

# ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΔΗΜΟΣΙΑ ΣΥΝΕΔΡΙΑ ΤΗΣ 6<sup>ΗΣ</sup> ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2005

ΥΠΟΔΟΧΗ  
ΤΟΥ ΞΕΝΟΥ ΕΤΑΙΡΟΥ  
κ. NIKOLA HAJDIN

ΠΡΟΣΦΩΝΗΣΗ ΥΠΟ ΤΟΥ ΑΝΤΙΠΡΟΕΔΡΟΥ κ. ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΥ ΣΤΕΦΑΝΗ

Με ιδιαίτερη χαρά υποδεχόμεθα σήμερα τὸν Πρόεδρο τῆς Σερβικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν καὶ Τεχνῶν κ. Nikola Hajdin, τὸν ὁποῖο ἡ Ἀκαδημία Ἀθηνῶν ἐξέλεξε ὡς ἐπίτιμο μέλος τῆς. Ὁ κ. Nikola Hajdin εἶναι ἓνας διεθνοῦς ἐμβελείας ἐρευνητῆς τῆς Θεωρητικῆς καὶ Ἐφαρμοσμένης Μηχανικῆς, καὶ συγχρόνως ἓνας τεχνικός, ὁ ὁποῖος διεκρίθη εἰς τὴν κατασκευὴ κρεμαστῶν γεφυρῶν μεγάλων ἀνοιγμάτων με εὐθύγραμμα καλῶδια.

Ὁ διακεκριμένος συνάδελφος ἔχει ἐπανειλημμένως τύχει διεθνῶν διακρίσεων, εἶναι ἀκαταπόνητος στὴν ἐργασία του, σταθερὸς στὶς πεποιθήσεις του καὶ ἀναγνωρίζεται γιὰ τὴν ἀφοσίωσή του στὶς παραδόσεις τῆς πατρίδας του καὶ τὴ φιλία μεταξὺ τῶν Βαλκανικῶν λαῶν.

Ἀγαπητὲ συνάδελφε, εὐχαρίστως σὰς ἐπιδίδω τὰ διάσημα τοῦ ξένου ἐταίρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν καὶ σὰς εὐχομαι νὰ ἔχετε πάντα ἐπιτυχίες στὸ ἔργο σας.

Ἡ Σύγκλητος ἀνέθεσε στὸν Ἀκαδημαϊκὸ κ. Ἀντώνιο Κουνάδη νὰ παρουσιάσει τὸν τιμώμενο Ξένον Ἐταῖρο.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΥΠΟ ΤΟΥ ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟΥ κ. ΑΝΤΩΝΙΟΥ ΚΟΥΝΑΔΗ

Κύριε Πρόεδρε, κυρίες και κύριοι συνάδελφοι, κυρίες και κύριοι,

Ἡ Σύγκλητος τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, μετὰ ἀπὸ πρόταση τῆς Α' Τάξεως τῶν Θετικῶν Ἐπιστημῶν, μοῦ ἔκανε τὴν ἰδιαίτερη τιμὴ νὰ ἀναλάβω τὴν παρουσίαση τοῦ νέου ξένου ἐταίρου τῆς Ἀκαδημίας Ἀθηνῶν, τοῦ Καθηγητοῦ κ. N. Hajdin, Προέδρου τῆς Σερβικῆς Ἀκαδημίας Ἐπιστημῶν καὶ Τεχνῶν, ἐνὸς διεννοῦς ἐμβέλειας ἐπιστήμονα στὴν περιοχὴ τῆς «Μηχανικῆς». Ὡς ὁμότεχνος καὶ φίλος του, ἀποδέχτηκα μὲ ἰδιαίτερη εὐχαρίστηση τὴν ἐντολὴ νὰ ἀπευθύνω τὸν καθιερωμένο χαιρετισμὸ κατὰ τὴν ἀποψινὴ ἐπίσημη ὑποδοχὴ του.

Ὁ κ. N. Hajdin ἐπέτυχε κατὰ μοναδικὸ τρόπο νὰ μετουσιώσῃ σὲ πράξη τὰ θεωρητικὰ του εὐρήματα στὴν εὐρύτερη περιοχὴ τῆς «Μηχανικῆς», τὴ «Δομικὴ» καὶ «Ἵπολογιστικὴ Μηχανικὴ». Στὴν ἐπιστήμῃ τῆς «Μηχανικῆς», ἡ ὁποία ἀποτελεῖ τὸν ἀκρογωνιαίον λίθον σχεδὸν ὅλων τῶν ἐπιστημῶν ποὺ θεραπεύονται ἀπὸ Πολυτεχνικὲς Σχολές, ὀφείλεται σὲ μεγάλο βαθμὸ ἡ ἀλματώδης πρόοδος τῆς Τεχνολογίας, μὲ τὸ πλῆθος καὶ τὴν ποικιλίαν τῶν σχετικῶν ἐφαρμογῶν. Μεταξὺ αὐτῶν εἶναι καὶ ἡ κατασκευὴ γεφυρῶν γιὰ τὴ ζεύξη μεγάλων ἀνοιγμάτων, ἀπὸ τὰ σημαντικότερα τεχνικὰ ἔργα, μὲ ἀποφασιστικὴ, ἐν γένει, συμβολὴ στὴν τεχνικὴ, οἰκονομικὴ καὶ κοινωνικὴ ἀνάπτυξιν μιᾶς χώρας.

