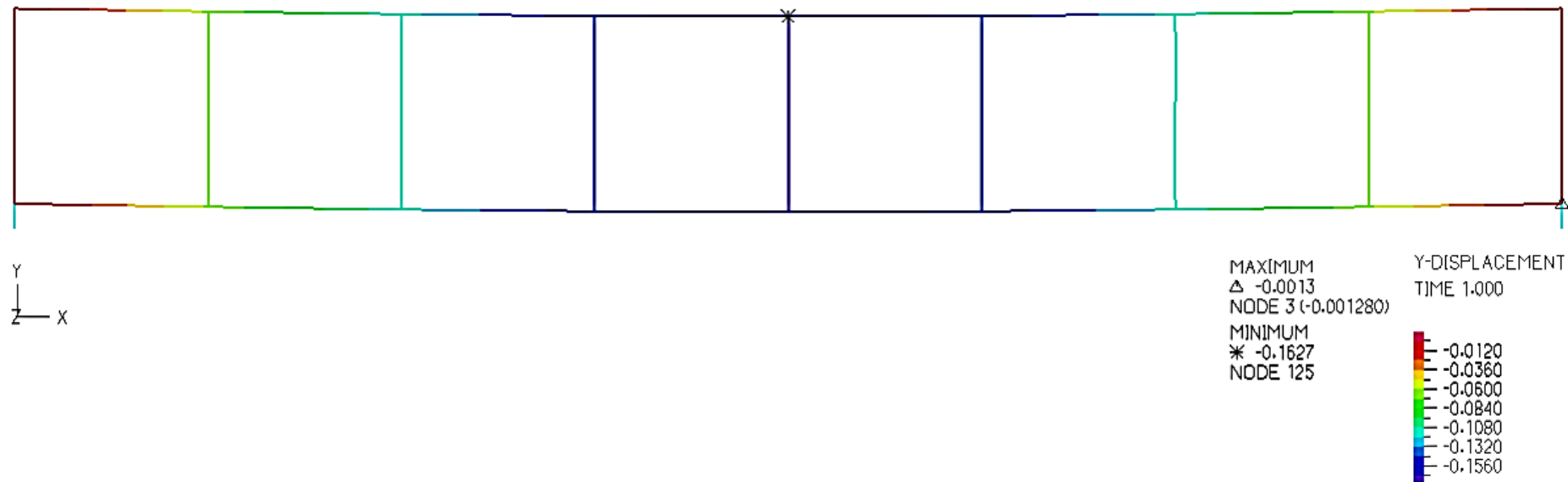


Επιλογή Διατομών

Επιλογή διατομών (mm):

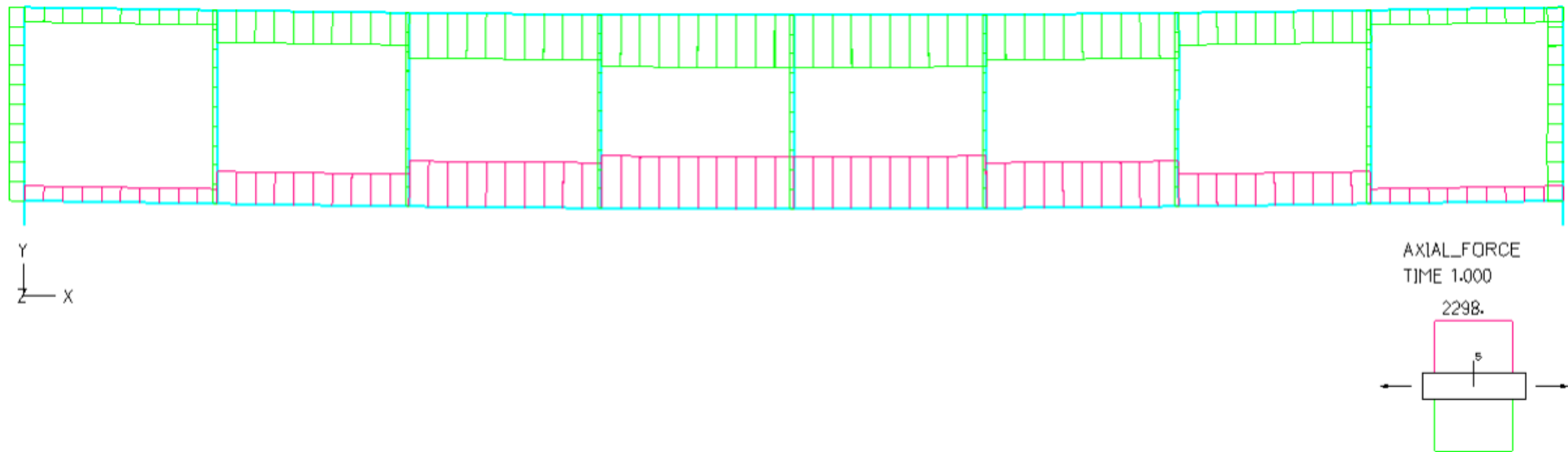
- Πέλματα → 500/20
- Ορθοστάτες → 350/16

Βέλος κάμψης=0.16m (Μοντέλο I με ελαστικές στηρίξεις)



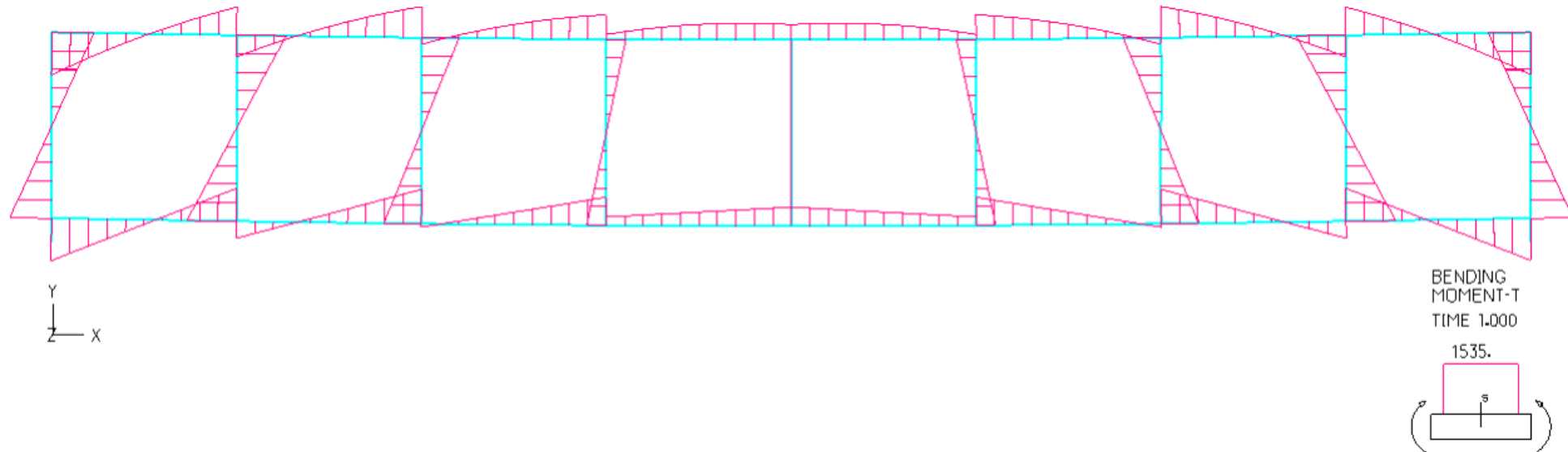


Διάγραμμα Αξονικών Δράσεων





Διάγραμμα Ροπών Κάμψης





Συμπεράσματα Παραμετρικών Αναλύσεων

- Το πάχος των διατομών και το πλάτος των ορθοστατών έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στην κατανομή των τάσεων, ενώ το πλάτος των πελμάτων δεν έχει ιδιαίτερη επιρροή στις τάσεις.
- Μεγάλη συγκέντρωση τάσεων στους ορθοστάτες στις συνδέσεις με τα πέλματα.

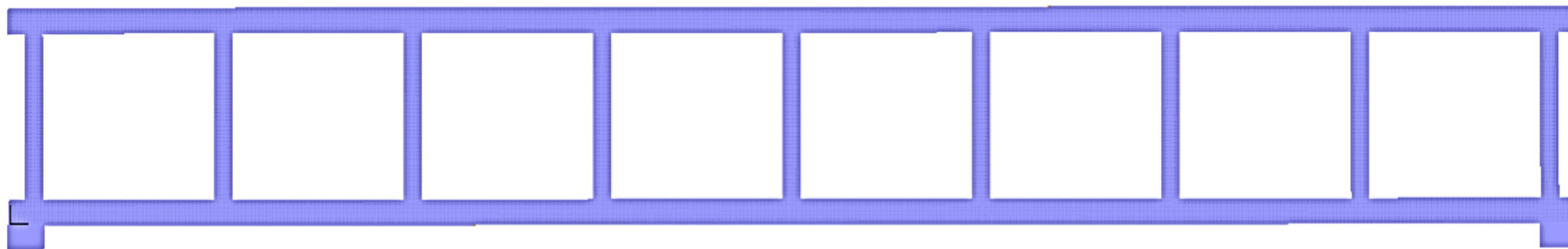


Μοντέλο II – Σχεδιασμός με Στοιχεία Κελύφους



Σχεδιασμός Μοντέλου II

- Σχεδιασμός με στοιχεία κελύφους ορισμένα με 4 κόμβους, διαστάσεων 7x7 (mm).
- Ομοιόμορφο πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.
- Φορτίο ομοιόμορφα κατανομημένο στην επιφάνεια της άνω παρειάς του άνω πέλματος.
- Ελαστικές στηρίξεις – Εφέδρανα.



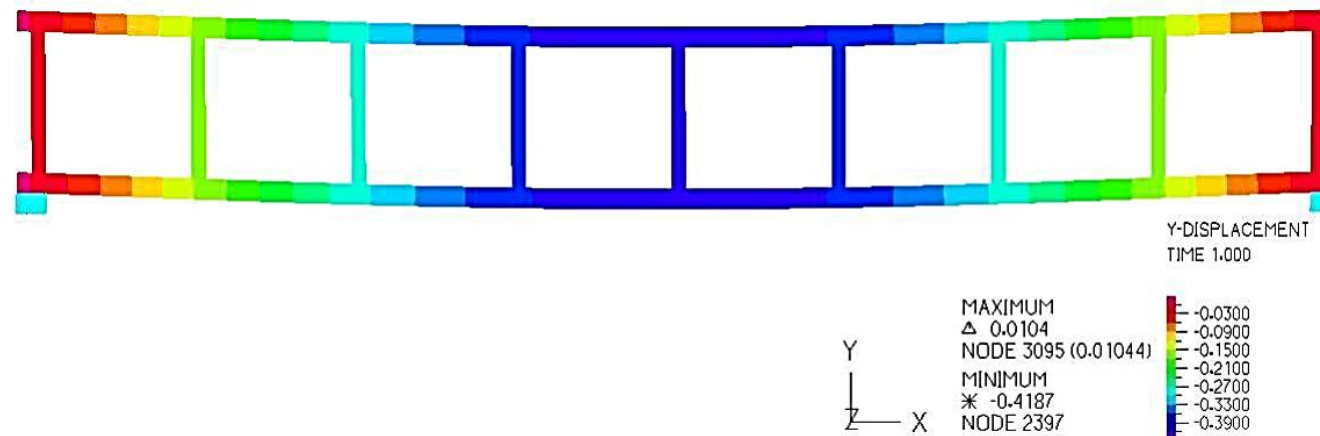


Γραμμική Ανάλυση

Βέλος κάμψης=0.42m

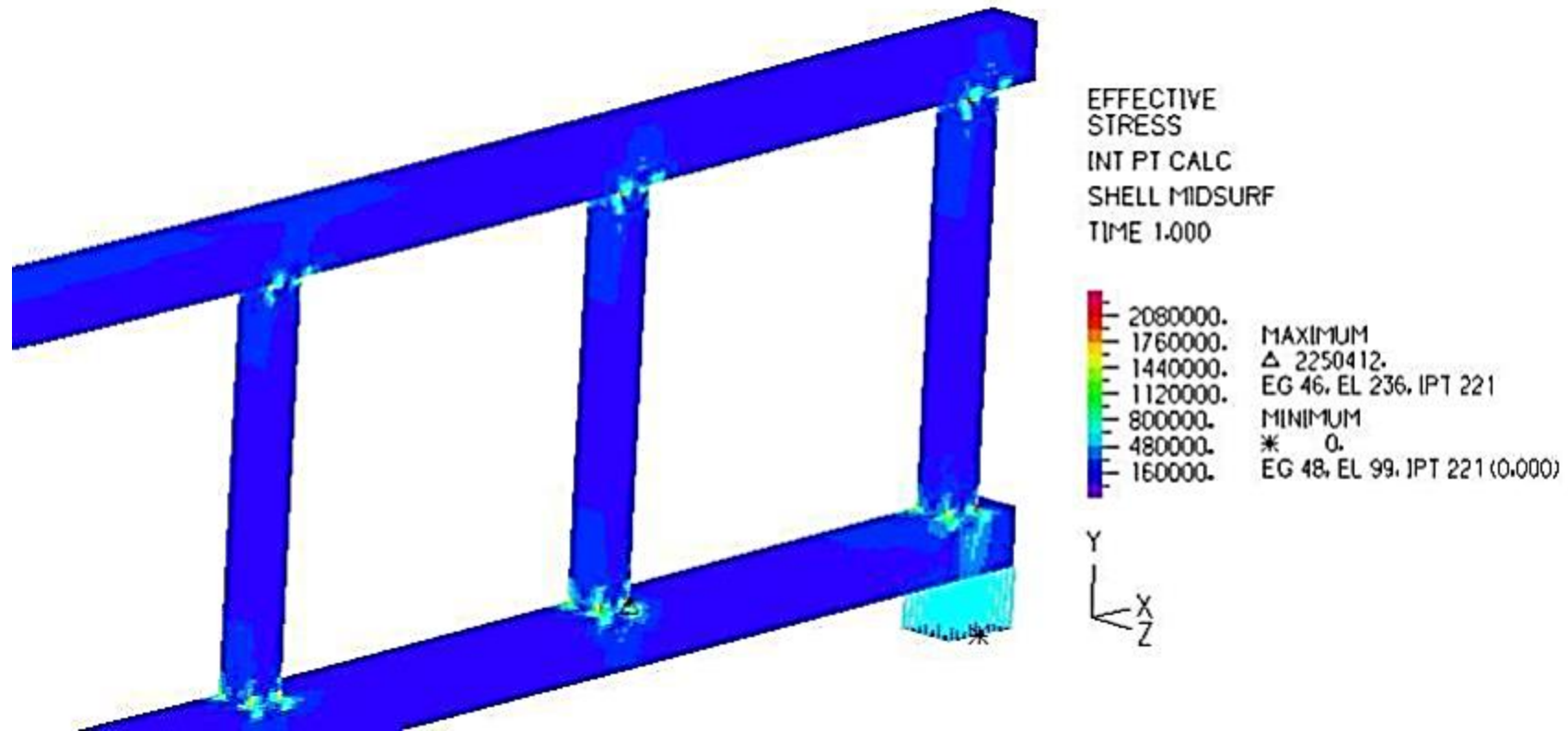
Αίτια απόκλισης στο βέλος κάμψης των δύο Μοντέλων:

- Διαφορετική κατανομή τάσεων στα δύο Μοντέλα.
- Μεγάλη παραμορφωσιμότητα στις συνδέσεις των ορθοστατών με τα πέλματα και η μεγάλη στροφή που αναπτύσσεται στις ελαστικές στηρίξεις.



