

**ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΥΣ ΤΗΣ ΣΥΜΜΙΚΤΗΣ ΔΟΚΟΥ  
«ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΟΔΥΣΣΕΑ» ΜΕ ΆΛΛΑ ΚΛΑΣΙΚΑ ΔΟΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.**

**Ιωάννης Μάντζαρης**  
Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ  
ΦΑΝΤΑ ΡΕΑΛ ΑΒΕΤΕ  
Αθήνα, Ελλάδα  
imant@tee.gr

**Νικόλαος Πνευματικός**  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών  
Αθήνα, Ελλάδα  
nikos\_pneumatikos@hotmail.com

**1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στην παρούσα εργασία διερευνάται το δομικό σύστημα το οποίο καλείται «Τόξο του Οδυσσέα». Το δομικό αυτό σύστημα είναι μια σύμμικτη, προκατασκευασμένη δοκός. Το κάτω πέλμα αποτελείται από προεντεταμένο σκυρόδεμα, ο κορμός της είναι ένα μεταλλικό δικτύωμα και το πάνω πέλμα αποτελείται από μια μεταλλική διατομή. Αυτή η μορφή είναι συνήθως το αρχικό στάδιο ενώ στο τελικό το πάνω πέλμα και σε μερικές περιπτώσεις ο κορμός συμπληρώνεται με σκυρόδεμα.

Γενικά τα κυριότερα πλεονεκτήματα της σύμμικτης προκατασκευασμένης δοκού είναι η ταχύτητα, η ποιότητα και το χαμηλό κόστος κατασκευής. Όλα αυτά τα πλεονεκτήματα είναι διότι η παραγωγή των δομικών στοιχείων στο εργοστάσιο με βάση την προτυποποίηση παρέχει όλες τις προϋποθέσεις για καλύτερο έλεγχο της ποιότητας των υλικών και της πιστής εφαρμογής της μελέτης. Από την άλλη πλευρά το κυριότερο μειονέκτημα της σύμμικτης προκατασκευασμένης δοκού είναι το βάρος το οποίο μετά από κάποιο κρίσιμο όριο κάνει τη μεταφορά και την τοποθέτηση της είτε αδύνατη είτε απαιτούνται ειδικά φορτηγά και γερανοί που έχουν σα συνέπεια να αυξάνουν αρκετά το κόστος

Η σύμμικτη δοκός «Τόξο του Οδυσσέα» αποτελεί το κύριο δομικό στοιχείο γεφυρών, βιομηχανικών κτιρίων και προκατασκευασμένων κατοικιών. Στην παρούσα εργασία γίνεται μια παραμετρική ανάλυση κόστους και βάρους του «Τόξου του Οδυσσέα» σε σύγκριση με άλλα κλασικά συστήματα γεφύρωσης ανοιγμάτων όπως το μεταλλικό δικτύωμα, η πλαισιωτή χαλύβδινη διατομή, και η διατομή από προεντεταμένο, προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το «Τόξο του

Οδυσσέα» είναι οικονομικότερο από τα άλλα συστήματα όταν το άνοιγμα του κτιρίου είναι μεγαλύτερο από 20 μέτρα και η απόσταση μεταξύ των πλαισίων είναι μεγαλύτερη από 7.5 μέτρα

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το δομικό σύστημα «Τόξο του Οδυσσέα» είναι μια σύμμικτη, προεντεταμένη και προκατασκευασμένη δοκός. Το κάτω πέλμα είναι μια προεντεταμένη διατομή από οπλισμένο σκυρόδεμα ενώ ο κορμός και το πάνω πέλμα αποτελούνται από ένα μεταλλικό δικτύωμα. Αυτή η διαμόρφωση είναι συνήθως το αρχικό στάδιο. Στο τελικό στάδιο το πάνω πέλμα και σε μερικές περιπτώσεις και ο κορμός, συμπληρώνεται με μπετόν.

Στην εργασία αυτή γίνεται μια παραμετρική ανάλυση κόστους και βάρους του «Τόξου του Οδυσσέα» σε σύγκριση με άλλα κλασικά συστήματα γεφύρωσης ανοιγμάτων όπως το μεταλλικό δικτύωμα, η πλαισιωτή χαλύβδινη διατομή, και η διατομή από προεντεταμένο - προκατασκευασμένο σκυρόδεμα.