Ὁ κ. N. Hajdin, διακεκριμένος ἐρευνητής, ὑπῆρξε, ἀλλὰ ἐξακολουθεῖ καὶ σήμερα νὰ εἶναι, ἓνας ἐμπνευσμένος σχεδιαστής καὶ παγκοσμίου ἀκτινοβολίας μελετητὴς γεφυρῶν μεγάλων ἀνοιγμάτων ἀνηρτημένων ἀπὸ εὐθύγραμμα καλωδία. Ὡς Καθηγητὴς «Σιδηρῶν Κατασκευῶν» στὸ Πανεπιστήμιο τοῦ Βελιγραδίου ἄφησε ἐποχὴ, τόσο ὡς ἐξέχων διδάσκαλος ὅσο, κυριώτατα, ὡς κορυφαῖος ἐρευνητής, γιὰ τὴ σημαντικὴ διεθνή συμβολή του στὴν ἐκτίμησιν τῆς ἰδιόμορφης συμπεριφορᾶς ὀλισθιμένων μελῶν ἀπὸ ἀνοιχτὲς λεπτότοιχες διατομές. Συγκεκριμένα, ὁ κ. N. Hajdin ἐπέτυχε τὴν ἐπέκτασιν τῆς ἐρευνητικῆς αὐτῆς περιοχῆς, τίς βάσεις τῆς ὁποίας εἶχε θέσει ὁ γνωστὸς Ρῶσος ἐρευνητής V. Vlassov, πρὸς τὴν κατεύθυνσιν ἐφαρμογῆς τους στὴ γεφυροποιία. Πράγματι, τὰ σημαντικὰ εὐρήματά του, ποὺ περιέλαβε σὲ ἓνα δίτομο σύγγραμμά του, ἐκδοθὲν στίς ἀρχές τῆς δεκαετίας τοῦ '70 ἀπὸ τὸν γνωστὸ ἐκδοτικὸ οἶκον Springer-Verlag, μετουσίωσε σὲ πράξιν, ἐφαρμόζοντάς τα ἐπιτυχῶς στὴν κατασκευὴ μεταλλικῶν καλωδιωτῶν γεφυρῶν μεγάλων ἀνοιγμάτων. Ἀξίζει ἐπίσης νὰ μνημονευθεῖ ἡ συμβολὴ τοῦ κ.

N. Hajdin στην επίλυση προβλημάτων στρέψεως –και μάλιστα σε χωρία τυχούσης γεωμετρίας με μερικές διαφορικές εξισώσεις μέσω συνοριακών ολοκληρωτικών εξισώσεων. Η μέθοδος αυτή, την οποία ανέπτυξε πρώτος αυτός το 1954, θεωρείται από ειδικούς, ως πρόδρομος της συγχρόνου μεθόδου των συνοριακών στοιχείων (boundary element method). Μιας μεθόδου λίαν αποτελεσματικής σήμερα για την επίλυση δυσχερών προβλημάτων δισδιαστάτου εντάσεως.

Οι έρευνητικές περιοχές στις οποίες ο κ. N. Hajdin έχει σημαντική συμβολή, με τις 200 και πλέον δημοσιεύσεις του, είναι: υπολογιστικές και αριθμητικές μέθοδοι σε προβλήματα θεωρίας ελαστικότητας και δομικής μηχανικής, θεωρία λεπτοτοιχών κατασκευών, ανάλυση γεφυρών και φραγμάτων, συμπεριφορά των κατασκευών σε κρουστικά φορτία. Άξια μνείας, μεταξύ άλλων, είναι η δημοσίευσή του στο διεθνές περιοδικό *International Journal for Numerical Methods in Engineering* (vol. 4, pp. 523-539, 1972), με τίτλο «Μέθοδος Όλοκληρωτικής Έξιώσεως για την επίλυση προβλημάτων συνοριακών τιμών στη Δομική Μηχανική. Μέρος II: Έλλειπτικές Μερικές Διαφορικές Έξιώσεις». Τη μέθοδο αυτή έφηρμοσε με επιτυχία σε Υδροδυναμικά Έργα –μεταξύ των οποίων τρία μεγάλα φράγματα στη Σερβία– αλλά κυριώτατα για τη μελέτη και την κατασκευή κρεμαστών γεφυρών με ευθύγραμμο καλώδια (τόσο οδοφόρων όσο και σιδηροδρομικών). Μεταξύ αυτών, αξίζει ιδιαίτερης μνείας η κατασκευασθείσα στο Novi Sad γέφυρα, πάνω από τον ποταμό Δούναβη, περί τα τέλη της δεκαετίας του '70. Πρόκειται για μία οδοφόρο κρεμαστή γέφυρα από ευθύγραμμο καλώδια, αλλά με μονή σειρά πυλώνων κατά τον άξονα της γέφυρας. Η μορφή αυτή γεφυρών, η οποία για έναν ασφαλής σχεδιασμό συνεπάγεται δυσχέρεια ανάλυσεως, λόγω μειωμένης αντιστάσεως της γέφυρας σε στρέψη, είναι ιδιαίτερα οικονομική αλλά και αισθητικώς πολύ όμορφη. Η μεταλλική αυτή γέφυρα είχε ελεύθερο άνοιγμα 351 μέτρα, που ήταν τότε το μεγαλύτερο στον κόσμο για την κατηγορία κρεμαστών γεφυρών αυτής της μορφής. Η πραγματικά ωραία αυτή γέφυρα, και συγκεκριμένα το μεσαίο της άνοιγμα, κατερρίφθη, δυστυχώς, κατά τη διάρκεια των τελευταίων βομβαρδισμών του NATO. Την καταρριφθείσα αυτή γέφυρα –φωτογραφία της οποίας είχε δημοσιευθεί τότε στην εφημερίδα ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ– είχα επισκεφθεί με συνεργάτη μου από το Ε.Μ.Π. μετά το πέρας των βομβαρδισμών, κατόπιν προσκλήσεως της Σερβικής Ακαδημίας Επιστημών και Τεχνών, προκειμένου να διερευνήσουμε με Σέρβους ομολόγους μας πρόσφορους τρόπους αποκαταστάσεώς της. Ήδη η γέφυρα αυτή επανακατασκευάσθηκε, υπό την επίβλεψη του τιμωμένου σήμερα κ. N. Hajdin, με χρημα-



τοδότηση της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η επανακατασκευή της ήταν όντως ένα δυσχερές έργο, δυσχερέστερο από την εξ ύπαρξης κατασκευή της γέφυρας, δεδομένου ότι μία τέτοια αποκατάσταση προϋποθέτει την ακριβή εκτίμηση της υπάρχουσας άνοτης της μετά την επελθούσα βλάβη στο δομικό της σύστημα.