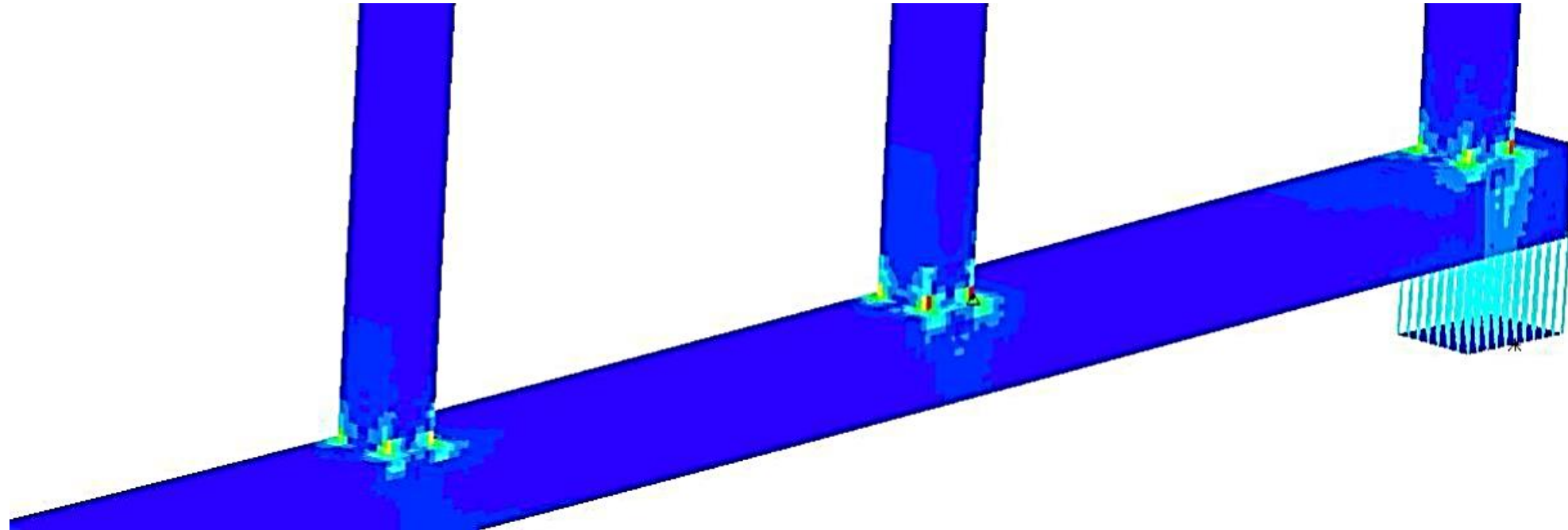


Κατανομή Τάσεων Von Mises



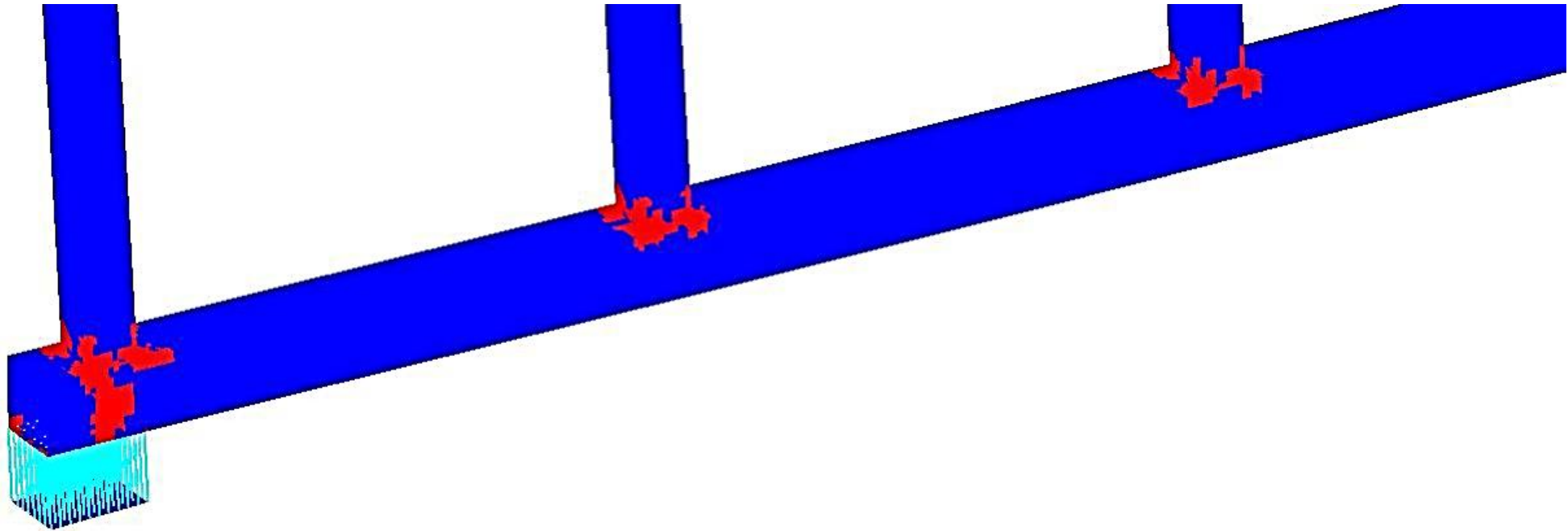


Κατανομή Τάσεων Von Mises





Περιοχές Πλαστικών Ζωνών – Γραμμική Ανάλυση





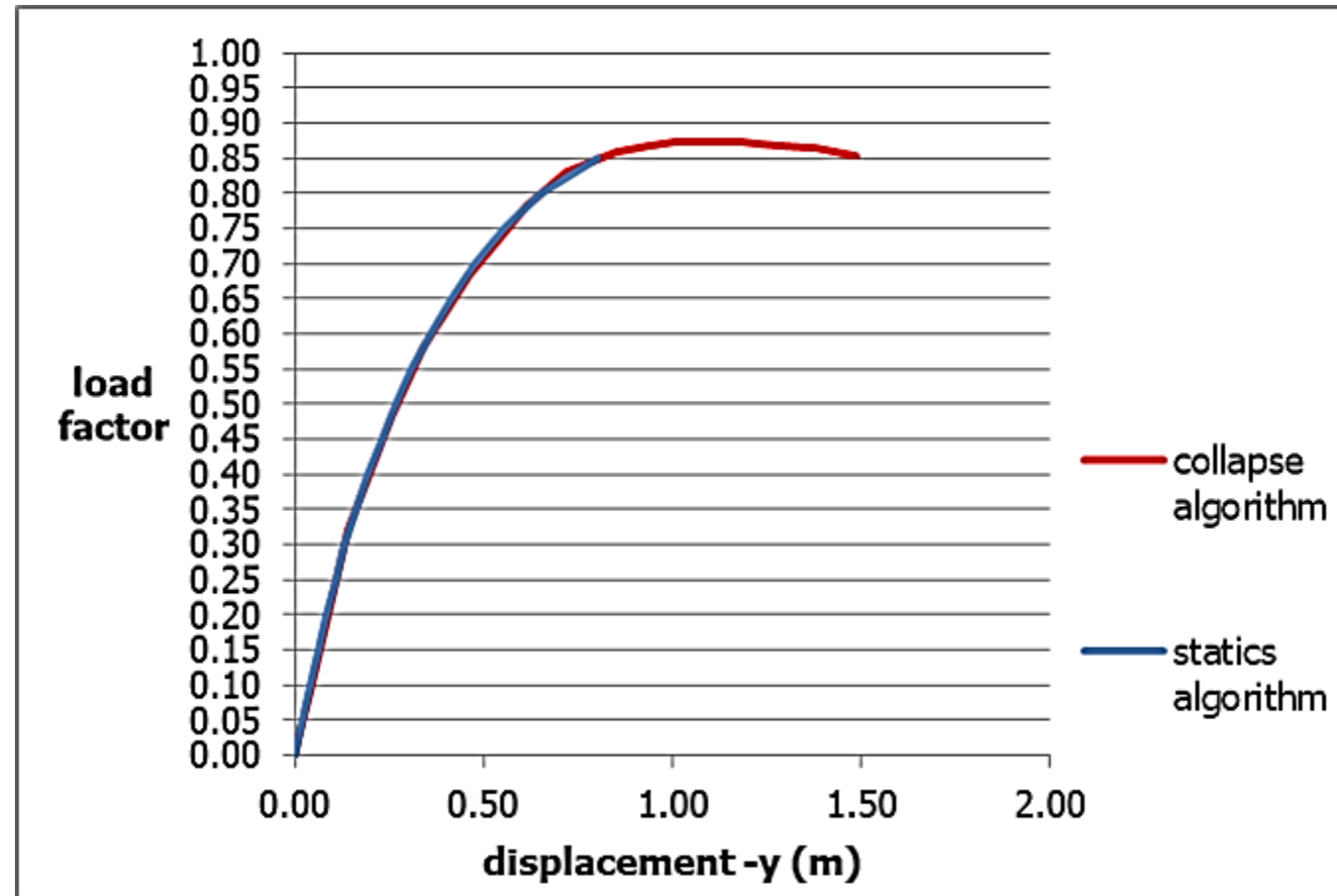
Επαλήθευση Σωστού Σχεδιασμού του Μοντέλου II

Ίσες αντιδράσεις στηρίξεων στα δύο Μοντέλα.

(kN)	Μοντέλο II	Μοντέλο I
N1=	1280.17	1279.80
N2=	1278.80	1279.80

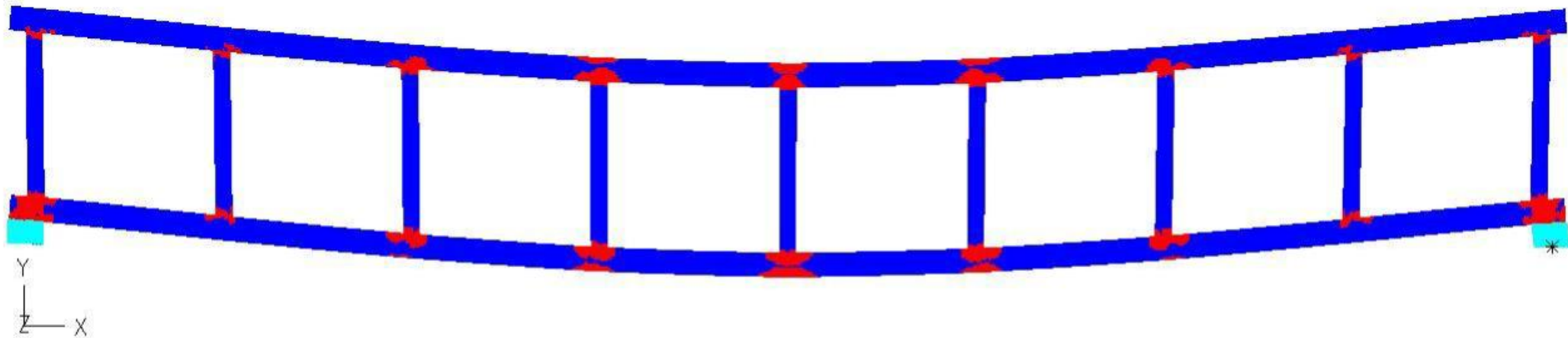


Μη Γραμμική Ανάλυση – Δρόμος Ισορροπίας





Περιοχές Πλαστικών Ζωνών στο 7^ο Βήμα Επίλυσης





Βελτιστοποίηση



Σχεδιασμός με Κατάλληλη Οργάνωση των Δεδομένων

Βελτιστοποίηση ως προς το πάχος των στοιχείων του Μοντέλου II.