## 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ «ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΟΔΥΣΣΕΑ»

Η δοκός απαρτίζεται από τα εξής μέρη: (α) Κάτω πέλμα διατομής προεντεταμένου σκυροδέματος. Πέραν της αρχικής προεντάσεως, υπάρχει περιθώριο να γίνει πρόσθετη προένταση είτε με πρόσφυση, είτε με κεφαλές (μετένταση), ακόμη και εξωτερική. Αυτή η διατομή αποτελεί και το κύριο φορτίο της αρχικής δοκού. (β) Μεταλλικό δικτύωμα με ισχυρό άνω πέλμα. Το άνω πέλμα, στην αρχική φάση εφελκύεται, λόγω της προεντάσεως του κάτω πέλματος. Στο σχήμα 1 φαίνεται η διαμόρφωση του δομικού συστήματος

Η δοκός αυτή έχει μικρό αρχικό βάρος σε σχέση με τις συνήθεις προκατασκευασμένες δοκούς (από 25% έως 50% του βάρους) και οι αντοχές της είναι μεγάλες, διότι χρησιμοποιεί το εξής τέχνασμα: Ως άνω στοιχείο θλίψεως, υπάρχει προεφελκόμενη μεταλλική διατομή, η οποία και αναλαμβάνει όλα τα φορτία μέχρι τον σχηματισμό της τελικής διατομής. Δηλαδή αναλαμβάνει τα φορτία της αρχικής δοκού που κατασκευάζεται στο εργοστάσιο όπως επίσης και τα φορτία επί τόπου του έργου (όλα τα επί τόπου σκυροδέματα) που χρησιμεύουν για τον σχηματισμό της τελικής διατομής.

Η διαμόρφωση της τελικής διατομής περιλαμβάνει: το πάνω πέλμα που μπορεί να είναι μια σύμμικτη διατομή από οπλισμένο σκυρόδεμα και την αρχική μεταλλική διατομή, είτε την αρχική μεταλλική διατομή μόνη της, τον κορμό ο οποίος αποτελείται από μεταλλικό δικτύωμα, ως στοιχείο διάτμησης, και το κάτω πέλμα που είναι η αρχική προεντεταμένη και προκατασκευασμένη δοκός οπλισμένου σκυροδέματος.

Αυτή η δοκός μπορεί να αποτελέσει το κύριο δομικό στοιχείο για γέφυρες, βιομηχανικά κτίρια και προκατασκευασμένες κατοικίες. Το πλεονέκτημα της δοκού είναι η ταχύτητα κατασκευής, η υψηλή ποιότητα, το χαμηλό κόστος και το μικρό αρχικό βάρος.

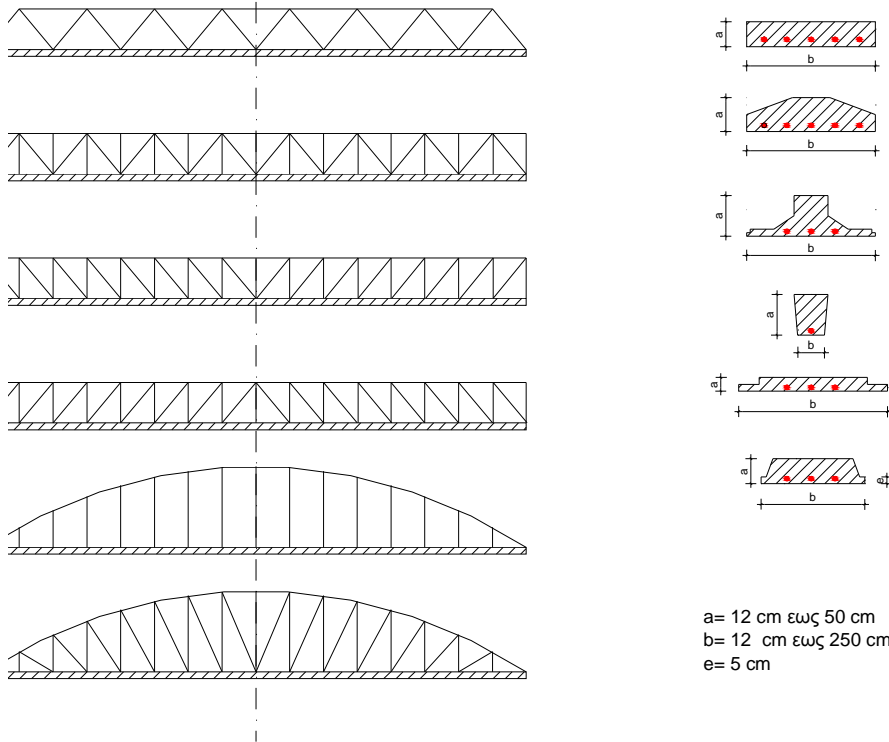
## 4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