Αξίζει ακόμα να μνημονευθεί ένα άλλο σημαντικό τεχνικό έργο του κ. N. Hajdin: Πρόκειται για τη σιδηροδρομική γέφυρα πάνω από τον ποταμό Sava στο Βελιγράδι, η οποία είναι η πρώτη στον κόσμο σιδηροδρομική γέφυρα, κατασκευασθείσα με το προαναφερθέν σύστημα καλωδιωτής ανάρτησης.

Ο κ. N. Hajdin, άκαταπόνητος έρευνητής και μελετητής, συνεχίζει σταθερά και σήμερα τόσο την έρευνα, όσο και την εκπόνηση μελετών προς περαιτέρω βελτίωση αυτού του άψογης εμφάνισης και οικονομικώς προσφόρου τύπου κρεμαστών γεφυρών. Χαρακτηριστικό είναι ότι πρό τετραετίας δική του μελέτη έλαβε το πρώτο βραβείο διεθνούς διαγωνισμού για την κατασκευή μίας γέφυρας αυτού του τύπου πάνω από τον ποταμό Βιστούλα στην πόλη Plock της Πολωνίας, ελεύθερου ανοίγματος 375 μ. Πρό τριετίας μάλιστα, ο κ. N. Hajdin παρέδωσε και την πλήρη μελέτη της γέφυρας αυτής, η οποία ήδη κατασκευάσθηκε και τέθηκε σε λειτουργία τον περασμένο μήνα.

Ο κ. N. Hajdin, για το έρευνητικό και επαγγελματικό του έργο, έχει τύχει μεγάλης διεθνούς αναγνώρισης. Είναι Έξενος Έταίρος άλλων Ακαδημιών, Πρόεδρος ή μέλος διεθνών επιστημονικών επιτροπών επί θεμάτων γεφυροποιίας, διετέλεσε Τεχνικός Σύμβουλος μεγάλων ξένων Τεχνικών Έταιρειών για την κατασκευή γεφυρών σε διάφορες χώρες του κόσμου (όπως Ινδίες, Καναδά, Έλβετία, Μ. Βρετανία, Πολωνία κ.λπ.). Έχει δώσει σεμινάρια και διαλέξεις σε γνωστά Πανεπιστήμια και Ίνστιτούτα (όπως στη Βρετανία, στο Όμοσπονδιακό Ίνστιτούτο Τεχνολογίας της Έλβετίας στη Ζυρίχη και στη Λωζάνη, στο University College του Λονδίνου, στα Πανεπιστήμια της Πράγας, Μπρατισλάβας, Τιμισοάρας, Στουτγκάρδης, Δρέσδης, Άννοβέρου και Άαχεν, στα Ίνστιτούτα Μηχανικών της Καλκούτας και της Βομβάης, στην Ένωση Αυστριακών Μηχανικών στη Βιέννη, στο Πανεπιστήμιο της Βαγδάτης, στο Ε.Μ. Πολυτεχνείο, στην Ακαδημία Dei Lincei στη Ρώμη, στην Κινεζική Ακαδημία Επιστημών στο Πεκίνο κ.λπ.).

Έχει λάβει πολλές τιμητικές διακρίσεις, όπως από την πόλη του Βελιγραδίου το 1959 και από την πόλη του Novi Sad το 1981. Το 1987 έλαβε το βραβείο AVNOJ, που απενέμετο στην τότε Γιουγκοσλαβία για εξαιρετικά επιτεύγματα. Το 2000 το Ε.Μ. Πολυτεχνείο τον αναγόρευσε σε *Επίτιμο Διδάκτορα*. Θα πρέ-

πει ακόμα να τονισθεί ότι ο εξέχων αυτός επιστήμων, που απολαμβάνει μεγάλης εκτιμήσεως από τον Τεχνικό Κόσμο της Σερβίας, διακρίνεται για το αδαμάντινο ήθος του, είναι ένας θερμός φιλέλληνα και διαπρύσιος κήρυκας του Έλληνικού Έθνους. Άξια μνείας είναι ή συμβολή του στην αναγόρευση διαπρεπών Έλλήνων επιστημόνων σε Αντεπιστέλλοντα μέλη ή Ξένους Έταίρους της Σερβικής Ακαδημίας Επιστημών και Τεχνών, μεταξύ των οποίων ο αείμνηστος Καθηγητής και Ακαδημαϊκός Π. Θεοχάρης, με τον οποίο είχε μία μακρά και γόνιμο συνεργασία.

Αγαπητέ φίλε Nikola,

Δεν χρειάζεται να ήμιλήσω περισσότερο, όταν πολύ καλύτερα και πειστικότερα ήμιλει το λαμπρό και διεθνώς εκτιμώμενο επιστημονικό σου έργο. Ένα έργο, το οποίο δικαίως σε έχει αναδείξει διεθνώς σε έναν κορυφαίο επιστήμονα στην περιοχή των κρεμαστών γεφυρών. Η Ακαδημία Αθηνών, σε αναγνώριση αυτής της μεγάλης σου συμβολής στο έρευνητικό και γενικότερα επιστημονικό αυτό πεδίο, σε υποδέχεται απόψε στους κόλπους της, με την εύχη αλλά και την πεποίθηση ότι και από αυτή τη νέα σου θέση του Ξένου Έταίρου θα συνεχίσεις να θεραπεύεις την Επιστήμη, στην οποία τόσα πολλά μέχρι σήμερα έχεις προσφέρει.

Dear Nikola,

The Academy of Athens, in recognition of your outstanding contribution to the broader area of Mechanics, welcomes you as a foreign member, with the trust that you will continue, from this new position, your excellent scientific and applied work.

