



НАЈЗНАЧАЈНИЈИ НАУЧНИ И СТРУЧНИ РАДОВИ
НИКОЛЕ ХАЈДИНА
У КОМЕНТАРИМА ИНОСТРАНЕ ЛИТЕРАТУРЕ

ДРАГОСЛАВ ШУМАРАЦ
БРАТИСЛАВ СТИПАНИЋ
НЕНАД МАРКОВИЋ

НАЈЗНАЧАЈНИЈИ НАУЧНИ И СТРУЧНИ РАДОВИ
НИКОЛЕ ХАЈДИНА
У КОМЕНТАРИМА ИНОСТРАНЕ ЛИТЕРАТУРЕ

ИНСТИТУТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
СРПСКЕ АКАДЕМИЈЕ НАУКА И УМЕТНОСТИ

НАЈЗНАЧАЈНИЈИ НАУЧНИ И СТРУЧНИ РАДОВИ
НИКОЛЕ ХАЈДИНА
У КОМЕНТАРИМА ИНОСТРАНЕ ЛИТЕРАТУРЕ

у част осамдесет пет година живота

ДРАГОСЛАВ ШУМАРАЦ
БРАТИСЛАВ СТИПАНИЋ
НЕНАД МАРКОВИЋ

БЕОГРАД
2008

ИЗДАЈЕ
ИНСТИТУТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА САНУ
КНЕЗ МИХАИЛОВА 35
11000 БЕОГРАД
РЕПУБЛИКА СРБИЈА

РЕДАКТОР
ГОРДАНА РАДОЈЧИЋ-КОСТИЋ

ГРАФИЧКО ОБЛИКОВАЊЕ
МИЛИЦА ДЕРВИШЕВИЋ
НИКОЛА КОСТИЋ

ШТАМПА
ПУБЛИКУМ

ТИРАЖ
500

ISBN-978-86-80321-17-2

САДРЖАЈ

Увод

9

Први период

МЕТОД ИНТЕГРАЛНИХ ЈЕДНАЧИНА

11

Други период

СПРЕГНУТЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

27

Трећи период

ТАНКОВИДНИ ШТАПОВИ

35

Четврти период

МОСТОВИ СА КОСИМ ЗАТЕГАМА

47

Пети период

УДАР САОБРАБАЃЕНИХ СРЕДСТАВА

67

Шести период

RATCH LOADING

(СТАБИЛНОСТ И НОСИВОСТ ЧЕЛИЧНИХ НОСАЧА)

69

УМЕСТО ПОГОВОРА

75

ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

77

ИМЕНСКИ РЕГИСТАР

79

О В Е Г О Д И Н Е навршило се осамдесет пет година живота и шездесет година научног и градитељског рада академика Николе Хајдина. Неподељена су мишљења да је он у сваком погледу и по свим мерилима изузетан посленик у области примењене механике, посебно теорији конструкција и једнако у иновативној конструктерској пракси. Широко познат у међународним научним круговима, председник Српске академије наука и уметности и члан четири стране академије, дао је огроман допринос угледу српског инжењерског градитељства у свету.

Његови сарадници и пријатељи сматрају обележавање његовог јубилеја својим дугом према њему, према научној јавности наше земље и према будућим генерацијама инжењера који ће у његовом делу наћи чврсте темеље за свој научни и практични рад.



Vin Mercedes

УВОД

У ТОКУ ДУГЕ научне и професионалне активности професора Николе Хајдина, која се протеже на више од пола века и која је пролазила кроз различите фазе, у зависности од развоја науке и технологије, извесни резултати су имали већи или мањи значај. У овом прегледу су издвојени они резултати који су по нашем и мишљењу научне критике представљали извештај о напретку науке и њених примена.

То су пре свега они писани радови и конструкције, превасходно мостови, који су представљали већи или мањи помак у овим областима.

Овде су издвојени првенствено радови који су наишли на признање, о којима је дато мишљење и суд у земљи и иностранству, и који представљају научни или конструктивни прилог напретку.

Према опредељењу професора Хајдина у току студија, изгледало је да ће цео живот посветити научном раду у области примењене механике, посебно Теорије конструкција. Међутим, врло брзо је дошао до уверења да рад у области Теорије конструкција добија на значају и вредности ако је дубоко прожет, поред своје теоријске основе, и познавањем реалних конструкција, њиховим развојем и тенденцијама које суштински утичу на научни рад у овој области. Врло рано је увидео да су то симултани процеси који утичу један на други.

Многа вредна остварења у области конструкција настала су под утицајем и знањима из Примењене механике, као што су то била открића француских научника попут Навијера (Claude-Louis Navier), Сен-Венана (Barré de Saint-Venant) и других, која су у великој мери утицала на трансформацију практичних знања у области конструкција.

Обратан утицај можемо да видимо на сваком кораку. Као један од најзначајнијих је свакако Метода коначних елемената која се изродила из практичних потреба и теоријских разматрања о конструкцијама. Примера у једном и у другом правцу има веома много.

Из оваквог схватања и потреба привреде, да се људи из науке позабаве практичним проблемима, никао је интерес за пројектовање као паралелну активност коју је професор Хајдин у почетку схватао више као хоби, а касније као озбиљан и одговоран посао у који је, како ће се видети у овом приказу, уносио резултате свог научног рада, при чему су неке од примена послужиле као верификација научних резултата.

О томе ће бити доста речи, јер управо та спрега представља основну карактеристику његовог рада.

Ако човек чита само неке његове чланке, монографије и књиге, које се баве теоријом неће увек бити у стању да види куда воде поједини резултати у примени на конструкције.

Стваралачки опус професора Хајдина може се оквирно поделити на шест периода, односно шест области у којима је дао свој допринос науци и њеним применама, а може се рећи и прилог општем напретку.

ПРВИ ПЕРИОД

МЕТОД ИНТЕГРАЛНИХ ЈЕДНАЧИНА

ЈОШ КАО СТУДЕНТ почео је скоро стидљиво да се бави науком. Захваљујући професору Хлитчијеву објавио је рад *Торзија тироуласџе цевџи*¹ у Зборнику научних и стручних радова наставника Техничког факултета. Ово је за њега био снажан подстицај да почне озбиљније да се бави науком.

Као асистент објавио је рад *Contribution à la solution du problème plan*² у „Publications de l'Institut mathématique de l'Académie serbe des sciences“, који је цитиран у тада најпознатијој књизи у Европи из области Површинских носача „Flächentragwerke“ од Карла Гиркмана (Karl Girkmann) што је било озбиљно признање за једног почетника и релативно младог научника.

Ево тог текста:

Durić und Hajdin haben rechteckige Scheiben berechnet, die an gegenüberliegenden Rändern antimetrisch oder symmetrisch verteilte Lasten tragen. Für die Spannungsfunktion wurden hierbei Ansätze mit Hilfe jener orthogonalen Funktionen gebildet, die im Lösungsergebnis für die freien Querschwingungen eines beiderseits eingespannten Balkens auftreten.

[1] K. Girkmann: Flächentragwerke. – Springer Verlag, Wien, 1956.

-
1. Хајдин, Н.: *Торзија тироуласџе цевџи*. Годишњак Техничког факултета Универзитета у Београду, 1946-1947, 27-29
 2. Хајдин, Н.: *Contribution à la solution du problème plan*. Publications de l'Institut mathématique de l'Académie serbe des sciences. 5 (1953) 53-62.



Ђурић и Хајдин анализирали су правоугаоне плоче које су на супротним ивицама оптерећене симетрично и антисиметрично подељеним силама. За функцију напона узети су изрази засновани на ортогоналним функцијама, које се појављују код анализе слободних попречних осцилација обострано укљештене греде.

Ово признање није имало неки одјек у средини у којој је живео и нико сем изузетака није на то обраћао пажњу. Али за њега је значило много и учврстило га је у уверењу да не ради узалудан посао.

Негде око 1954. године, професор Хајдин је почео озбиљније професионално да се бави лучним бранама које су биле од изузетне важности с обзиром на изградњу хидроцентрала. Нажалост, теорија за прорачун тих конструкција није била нарочито развијена. Може се рећи да је тада био практично почетак озбиљније научне анализе ове проблематике на светском нивоу.

Притиснути потребама пројектанти су се сналазили користећи, са гледишта Примењене механике, релативно скромна средства и методе. Најраспрострањенији је био поступак „Trial load method“³ који се заснивао на релативно примитивној употреби логике линијских носача растављајући монолитну брану на систем конзола и лукова. Без обзира на научно неутемељен прилаз, метод је давао какве такве употребљиве резултате.

То је, поред Маркусовог метода за плоче⁴, који се заснивао на сличној филозофији, подстакло професора Хајдина да полазећи од сличне логике дође до оригиналног нумеричког метода, научно утемељеног, који је назвао „Метод интегралних једначина“.

Поступак, приказан у више радова (*)⁵, (*)⁶, (*)⁷, (*)⁸, је могао да се употреби за прорачун плоча, лучних брана и сличних конструкција.

3. *Trial Load Method of analysing Arch Dams*, Bureau of Reclamation, Denver 1938.

4. M a r c u s H.: *Die Vereinfachte Berechnung biegsamer Platten*, Berlin 1929.

5. H a j d i n, N.: *A Contribution to the Analysis of Arch Dams with Remarks Concerning «Trial Load» Method*. – Résumé. – Paris: Commission internationale des grands barrages, 1958. – 21 p. ; 24 cm. – (Bulletin / Commission internationale des grands barrages ; n. 12)

Имајући на уму да у то време (пре употребе Метода коначних елемената) није, осим такозване Методе коначних разлика, постојао озбиљан нумерички поступак за прорачун дводимензионалних проблема Теорије конструкција, поступак професора Хајдина је почео да се употребљава код нас а делимично и у иностранству.