Στην εργασία αυτή γίνεται μια παραμετρική ανάλυση κόστους και βάρους του «Τόξου του Οδυσσέα» σε σύγκριση με άλλα κλασικά συστήματα γεφύρωσης ανοιγμάτων. Τα δομικά συστήματα δοκών που συγκρίθηκαν ήταν το μεταλλικό δικτύωμα, η πλήρης πλαισιωτή

χαλύβδινη διατομή και η διατομή από προεντεταμένο - προκατασκευασμένο σκυρόδεμα. Τα δομικά αυτά συστήματα φαίνονται στο σχήμα 2.

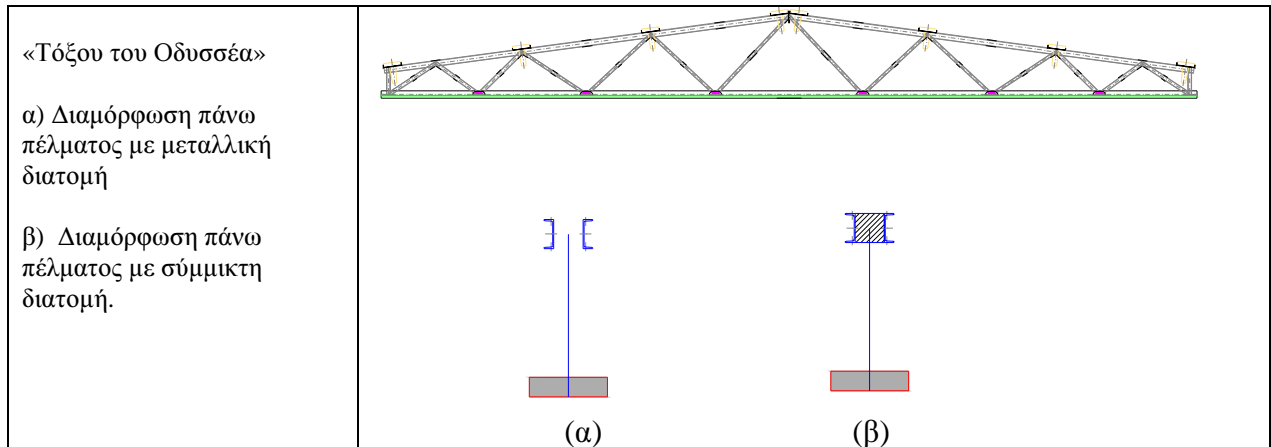
Διερευνήθηκαν δυο διαμορφώσεις του «Τόξου του Οδυσσέα». Στην πρώτη διαμόρφωση η αρχική διατομή του πάνω πέλματος είναι μια μεταλλική διατομή και στη δεύτερη διαμόρφωση η αρχική διατομή του πάνω πέλματος είναι σύμμικτη διατομή.

Οι παράμετροι υπολογισμού ήταν:



Σχ. 1: Παράδειγμα διαμόρφωσης του «Τόξου του Οδυσσέα»

Δομικό σύστημα δοκού	
Μεταλλικό δικτύωμα	
Πλήρης χαλύβδινη διατομή	
Διατομή από προεντεταμένο σκυρόδεμα	



Σχ. 2: Δομικά συστήματα που μελετήθηκαν.

Για το φορτίο των τεγίδων, ελήφθη βάρος χιονιού  $120 \text{ kg/m}^2$ .

Τα υλικά ήταν χάλυβας ποιότητας 275 MPa, σκυρόδεμα C 30/35 αυξημένης αντοχής λόγω προέντασης.