NIKOLA HAJDIN

STRUCTURAL MECHANICS AND STRUCTURES  
SOME AUTHOR'S CONTRIBUTIONS**1. Introduction**

In my very long scientific and professional activity, lasting almost 60 years, I worked in several branches of structural mechanics. Some of my first contributions in the beginning of the second half of the twentieth century are not actual now, but a big part of the contributions even from my first period is, according to my opinion, still actual.

It is my intention to give a review of some of them in chronological order, selecting only such theoretical contributions which are directly connected with my engineering creations representing some development in the technology of structures.

**2. A numerical method based on integral equations**

After the Second World War, the analytical methods were dominant in structural mechanics, unfortunately, often not being able to solve very complicated problems concerning the different structural forms and geometrical and material non linearity.

It was obvious, that some numerical procedures were needed. I tried to find some way to solve actual problems and some numerical method which would have a practical application using classical calculators.

This was in the period when computers in engineering practice were an unknown thing.

The result of the research was a numerical method, first published in 1956 [1], [2], [3], based on integral equations, able to solve the problems with

the use of a modest number of linear equations, often smaller than the number of equations used in the very known method of finite differences.

I would like to explain it on the very simple problem of the elastic torsion:

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} = C$$

where

$\Phi$  stress function

$C$  given constant.

Adopting a mesh of orthotropic lines (Fig. 2.1), the consisting parts of differential equation along the lines of the mesh:

$$\left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} \right)_{y=y_n} = p(x, y_n) \quad \left( \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} \right)_{x=x_m} = q(y, x_m)$$

will be transformed into integral equations.

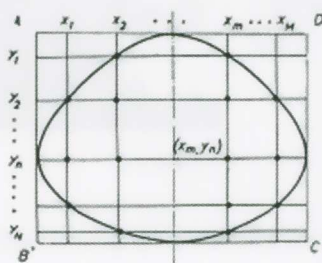


Figure 2.1

Using the numerical integration one gets in the matrix formulation:

$$\Phi = Ap$$

$$\Phi = Bq$$

$$p + q = C$$



And finally, the solution of the problem:

$$(I + B^1)p = C$$

The method was applied for solving several problems of different structures and other problems of mechanics, like dynamics of vehicles, hydraulics and analysis of arch dams [4], [5]. The majority of big arch dams in former Yugoslavia have been analyzed using this method.

The arch dam Glaznja (Fig. 2.2), one of the biggest in former Yugoslavia, designed in 1968, was analyzed using this method.



Figure 2.2

The method was quoted and used by several authors in Yugoslavia and abroad.

### 3. Creep of concrete and composite structures

After the Second World War, a new technology was introduced in the construction of bridges, known as composite bridges, consisting of two materials with different characteristics - concrete and steel - acting together in the structural system.



The concrete differs from steel, as a material having different relation between the stress and strain. The concrete shows a time dependent strain (deformation), which in the composite action influences stresses in the steel part of structure.

This makes more complicated the analysis of the structures. The usual combination of the concrete and steel was: concrete plate on the top of girder, combined with the steel underneath the concrete plate (Fig. 3.1).

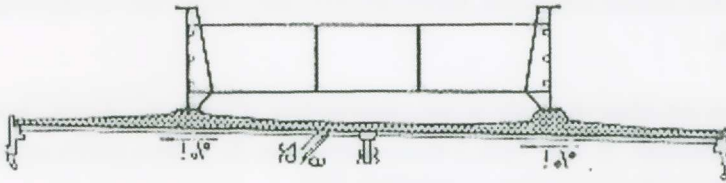


Figure 3.1

It was my ambition to propose something more general: a structure with the arbitrary position of the concrete in the cross section.

The paper [6] was published at the beginning of the 60's in the previous century, see also [7], and practically at the same time I designed a big bridge (with a span of 135 m.) across the Sava River at Orasje (Croatia) completed in 1968 (Fig. 3.2), following my previously done theoretical investigation [8].

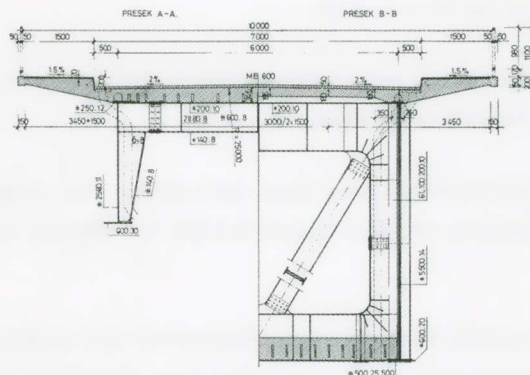


Figure 3.2

This was the first bridge in the world with double composite action, i.e. with the top concrete plate and the bottom concrete plate in the zones of support.

The first bridge of this art was constructed in Germany 25 years later.

#### **4. About the thin walled structures**

A big part of my scientific activity was oriented to the theory of the so called thin walled structures, which are extremely important in the structural practice.

They are often the basis in the construction of different objects, mostly in metal materials. In this topic I wrote more than 30 papers, publications and two books in Springer editions [9], [10], [11].

These papers and books have been cited and used in several hundreds other papers and books, and are used in many universities as literature for post-graduate students.

#### **5. Fatigue of cables in cable stayed bridges**

The cable material, a high strength steel, is very sensitive on fatigue. Due to this fact, the amplitude between the maximum and minimum stress is limited. On the other side, the oscillation of loading due to traffic, in the case of railway bridges can be very high.

Because of that fact, it was common opinion that the cable stayed bridges are not suitable for railway bridges.

The theoretical studies I have done, have shown that under certain conditions the application of cable stayed bridges for railway traffic could be possible.

In order to realize this idea, some theoretical and experimental studies have been necessary, among others, the bending of cables in the anchorage zones.

An analysis of this phenomenon was done [12], taking into account displacements of the anchorage points in the pylon and girder (Fig. 5.1), using a new type of cable, with the wires in a polyethylene tube (Fig. 5.2).