На овом месту треба посебно споменути коришћење „Метода интегралних једначина“ за неке докторске дисертације у Енглеској нпр. Х. А. Хадида (H. A. Hadid) [2] и Р. Стилвела (R. Stilwell) [3] за анализу лучних брана и сличне проблеме. Касније, поступак је цитиран у радовима из акустике Р. С. Сринивасана (R. S. Srinivasan) и С. Санкарана (S. Sankaran) [4] и саобраћајних средстава Р. С. Сринивасана и Бабуа (B. J. C. Babu) [5] и слично.

Метод професора Хајдина је пре употребе рачунара имао своје место и извесне предности, на пример, испред Методе коначних разлика, поред осталог зато што је захтевао мањи нумерички посао и мањи број линеарних једначина, што је била озбиљна предност у рачунању. Те предности се полако смањују развојем компјутерске технике и увођењем, првенствено, Методе коначних елемената.

Метод је, такође, у једном периоду имао своје место у анализи динамичких проблема, а и сама филозофија поступка представљала је новост у нумеричким методама.

-
6. H a j d i n, N.: *Један њосџуџак за нумеричко решавање ѓраничних задатџака и њџова ѓримена на неке ѓроблеме ѓтеорије еласџичносџи.* – (A Method for Numerical Solution of Boundary Value Problems and its Application to Certain Problems of the Theory of Elasticity. – Ein verfahren zur Numerischen Lösung der Randwertaufgaben und dessen Anwendung auf einige Probleme der Elastizitatstheorie). Зборник Грађевинског факултета. 4 (1958) 1-57.
 7. H a j d i n, N., K р а j c i n o v i c, D.: *Integral Equation Method for Solution of Boundary Value Problems of Structural Mechanics. Part I: Ordinary Differential Equations.* International Journal for Numerical Methods in Engineering. 4 (1972) 509-522.
 8. H a j d i n, N., K р а j c i n o v i c, D.: *Integral Equation Method for Solution of Boundary Value Problems of Structural Mechanics. Part II: Elliptical Partial Differential Equations.* International Journal for Numerical Methods in Engineering. 4 (1972) 523-539.

Ево неколико цитата о Хајдиновом методу интегралних једначина:

- I. В679 Метод интегральных уравнений для решения краевых задач строительной механики. Ч. I Обыкновенные дифференциальные уравнения. Hajdin Nikola, Krajcinovic Dusan. Integral equation method for solution of boundary value problems of structural mechanics. Part I. Ordinary differential equations. Int. J. Numer. Meth. Eng., 1972, 4, No 4, 509-522 (англ.)

Для задач строительной механики, описываемы обыкновенные дифференциальными уравнениями, предлагается следующий способ решения: высшая производная принимается за новую неизвестную функцию, поэтому искомая функция становится выраженной через интеграл от произведения функции Грина и новой неизвестной. Дифференциальное уравнение задачи в этом случае становится интегральным уравнением Фредгольма второго рода. Поэтому в дальнейшем вместо численного дифференцирования проводится численное интегрирование, а искомые функции определяются операцией дифференцирования. Для численного интегрирования авторы предлагают два метода:

Для иллюстрации эффективности предлагаемых методов решения рассмотрены эйлерова задача устойчивости, продольно-поперечный изгиб балки с переменным сечением и свободные колебания шарнирно опертой балки. Отмечена высокая точность результатов при минимальном числе узлов интегрирования (не более четырех).

- [6] [International Aerospace Abstracts]

1 В679 Метод интегралних једначина за решавање граничних задатака механике грађе. Део I. Основне диференцијалне једначине. Hajdin Nikola, Krajcinovic Dusan. Integral equation method for solution of boundary value problems of structural mechanics. Part I. Ordinary differential equations. Int. J. Numer. Meth. Eng., 1972, 4, No 4, 509-522 (енгл.).





СЛ. 2
Железнички мост преко реке Саве у Београду
Фото: Бранислав Томић

За задатке грађевинске механике који се описују основним диференцијалним једначинама предлаже се следећи начин решавања: виши извод узима се као нова непозната функција и због тога тражена функција постаје изражена преко интеграла од производа Гринеове функције и нове непознате. У том случају диференцијална једначина задатка постаје интегрална Фредхолмова једначина друге врсте. Због тога се даље уместо нумеричке диференцијације врши нумеричка интеграција, а тражене функције одређују помоћу операције диференцирања. За нумеричку интеграцију аутори предлажу два метода:

За илустрацију ефикасности предложених метода решавања размотрени су Ојлеров задатак отпорности, уздужно-попречно извијање греде са променљивим пресеком и слободне осцилације носача. Уочена је велика прецизност резултата са минималним бројем чворова интеграције (максимално четири).

II. The integral equation technique as developed by Hajdin for the analysis of arch dams and extended by Hadid for the analysis of plate and shell problems, is now attempted for the solution of orthotropic skew slab.

- [7] H.A. Hadid, B.M. Ahuja, M.A. Mohamed: Analysis of skew slabs using Integral Method. – The Bridge & Structural Engineer, Vo. 9, No 1, Journal of Indian Nat. Group of IABSE, New Delhi, March 1979.

Метод интегралних једначина који је развио Хајдин за анализу лучних брана и који је проширио Хадиd за анализу плоча и љуски сада се примењује за решење ортогotropне косе плоче.

III. The boundary value problem represented by the two linear differential Eqs. (5a – b) with the homogeneous boundary conditions (7a – b) has no analytical closed solution. In order to solve the problem we employ a numerical technique developed by Hajdin for the solution of linear boundary value problems.

- [8] H. Hadid: Analysis of parabolic velaroidal shells with simply supported boundary conditions. – Journal of Structural Engineering, Vol. 8, No 4, 1982.

Проблем граничних вредности представљен са две линеарне диференцијалне једначине са хомогеним граничним условима нема аналитичко затворено решење. Да би решили проблем ми користимо нумерички поступак који је развио Хајдин за решавање линеарних граничних задатака.

IV. The third method employed at Southampton has its origins in the work of Hajdin (1958), (1964) and is further described by Tottenham (1964) and Bozovic (1964). It is known as the “Integral equations Method” because in it the partial differential equations, together with the homogeneous boundary conditions, are transformed, with the help of Green’s functions, into a set of linear integral equations. By numerical methods these are then reduced to a set of simultaneous linear algebraic equations. In all three the entire computation is carried out on a digital computer.

- [9] J.R. Ryzewski: Recent Advances in the theory of Arch Dams-Applied Mechanics Reviews, Vol. 16, No 10, Oct. 1965.

Трећи нумерички метод примењиван у Саутемптону има своје порекло у раду Хајдина (1958), (1964) и касније описаног од стране Тотенхама (1964) и Божовића (1964) познат је као „Метод интегралних једначина,“ јер су у њему парцијалне диференцијалне једначине трансформисане уз помоћ Гринових функција у сет линеарних интегралних једначина. Помоћу нумеричког метода оне су редуковане на систем симултаних линеарних алгебарских једначина. Читав прорачун је спроведен помоћу дигиталног рачунара.

V. Alternatively, the same differential equations have been solved by the integral equations technique, as presented by Hajdin, after suitable modifications. Here also various combinations have been tried for the refinement of the solution. In fact, combinations of variation and integral methods are found to give very encouraging results.





▲ сл. 3
Друмски мост “Слобода” преко реке Дунав у Новом Саду – после реконструкције
Фото: Wolfgang Hunscher

The integral equation method was found to be far more promising than any other approximate method, and gave good results when extended to hyperbolic and elliptic paraboloid shells. The special advantage of the method is the reduction of computer time and a more realistic distribution of influences on the whole region of the shell. This method therefore needs further investigation for more difficult cases, such as elastic beam supports, etc. to exploit its full possibilities.

- [2] H.A. Hadid: An analytical and experimental investigation into the bending theory of elastic conoidal shells (Ph.D.Thesis) – Univ. of Southampton, March, 1964.

Алтернативно су исте диференцијалне једначине решаване Поступком интегралних једначина како га је приказао Хајдин уз прикладне модификације. Овде се покушало са различитим комбинацијама за побољшање резултата. У ствари, комбинацијама варијација и интегралног метода добијени су врло охрабрујући резултати.

Метод интегралних једначина показао се као далеко перспективнији него и један други апроксимативни метод, и дао је добре резултате у примени на хиперболичне и елиптичне параболоидне љуске. Специјална предност метода је смањење рачунарског времена и реалистичнија расподела утицаја на целој области љуске. Овај метод тражи због тога даља истраживања за теже случајеве као што су еластична ослањања итд. да би се искористиле његове пуне могућности.

- VI. In this method, the equations of free vibration for a cylindrical shell based on Donnell's theory are considered. The expressions for displacements are taken in the form of series. Substituting these expressions into the governing partial differential equations reduces them to ordinary differential equations. **These are solved by using integral equation techniques (4) and (5). Numerical work has been done and the results are compared with others available.**

- [4] R.S. Srinivasan, S. Sankaran: Vibration of Cantilever Cylindrical Shells. Journal of Sound and Vibration, Vol. 4, No 1, 1975.

У овом поступку разматране су једначине слободних вибрација за цилиндричну љуску заснованих на теорији Донела. Изрази за померања узети су у облику редова. Уносећи те изразе у парцијалне диференцијалне једначине оне се редукују у обичне диференцијалне једначине. Ове су решаване коришћењем Поступка интегралних једначина (4) и (5). Нумерички поступак је спроведен и резултати упоређени са осталим расположивим поступцима.

- VII. **A new method (Double Integration Technique) for solving partial differential equations numerically is developed by the authors on the basis of Integral equations technique of Hajdin.** By this method it becomes very convenient to take into account the effects of the geometry and complicated variable boundary conditions for any given loading. Moreover, the final expressions obtained are more stable and yields quicker results with better accuracy. Thus, comparatively a coarser net is required to obtain the results for the desired accuracy. This reduces the number of equations to be handled and thus saves the computer time to a large extent.