Το κόστος για χάλυβα και το προεντεταμένο σκυρόδεμα είναι 1.4 Euro/Kg και 550 Euro/m<sup>3</sup> αντίστοιχα.

Διερευνήθηκε το κόστος και το βάρος των δομικών συστημάτων για ανοίγματα πλαισίου από 15 έως 30 μέτρα και για αποστάσεις μεταξύ πλαισίων από 5 έως 12 μέτρα. Τα αποτελέσματα της παραμετρικής ανάλυσης του κόστους και του βάρους των δομικών συστημάτων για διάφορες τιμές απόστασης πλαισίων μεταξύ τους και για σταθερό άνοιγμα πλαισίου φαίνονται στα σχήματα 3α και 3β.

## 5. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την επεξεργασία της παραμετρικής ανάλυσης προέκυψε ότι το «Τόξο του Οδυσσέα» είναι οικονομικότερο από όλα τα άλλα συστήματα όταν το άνοιγμα του πλαισίου είναι περισσότερο από 20 μέτρα. Επίσης, όταν η απόσταση μεταξύ των πλαισίων είναι μεγαλύτερη των 10 μέτρων τότε πάλι το δομικό σύστημα «Τόξο του Οδυσσέα» υπερτερεί έναντι των άλλων συστημάτων για όλα τα ανοίγματα πλαισίου. Σε κτίρια που χρησιμοποιούνται για Logistics, όπου τα πλαίσια πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση μεταξύ τους γύρω στα 12 μέτρα το «Τόξο του Οδυσσέα» θα ήταν μια πολύ καλή λύση από οικονομική άποψη.

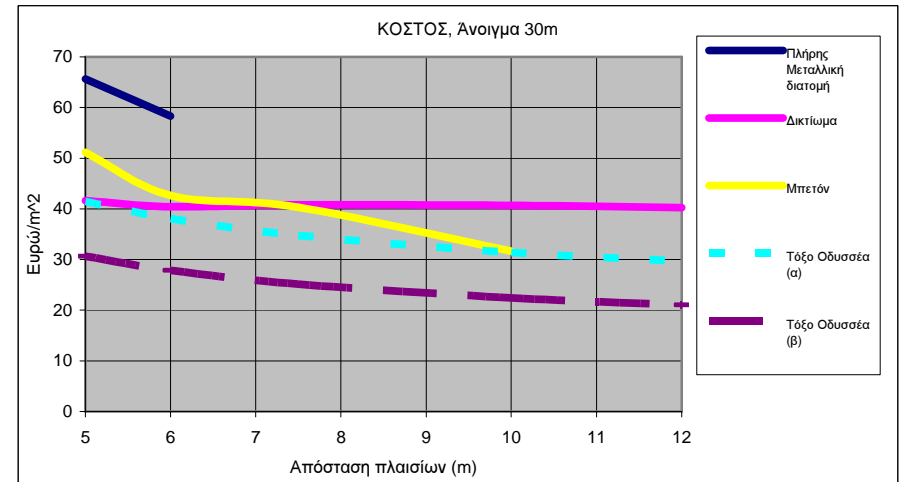
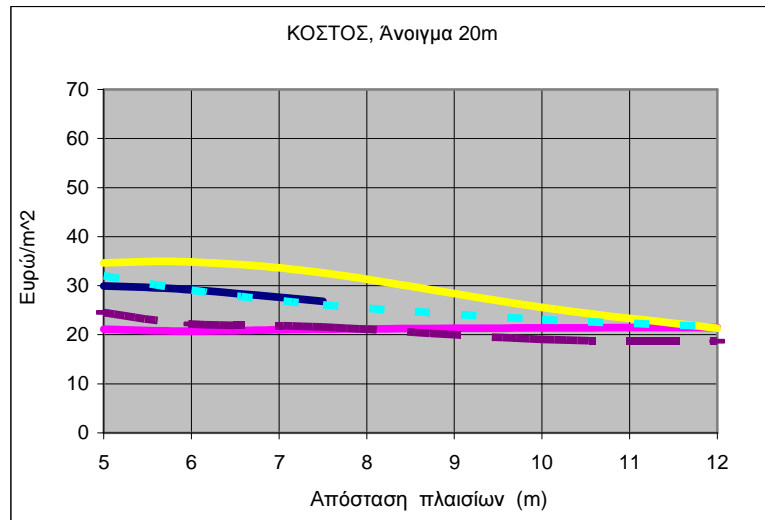
Τα παραπάνω συμπεράσματα δεν αλλοιώνονται αν χρησιμοποιηθούν αναλογικά μεγαλύτερες τιμές για το χάλυβα και το προεκτεταμένο σκυρόδεμα.