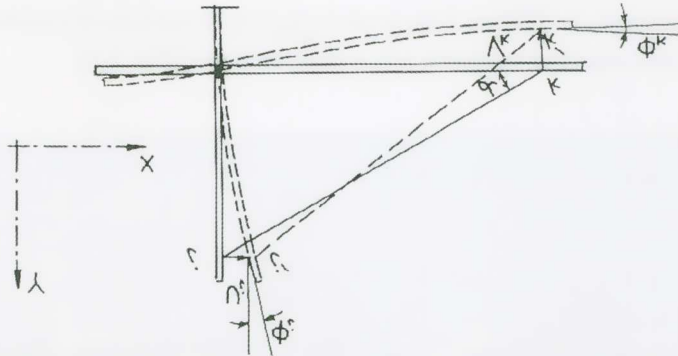


Figure 5.1

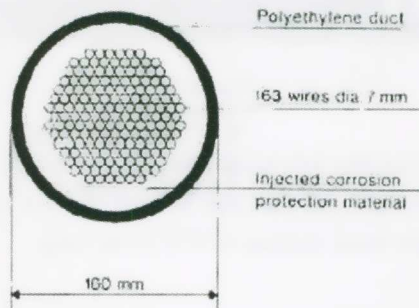


Figure 5.2

The results we obtained have shown that these additional stresses are important, and we respected them during the construction of the first cable stayed bridge in the world for the railway traffic, that I designed across the Sava river in Belgrade.

This phenomenon was later considered by other authors during the construction of several bridges of this kind, by introducing some additional devices in the anchorage zones.

The railroad bridge across the River Sava, between the "Novi Beograd" and "Prokop" stations, is 1928 m. long in all [13], [14]. It consists of a crossing over the river and approaches on the left and right banks (Fig. 5.3).



Figure 5.3

The approaches on the left bank section are 791.36 m. long, the central section above the River Sava and the Winter Harbor is 557.94 m., and the approach on the right bank section is 578.76 m. long.

The main bridge structure – its central section – is a continuous girder (stiffening beam) with spans of  $52.74 + 85.00 + 254.00 + 50.00 + 64.20 = 555.94$  m., with cable stays in the central spans. The stiffening beam consists of two box girders (Fig. 5.4), of a constant height of 4.45 m., mutually interlinked by an orthotropic deck, which carries the ballast and tracks.



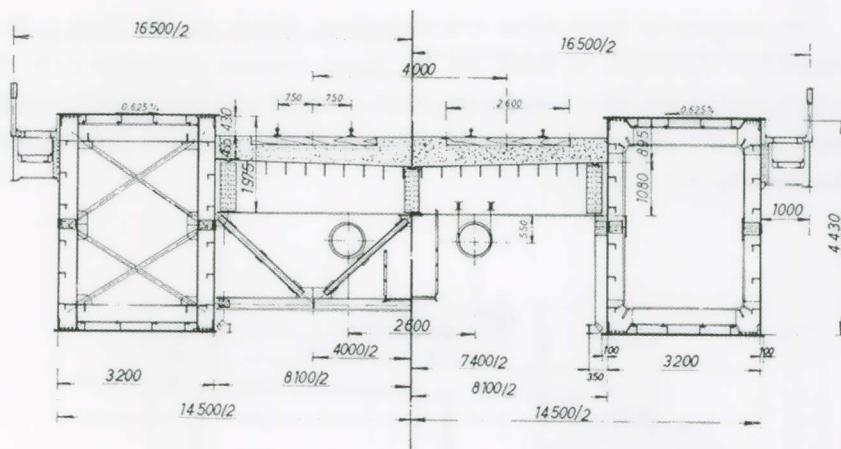


Figure 5.4

On both sides of the main span, there is a pair of vertical pylons anchored in the bridge stiffening girder. The cable stays are distributed in two vertical planes, supporting the stiffening girder at approximately every fifth of the 254 m. span. All the cables are anchored above the supports of 50 m. long, lateral spans. Adopting BBR system parallel wire cables with high fatigue resistant Hi-Am anchors, along with measures to increase the bridge mass, optimum stress level, excellent cable tension for dead loads and an insignificant influence of cable sag on vertical displacement of the structure was achieved.

The bridge was completed in 1979.

We should mention that this is the first time that this type of cable was used in Europe. Since that time, up to date, this type of cable has been the dominant form used for cable-stayed bridges in the world.

## 6. Stress and strain distribution at local points of cable stayed bridges

The elements which differentiate the cable stayed bridges from other structures, are the anchorage zones, where very high concentrations of stress occur.



This investigation has been used during the construction of the cable stayed bridge across the Danube river in Novi Sad, completed in 1981 [16], [17].

There are other theoretical investigations, which have been used in the construction of this bridge.

The main structure of the roadway bridge across the Danube in Novi Sad (Fig. 6.3) is a girder with cable stays. With its 351 m. span, it set, at the time of its building, the world record for bridges of this type, with pylons and stays in the central plane of the bridge.

Proceeding from the Novi Sad side (the left bank), the bridge comprises:

- a) the approach bank structure which is 301 m. long, made of prestressed concrete,
- b) the access composite structure of the left bank with spans of  $4 \times 60 = 240$  m.,
- c) the main steel structure of the girder system with cable stays and spans of  $2 \times 60 + 351 + 2 \times 60 = 591$  m.,
- d) the access composite structure of the right bank with spans of:  $3 \times 60 = 180$  m. The total length of the bridge is 1312 m. The bridge is designed to accommodate six traffic lanes.