Βασικές προϋποθέσεις που κάνουν το μοντέλο διαχειρίσιμο στο χρήστη για επεξεργασία του πάχους των στοιχείων:

- Ορισμός επιφανειών με κοινό προσανατολισμό (π.χ. δεξιόστροφα).
- Οι επιφάνειες κάθε ομάδας στοιχείων να έχουν ίσες διαστάσεις.
- Οι επιφάνειες της κάθε ομάδας στοιχείων να συνορεύει με επιφάνειες ίσων διαστάσεων.



Καταγραφή Στοιχείων του Μοντέλου σε Αρχείο Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑ																							
2	ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΜΕΛΟΣ																				ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΟΡΘΟΣ			
3	κάτω παρειά γ=0m										άνω παρειά γ=0.5m										κάτω παρειά γ=0m			
4	z=0m	1037	1036	1035	1034	1033	1032	1031	1030	8	7	6	5	4	3	2	1	z=0m	5	4				
5		1086	1085	1084	1083	1082	1081	1080	1079	106	105	104	103	102	101	100	99				10	9		
6		1135	1134	1133	1132	1131	1130	1129	1128	155	154	153	152	151	150	149	148				15	14		
7		1184	1183	1182	1181	1180	1179	1178	1177	204	203	202	201	200	199	198	197				20	19		
8		1233	1232	1231	1230	1229	1228	1227	1226	253	252	251	250	249	248	247	246				25	24		
9		1282	1281	1280	1279	1278	1277	1276	1275	302	301	300	299	298	297	296	295				30	29		
10	z=0.5m	1331	1330	1329	1328	1327	1326	1325	1324	57	56	55	54	53	52	51	50	z=0.5m	35	34				
11																								
12		δεξιά παρειά z=0										αριστερή παρειά z=0.5										δεξιά παρειά z=0		
13	γ=0.5	645	644	643	642	641	640	639	638	988	987	986	985	984	983	982	981	γ=0	105	104	1			
14		596	595	594	593	592	591	590	589	939	938	937	936	935	934	933	932				100	99		
15		547	546	545	544	543	542	541	540	890	889	888	887	886	885	884	883				95	94		
16		498	497	496	495	494	493	492	491	841	840	839	838	837	836	835	834				90	89		
17		449	448	447	446	445	444	443	442	792	791	790	789	788	787	786	785				85	84		
18		400	399	398	397	396	395	394	393	743	742	741	740	739	738	737	736				80	79		
19	γ=0	351	350	349	348	347	346	345	344	694	693	692	691	690	689	688	687	γ=0.5	75	74				
20																								
21	ΑΝΩ ΠΕΛΜΑ																							
22	ΑΡΙΣΤΕΡΟ ΜΕΛΟΣ																				ΠΕΡΙΟΧΗ ΠΡΟΒΟΛΗΣ ΟΡΘΟΣ			
23	κάτω παρειά γ=0m										άνω παρειά γ=0.5m										κάτω παρειά γ=0m			
24	z=0m	8	7	6	5	4	3	2	1	694	693	692	691	690	689	688	687	z=0m	45	44				
25		106	105	104	103	102	101	100	99	743	742	741	740	739	738	737	736							
26		155	154	153	152	151	150	149	148	792	791	790	789	788	787	786	785							
27		204	203	202	201	200	199	198	197	841	840	839	838	837	836	835	834							

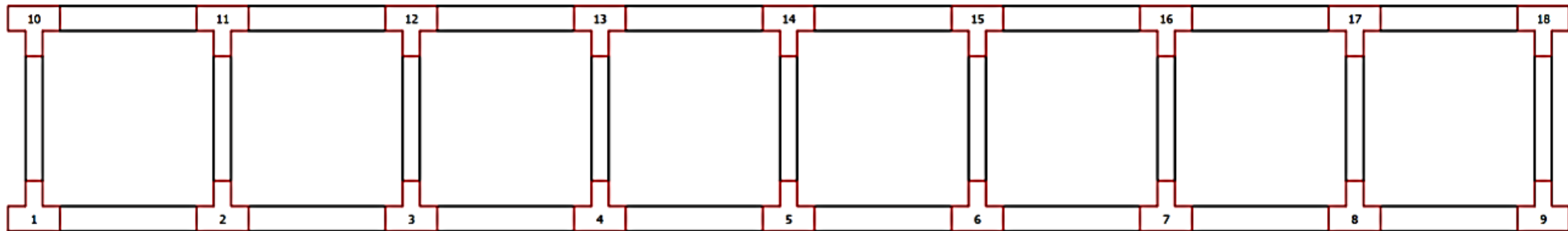


1^η Φάση Βελτιστοποίησης

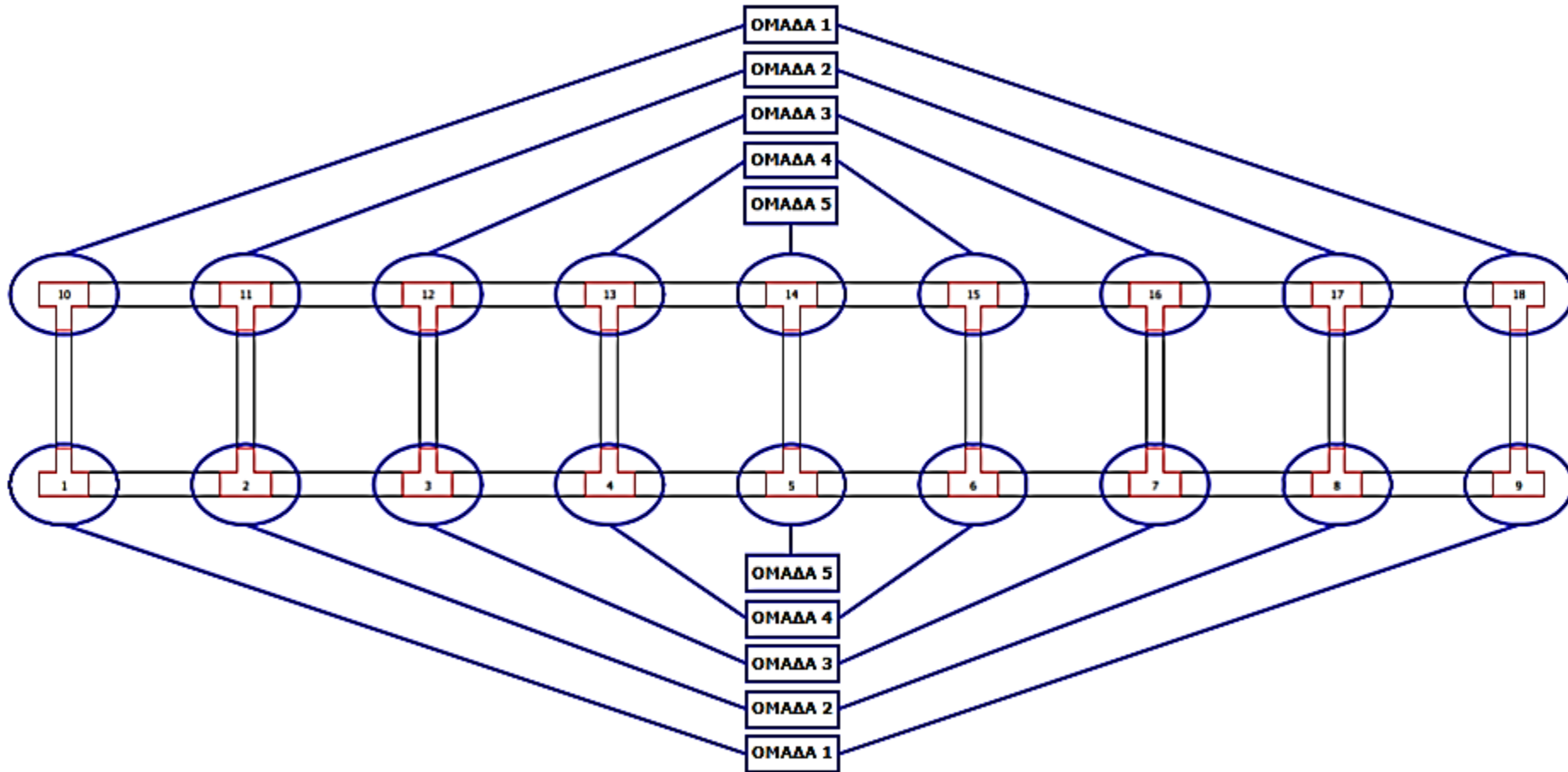
Ενίσχυση περιοχών κοντά στις συνδέσεις των ορθοστατών με τα πέλματα.



Ορισμός «Συνδέσεων» – Περιοχές στις Συνδέσεις



Ομαδοποίηση «Συνδέσεων»





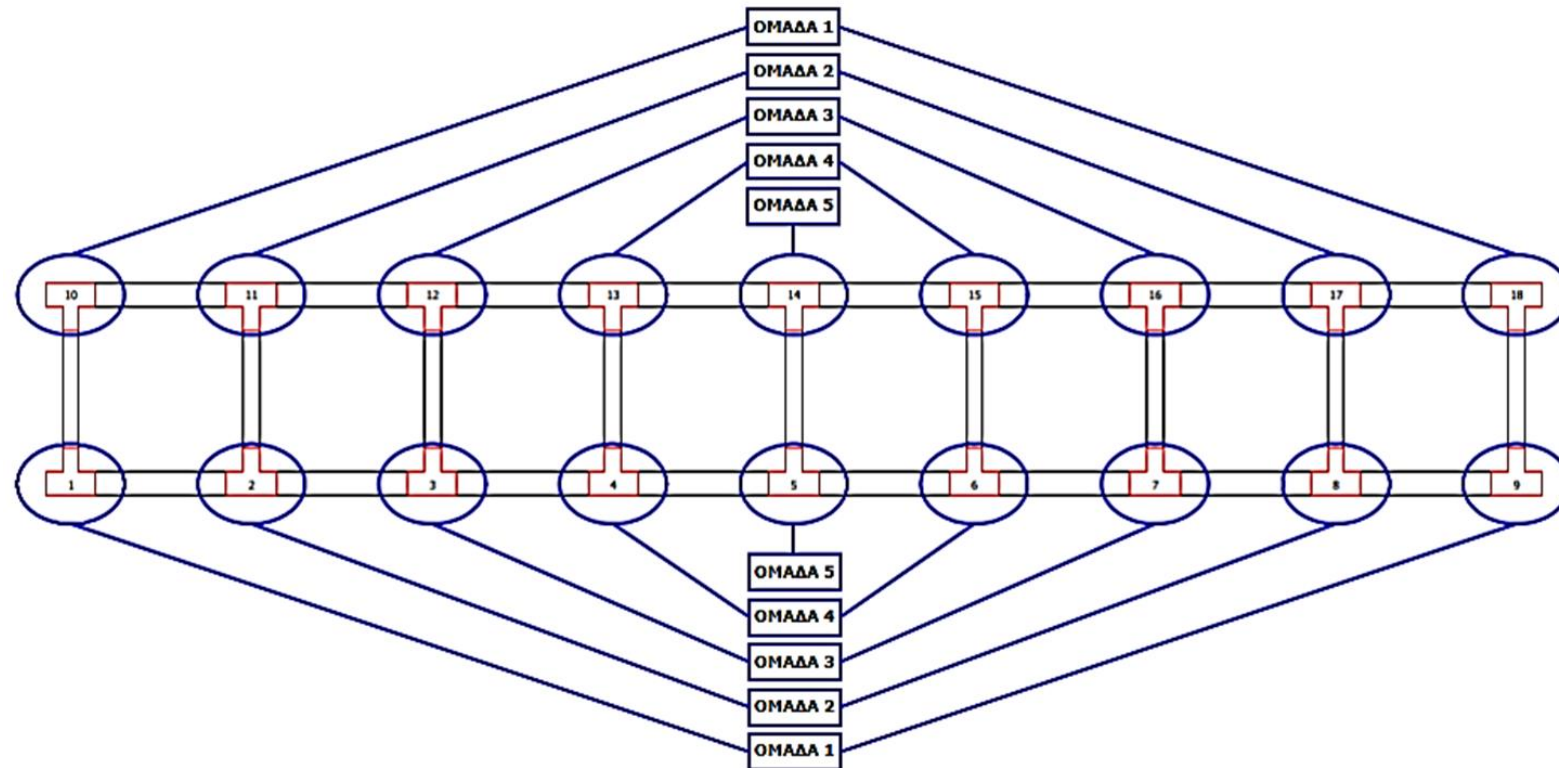
Σχεδιασμός «Αρχικού» Μοντέλου

Ποιά Ομάδα Συνδέσεων έχει μεγαλύτερη επιρροή στο βέλος κάμψης του φορέα;

Αρχικό Μοντέλο: Όλες οι Συνδέσεις έχουν πάχος 0.1m.