Hajdin's Approach

The numerical solution of partial differential equations given by Hajdin consists of the following main steps:

- i. converting the differential equations together with the boundary conditions into a set of linear integral equations of the Fredholm type, by using the Green's function techniques.
- ii. reducing these integral equations to a set of linear simultaneous algebraic equations, by using a suitable, numerical method for integration such as Simpson rule, 3&8 points formulae or Weddle's formula.

[10] S. K. Agarwal, D. Krishna: Double Integration technique, A new Numerical Procedure for Structural Analysis – "Cement & Concrete", New Delhi, Oct.-Dec., 1970.





▲ сл. 4
3D модел моста у Плоцку (Пољска)

Нови метод (дупли интеграциони поступак) за решавање парцијалних диференцијалних једначина нумерички су развили аутори на основу Хајдиновог поступка интегралних једначина. Помоћу тог поступка постаје врло погодно узимање у обзир утицаја геометрије и компликованих различитих граничних услова за свако дато оптерећење. Шта више, коначни добијени изрази су стабилнији и дају брже резултате са већом тачношћу. Тако, компаративно и грубља мрежа је довољна да би се добили резултати са жељеном тачношћу, што смањује број једначина са којима се ради и тако увелико смањује и рачунарско време.

Хајдинов њрисџуџ

Поступак нумеричког решавања парцијалних диференцијалних једначина који је дао Хајдин састоји се од следећих корака:

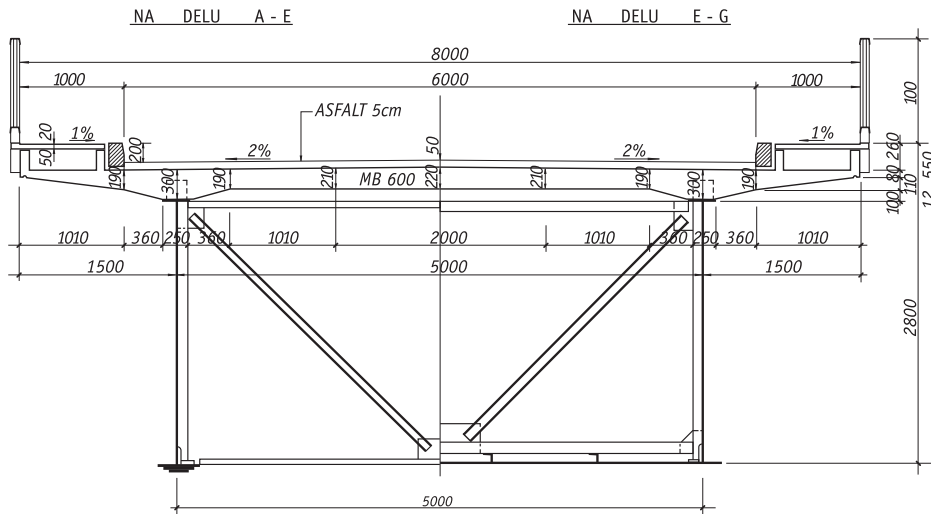
- i. претварање диференцијалних једначина заједно са граничним условима у сет линеарних интегралних једначина Фредолмовог типа, користећи технике Гринових функција;
- ii. редуковање ових интегралних једначина на сет симултаних алгебарских једначина, користећи погодне, нумеричке методе за интеграцију као што је Симпсоново правило, формуле са 3 и 8 тачака или Ведлову формулу.

Поступак је коришћен за анализу неколико лучних брана, гравитационих брана и других конструкција и у нашој земљи. Између осталог за бране „Грнчарево“, „Мратиње“ и неке друге. Као пројектант лучне бране „Глажња“ (сл. 1), треће по висини (85m) у бившој Југославији, професор Хајдин је применио овај поступак у свим фазама пројектовања.

ДРУГИ ПЕРИОД

СПРЕГНУТЕ КОНСТРУКЦИЈЕ

ВРЕМЕ ПРЕД ДРУГИ СВЕТСКИ РАТ карактерише појава мостова код којих се бетонска коловозна плоча спреже са челичним носачем тако да са гледишта носивости чине јединствен систем. То се ефикасно постиже на тај начин што се поред налегања плоче на носач (сл. 5) они међусобно повезују елементима за спрезање који омогућавају заједничко дејство у погледу напрезања и деформације. У којој мери ће то бити јединствена целина зависи од тих елемената који могу бити различите природе, као челични можданици и слично.



сл. 5 Попречни пресек



И са тако оствареном везом ова два елемента показују различито својство у погледу понашања, које се кад је реч о бетону састоји у томе да бетон у току времена показује промену деформације која се огледа у такозваном пужењу бетона. Другим речима, веза између деформације и напона нема еластичну природу и дата је на бази опажања сложенијом везом у којој се време појављује као есенцијални фактор.

Због тога се у спрегнутом систему дешава прерасподела напона која се, најпростије речено, састоји у томе да се бетонска плоча временом делимично растеређује и један део оптерећења преноси на челични носач.

Тај феномен чини спрегнуте носаче посебним и за њихову анализу је потребан нов, сложенији, рачунски поступак који сходно томе има своју теоријску основу.

Овим проблемом се код нас бавио професор Милан Ђурић⁹ и обогатио ту област једним новим поступком за прорачун спрегнутих конструкција који је у теоријском и практичном смислу био корак напред.

Оно што карактерише генерално ове поступке је анализа система носача са бетонском коловозном плочом изнад и челичним носачем испод у целокупном систему.

Бавећи се танкозидним носачима, о чему ће бити речи касније, професор Хајдин је посматрао спрегнути носач, на општији начин, са произвољним распоредом бетонског и челичног дела у укупном попречном пресеку (сл. 7).

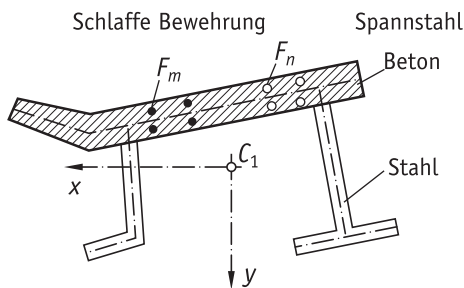


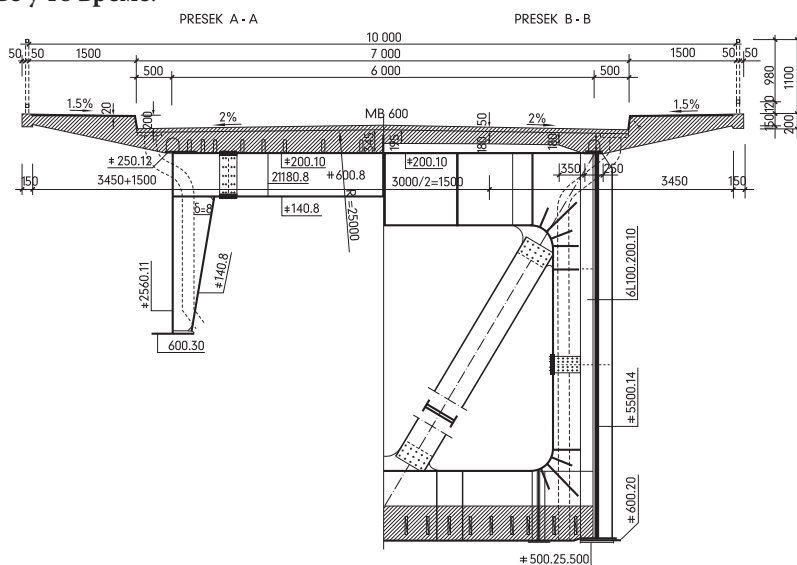
Abb. VII.2

сл. 7 – Произвољан пресек

9. Ђурић, М.: *Теорија сирејнујих и иреднајрејнујих консјрукција*. САНУ, Монографије. Том CCCLXIV, 1963.

Такав приступ дат је у више радова од којих вреди споменути радове (*)¹⁰ и (*)¹¹.

Ова теоријска основа је коришћена у анализи моста „Орашје“ преко Саве (Библиографија (*)¹² стр. 89), (*)¹³, (*)¹⁴ где је добрим делом захваљујући овом теоријском приступу анализиран оригиналан носач са такозваним дуплим спрежањем (сл. 8) односно са горњом коловозном и доњом бетонском плочом у зони ослонаца континуалног носача који је био предмет пројекта. Ово је представљало апсолутну новину у пројектовању тих мостова на светском нивоу. Мост „Орашје“, осим тога, имао је највећи распон у свету за спрегнуте мостове у то време.



сл. 8 Друмски мост преко реке Саве у Орашју (БиХ и Хрватска) – попречни пресек

10. H a j d i n, N.: *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. 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.
11. K o l l b r u n e r, C. F., H a j d i n, N.: *Dünnwandige Stäbe.* Bd. 2: Stäbe mit derofmierbaren Querschnitten. Nicht-elastisches Verhalten dünnwandiger Stäbe. – Berlin: Springer-Verlag, 1975. – 284, XII p.; 26 cm

Тек после отприлике двадесетак година, почели су Немци, који су иначе били водећи у технологији спрегнутих мостова, да пројектују спрегнуте мостове са дуплим спрезањем.

Ево неколико цитата о овој теми:

It is a common practice since about 50 years to use the interaction between steel construction and the reinforced or prestressed concrete bridge floor in composite bridge superstructures. Both parts are doweled by shear connectors. The use of composite bottom flanges in the areas of negative bending moments is in fact obvious especially for economical reasons. In 1963 there was made a proposal for a bridge across the river Main [1], but this was never built. **From abroad there are known three bridges with double composite action: The bridge across the Save near Orasje in Yugoslavia [2,3], the Pont d'Illarsaz across the Rhone in Switzerland [4] and one bridge in the Netherlands.** A group of researchers of the Fritz Engineering Laboratory, Lehigh University studied the applicability of this building system and summarized in the final report, that the reduction or elimination of haunches and the omission of stiffeners allow a diminution of expenses.