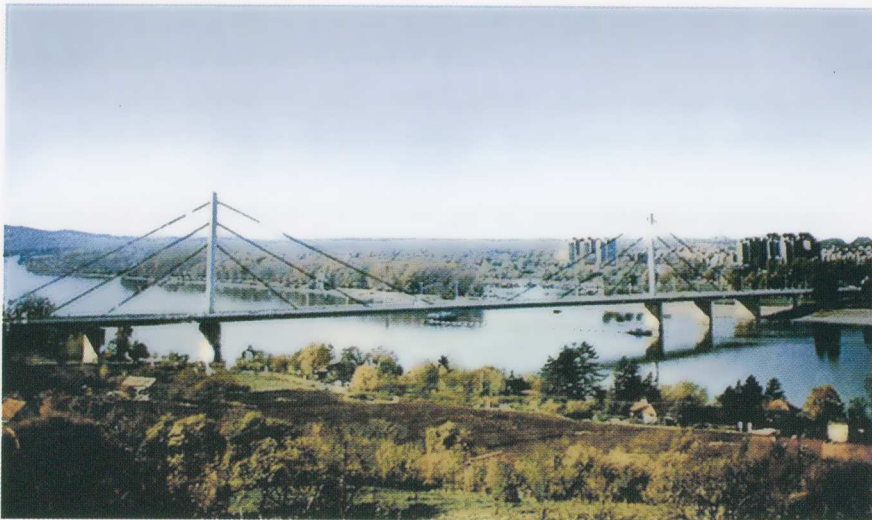


Figure 6.3

The main bridge structure is undoubtedly the most important and most complex part of the entire bridge. The stiffening girder, or the main girder, of the bridge, has a box cross section, trapezoidal in shape (Fig. 6.4).

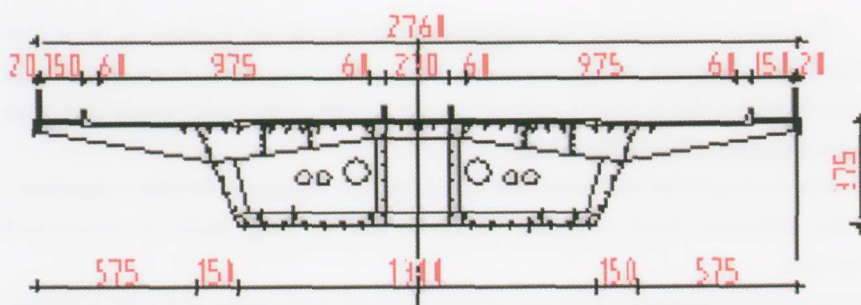


Figure 6.4

The height of the box is 3.8 m., the width of the lower plate is 13.0 m., and of the upper plate 27.48 m., of which the width of 16.0 m. is an integral part of the closed cross section. The pylons of the bridge are above the piers, at the ends of the main span, positioned in the axis of the bridge and fixed in the stiffening girder. Three groups with 4 parallel wire cables are arranged in a single plane, having a harp configuration. They are spaced along the main span of the bridge, at distances of 54+48+48 m., symmetrically on both sides.

This bridge was destructed during the NATO bombing (Fig. 6.5) and re-constructed in full original shape at the end of the year 2005 [18], [19], [20].





Figure 6.5

### 7. Patch loading - theoretical and experimental investigations

The stability problems and ultimate load behavior of steel plate girders have attracted a lot of attention during the last few decades. The behavior of the plate girder, subjected to patch load or partially distributed load on the flange in the plane of a web without vertical stiffener below the load, was also intensively investigated.

Our research was concentrated on the behavior of girders with longitudinal stiffeners, made on a series of tests on plate girders (Fig. 7.1).

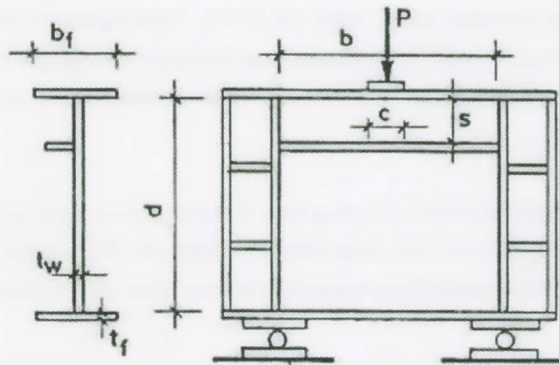


Figure 7.1

Theoretically [21], some model was proposed leading to the value of ultimate load.

We were included in common research with scientists from England and the Czech Republic [22].

The result of our investigations was a criterion for the ultimate load, which was used in the British standard.

### **8. Ship impact on structures (bridges)**

Ship impact has attracted a considerable attention of engineers, mainly due to safety reasons in bridge design.

In the last few years I have studied with my collaborators various problems concerning ship impact on rivers and canals [23], [24], [25], [26]. The main goal of our research has been an estimate of impact actions on civil engineering structures, which can be used as a reliable basis for the analysis of impacted structure.

At the beginning, the effort has been concentrated on bow impact problem and later on sideways impact.

A considerable crushing of ship bow structure takes place during a collision. In the crushed zone, large rotations, displacements and even large strain components of individual structural elements are present. However, in most cases, the crushed zone is relatively small in comparison to the length of the vessel.

Crushing characteristics of a ship bow structure have been analyzed on the basis of the Maier-Doernberg experimental research. The reaction forces due to the collapse mechanism have been divided on deck and bottom structures.

The deck or bottom structure is modeled as an assemblage of finite number of folded sections (Fig. 8.1).

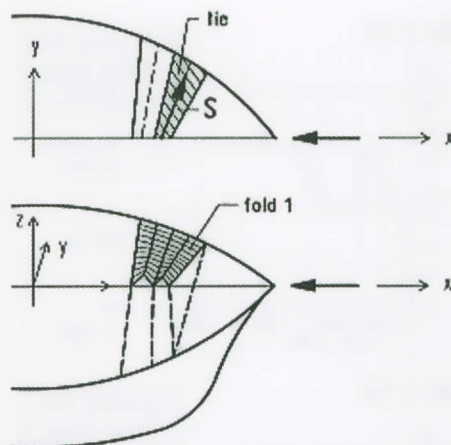


Figure 8.1 Formation of folds in the deck's plate

Each folded section is divided in two transverse elements and one longitudinal element. The later is assumed to buckle elastically out of the deck's plane.