Από απόψεως βάρους, το πιο ελαφρύτερο σύστημα είναι το δικτύωμα όπως αναμενόταν. Επίσης από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το «Τόξο του Οδυσσέα» είναι ελαφρύτερο από την διατομή με οπλισμένο σκυρόδεμα.

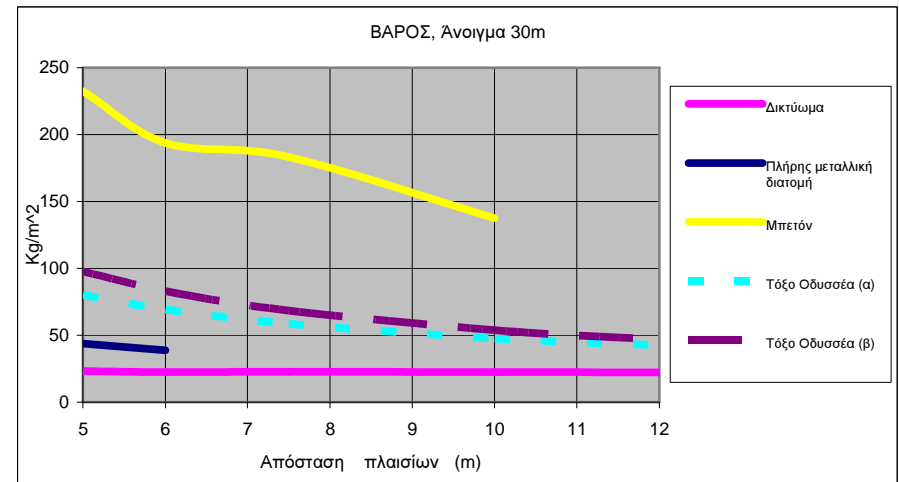
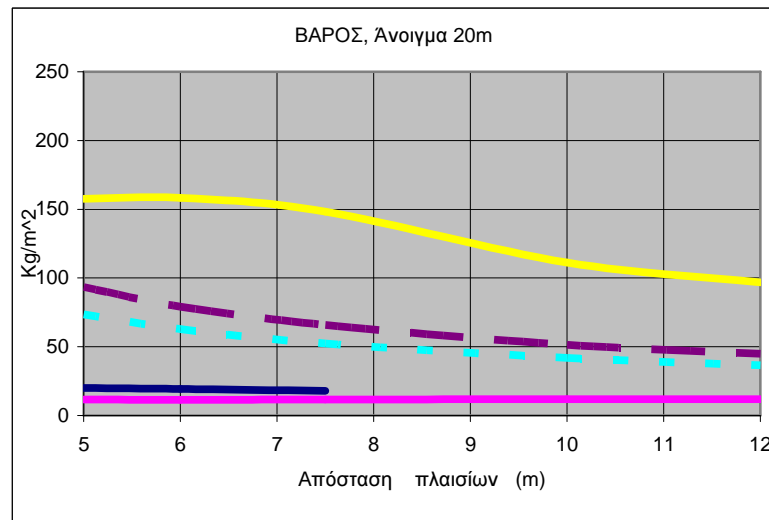
Γενικά το σύστημα ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΟΔΥΣΣΕΑ δίνει ταχύτερες και άριστες τεχνικά και οικονομικά λύσεις σε οικοδομικά έργα και γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων.

## 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Vayas I., Ermopoulos J. and Ioannidis G. “*Steel Structures, Design examples according to Eurocode 3*”, Volume I, ed. Kleidarithmos, Athens, Greece, 1997.
- [2] Vayas I., Ermopoulos J. and Ioannidis G. “*Steel Structures, Design examples according to Eurocode 3*”, Volume II, ed. Kleidarithmos, Athens, Greece, 2005.
- [3] Ermopoulos J. “*Steel and Composite bridges according to Eurocodes*”, ed. Kleidarithmos, Athens, Greece, 2000.
- [4] Mantzaris J., Panagiotou G., Pnevmatikos N., “Bridges with composite static system. Arch of Odysseus”, *5<sup>th</sup> National conference of steel structures*, Xanthi, 29 September -1 October 2005. Proceedings, Vol. II pp 216-224.