- [11] F. Nather: Steel Bridges with Double Composite action in Germany. Al II-lea Seminar de Poduri "Directii Actuale in calculul si proiectarea podurilor" Timisoara, martie 1996, 41-74.

Општа је пракса за последњих педесетак година да се у спрегнутим конструкцијама користи међусобно дејство између челичне конструкције армирано бетонске или претходно напрегнуте коловозне плоче.

-
12. Г. Р а д о ј ч и ћ - К о с т и ћ, Н. М а р к о в и ћ: „Библиографија радова академика Николе Хајдина / *Nikola Hajdin Bibliography*, САНУ Издања библиотеке 20, Београд, 2004.
13. Н а ј д и н, N.: *Različite mogućnosti sprezanja betona i čelika u mostogradnji (Different Possibility of Composite Action Between Steel and Concrete in Bridges)*. Spregnute konstrukcije. Beograd: Časopis Izgradnja, /1973/. Str. 30-37.
14. Н а ј д и н, N.: *Einige Beispiele der Kombination von Stahl und Beton im Brückenbau. Schweizer Ingenieur und Architekt.* 103: 3 (1985) 37-39. Isto u: Festschrift Pierre Dubas zum 60. Geburtstag. – Zürich: Schweizer Ingenieur und Architekt, 1985. p.29-31.



Оба дела су спојена помоћу можданика. Употреба спрегнутог доњег појаса у зони негативних момената савијања долази очигледно из разлога економичности. Године 1963. учињен је (такав) предлог за мост преко реке Мајне [1], али такав мост није никад изведен. У иностранству позната су три моста са дуплим спрезањем. Мост преко реке Саве крај Орашја у Југославији [2,3], Мост код Иларза преко Роне у Швајцарској [4] и један мост у Холандији. Група истраживача *Fritz Engineering* лабораторије, Ли Универзитета изучавала је примењивост овог конструктивног система и закључак у коначном извештају је био да смањење или елиминација узенгија и изостављење укрућења резултира смањењем трошкова.

Овде није експлицитно речено да је мост „Орашје“ први мост ове врсте у свету. Међутим, друга два моста која се спомињу, су каснијег датума. Осим тога по својим перформансама (распону) стоје иза моста „Орашје“. И следећи цитат од истог аутора указује на то да су мостови са дуплим спајањем у Немачкој изграђени касније:

In Deutschland wurden seit Mitte der achtziger Jahre eine Eisenbahnbrücke und vier Straßenbrücken fertig gestellt:
Die Brücke über den Inn bei Wasserburg [6-10]
die Elbebrücke Torgau [11-13]
die Moselbrücke Bernkastel-Kues [14]
die zweigleisige Eisenbahnbrücke über den Main bei Nantenbach [15-16]
und die Elbebrücke Magdeburg.

- [12] F. Nather: Stahlbrücken mit Doppelverbund in Deutschland Überblick und Ergebnisse von Forschungsaufträgen, Bauingenieur 72, Heft 3, 1997, 131-141.

У Немачкој су урађени од половине осамдесетих година један железнички и четири друмска моста:

- мост преко Ина код Васербурга,
- мост Торгау преко Елбе,
- мост „Bernkastel-Kues“ преко Мозела
- двоколосечни железнички мост преко Мајне код Нантенбаха
- и мост преко Елбе код Магденбурга

Предмет докторске дисертације Хорхе Бернабеу Ларене (Jorge Bernabeu Larena) на универзитету у Мадриду били су спрегнути мостови са дуплим спрезањем. После детаљне анализе историјата тих мостова аутор износи следеће:

La primera aplicación que hemos localizado es el puente de Orasje, una realización de 1968, que salva un vano central de 134 m. La obra resulta muy atractiva y sus importantes dimensiones la sitúan como record de luz en su momento (cfr. 4.7.1), a pesar de lo cual no es muy conocida (Hajdin, 1985; Gomez Navarro, 2000b). El tablero presenta una sección transversal de doble viga de canto variable con arrostros transversales que se cierra inferiormente en zonas de momentos negativos para constituir una sección cajón (Fig. 4.25; Fig. 4.26). Sobre el fondo del cajón se dispone una losa de hormigón de espesor variable hasta un máximo de 50 cm sobre pilas.

[13] Bernabeu Larena, J.: Evolucion tipologica y estetica de los puentes mixtos en Europa, Tesis doctoral, Universidad Politecnica de Madrid, 2004.

Прва примена коју смо пронашли је мост Орашје, реализован 1968, који има централни распон од 134 м. Остварење је врло атрактивно и његове значајне димензије га чине рекордним по распону у том тренутку (видети 4.7.1), упркос томе да није широко познат (Хајдин, 1985; Гомез Наваро, 2000б). Носач има попречни пресек са два челична носача променљиве висине са попречним укрућењима, који се затвара са доње стране у зонама негативних момената образујући сандучасти пресек (сл. 4.25; сл. 4.26). На дну сандука је постављена бетонска плоча променљиве дебљине до највише 50 цм над ослонцима.

Констатација: „упркос томе да није широко познато“ прати и нека друга остварења српских аутора у шта се на овом месту не би упуштали.

ТАНКОВИДНИ НОСАЧИ

ПРИЛИКОМ БОРАВКА у Швајцарској од 1958. до 1959. године, професор Хајдин је ступио у контакт са Куртом Колбрунером (Curt F. Kollbrunner), познатим научником из области челичних конструкција. У току сарадње на проблемима стабилности штапова и анализе понашања сегментних устава на хидроцентралама, Колбрунер му је предложио да се дугорочније оријентишу на истраживање танковидних носача.

Ова проблематика је у то доба била веома актуелна и недовољно истражена. Интерес за ову област порастао је између осталог и наглим развојем нових технологија: заваривања у металним конструкцијама и преднапрезања у конструкцијама из бетона. Осим тога су све модернији и храбрији облици конструисања добили на замаху.

Почетком шездесетих година уз делимичну помоћ Швајцарског удружења за челичне конструкције започела су истраживања двојице научника у овој области.

Сарадња професора Хајдина и Колбрунера трајала је више од двадесет година и у том периоду настала је серија од 20 публикација са преко две хиљаде страна, већим делом на немачком, а мањим делом на енглеском језику. Синтезу тог научног рада представљају две монографске књиге у издању издавачке куће „Springer-Verlag“ (*)¹⁵ и (*)¹⁶.

Ове две фундаменталне књиге заједно са претходним и познијим публикацијама представљају опус који је увелико цитиран, коришћен у научним радовима, докторским дисертацијама и у практичном пројектовању сложених конструкција.

15. Kollbrunner, C. F., Hajdin, N.: *Dünnwandige Stäbe. Bd. 1: Stäbe mit underofmierbaren Querschnitten.* – Berlin: Springer-Verlag, 1972. – 296, XII p. ; 26 cm

16. Kollbrunner, C. F., Hajdin, N.: *Dünnwandige Stäbe. Bd. 2: Stäbe mit derofmierbaren Querschnitten. Nicht-elastisches Verhalten dünnwandiger Stäbe.* – Berlin: Springer-Verlag, 1975. – 284, XII p. ; 26 cm





У склопу ових публикација које су по свеобухватности и научном прилазу представљале оригиналан допринос науци, има и таквих делова који откривају у теоријском смислу јединствен поглед. Ту, између осталог, треба истаћи саму општу теорију танкозидних носача која у себи сједињује две области од којих је једна позната као Теорија полиедарских љуски, настала на терену бетонских конструкција, и друга изузетно важна у челичним конструкцијама позната као Теорија носача са деформабилним попречним пресеком.

Ево неколико цитата који описују ову проблематику и истичу оригиналност научног приступа:

I. Der besondere Wert der vorliegenden Arbeit liegt nun darin, dass es gelingt, die bisher klaffende Lücke zwischen diesen beiden Auffassungen zu schließen und die Theorie des dünnwandigen Stabes mit der Theorie des prismatischen Faltwerks auf ein einheitliches Ganzes zu bringen.

Die Abfassung wird so allgemein vorgenommen, dass in ihr die Theorie des steifknotigen und des gelenkigen Faltwerks sowie die klassische Theorie der Wölbkrafttorsion enthalten sind. Außerdem ermöglichen sich dadurch die Erweiterung der klassischen Faltwerkberechnung auf die zusätzliche Berücksichtigung der Torsionsmomente in den Einzelwänden und die Erweiterung der klassischen Theorie der Wölbkrafttorsion auf Querschnitte, deren Wandstärke nicht klein im Vergleich zu den übrigen linearen Abmessungen ist.

Die übersichtlichen Ableitungen und Darstellungen der hier aufgedeckten Zusammenhänge werden für alle wissenschaftlich interessierten Fachleute, die sich mit den schwierigen Problemen der allgemeinen Belastung von dünnwandigen Stäben mit verschiedensten Querschnittausbildungen befasst haben oder befasen wollen, von besonderem Wert sein und wesentlich dazu beitragen, die Vereinheitlichung in der Theorie solcher Tragwerke zu schaffen.

[14] „Bauingenieur“, Н.з. 1969.

Посебна вредност представљеног рада лежи у томе да је успешно попуњена празнина између та два концепта и да су Теорија танкозидног штапа и Теорија призматичних полиедарских љуски приказани као јединствена целина.

Излагање је тако опште, да се у њему садрже Теорија полиедарске љуске са крутим чворовима и зглавкасте љуске као и Теорија ограничене торзије. Осим тога тиме се омогућава проширење класичног прорачуна полиедарске љуске уз додатно узимање у обзир торзионих момената у појединачним зидовима и проширење класичне теорије ограничене торзије на пресеке чија дебљина зида није мала у поређењу са осталим линеарним димензијама.