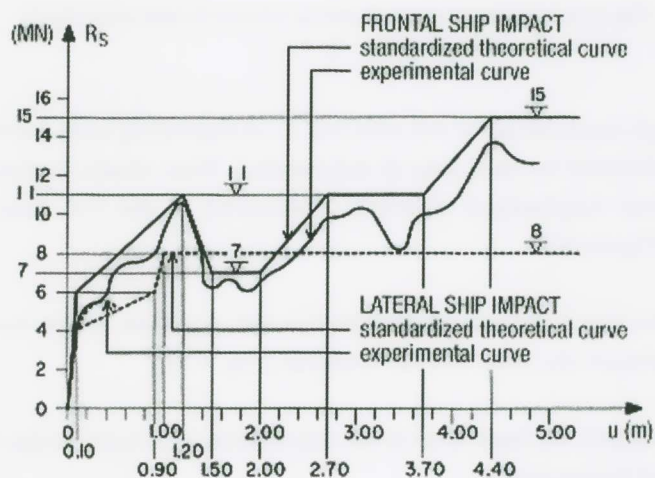


Figure 8.2 Deformation behaviour of ship's hull

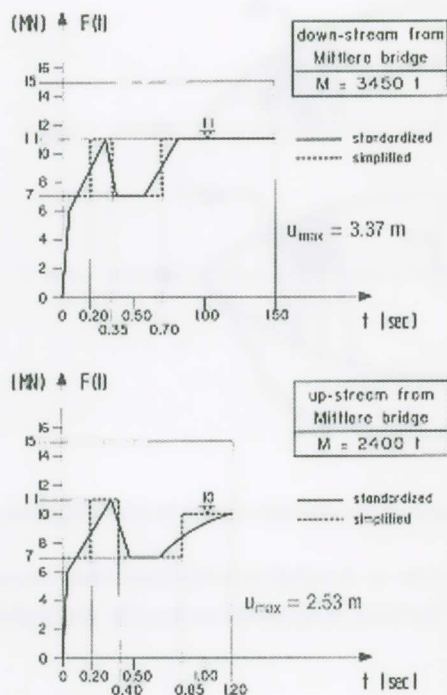


Figure 8.3 Relevant impact function  $F(t)$  for frontal ship impact

Through supposed art of deformation, a corresponding total reaction force has been obtained for each step of deformation. That means displacement of the bow into longitudinal direction represented as the  $F$ - $d$  function and shown on Figure 8.2.

The last step is the solution of the dynamic equation on the basis of the relation between the force and deformation (Fig. 8.3).

This analysis has been used in the calculation of several bridges' piers in the rivers of Switzerland.



### 9. Last design achievement: bridge across the River Vistula

Last design achievement was the roadway bridge across the River Vistula in Plock in Poland, 1st prize at an anonymous international competition (Fig. 9.1), cable stayed bridge with the span 370 m. and cables in one single vertical plane [27], [28].

The total length of the bridge is 1200 m., of which 615 m. is the length of the main part of the bridge over the Vistula riverbed and 585 m. the length of the access part of the bridge above the inundation basin. The main bridge structure is a symmetrical steel structure, a cable-stayed bridge composed of a continuous girder (with  $2 \times 60 + 375 + 2 \times 60$  m. spans), cable stays and two pylons.



Figure 9.1

The bridge girder has a torsionally stiff three-cell cross section of trapezoidal shape, (height 3.5 m., lower plate width 13.0 m., upper plate width 16.5 m.), cantilever arms 5.5 m. wide. The pylons to which the cable stays transmit their tensile force, are made of steel and fixed in the girder of the bridge. The cable stays are placed in the central vertical plane of the bridge, in what is referred to as modified harp distribution. Each cable stay consists of two individual cables (ropes) at axial distance of 750 mm.

The bridge was completed in the year 2005.

### 10. References

- [1] Ein verfahren zur Numerischen Lösung der Randwertaufgaben vom elliptischen Typus/N. Hajdin//Publications de l'Institut mathématique de l'Académie serbe des sciences 9 (1956), 69-78.
- [2] Integral Equation Method for Solution of Boundary Value Problems of Structural Mechanics. Part I: Ordinary Differential Equations/N. Hajdin, D. Krajcinović//*International Journal for Numerical Methods in Engineering* 4 (1972), 509-522.
- [3] Integral Equation Method for Solution of Boundary Value Problems of Structural Mechanics. Part II: Elliptical Partial Differential Equations/N. Hajdin, D. Krajcinović//*International Journal for Numerical Methods in Engineering* 4 (1972), 523-539.
- [4] An Integral Equations Method for Arch Dam Analysis/N. Hajdin//*Bulletin of the International Association for Shell Structures* 23 (1960), 57-66.
- [5] An Integral Equations Method for Arch Dams Analysis/N. Hajdin//*Theory of Arch Dams: Papers presented at The International Symposium held at Southampton University, April 1964*/Edited by J.R. Rydzewski, Oxford, New York: Symposium Publications Division, Pergamon Press, [1965], p. 331-340.
- [6] Der Einfluss des Kriechens und Schwindens des Betons in dünnwandigen Trägern mit gekrümmter Achse - Influence of Creep and Shrinkage of Concrete in Thin-Walled Curved Beams - Influence du fluage et du retrait du béton sur une barre courbe à parois minces/N. Hajdin//*Symposium: L'Influence du fluage et du retrait, l'effet des changements de température sur les constructions en béton, Madrid 1970: Extrait du rapport final*. Madrid: International Association for Bridge and Structural Engineering, 1970, p. 423-430.
- [7] Composite Thin-Walled Member with Open Cross - Section/N. Hajdin//*Collection of Papers dedicated to Prof. P.S. Theocaris*/editor A.N. Kounadis, Athens: National Technical University, 1994, p. 46-55.