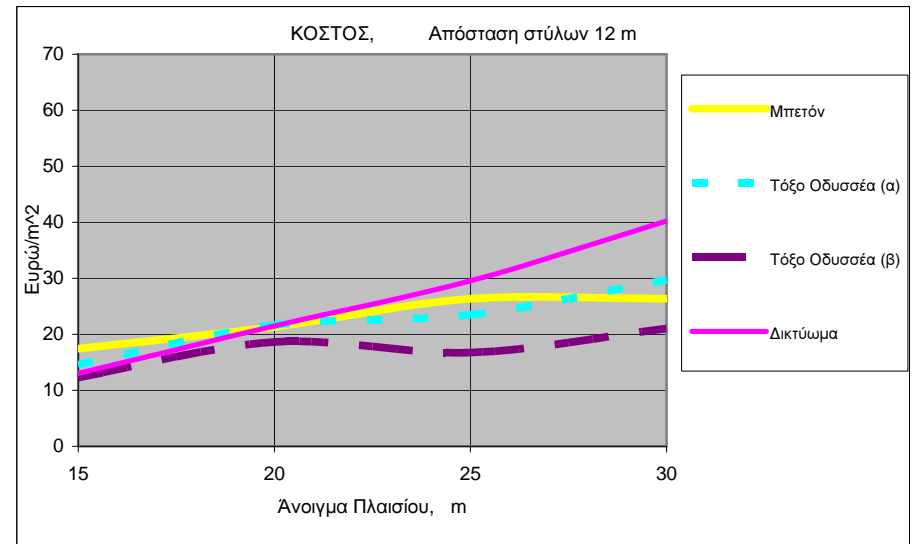
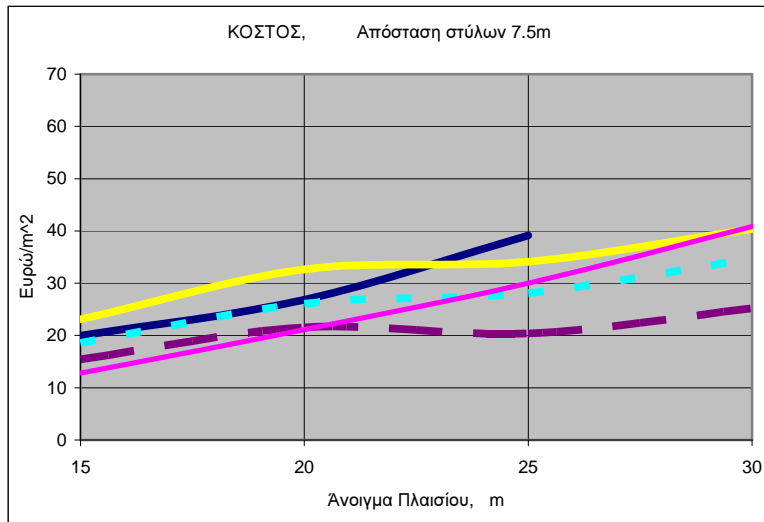


(α)