Прегледна извођења и представљања овде изложених односа биће, за све за науку заинтересоване стручњаке који су се бавили или ће се бавити тешким проблемима општег напрезања танкозидних штапова са различитим облицима попречног пресека, од посебне вредности и битно допринети уопштавању у теорији таквих носача.

II. In der vorliegenden Publikation wird die Theorie der dünnwandigen Stäbe mit in ihren Ebenen deformierbaren Querschnitten, bzw. des langen prismatischen Faltnetzes nach der Verschiebungsmethode gebracht, wobei einige vereinfachende Voraussetzungen getroffen werden.

Im Unterschied zu den üblichen Methoden in der Theorie der Faltnetze, bei welchen die Zerlegung des Tragwerks in die einzelnen Platten, aus welchen es zusammengesetzt ist, erfolgt, werden in der hier gebrachten Theorie die Deformationen und Spannungen für die als einheitliches Tragwerk aufgefasste Stabschale abgeleitet. Die in diesem Heft dargelegte Theorie ist derart allgemein abgefasst, dass in ihr als Sonderfälle die Theorien des steifknotigen und des gelenkigen Faltnetzes sowie auch die klassische Theorie der Wölbkrafttorsion enthalten sind.

Das Werk schließt sich an die Veröffentlichungen über Wölbkrafttorsion und St.-Venantsche Torsion in der Schriftenreihe „Mitteilungen der TKSSV“ an und ist mit der gleichen Exaktheit durchgearbeitet, die auch jene früheren Werke der gleichen Verfasser auszeichnet. Das Studium erfordert nebst ausgesprochenem mathematischem Geschick ein enormes Einfühlungsvermögen in den Verformungsmechanismus wie auch in die Zusammenhänge zwischen Verformungen und zugeordneten Beanspruchungen.

[15] Schweizer Baublatt, No 6, Jan. 1969.



У изложеном раду даје се Теорија танкозидног штапа са деформбилним попречним пресеком односно дуге призматичне полиедарске љуске према методи померања при чему се узимају у обзир неке упроштене претпоставке.

За разлику од уобичајених метода у теорији полиедарских љуски, при чему се врши разлагање носача у поједине плоче од којих се састоји, у овде изложеној теорији се изводе деформације и напони за јединствен носач. Теорија изложена у овој свесци је толико општа да се у њој садрже као посебни случајеви теорије полиедарске љуске са крутим чворовима и зглавкасте љуске као класична теорија ограничене торзије.

Дело се наставља на објављене радове о ограниченој торзији и Сен-Венантовој торзији у публикацијама „Mitteilungen der TKSSV“ и разрађено је са истом егзактношћу која одликује раније радове истих аутора. Изучавање захтева поред изразито математичког смисла и енормну интуицију у погледу механизма деформације и веза између деформације и одговарајућих напрезања.

III. The rod is analyzed with plate theory, where it is assumed that the deflections of the plates out of their planes are third-degree polynomials in cross sectional direction, their coefficients being the unknown functions of the coordinate in length direction. This leads to coupled ordinary differential equations which are solved by matrix methods. Different end conditions are properly taken into account. As is to be expected, torsion with different warping conditions is an important case. Where it was adequate, a simplifying condition for the membrane shear strain and a membrane normal strain in the plates was introduced.

The second half of the book deals with nonelastic behavior of rods. This means plastic behavior of metal structures and creep of (reinforced) concrete structures. The general theory is not for thin/walled rods, only most applications are.

The book gives a unitary treatment to various problems with many examples of modern interest in structural and civil engineering. It is rich in numerical data and graphics. As usual with this publisher, the layout is excellent.

[16] Applied Mechanics Reviews, USA, Vol.29, February 1976

Штап је анализиран помоћу теорије плоча, где је претпостављено да су угиби плоча изван своје равни полиноми трећег реда у правцу попречног пресека, а њихови коефицијенти непознате функције координата у подужном правцу. То доводи до спрегнутих обичних диференцијалних једначина које се решавају матричним поступком. Узимају се у обзир различити услови на крајевима штапа. Као што се очекује торзија са различитом депланацијом је важан случај. Где је то одговарајуће уведени су упроштени услови за мембранску деформацију смицања и дилатацију плоча.

Други део књиге бави се нееластичним понашањем штапа. То значи пластично понашање металних структура и пужење армирано бетонских конструкција. Није дата генерална теорија за танкозидни штап већ више примена.

Књига даје јединствен третман различитих проблема са пуно примера савременог интересовања у конструктивном и грађевинском инжењерству. Богата је нумеричким примерима и графичким приказима. И као обично кад је у питању овај издавач изглед је одличан.

IV. La trattazione é di elevato livello, i mezzi matematici usati piuttosto complessi. D'altra parte il fatto che sia con l'acciaio, sia con il calcestruzzo, si costruisce con spessori sempre più sottili, rende necessario l'impiego e la conoscenza di questi procedimenti di calcolo. In compenso il loro impiego è reso possibile dalle sempre migliori prestazioni di calcolatori elettronici, che permettono di eseguire calcoli che dieci anni fa non erano pensabili, II V, il VII, l'VIII capitolo sono pertanto decisamente suscettibili di applicazioni pratiche di progetto avanzato, mentre il VII capitolo ha carattere più scientifico e monografico.

Si tratta in conclusione di un testo utile ad un ingegnere progettista di elevato livello ed a ricercatori o studenti di corsi di perfezionamento post-laurea, che vogliono specializzarsi nel calcolo di strutture, sia metalliche, sia in calcestruzzo armato, in particolare precompresso.

[17] Rivista de meccanica, Italien, Nr. 607, 1975.

Израгање је на високом нивоу, примењена математичка средства претежно су сложена. С друге стране, чињеница да се овај поступак односи на конструкције које су увек мале дебљине, било да су од челика или бетона, нуди потребну употребљивост и препознатљивост овог поступка прорачуна. У вези са употребом постоје могућности увек најбоље примене електронских рачунара, који дозвољавају примену прорачуна који пре 10 година нису били ни замисливи. Поглавља V, VI и VIII претежно садрже примере горе поменутог пројекта, док VIII поглавље има више научни и монографски карактер.

Можемо закључити да се овде ради о корисном тексту за инжењере пројектанте на вишем нивоу, као и за истраживаче и студенте последипломских студија, који желе да се усавршавају у прорачунима конструкција, како оних металних, тако и оних армирано-бетонских, нарочито оних преднапрегнутих.

- V. Diese Arbeit entstand in dem Bestreben, die Theorie des prismatischen Falterkes u. die Theorie des dünnwandigen Stabes zu einem einheitlichen Ganzen zu verbinden. Die Lösung des Problems der Berechnung des Falterkes erfolgt hier durch konsequente Anwendung der Verschiebungsmethode, wobei die Stab/Schale als einheitliches Tragwerk aufgefasst wird. Die dargelegte Theorie ist so allgemein abgefasst, dass die Theorien des steifknotigen u. des gelenkigen Falterkes sowie die klassische Theorie der Wölbkrafttorsion in ihr als Sonderfälle enthalten sind.

[18] Schrifttumkartei Bauwesen, 1969, Lfg. 3, Nr 546

Овај рад настао је у тежњи да се Теорија призматичне полиедарске љуске и Теорија танкозидног штапа повежу у јединствен систем. Решење проблема прорачуна полиедарске љуске даје се овде путем консеквентне примене методе деформације при чему се штап/љуска третира као јединствен носач. Изложена теорија је тако општа, да се Теорија љуске са крутим чворовима и зглавкасте љуске, као и класична Теорија ограничене торзије у њој садрже као посебни случајеви.



У оквиру ових публикација професора Хајдина разјашњен је смисао неких једноставнијих, али и мање тачних теорија носача са затвореним попречним пресеком и приказан је до краја коректан приступ овом проблему.

На ову околност је указао Ноел Мари (Noel W. Murray) у својој књизи “Introduction to the theory of thin-walled structures”:

In the earlier parts of this book an approximate theory for closed profiles due to von Karman and Christensen (1944) has been described.

In certain cases where the longitudinal warping stresses σ_w are large and change rapidly, this theory is not accurate. A 'more accurate analysis' was developed by Bescoter *1954 (to overcome this problem. Both theories are detailed in the excellent volume published by Kollbrunner and Hajdin (1965)

- [19] N.W. Murray: Introduction to the Theory of Thin-Walled Structures. The Oxford Engineering Science Series. Clarendon Press, 1984.

У претходним деловима ове књиге описана је приближна теорија за затворене профиле коју су дали Карман и Кристенсен.

У неким случајевима где су подужни напони изазвани деплацијом велики и нагло се мењају, ова теорија није тачна. Тачнија анализа коју је развио Бенскотер 1954. решава тај проблем. Обе теорије су детаљно изложене у одличној публикацији Колбрунера и Хајдина (1965).

У наведеним публикацијама из овог периода дат је и научни прилог теорији спрегнутих конструкција о чему је било речи у претходном поглављу.

Ево на крају још неких запажања:

- VI. Курт Колбрунер – известный специалист в области расчета тонкостенных стержневых систем, директор Научно-исследовательского строительного института в Цюрихе, опубликовал пять монографий по обсуждаемой проблеме. Николай Нахдин – профессор Белградского университета – провел совместно с первым автором ряд исследований. Все эти результаты будут суммированы в двухтомной монографии, том 1 которой, посвященный упругим стержням

недеформируемого контура поперечного сечения, рецензируется. Том 2 будет посвящен стержням с недеформируемым контуром поперечного сечения и неупругому поведению тонкостенных стержней.

Монография содержит обстоятельное и весьма квалифицированное изложение обсуждаемых вопросов и включает обширную библиографию. Ее можно рекомендовать и научным работникам и инженерам проектировщикам.