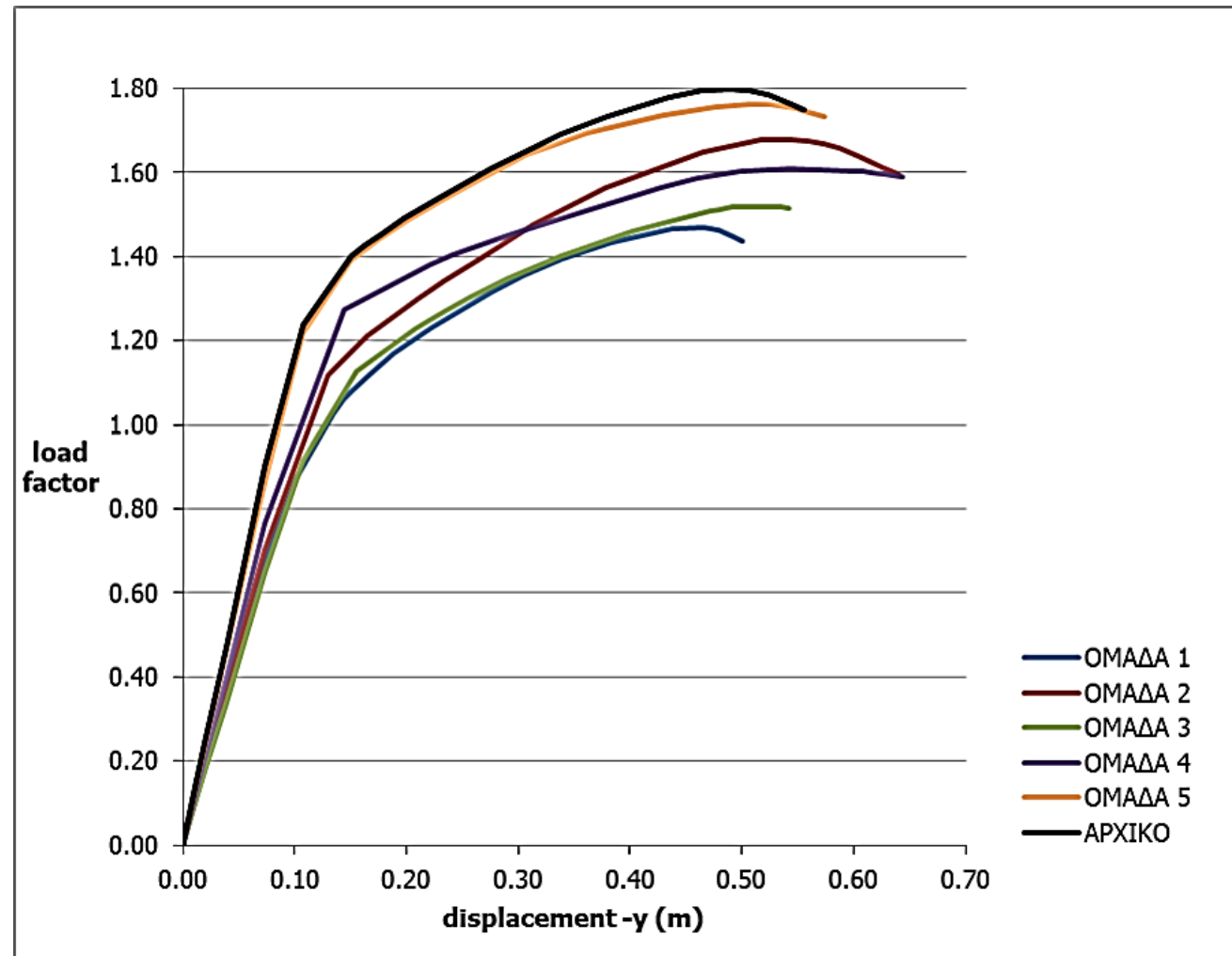
Επιρροή του Πάχους των Ομάδων στο Βέλος Κάμψης

Για κάθε Ομάδα δοκιμάζονται οι τιμές του πάχους 0.02m και 0.016m, διατηρώντας τις υπόλοιπες Ομάδες στις τιμές του πάχους 0.1m.





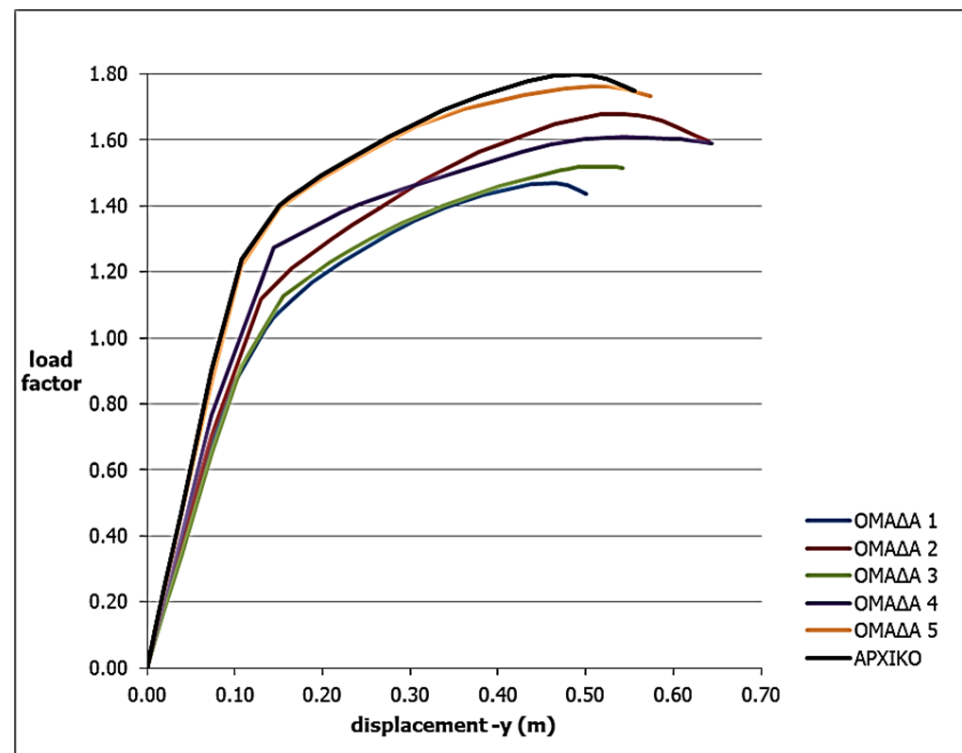
Επιρροή του Πάχους των Ομάδων – Δρόμοι Ισορροπίας





Ταξινόμηση Ομάδων – Επιρροή του Πάχους στο Βέλος Κάμψης

(m)	ΟΜΑΔΑ 1	ΟΜΑΔΑ 3	ΟΜΑΔΑ 2	ΟΜΑΔΑ 4	ΟΜΑΔΑ 5
B.K.=	0.129	0.126	0.114	0.106	0.086

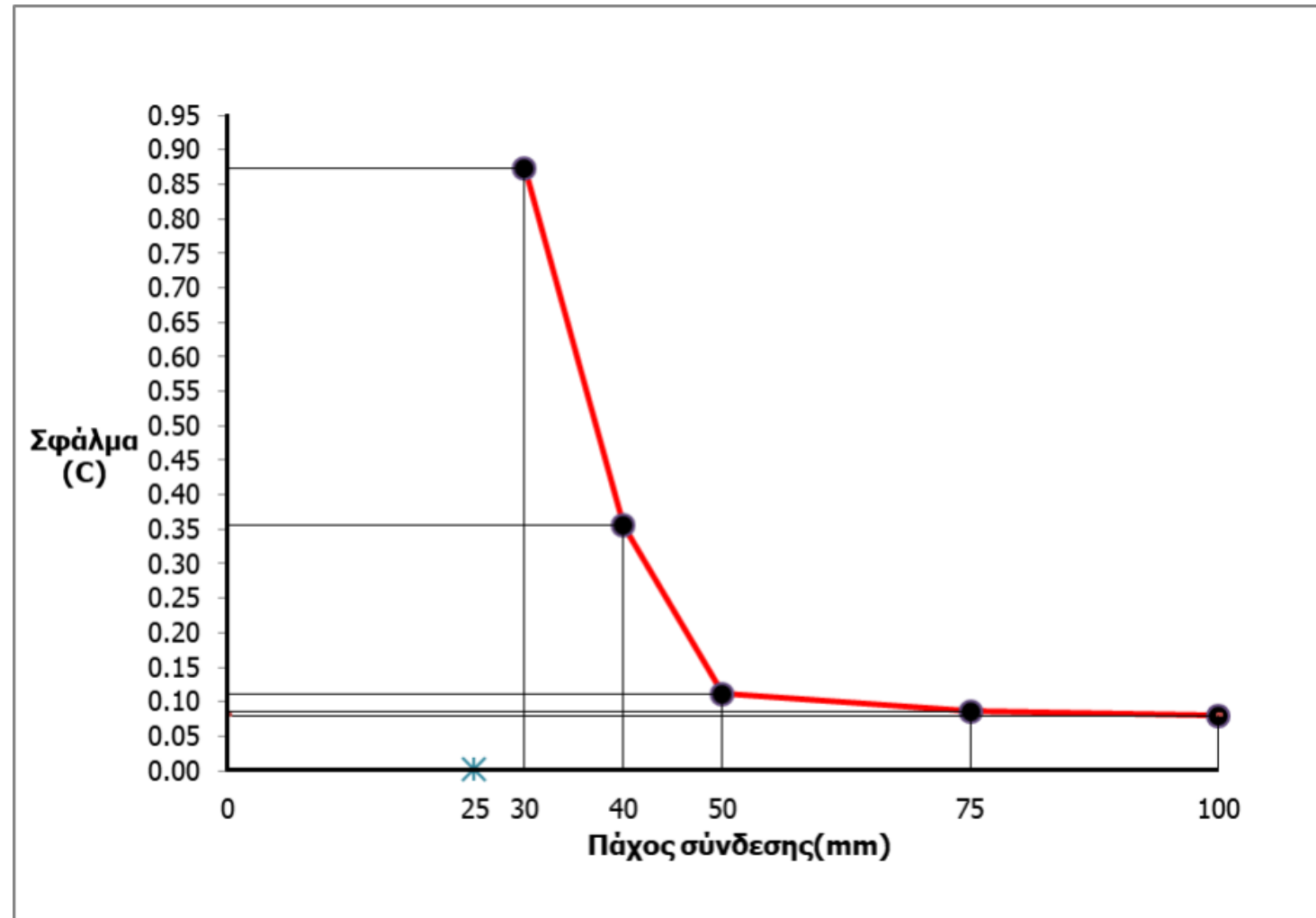


Επιλογή Βέλτιστου Πάχους των Συνδέσεων – Ομάδα 1

Επιλογή Πάχους για τις Συνδέσεις της Ομάδας 1:

- $t=40\text{mm}$

Βέλος Κάμψης= 0.57m

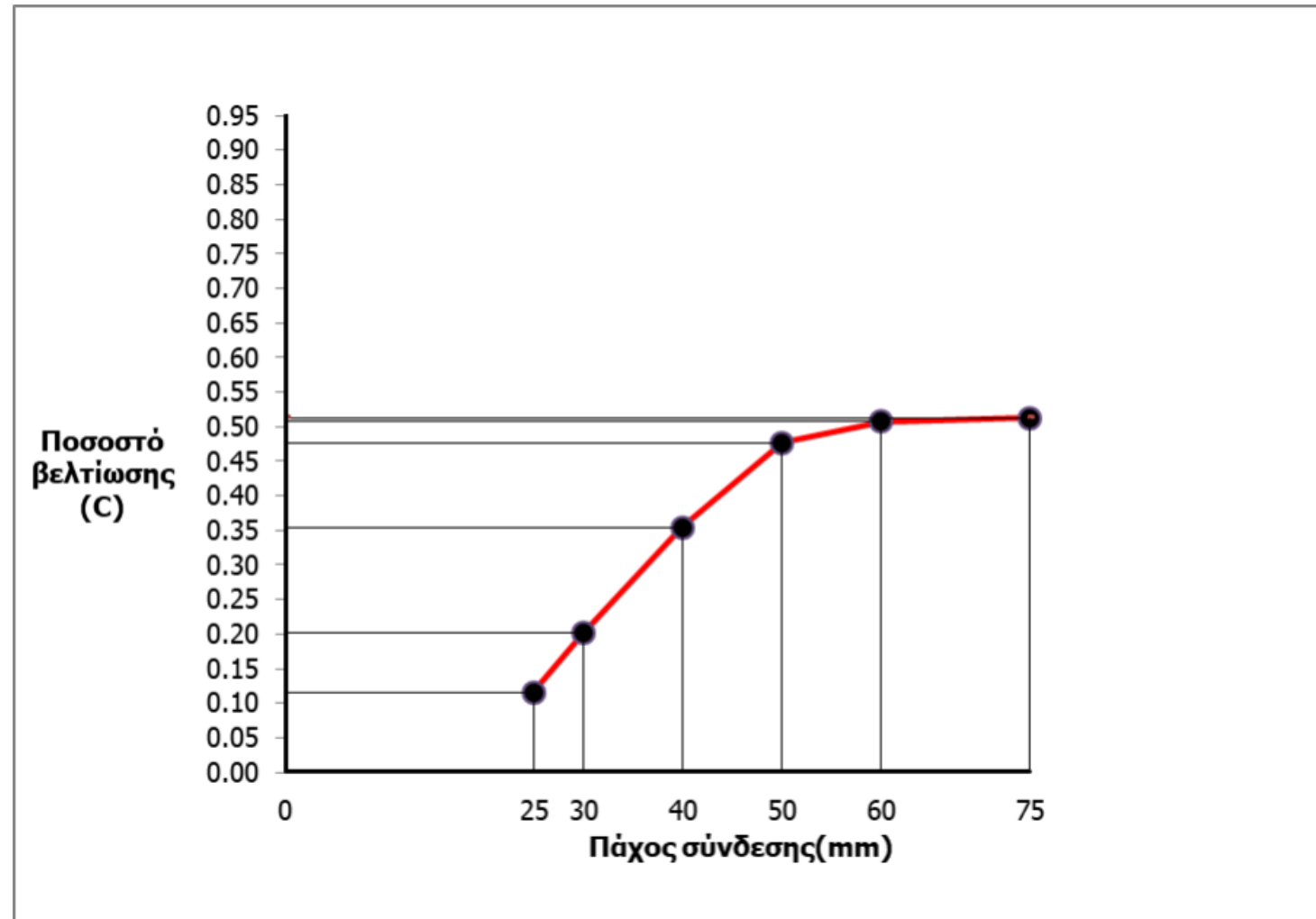


Επιλογή Βέλτιστου Πάχους των Συνδέσεων – Ομάδα 3

Επιλογή Πάχους για τις
Συνδέσεις της
Ομάδας 3:

- $t=50\text{mm}$

Βέλος Κάμψης=0.30m



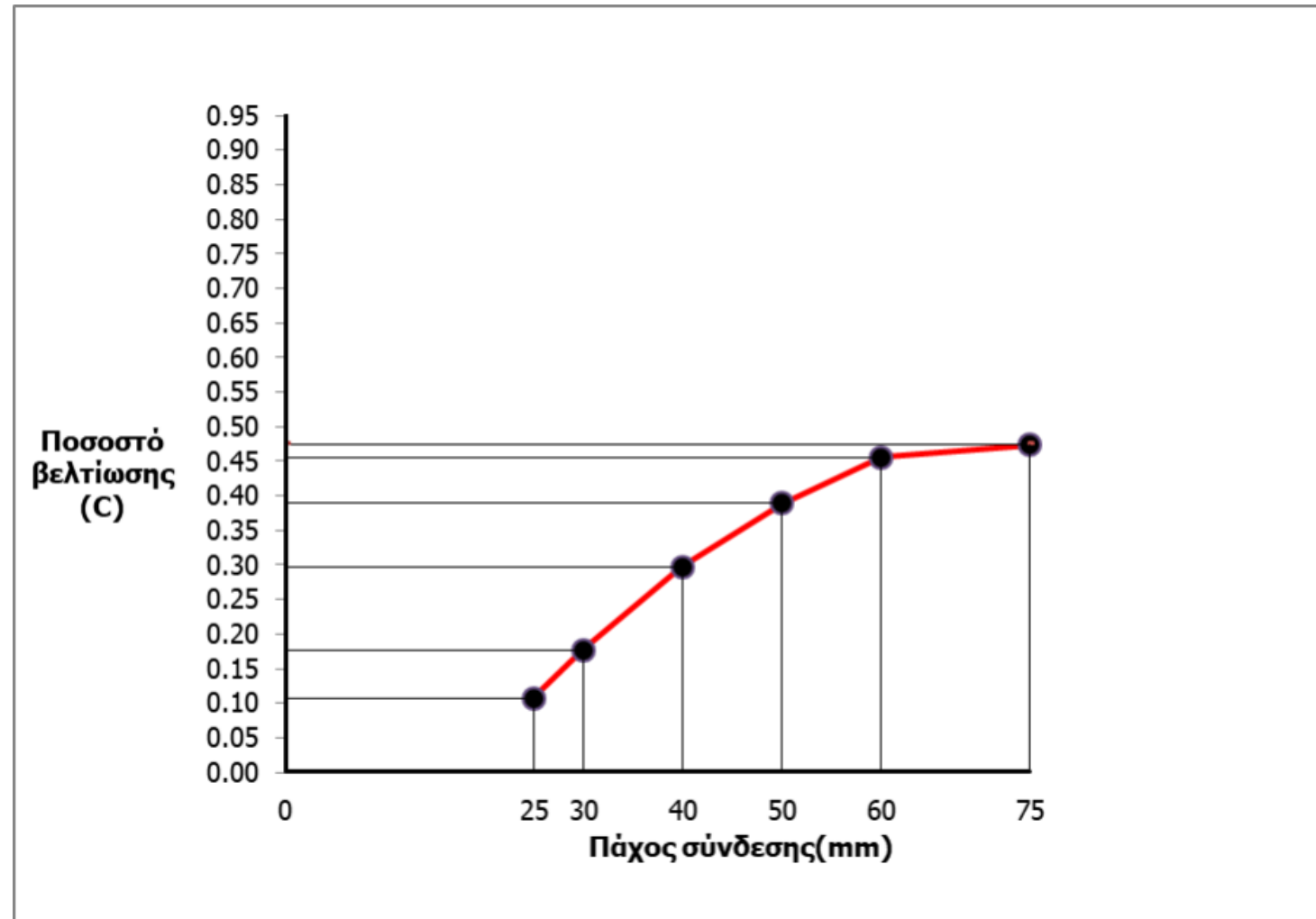


Επιλογή Βέλτιστου Πάχους των Συνδέσεων – Ομάδα 2

Επιλογή Πάχους για τις
Συνδέσεις της
Ομάδας 2:

- $t=40\text{mm}$

Βέλος Κάμψης=0.21m

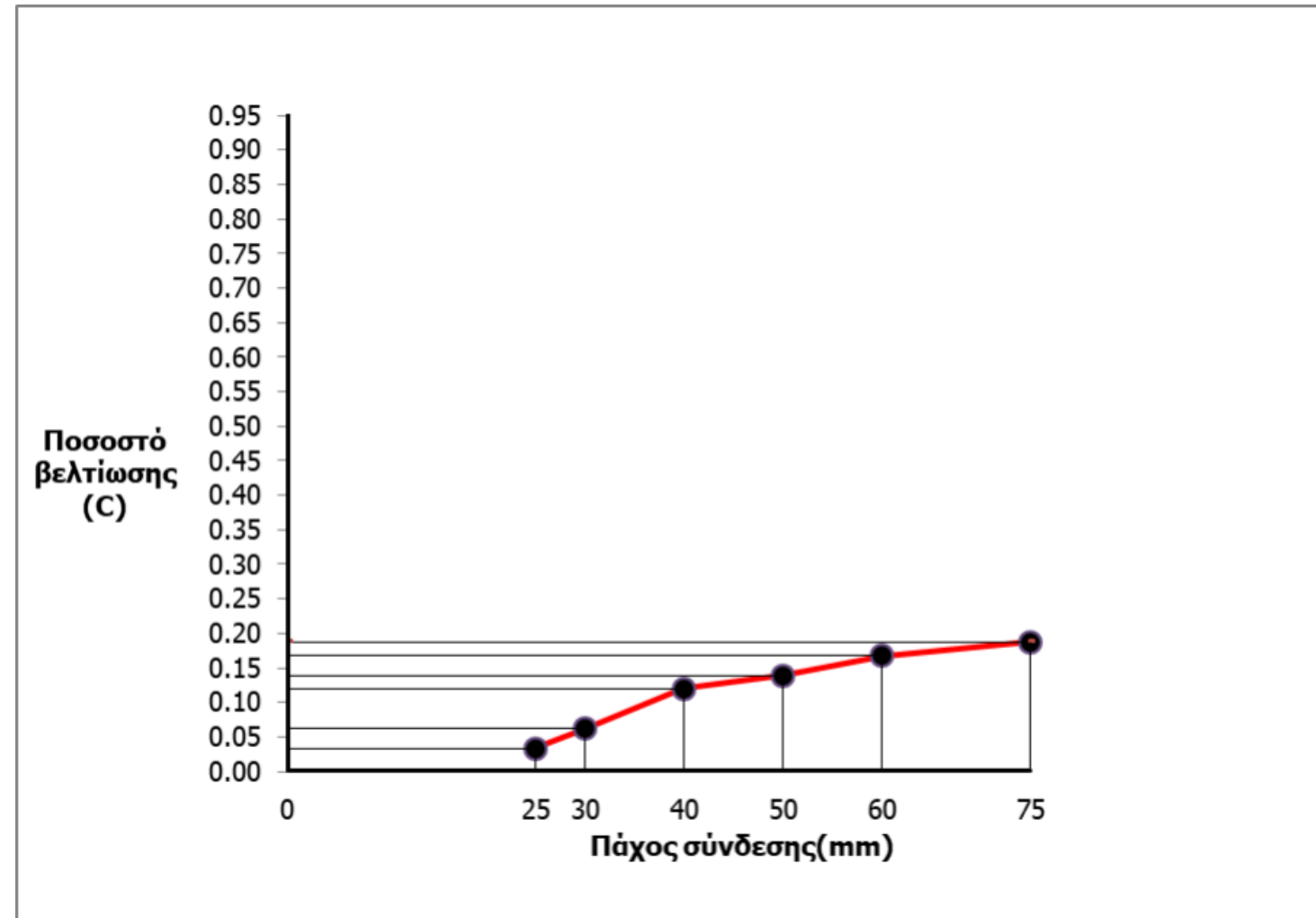


Επιλογή Βέλτιστου Πάχους των Συνδέσεων – Ομάδα 4

Επιλογή Πάχους για τις
Συνδέσεις της
Ομάδας 4:

- $t=20\text{mm}$

Βέλος Κάμψης= 0.21m



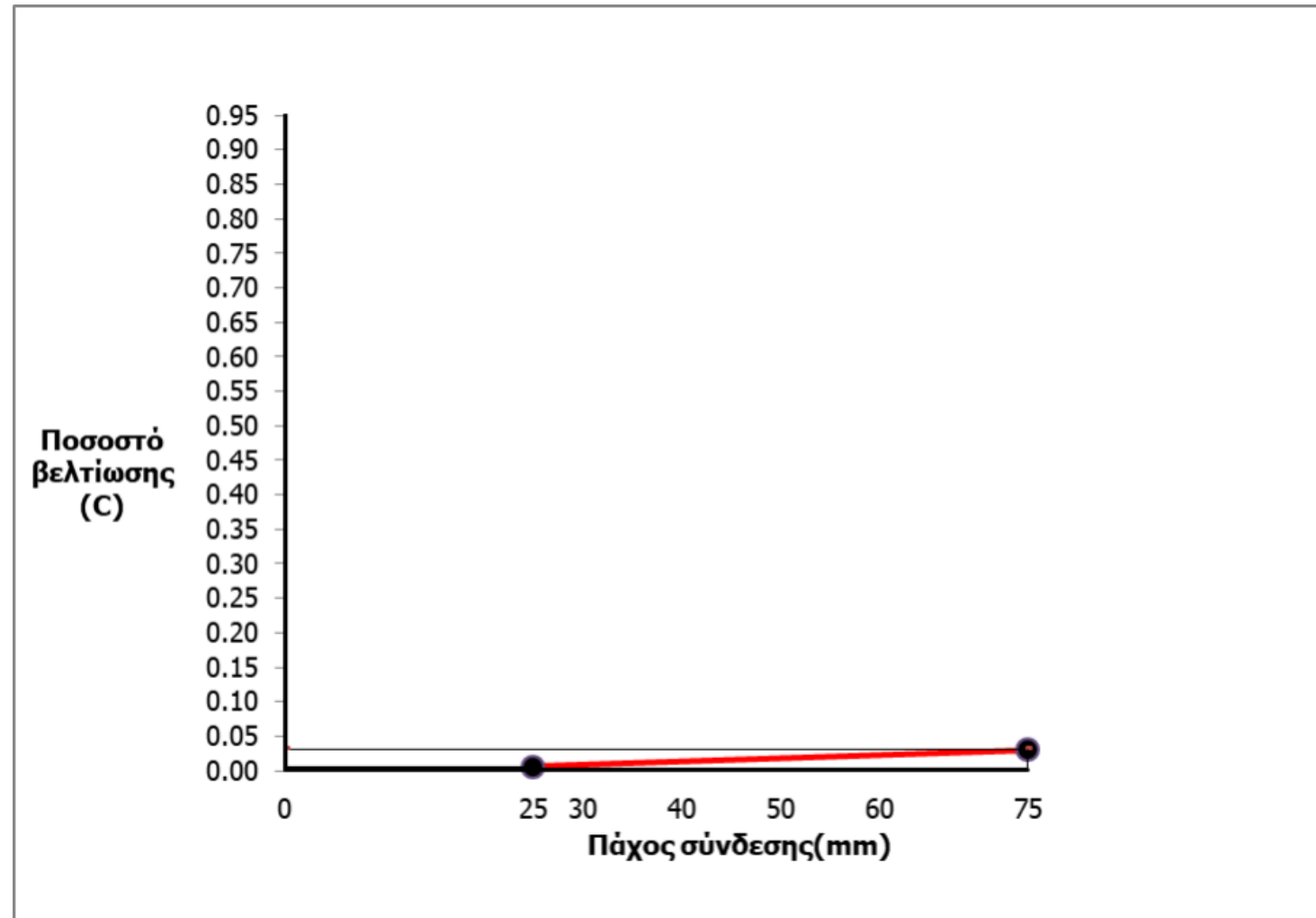


Επιλογή Βέλτιστου Πάχους των Συνδέσεων – Ομάδα 5

Επιλογή Πάχους για τις
Συνδέσεις της
Ομάδας 5:

- $t=20\text{mm}$

Βέλος Κάμψης= 0.21m





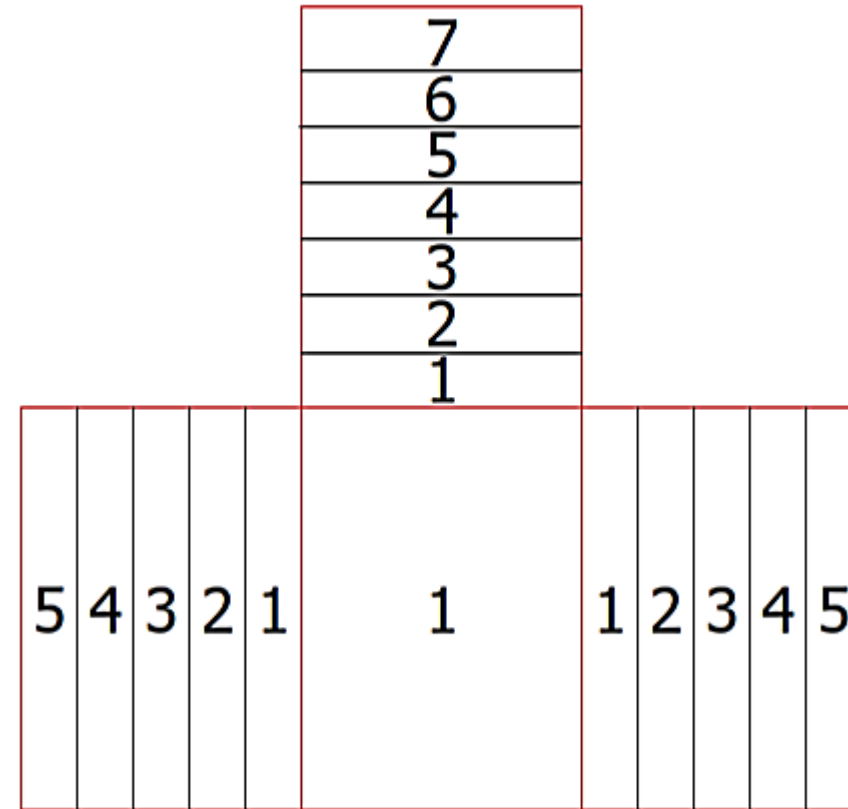
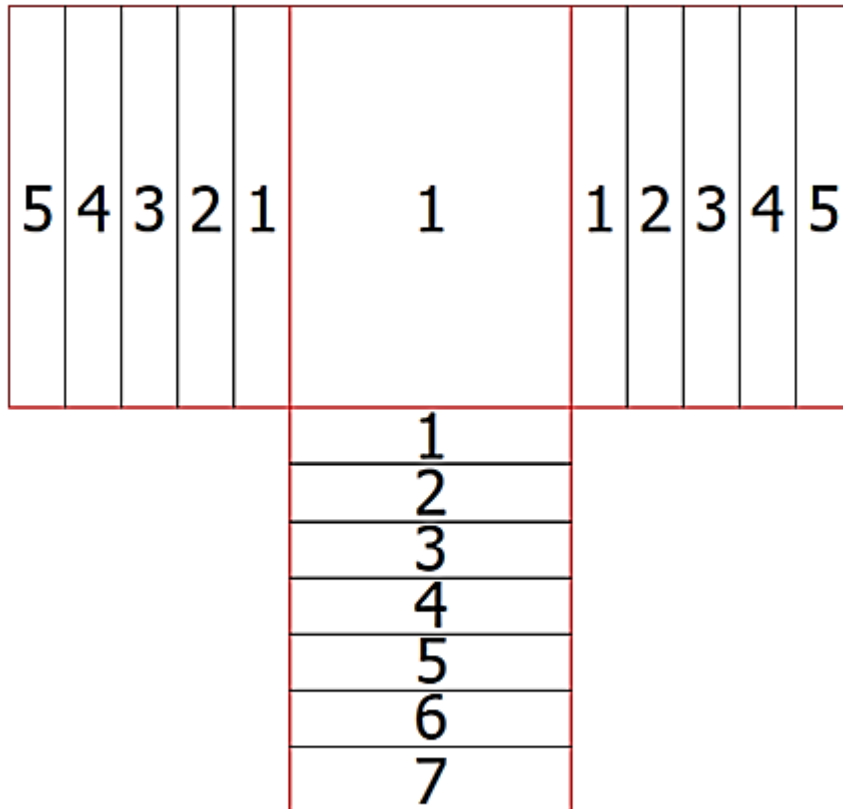
1^η Φάση Βελτιστοποίησης – Τελικές Τιμές Πάχους Συνδέσεων

Βέλος Κάμψης=0.21m

ΠΑΧΟΣ(mm)	Ομάδα 1	Ομάδα 3	Ομάδα 2	Ομάδα 4	Ομάδα 5
Πέλματα	40	50	40	20	20
Ορθοστάτες	40	50	40	16	16



2^η Φάση Βελτιστοποίησης – Ορισμός Ζωνών στις Συνδέσεις





Αλλαγή του Πάχους των Ζωνών στο Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
63																							
64	ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑ																						
65		ΖΩΝΗ 1	ΖΩΝΗ 2	ΖΩΝΗ 3	ΖΩΝΗ 4	ΖΩΝΗ 5	ΖΩΝΗ 6	ΖΩΝΗ 7	ΖΩΝΗ 8	ΖΩΝΗ 8	ΖΩΝΗ 7	ΖΩΝΗ 6	ΖΩΝΗ 5	ΖΩΝΗ 4	ΖΩΝΗ 3	ΖΩΝΗ 2	ΖΩΝΗ 1	ΖΩΝΗ 9					
66	ΠΑΧΟΣ=	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02					
67																							
68	ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΑΧΟΣ	ΖΩΝΗ																				
69	686	0.1	1		1	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	637	0.1	1		2	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
71	588	0.1	1		3	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	539	0.1	1		4	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	490	0.1	1		5	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
74	441	0.1	1		6	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
75	392	0.1	1		7	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
76	1078	0.1	1		8	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
77	1127	0.1	1		9	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
78	1176	0.1	1		10	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
79	1225	0.1	1		11	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	1274	0.1	1		12	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
81	1323	0.1	1		13	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
82	1372	0.1	1		14	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
83	735	0.1	1		15	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
84	784	0.1	1		16	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	833	0.1	1		17	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
86	882	0.1	1		18	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
87	931	0.1	1		19	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
88	980	0.1	1		20	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
89	1029	0.1	1		21	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90	40	0.1	1		22	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	





Πίνακας Δεδομένων του Λογισμικού Adina – Πάχος στοιχείων

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
63																							
64	ΚΑΤΩ ΠΕΛΜΑ																						
65		ΖΩΝΗ 1	ΖΩΝΗ 2	ΖΩΝΗ 3	ΖΩΝΗ 4	ΖΩΝΗ 5	ΖΩΝΗ 6	ΖΩΝΗ 7	ΖΩΝΗ 8	ΖΩΝΗ 8	ΖΩΝΗ 7	ΖΩΝΗ 6	ΖΩΝΗ 5	ΖΩΝΗ 4	ΖΩΝΗ 3	ΖΩΝΗ 2	ΖΩΝΗ 1	ΖΩΝΗ 9					
66	ΠΑΧΟΣ=	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02					
67																							
68	ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΠΑΧΟΣ	ΖΩΝΗ																				
69	686	0.1	1		1	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
70	637	0.1	1		2	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
71	588	0.1	1		3	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
72	539	0.1	1		4	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	490	0.1	1		5	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
74	441	0.1	1		6	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
75	392	0.1	1		7	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
76	1078	0.1	1		8	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
77	1127	0.1	1		9	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
78	1176	0.1	1		10	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
79	1225	0.1	1		11	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	1274	0.1	1		12	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
81	1323	0.1	1		13	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
82	1372	0.1	1		14	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
83	735	0.1	1		15	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
84	784	0.1	1		16	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	833	0.1	1		17	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
86	882	0.1	1		18	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
87	931	0.1	1		19	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
88	980	0.1	1		20	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
89	1029	0.1	1		21	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90	40	0.1	1		22	0.02	0.02	0.02	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	





2^η Φάση Βελτιστοποίησης – Βελτιστοποίηση Ζωνών

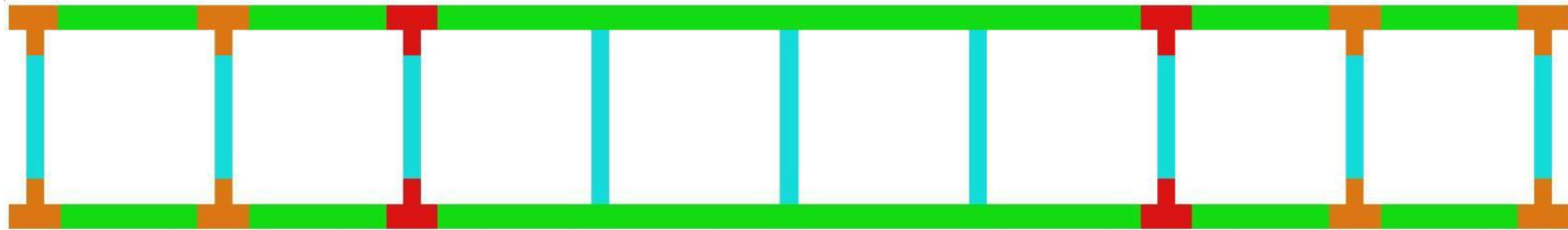
Βελτιστοποιούνται οι ζώνες των Συνδέσεων της Ομάδας 3 και με βάση αυτή τη βελτιστοποίηση θα τροποποιηθούν οι τιμές του πάχους των ζωνών των Συνδέσεων της Ομάδας 2.

Τα αποτελέσματα αυτής της βελτιστοποίησης θα καθορίσουν ποιές ζώνες είναι κρίσιμες για τις Συνδέσεις των Ομάδων 2-5.

2^η Φάση Βελτιστοποίησης – Βελτιστοποίηση Ζωνών

Φορέας που προέκυψε από την 1^η Φάση βελτιστοποίησης:

Βέλος Κάμψης=0.21m



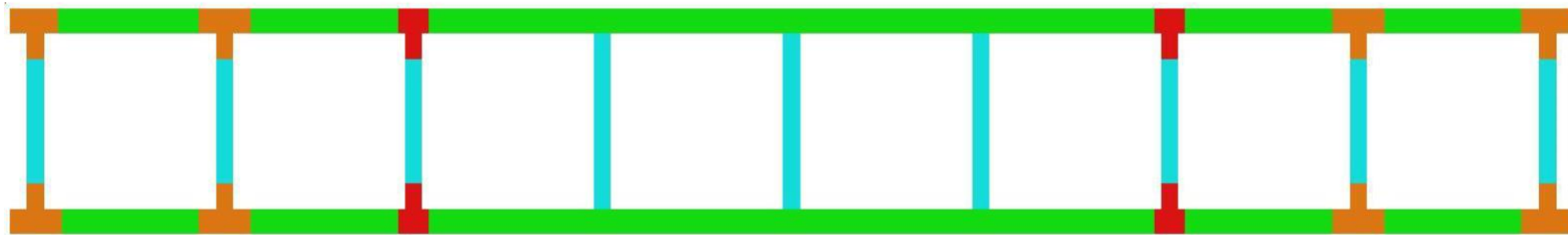
ΠΑΧΟΣ(mm)	Ομάδα 1	Ομάδα 3	Ομάδα 2	Ομάδα 4	Ομάδα 5
Πέλματα	40	50	40	20	20
Ορθοστάτες	40	50	40	16	16