- [8] Einige Beispiele der Kombination von Stahl und Beton im Brückenbau/N. Hajdin// *Schweizer Ingenieur und Architekt* 103: 3 (1985), 37-39.  
Same as: Festschrift Pierre Dubas zum 60. Geburtstag, Zürich: *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 1985, p. 29-31.
- [9] Matrix Analysis of Thinwalled Structures/by Curt F. Kollbrunner, Nikola Hajdin and Dušan Krajcinović - Zürich: Leemann, 1969, 83 p.; 23 cm.- (Institut für bauwissenschaftliche Forschung, Stiftung Kollbrunner/Rodio; 10).
- [10] Dünnwandige Stäbe. Bd. 1: Stäbe mit underofmierbaren Querschnitten/C. F. Kollbrunner, N. Hajdin, Berlin: Springer-Verlag, 1972, 296, XII p.; 26 cm.
- [11] Dünnwandige Stäbe. Bd. 2: Stäbe mit derofmierbaren Querschnitten. Nicht-elastisches Verhalten dünnwandiger Stäbe/C. F. Kollbrunner, N. Hajdin, Berlin: Springer-Verlag, 1975, 284, XII p.; 26 cm.
- [12] Contribution to the Analysis of Cable-Stayed Bridges/by Curt F. Kollbrunner, Nikola Hajdin and Bratislav Stipanić, Zürich: Verlag Schulthess AG, 1980, 45 p.; 23 cm.- (Institut für bauwissenschaftliche Forschung. Stiftung Kollbrunner/Rodio; 48).
- [13] Eisenbahnschraßeilbrücke über die Save in Belgrad/Hajdin, Lj. Jevtović//*Der Stahlbau* 48: 4 (1978), 97-106.
- [14] The Railway Cable-stayed Bridge over River Sava in Belgrade/N. Hajdin, Lj. Jevtović, S. Cvetković, V. Matić//*IABSE Periodica* 4 (1979): IABSE Structures C - 10/79 - Bridges I, p. 30.
- [15] Numerical Analysis of Local Stress Concentrations in the Pylon of the Bridge "Sloboda" over Danube River in Novi Sad/N. Hajdin, B. Stipanić, G. Srećković, B. Pujević//*VII kongres Saveza društava građevinskih konstruktora Jugoslavije, Cavtat 25- 28 April 1983*, Beograd: SDGKJ, 1983. Knj. Mostovi, M, str. 101-108. M-9.
- [16] Construction of the Cable-Stayed Bridge "Sloboda" (Bridge of Freedom) over the River Danube, Novi Sad, Yugoslavia/N. Hajdin, S. Dinić, H.R. Müller//*The Ninth International Congress of the FIP, Stockholm, June 6-10 1982*, Stockholm: FIP, 1982, p. 1-16.
- [17] Strassenbrücke "SLOBODA" über die Donau in Novi Sad/N. Hajdin//*Der Stahlbau* (Berlin) 52: 4 (April 1983), 97-103.
- [18] Destruction and Reconstruction of the Sloboda Bridge in Novi Sad/N. Hajdin// *First International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management (IABMAS 2002), Barcelona, July 14 - 17, 2002*, Barcelona: International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE), 2002, p. 1-8.
- [19] Destruction and Reconstruction of Sloboda Bridge in Novi Sad/N. Hajdin, R. Mandić//*4th Greek National Conference on Steel Structures, Patras, May 24-25, 2002*, (invited paper) No. St 56.
- [20] Reconstruction of the Bridge Sloboda in Novi Sad/N. Hajdin//*Proceedings 4th International Conference on Bridges Across the Danube 2001, Bratislava, September 13-15, 2001*, Bratislava, 2001, p. 359-365.

- [21] A Contribution to the Analysis of the Behaviour of Plate Girders Subjected to Patch Loading/N. Marković, N. Hajdin // *Journal of Constructional Steel Research* 21: 1-3 (1992), 163-173.
  - [22] Yugoslav investigations concerning the patch loading on girders/N. Hajdin, B. Corić, N. Marković, D. Lucić // *Proceedings of the 6th National Congress of Mechanics, Thessaloniki, July 19-21, 2001, dedicated to the memory of P.S. Theocaris*, Thessaloniki, Hellenic Society of Theoretical and Applied Mechanics, Aristotle University, 2001, Vol. I, p. 282-289.
  - [23] Ship Collision with Bridges: a Contribution to the Standardization of Vessel Impact Forces for the Bridges on the Danube/N. Hajdin, R. Mandić // *Proceedings of The Second International Conference "Bridges over the Danube", Cernavoda, 11-15 September 1995*, p. 113-119.
  - [24] Ship Impact on Inland Waterways/J. Grob, N. Hajdin // *Structural Engineering International* 4 (1996), 230-236.
  - [25] Ship Collision with Civil Engineering Structures/N. Hajdin, R. Mandić // *Bulletin de l'Académie serbe des sciences et des arts. Classe des sciences techniques*, 120: 28 (2000), 15-27.
  - [26] Crushing of Ship's Bow Structure During Collision with Bridge Piers/N. Hajdin, R. Mandić // *Proceedings of the 6th National Congress of Mechanics, Thessaloniki, July 19-21, 2001, dedicated to the memory of P.S. Theocaris*, Thessaloniki, Hellenic Society of Theoretical and Applied Mechanics, Aristotle University, 2001. Vol. I, p. 178-183.
  - [27] Design of Bridge Over Vistula River in Plock – First Prize on the International Competition/N. Hajdin, B. Stipanić // *Proceedings IMS Institute* (Belgrade), 25: 1 (1998), 5-13.
  - [28] Cable-Stayed Bridge Across the Vistula River in Plock/N. Hajdin, B. Stipanić // *Proceedings of the Conference Eurosteel '99, Praha: ČVUT, 1999*, p. 459-462.
-