[20] Nowyje Knigi sa rubjeschom (UDSSR), 2, Serie A, 1974 Mathematik

Курт Колбрунер познати стручњак у области прорачуна танкозидних штапова, директор Научно-истраживачког грађевинског института у Цириху, објавио је пет монографија на ову тему. Никола Најдин (Хајдин, прим. прев.) је професор Београдског универзитета који је заједно са првим аутором обавио низ испитивања. Сви ови резултати биће сумирани у двотомној монографији, чији је I том, посвећен еластичним штаповима недеформисане контуре поперечног пресека, на рецензији. Том II биће посвећен штаповима са недеформисаном контуром поперечног пресека и нееластичном понашању такнозидних штапова.

У монографији су исцрпно и веома квалификовано изложена разматрана питања и дата је опширна библиографија. Може се препоручивати научним радницима и инжењерима-пројектантима.

VII. **Zusammenfassend sei gesagt, dass viele Kapitel eine Weiterentwicklung des bisherigen Stands der Wissenschaft bedeuten; die Darstellung ist übersichtlich und wird klar mit allgemein bekannten mathematischen Methoden durchgeführt. Deshalb verdient das Werk Lob und kann allen Interessierten sehr empfohlen werden.**

[21] Konstruktion im Maschinen – Apparate – und Gerätebau, Heft 9, 1976

Сумарно речено, многа поглавља значе даљи развој досадашњег стања науке; излагање је прегледно и спроведено путем познатих математичких метода. Због тога дело заслужује похвалу и може се свим заинтересованима веома препоручити.

ЧЕТВРТИ ПЕРИОД

МОСТОВИ СА КОСИМ ЗАТЕГАМА

а) Железнички мост у Београду

Почетак шездесетих година прошлог века карактерише појава једног новог система, система мостова са косим затегама, који ће за непуних пола века постати доминантан за мостове великог распона. У економском и естетском смислу супериоран, у почетку за средње велике распоне, овај систем у данашње доба конкурише висећим мостовима и за распоне преко хиљаду метара.

Схватајући значај ове новине, професор Хајдин је посветио од самог почетка знатан део времена изучавању овог система. У том погледу му је од велике користи било, између осталог, познавање и научни рад у области танкозидних носача, посебно оних проблема изван класичне теорије конструкција, пре свега проблем торзије.

Почетком седамдесетих година, у доба кад је овај систем доживљавао своју прву фазу развоја и кад није било више од десетак изведених великих мостова, професору Хајдину се пружила прилика да се опроба у пројектовању и грађењу овог система. Наиме, у то доба отворила се могућност за изградњу новог железничког моста у Београду, који је захтевао распон од приближно 250 метара.

Заједно са професором Јевтовићем прихватио је да пројектују овај мост као мост са косим затегама и то као први мост овог система за железнички саобраћај у свету.

Мишљења о примени овог система за железнички саобраћај, у свету и код нас, била су у то време негативна и начелно узевши оправдана с обзиром на следеће разлоге:

Систем је релативно флексибилан и „мек“ за железнички саобраћај и



угиби су услед покретног оптерећења у принципу већи него код класичних мостова.

Сходно томе требало је очекивати и вертикалне вибрације изван дотадашњег искуства која могу да доприносу неугодности и несигурности у саобраћају.

Осим тога замор материјала, посебно високовредних ужади, имајући на уму знатно већу тежину железничког саобраћаја у односу на друмски, представља сам по себи посебан проблем.

И на крају, железнички мост тако како је замишљен имао је рекордни распон за железнички саобраћај.

Све ове неповољности су у току пројектовања отклоњене самом концепцијом моста и употребом једне нове врсте каблова (ужади) која до тада није била позната, и која је била отпорнија на замор.

Пројекат је у целини заснован на читавом низу студија, укључујући и модел у смањеној размери и неколико радова (*)¹⁷, (*)¹⁸, (*)¹⁹ објављених у научној и стручној литератури.

После урађеног пројекта изведен је и мост који је био апсолутна новост у светској мостоградњи и доказ наше релативно развијене технологије.

После завршеног пројекта, почетком седамдесетих година, мост је почео да се гради 1974. године, а завршен је 1979. године.

-
17. Kollbrunner, C. F., Hajdin, N., Stipančić, B.: *Contribution to the Analysis of Cable-Stayed Bridges*. – Zürich: Verlag Schulthess AG, 1980. – 45 p.; 23 cm. – (Institut für bauwissenschaftliche Forschung. Stiftung Kollbrunner/Rodio ; 48)
 18. Hajdin, N.: *Vergleich zwischen den Paralleldrahsteilen und Vershlossenen Seilen am Beispiel der Eisenbahnschrägseilbrücke über die Save in Belgrad*. – *Comparison between Parallel Wire Bundles and Closed Ropes Illustrated on the Cable Stayed Railway Bridge over the River Save in Belgrade*. – *Comparasion entre les câbles à fils parallèles et les câbles torsadés dans la cas du pont de chemin de fer haubanné sur la Save à Belgrade*. Dixième congrès de l'Association internationale des ponts et charpentes, Tokyo, September 6-11, 1976: rapport préliminaire. Zürich: Secrétariat de l' AIPC, 1976. p. 471-475.
 19. Kollbrunner, C. F., Hajdin, N., Stipančić, B.: *Contribution to the Analysis of Cable-Stayed Bridges*. Bridge Engineering Japan [in Japanese]. 19: 6,7 (1983) 16-23, 20-28.

Ево неколико основних техничких карактеристика:

Железнички мост преко Саве између станица Нови Београд и "Прокоп" има укупну дужину 1928 m. Састоји се из прелаза преко реке и прилаза на левој и десној обали. **Градња железничког моста у систему греде са косим ужадима била је практично прва реализација у свету, јер се до тада сматрало да су мостови овог система, слично висећим, исувише флексибилни за железнички саобраћај.**

Главна мостовска конструкција – централни део – је континуални гредни носач (греда за укрупњење) са распонима $52,74+85,00+254,00+50,00+64,20 = 555,94$ m, са косим ужадима у централном отвору. Греда за укрупњење састоји се од два сандучаста носача константне висине 4,45 m међусобно спојених упуштеном ортотропном плочом која носи застор и колосеке. Са обе стране главног отвора постоји пар вертикалних пилона укљештених у греду за укрупњење. Коса ужад распоређена су у две вертикалне равни и прихватају греду за укрупњење на отприлике свакој петини распона од 254 m сви каблови анкеровани су изнад ослонаца бочних отвора од 50 m. Усвајањем ужади са паралелним жицама система ВВР са изузетно отпорним на замор Ni-Am анкерним главама, уз мере за повећање масе моста, добијено је изванредно искоришћење напона, одлична напетост ужади за стално оптерећење и мали утицај издужења ужади на угиб конструкције.

Треба напоменути да је ово прва примена ове врсте ужади у Европи. Од тога времена па све до данас ова врста ужади је доминантан облик ужади за мостове са косим затегама у свету.

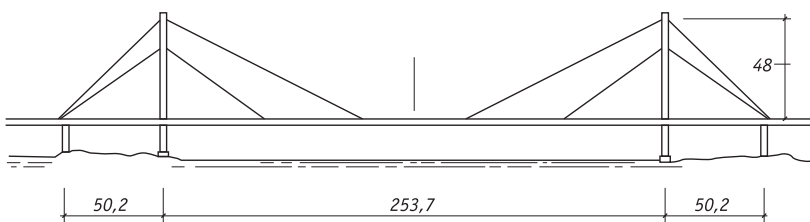
Мост је приказан у више публикација аутора од којих посебно издвајамо (*²⁰), (*²¹), (*²²), (*²³).

20. Hajdin, N., Jevtović. Lj.: *Eisenbahnschräseilbrücke über die Save in Belgrad*. Der Stahlbau. 48: 4 (1978) 97-106.

21. Хајдин, Н., Јевтовић, Љ., Цветковић, С., Матић, В.: *Нови железнички мост преко Саве у Београду*. – (*New Railway Bridge over Sava River in Belgrade*). VI конгрес Југословенског друштва грађевинских конструктора, Блед 26-29. 9. 1978. Београд: ЈДГК, 1978. Књ. Мостови-М, стр. 81-100. М 9

Цитиран је у читавом низу радова, а у следећем цитату дају се и неке оцене:

A further proof of the cable stayed bridges' ability to carry heavy railway loading was delivered by the pure railway bridge across the Save River in Belgrade, Yugoslavia (Figure 1.47) With a main span of 254 m, this bridge carried two tracks subjected to full railway loading including heavy freight trains with a wagon load of 72 kN/m on each track.



Railway Bridge across the Save River in Belgrade, Yugoslavia

To obtain the required stiffness of the cable system, the length of the adjoining side span was chosen to be as little as 0.197 of the main span length. Furthermore, both stays of the main span (where the cable system could be described as a modified harp) were connected at the pylon to anchor cables attached to the stiffening girder at the ends of the side spans adjoining the main span.