■	50 mm
■	40 mm
■	20 mm
■	16 mm
■	8 mm



Βελτιστοποίηση Ζωνών στα Πέλματα της Ομάδας 3

Βέλος Κάμψης=0.21m

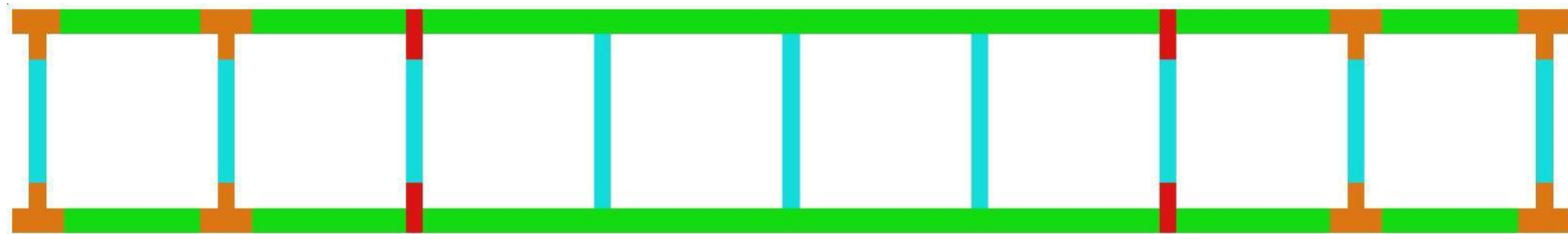



	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



Βελτιστοποίηση Ζωνών στα Πέλματα της Ομάδας 3

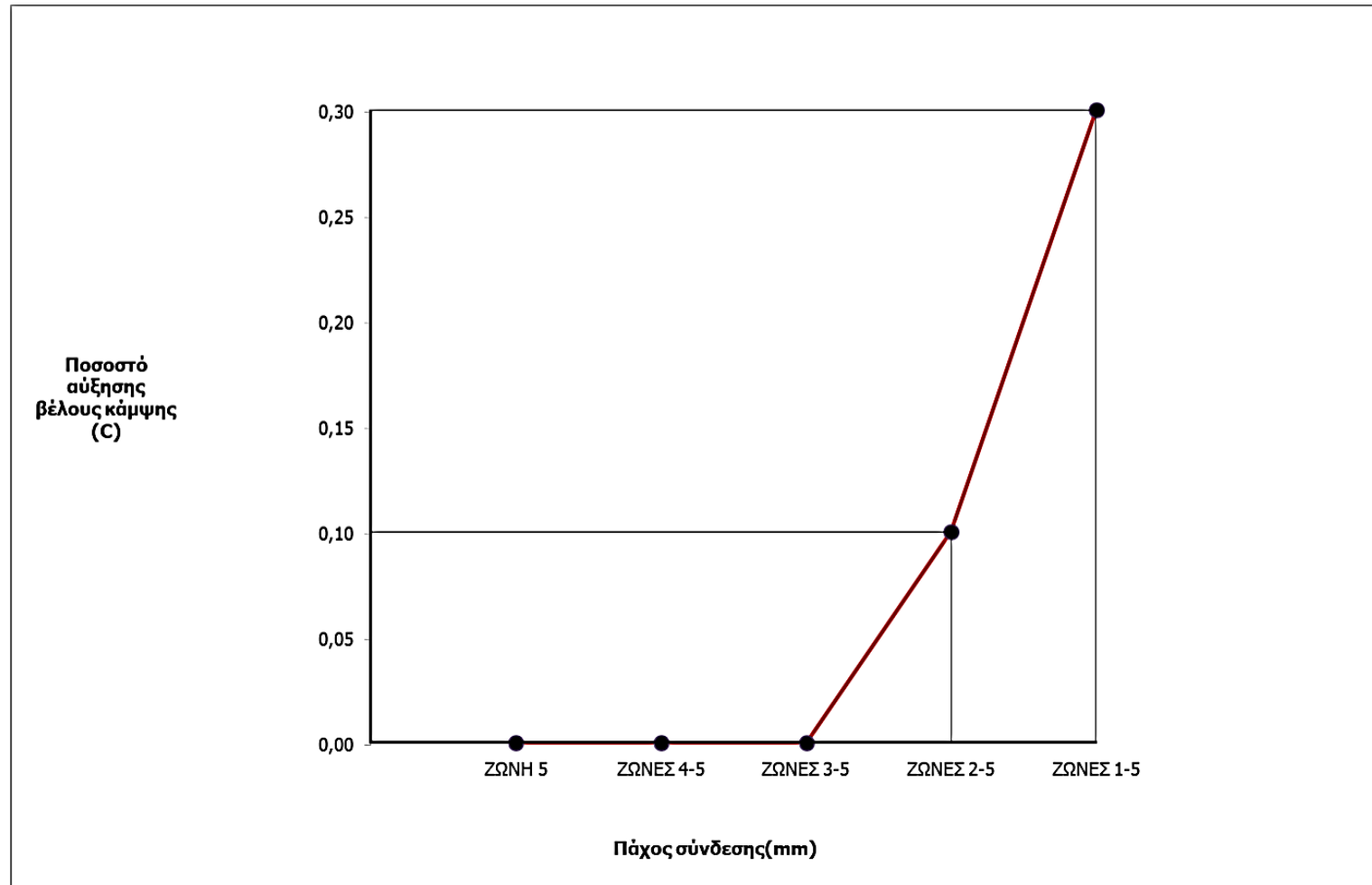
Βέλος Κάμψης=0.26m



	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



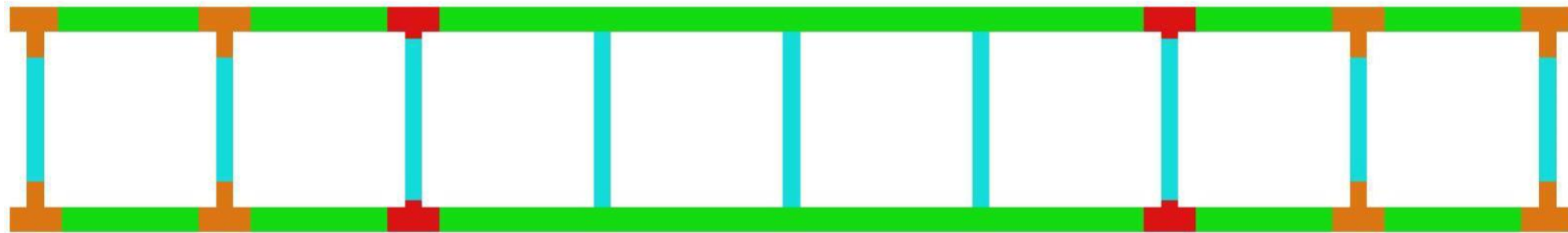
Πορεία Βελτιστοποίησης Ζωνών στα Πέλματα της Ομάδας 3







Βελτιστοποίηση Ζωνών στους Ορθοστάτες της Ομάδας 3

Βέλος Κάμψης=0.23m

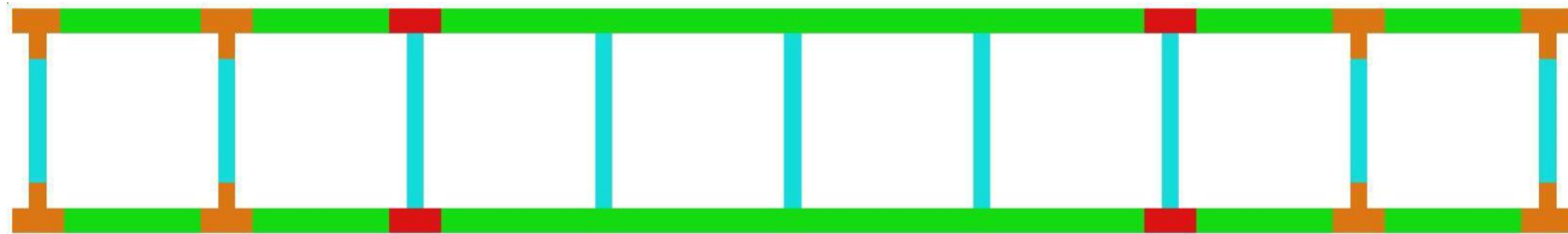


	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



Βελτιστοποίηση Ζωνών στους Ορθοστάτες της Ομάδας 3

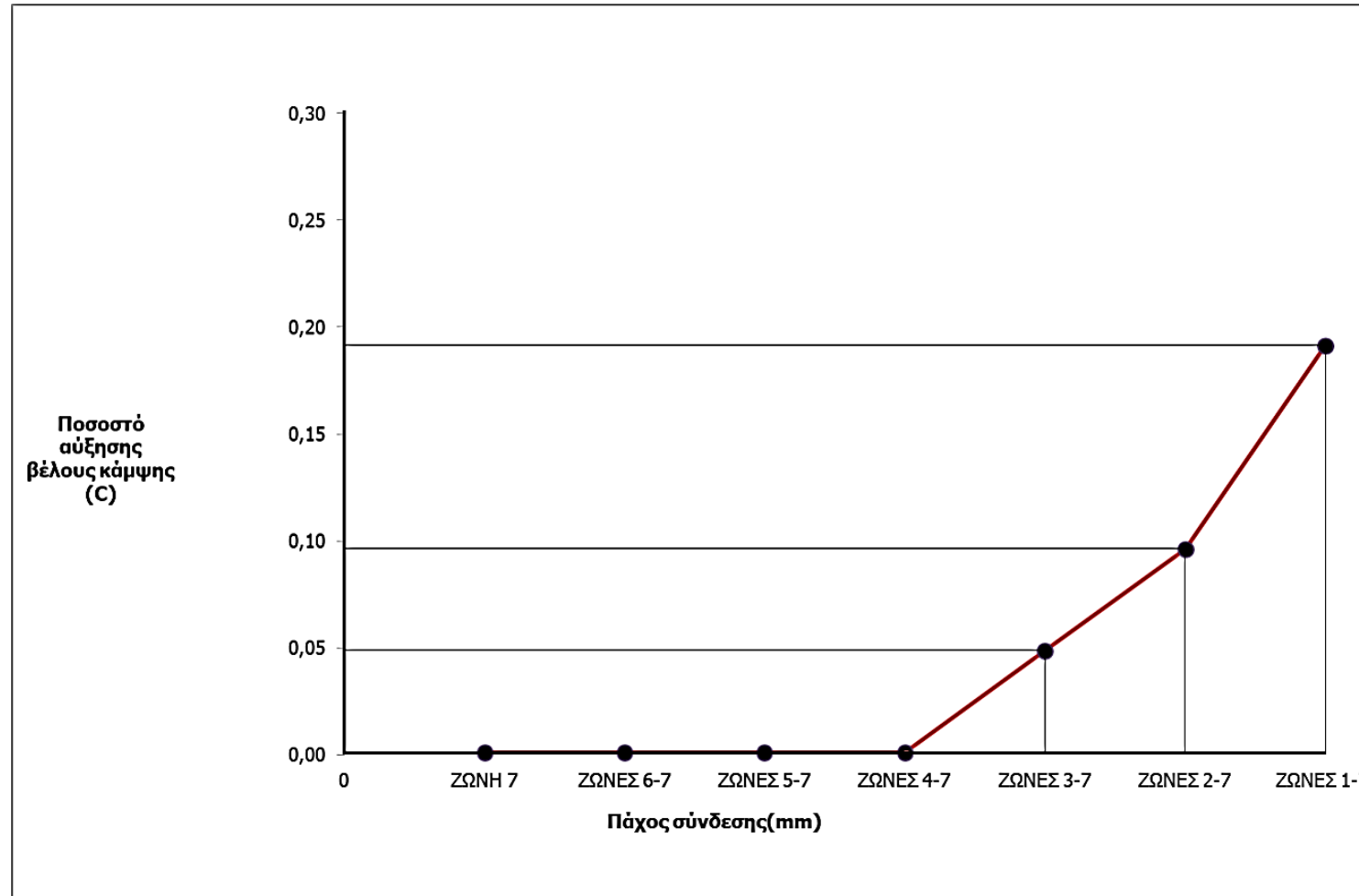
Βέλος Κάμψης=0.25m



	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



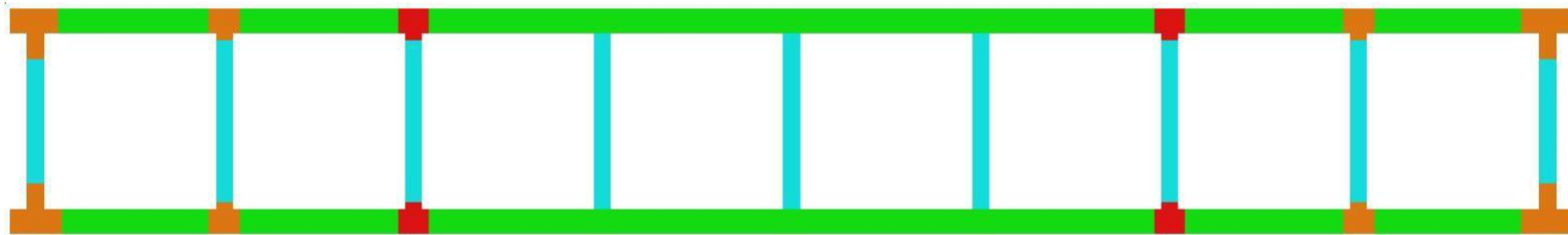
Πορεία Βελτιστοποίησης Ζωνών στα Πέλματα της Ομάδας 3





Βελτιστοποίηση Ζωνών στους Ορθοστάτες των Ομάδων 2-3

Βέλος Κάμψης=0.27m



	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



3^η Φάση Βελτιστοποίησης – Βελτιστοποιημένα Μοντέλα

Πραγματοποιήθηκαν συνολικά 30 αναλύσεις με βελτιστοποιημένα μοντέλα.

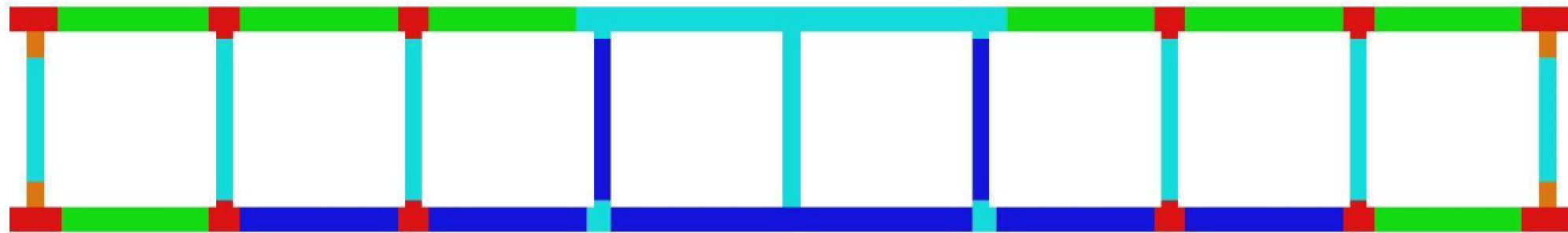
Η βελτιστοποίηση πραγματοποιήθηκε σε όλο τον φορέα και δεν περιορίστηκε στις Συνδέσεις.

Στις επόμενες Διαφάνειες θα παρουσιαστούν τα 2 από τα 30 Βελτιστοποιημένα Μοντέλα.