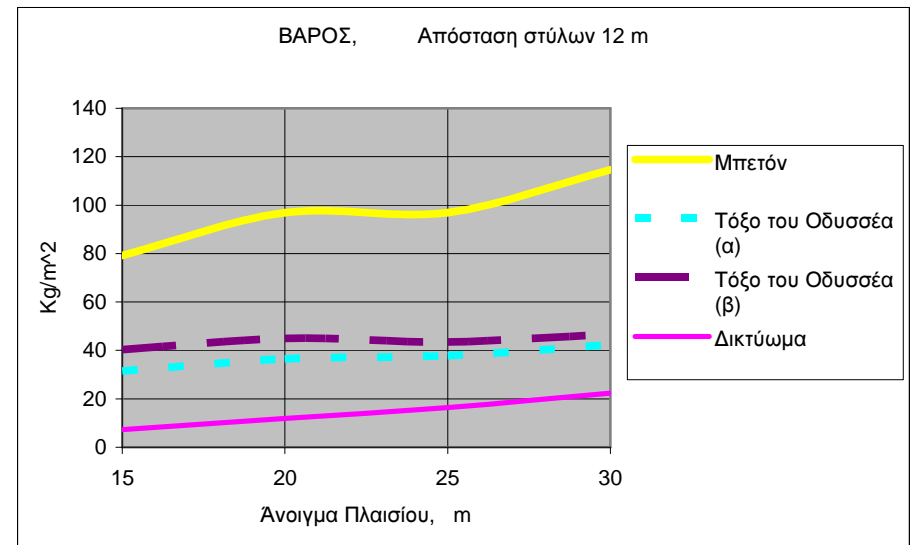
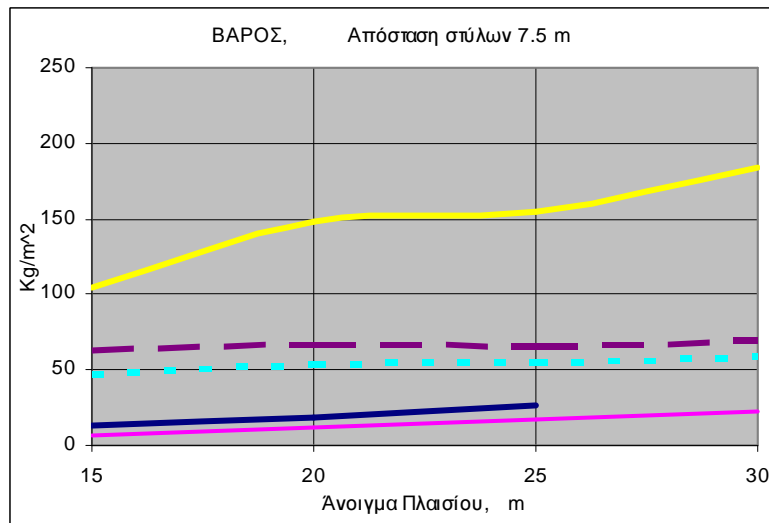


(β)

Σχ. 3: Διαγράμματα κόστους (α) και βάρους (β) των δομικών συστημάτων για διάφορες τιμές απόστασης πλαισίων μεταξύ τους και για σταθερό άνοιγμα πλαισίου.



(α)



(β)

Σχ. 4: Διαγράμματα κόστους (α) και βάρους (β) των δομικών συστημάτων για διάφορες τιμές ανοίγματος πλαισίου και σταθερή απόσταση μεταξύ τους

## PARAMETRIC COST ANALYSIS OF COMPOSITE, PRECAST, PRESTRESSED BEAM “ARCULYS” USED FOR THE CONSTRUCTION OF INDUSTRIAL BUILDING

**Yannis Matzaris**

Civil Engineer, NTUA  
FANTA REAL Ltd  
Athens, Greece  
imant@tee.gr

**Dr. Nikos Pnevmatikos**

Civil Engineer, NTUA  
NTUA, Metal structures laboratory  
Athens, Greece  
nikos\_pnevmatikos@hotmail.com

### SUMMARY

In the present paper, a parametric analysis of a structural system called “Arculyss” (Arc of Ulysses) is investigated. This structural system is a composite, precast beam and consists of the prestressed concrete bottom flange, the web, which is a steel truss and the top flange which is of steel section. This form is usually for the initial stage and in the final stage the top flange, and in some cases the web, is filled by concrete.

Generally, the main advantages of a composite precast prestressed beam are speed, quality and low cost. For the achievement of the above, the key factor is the production in the factory, so as to provide all the necessary means for high quality and control, speed of production and low cost through standardization. The main disadvantage is the weight, which after a critical point is making transport and erection of the prefabricated elements either impossible or requiring special trucks and cranes, that increase the cost significantly.

This composite beam can be the main element for bridges or for industrial buildings and precast houses. In this work only industrial building is examined. Preliminary design for different kind of structural systems is done and comparison diagrams about the cost and the weight between this type of beam and the traditional beam systems, steel and concrete, are presented. The results shows that the composite beam “Arculyss” is more economical than the other systems when the span of the building frame is more than twenty meters and the interspan length more than 7.5 meter.