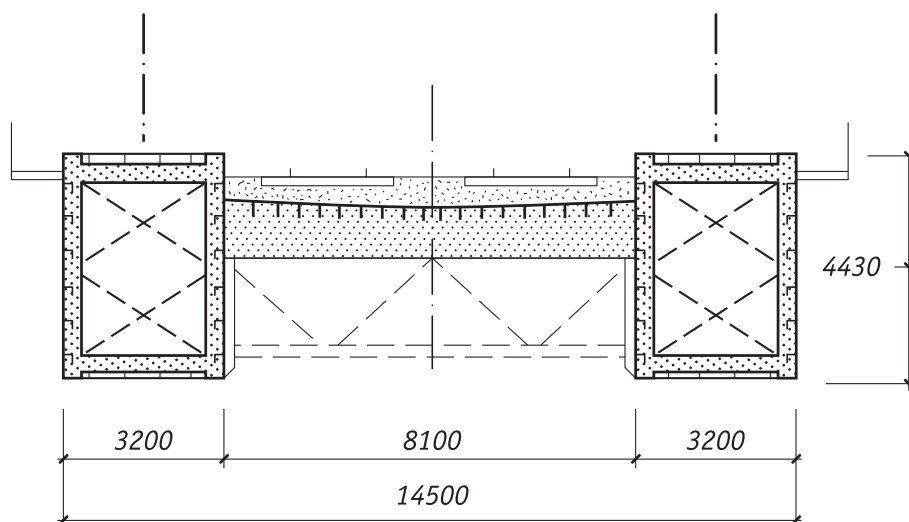
A twin box stiffening girder was also used in the steel railway bridge across the Save River in Beograd. Here the box girders, placed outside the railway area, are of rectangular shape, as seen in Figure 4.70. In the main boxes the plate thicknesses vary between 12 and 50 mm. The two

-
22. Hajdin, N., Jevtović, Lj., Cvetković, S., Matić, V.: *The Railway Cable-stayed Bridge over River Sava in Belgrade*. IABSE Periodica 4 (1979): IABSE Structures C – 10 /79 – Bridges I. p. 30.
 23. Hajdin, N., Cvetković, S.: *Some Yugoslav experiences in Design and Construction of Long-Span Bridges*. Steel Structures: Advances, Design and Construction / Ed. by R. Narayanan. London and New York: Elsevier Applied Science, 1987. p. 44-53.



box girders are connected by an orthotropic steel deck with a 10 mm thick deck plate stiffened by longitudinal ribs at 400 mm distance and by floor beams spaced 2.5 m apart. To improve the transversal distribution of eccentric loads every sixth floor is 4.43 m corresponding to 1/57 of the main span length (254 m).

- [22] N.J. Gimsing: Cable Supported Bridges. Concept and design. (Book). John Wiley & Sons, 1983.



сл. 15 Попречни пресек греда за укрућење на Железничком мосту преко реке Саве у Београду

Даљи доказ способности мостова са косим кабловима за ношење тешких оптерећења железнице дат је чистим железничким мостом преко реке Саве у Београду, Југославија. Са главним распонем од 254 m. Овај мост носи два колосека изложених пуном железничком оптерећењу укључујући тешке теретне возове са вагонским оптерећењем од 72 kN/m за сваки колосек.

Да би се добила захтевана крутост кабловског система, дужина бочних распона је изабрана да буде мала 0,197 од дужине великог распона. И даље оба кабла великог отвора (где је кабловски систем

као модификована харфа) повезана су на пилону са кабловима анкерованим на крајевима бочног распона.

Две греде за укрућење сандучастог пресека примењене су у овом челичном железничком мосту преко Саве у Београду. Сандучасте носачи стављени су изван зоне железнице и имали су правоугаони облик што се види из слике. У главним сандуцима дебелина зида била је између 12 и 50 mm. Два сандучаста носача повезана су ортотропном плочом дебелине 10 mm, укрућеном подужним укрућењима на одстојању од 4000 mm и попречним носачима на одстојању од 2,5 m. Да би се побољшала попречна расподела ексцентричних тегета сваки шести попречни носач био је на 4,43 m што је одговарало 1/57 дужине главног отвора (254 m).

У више разних публикација овај мост се наводи као први мост овог система за железнички саобраћај:

First cable stayed bridge built solely for railway traffic.

[23] „Structure“ International data base and Gallery of Structures.

Први мост са косим кабловима изграђен само за железнички саобраћај.

У вези са замором каблова цитира се рад аутора (*)²⁴ о замору каблова примењив на пројектовање железничког моста који је урађен као теоријска основа за пројектовање.

24. H a j d i n, N.: *Vergleich zwischen den Paralleldrahsteilen und Vershlossenen Seilen am Beispiel der Eisenbahnschrägseilbrücke über die Save in Belgrad. – Comparison between Parallel Wire Bundles and Closed Ropes Illustrated on the Cable Stayed Railway Bridge over the River Save in Belgrade. – Comparasion entre les câbles à fils parallèles et les câbles torsadés dans la cas du pont de chemin de fer haubanné sur la Save à Belgrade.* Dixième congrès de l'Association internationale des ponts et charpentes, Tokyo, September 6-11, 1976: rapport préliminaire. Zürich: Secrétariat de l' AIPC, 1976. p. 471-475.

У раду групе аутора подвлачи се значај овог испитивања:

Long cables made-up of many parallel wires or strands are used in cable-stayed bridges or similar structures. **The specialized literature [3,32] presents the fatigue strength of the cables as a governing criterion for the design of such structures. Therefore, the knowledge of the statistical behavior under fatigue becomes essential.**

- [24] E. Castillo, A. F. Canteli, V. Esslinger, B. Thürlimann: Statistical Model for Fatigue Analysis of Wires, Strands and Cables. IABSE Proceedings P-82, IABSE Periodica 1/1985, Periodica AIPC, IVHB Periodica, Februar 1985.

Дуги каблови направљени од много паралелних жица или ужади се користе код мостова са косим затегама или сличних конструкција. Специјализована литература [3,32] приказује јачину на замор каблова као водећи критеријум за прорачун таквих конструкција. Зато, познавање статистичког понашања при замору постаје кључно.

У раду В. Андре (W. Andra) и Р. Саула (R. Saul) истиче се да је у истом чланку(*)²⁴ први пут анализиран замор каблова:

Statistisch verwertbare Dauerfestigkeitsprüfungen für die hier interessierenden Drähte wurden in grösserem Umfang erstmalig für die Paralleldrahtbündel der Eisenbahnbrücke über die Save in Belgrad [8] gemacht.

- [25] W. Andra, R. Saul: Festigkeit, insbesondere Dauerfestigkeit langer Paralleldraht – bündel. – Der Bautechnik, Н. 4, 1979.

Статистички обрађена испитивања замора челика за жице била су први пут урађена у већем опсегу за ужад од паралелних жица железничког моста преко Саве у Београду.

Мост је такође приказан у часопису Engineering News-Record

Yugoslav building cable-stayed railway span

Yugoslavia is building the world's first cable-stayed railway bridge, which will cross the Sava River at Belgrade.

The cable/stayed portion of the crossing has a 833-ft main span flanked by 164-ft side spans. Including three side spans not cable supported, the bridge is continuous over six spans.

The crossing was designed by Nikola Hajdin, a Belgrade University engineering professor and dean, and Ljubomir Jevtovic, consultant at Kirilo Savic Institute, for civil and processing engineering, Belgrade. They point out that the prime problems were fatigue strength and dynamic loading, which are greater on a rail bridge than on a vehicular bridge. Deflection under load, which they limited to 1/500 th, was another design consideration.

Each of two double-leg pylons support two pairs of cables. The cables, made up of 250 to 300 parallel steel strands in a polyethylene casing, are cut and anchored individually to each pylon leg. From each pylon, they connect to the main span and two side spans, each pair at different angles.

The superstructure consists of two steel box girders joined by an orthotropic plate. The girders are supported on concrete piers.

A test model was constructed and tested at Belgrade University to check out static behavior, free vibration and vibrations under load. Free vibration of the cable agreed closely with theoretical values.

The bridge is scheduled for completion by the end of next year.

[26] Engineering News-Record, July, 29, 1976

Југословени граде железнички мост са косим кабловима

Југославија гради први у свету железнички мост са косим кабловима, који ће премостити реку Саву у Београду.

Део моста са косим кабловима има главни распон од 833 стопе, са 164 стопе бочним распонима. Укључујући три бочна распона који нису са косим кабловима, мост је континуалан преко шест распона.

Мост су пројектовали Никола Хајдин, професор и декан Грађевинског факултета у Београду и Љубомир Јевтовић, консултант у „Институту за грађевинарство Кирило Савић”. Они истичу да су главни проблеми били јачина на замор и динамичко оптерећење, који су већи на железничком него на друмском мосту. Угиб под оптерећењем, који су ограничили на $1/500$ био је други предмет за разматрање при пројектовању.

Сваки од два пилона носи два пара каблова. Каблови, начињени од 250 до 300 паралелних челичних ужади у полиетиленском омотачу, су појединачно анкеровани за сваку ногу пилона. Од сваког пилона они се везују за главни распон и два бочна распона, сваки пар под различитим углом.

Горњи строј се састоји од два челична сандучаста носача, спојених ортотропном плочом. Носачи су ослоњени на бетонске стубове.

Модел за тестирање је конструисан и тестиран на Београдском универзитету да би се проверило статичко понашање, слободне вибрације и вибрације под оптерећењем. Слободне вибрације каблова су се блиско слагале са теоретским вредностима.

Планирано је да се мост заврши до краја следеће године.

У кинеској енциклопедији Јинглијанг Ванга (Yingliang Wang) најзначајнијих мостова Европе и Америке за последњих 200 година наводи се овај мост, поред још три моста Николе Хајдина.

У тексту се приказују основне особине тих мостова Николе Хајдина као и табеларни преглед.