3^η Φάση Βελτιστοποίησης – 27^η Ανάλυση

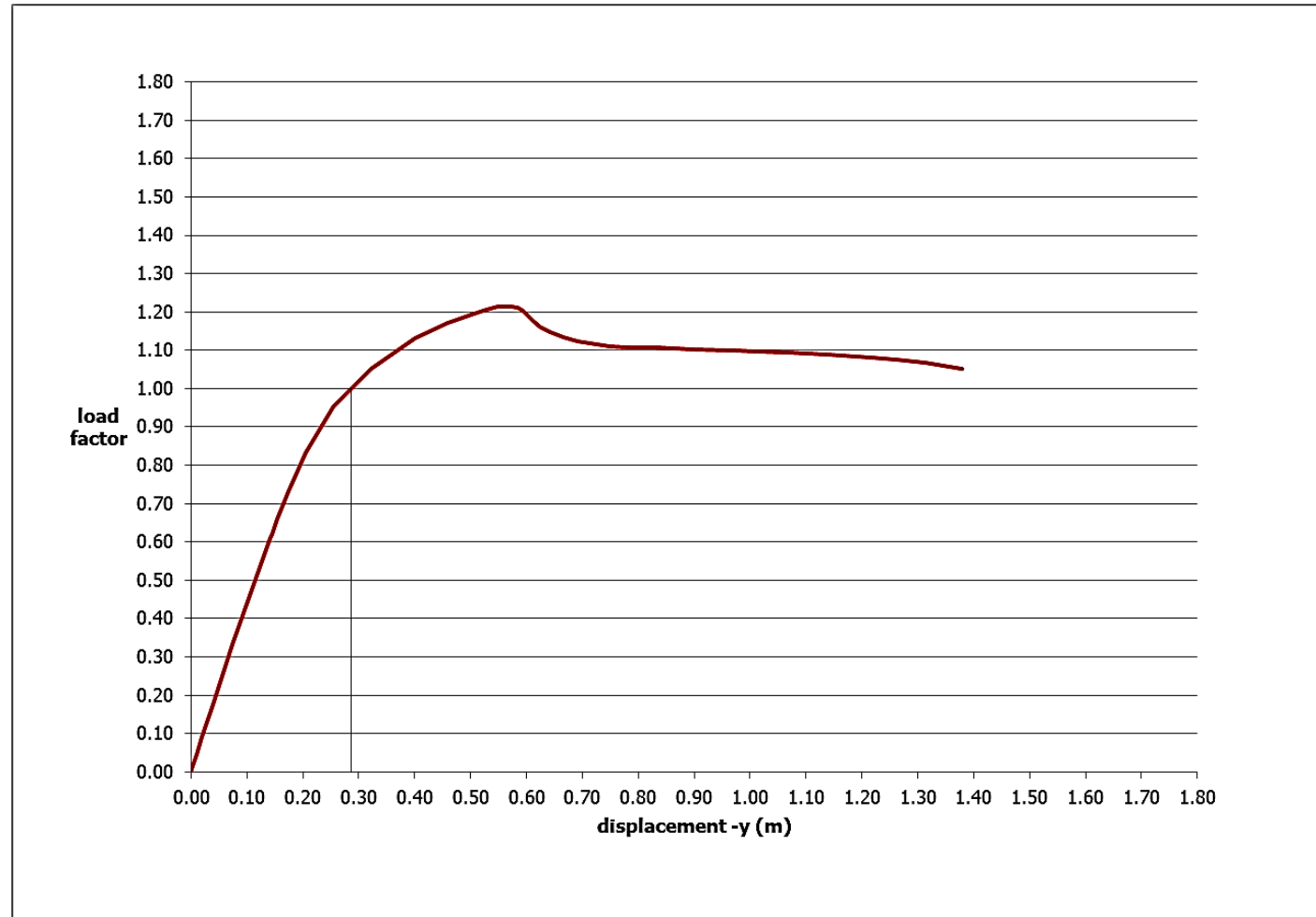
Βέλος Κάμψης=0.29m



	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



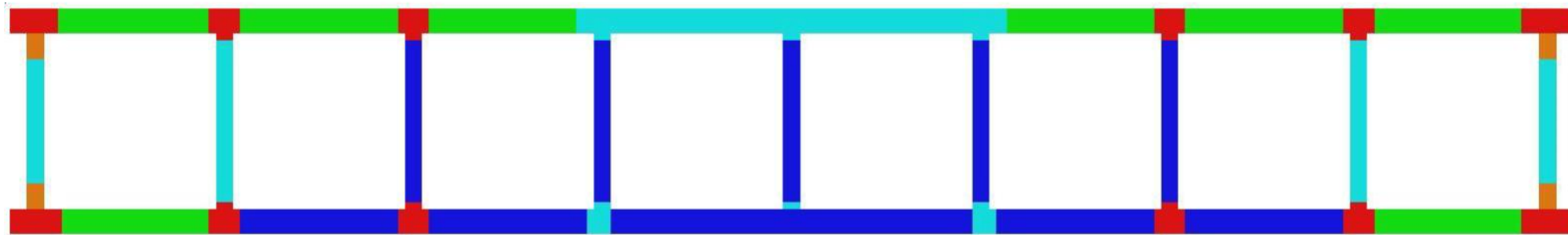
3^η Φάση Βελτιστοποίησης – 27^η Ανάλυση – Δρόμος Ισορροπίας






3^η Φάση Βελτιστοποίησης – 29^η Ανάλυση

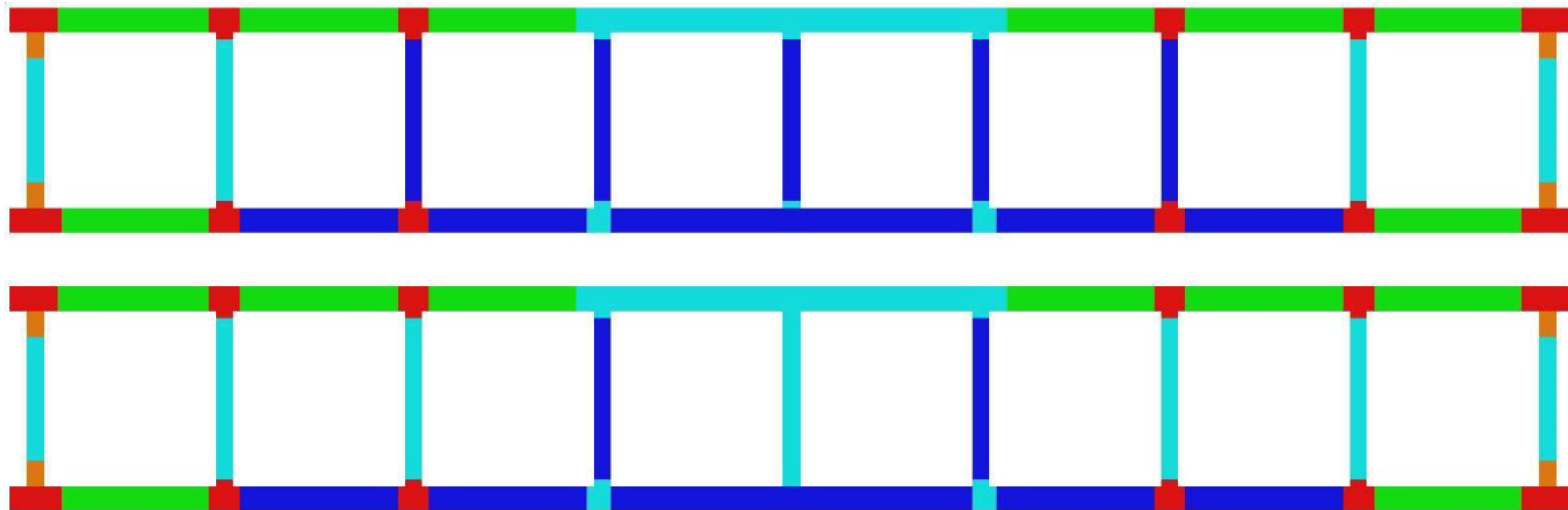
Βέλος Κάμψης=0.41m



	50 mm
	40 mm
	20 mm
	16 mm
	8 mm



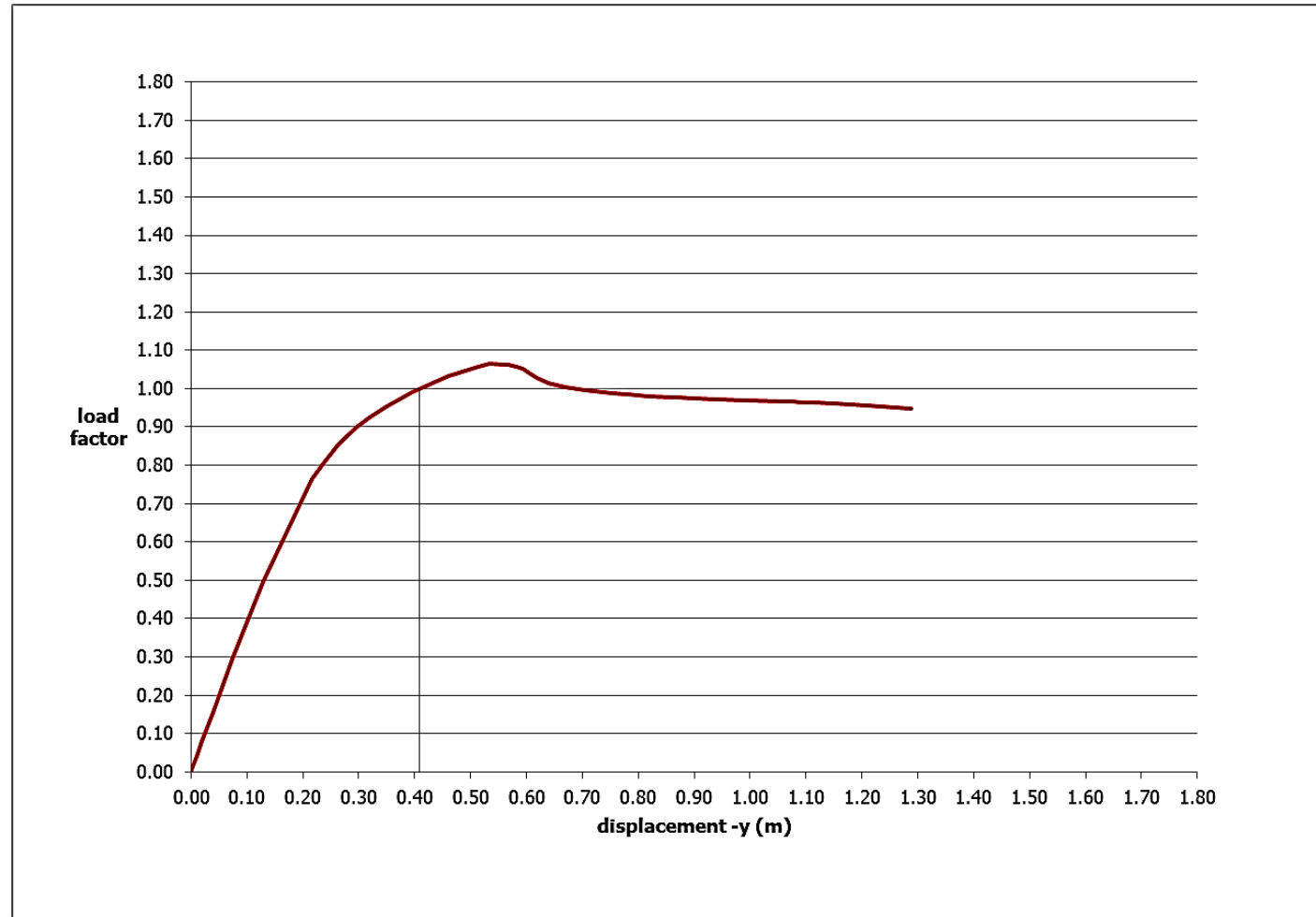
3^η Φάση Βελτιστοποίησης – Σύγκριση Μοντέλων



■ 50 mm
■ 40 mm
■ 20 mm
■ 16 mm
■ 8 mm



3^η Φάση Βελτιστοποίησης – 29^η Ανάλυση – Δρόμος Ισορροπίας





Συμπεράσματα

- Η βελτιστοποίηση είναι αποδοτική και εφικτή.
- Οι περιοχές των στηρίξεων και οι περιοχές των συνδέσεων των ορθοστατών με τα πέλματα είναι κρίσιμες. Η ενίσχυσή τους προσφέρει το περιθώριο να μειωθεί αρκετά το πάχος στις μη κρίσιμες περιοχές.
- Για κάθε βελτιστοποιημένο μοντέλο γίνεται ανακατανομή τάσεων η οποία επηρεάζει την κρισιμότητα των Συνδέσεων και των ζωνών που ορίστηκαν. Συνεπώς υπάρχει περιθώριο για περαιτέρω διερεύνηση.
- Ο οργανωμένος σχεδιασμός του μοντέλου με την διαδικασία που περιγράφηκε έχει το πλεονέκτημα του ορισμού περισσότερων ζωνών σε όλο τον φορέα σε οποιαδήποτε φάση της μελέτης.



Σχόλια και Παρατηρήσεις

- Για σύνθετα μοντέλα συνιστάται η εισαγωγή του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων από άλλο λογισμικό.
- Ο πίνακας δεδομένων των στοιχείων κελύφους στην καρτέλα «Define Shell Element Thickness» ενεργοποιείται αφού πρώτα γίνει «set» το «Element Group» που θέλει ο χρήστης να τροποποιήσει. Για στοιχεία με 4 κόμβους αρκεί να τροποποιηθούν οι 4 πρώτες στήλες του πίνακα. Η αξιοπιστία αυτής της μεθόδου μεταβολής του πάχους των στοιχείων επαληθεύτηκε με αναλύσεις που είχαν αυτόν τον σκοπό.
- Η επεξεργασία του πίνακα δεδομένων των στοιχείων κελύφους μπορεί να γίνει πιο αυτοματοποιημένα με χρήση προγραμματισμού (πχ python ή matlab) με επεξεργασία του αρχείου «.in».
- Το λογισμικό διατηρεί το αρχείο αλλαγών (ιστορικό των επιλογών που πραγματοποιούνται στο λογισμικό) οπότε πρέπει ο χρήστης να καταλήξει σε ένα μοντέλο και να το δημιουργήσει από την αρχή χωρίς αλλαγές στο ενδιάμεσο και να αποθηκευθεί σε «.idb» και «.in».



Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου κο Χάρη Γαντέ για την υποστήριξη και βοήθεια που μου παρείχε σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ευχαριστώ για την συμβολή τους στην ολοκλήρωση της εργασίας τον Δρ. Βασίλη Μελισσιανό, Μεταδιδάκτορας Ερευνητής, και τον Κωνσταντίνο Ατζαράκη, υποψήφιο Διδάκτορα.