尼古拉·哈丁(Никола Хајдин)

尼古拉·哈丁是著名桥梁专家、前南斯拉夫科学院院士。

1923年4月23日生于塞尔维亚的Врбовско。

1951年毕业于贝尔格莱德大学土木系。

1956年获得贝尔格莱德大学博士学位。

主要研究结构力学、板壳强度理论。



Nikola Hajdin

桥名	建成时间	桥型	跨度	主要工作	附注
Orašje Bridge	1968	结合梁	134	设计	
Railroad Cable-Stayed Bridge Across the River Sava	1979	斜拉桥	254	设计	铁路桥
Sloboda Bridge	1981	斜拉桥	351	设计	
New Plock Bridge	2005	斜拉桥	375	设计	

У предговору књиге аутор између осталог каже:

(1)首先通过设计师介绍他们设计的主要桥梁、让读者品读这些欧美流派的世界名桥、这只是停留在知识的层面。

(2)通过设计师设计的多座桥梁、我们可以看出他们在设计这些世界名桥的思维方式、当时这些设计方案是如何形成的、设计师设计的一系列桥梁后面又隐藏了怎样的思维转变过程。作者采用还原历史、比较、分析等方法、将不同桥型、方案进行比较、论证、有的地方可能没有结论(实际上也不可能得到结论)、但是通过多方面、多视角的比较和论证、就可以看到设计师的思维演变、最重要的是形成这些构思的过程。从这个层面来说是在探索大家智慧(智慧不同于知识、智慧是方法论、是正确的思维方式。随着时间流逝、知识可能过时了、但设计师的智慧是永存的)。

感谢著名桥梁专家Jean Muller生前对作者的帮助、感谢国际桥梁与结构工程协会 (IABSE) 副主席、美国科学和艺术外籍院士 Jörg Schlaich、国际预应力混凝土协会 (FIB) 名誉主席、国际桥梁与结构工程协会 (IABSE) 副主席 Michel Virlogeux 先生、德国莱昂哈特 - 安德鲁公司技术董事、IABSE 副主席 Holger S. Svensson 先生、塞尔维亚科学院院长 Nikola Hajdin 院士、Christian Menn 教授、法国 JMI 国际公司前技术董事 Serge Montens 先生、西班牙 Leonardo Fernández Troyano 教授提供了部分资料、在百忙中校核了部分书稿、提出了很好的修建意见。

本书涉及的内容繁多、由于时间和笔者的水平有限、肯定存在不够完善和不当之处、恳请各位专家、同行和读者指正！

作者：王应良 2007 年 8 月

[27] Design Thinking of Europe and America Bridges, 2007 [(5.1)242-248]

(1) Писац представља чувене мостове у свету преко њихових пројектаната, и дозвољава читаоцима да упознају и разумеју технологију чувених мостова Европе и Америке.

(2) Преко ових чувених мостова, можемо да разумемо размишљања и мудрост пројектаната. Како се долази до скица чувених мостова и до еволуције размишљања пројектанта која стоје иза ових чувених мостова. Писац је поредио различита решења мостова враћајући се у историју, поредећи и анализирајући. Мада понекад не можемо до краја да разумемо (понекад из немогућности да се добије резултат), можемо да пратимо ток и различите аспекте трансформације размишљања пројектанта. То је расправа о мудрости. (Мудрост је различита од знања. Мудрост је егзактан начин размишљања. Како време пролази, знање пројектанта може застарити, али мудрост пројектанта је вечита).

Дугујемо велику захвалност чувеном експерту за мостове Жану Милеру [Jean Muller](#) који је пројектовао многе мостове у Француској. Хвала Јергу Шлајху (Jörg Schlaich) (потпредседнику IABSE иностраном члану Америчке академије уметности и наука), Мишелу Вирложеу (Michel Virlogeux) (потпредседнику IABSE, почасном председнику Међународног удружења за преднапрезање), Холгеру Свенсону (Holger C. Svensson) (потпредседнику IABSE, техничком директору "Leonhardt, Andrä i Partner"), **академику Николи Хајдину (председнику Српске академије наука и уметности)**, професору Кристијану Ману (Christian Menn), Сержу Монтену (Serge Montens) (бившем техничком директору "Jean Muller International"), и професору Леонарду Фернандезу Тројану (Leonardo Fernández Troiano) који је обезбедио документе, проверио неке књиге и дао неке добре савете.



б) Друмски мост „Слобода“ преко Дунава у Новом Саду

Друмски мост у Новом Саду представља даљи корак ка освајању технологије конструкција са косим затегама у примени на велике мостове.

Главна конструкција друмског моста преко Дунава у Новом Саду је система греде са косим ужадима. **Са распоним од 351 m конструкција је представљала у тренутку грађења светски рекорд за мостове ове врсте, са пилонима и затегама у средњој равни моста.**

Мост сачињавају, полазећи од новосадске стране (лева обала): а) приобална конструкција дужине 301 m од претходно напрегнутог бетона, б) прилазна спрегнута конструкција леве обале са распонима $4 \times 60 = 240$ m, в) главна челична конструкција система греде са косим затегама и распонима од $2 \times 60 + 351 + 2 \times 60 = 591$ m, г) прилазна спрегнута конструкција десне обале са распонима од $3 \times 60 = 180$ m. Укупна дужина моста износи 1312 m. Мост је пројектован са шест саобраћајних трака.

Главна мостовска конструкција је свакако најистакнутији и најсложенији део целог моста. Греда за укрућење или главни носач моста има сандучаст пресек трапезног облика. Висина сандука износи 3,8 m, ширина доње плоче је 13,0 m, а горње 27,48 m, од чега је ширина од 16,0 m саставни део затвореног пресека. Пилони моста налазе се изнад стубова на крајевима највећег распона, смештени су у осовини моста и укљештени у греду за укрућење. Три групе ужади, са по четири кабла, од паралелних жица полазећи од пилона прихватају главни носач на размацима $54 + 48 + 48$ m, симетрично са обе стране у харфа конфигурацији.

Мост је делимично срушен 1999. године током НАТО агресије, а од 2002. године се обнављао у потпуности према оригиналном решењу. Реконструкција је завршена октобра 2005. године.

У анализи и прорачуну коришћена су знања тога доба уз напомену да је мост, с обзиром на његов распон, представљао извесну екстраполацију у конструисању моста рекордног распона за мостове са једном вертикалном равни каблова.



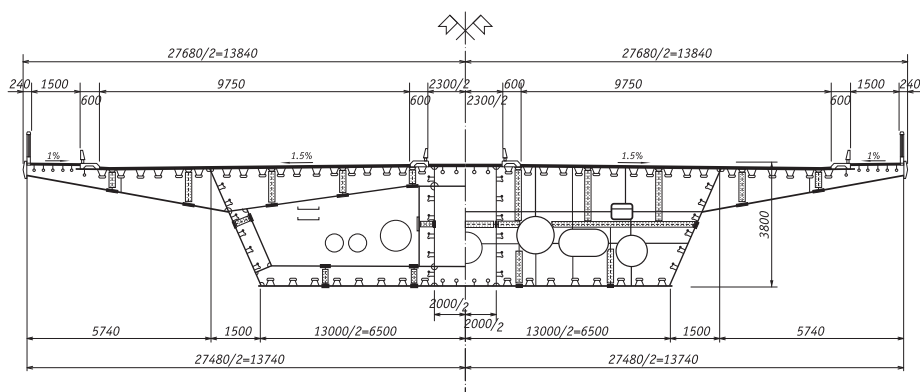
сл. 17
Друмски мост „Слобода“ преко Дунава у Новом Саду – после рушења



сл. 18
Друмски мост „Слобода“ преко Дунава у Новом Саду – у току реконструкције



сл. 19
Друмски мост „Слобода“ преко реке Дунав у Новом Саду – после реконструкције



сл. 20 Друмски мост „Слобода“ преко Дунава у Новом Саду – попречни пресек

Мост је приказан у више публикација аутора од којих се посебно издваја (*25, (*26, (*27, (*28, (*29, (*30, (*31, (*32.

25. Хајдин, Н.: *Мостови «23. октобар» преко Дунава у Новом Саду (Bridge "23 oktobar" over river Danube in Novi Sad)*. Изградња. 33: 7 (1979) 9-18. Исто: Изградња. 11-12 (1986) 70-79.
26. Хајдин, Н., Динић, С., Миллер, Н. Р.: *Construction of the Cable-Stayed Bridge «Sloboda» (Bridge of Freedom) over the River Danube, Novi Sad, Yugoslavia*. The Ninth International Congress of the FIP, Stockholm, June 6-10 1982. Stockholm: FIP, 1982. p. 1-16.
27. Хајдин, Н., Гојковић, Љ.: *Изградња мостова Слободе преко Дунава у Новом Саду (Construction of the Bridge "Sloboda" ("23 Oktobar"))*. Наше грађевинарство. 37: 8 (1983) 1051-1058.
28. Хајдин, Н.: *Strassenbrücke «SLOBODA» über die Donau in Novi Sad*. Der Stahlbau (Berlin). 52: 4 (April 1983) 97-103.
29. Хајдин, Н., Цветковић, С.: *Some Yugoslav experiences in Design and Construction of Long-Span Bridges*. Steel Structures: Advances, Design and Construction / Ed. by R. Narayanan. London and New York: Elsevier Applied Science, 1987. p. 44-53.
30. Хајдин, Н., Срећковић, Г., Лукић, Д., Лазовић, М., Мандић, Р.: *Review of Damage and Repair of Piers on Bombed and destroyed Bridge Sloboda over Danube in Novi Sad*. Proceedings 4th International Conference on Bridges Across the Danube 2001, Bratislava, Slovakia, September 13-15, 2001. p. 293-298.
31. Хајдин, Н.: *Reconstruction of the Bridge Sloboda in Novi Sad*. Proceedings 4th International Conference on Bridges Across the Danube 2001, Bratislava, September 13-15, 2001. Bratislava, 2001. p. 359-365.



Мост је цитиран неколико стотина пута у стручној и научној литератури укључујући и текстове о срушеном мосту и његовој реконструкцији. Томе треба додати и огроман број цитата у штампи домаћој и иностраној о томе мосту, о оригиналној верзији, рушењу, изградњи и новој верзији која је, као што смо рекли, иста као и првобитно решење.

в) Друмски мост са косим зајтемама (375 m распона) преко реке Висле (Пољска) са Б. Сийианићем.

Пројекат овог моста и његова изградња по том пројекту резултат су победе на међународном анонимном конкурс на којем је учествовало 16 предузећа и појединаца из Пољске и Европе.

Укупна дужина моста је 1200 m, од чега је 615 m дужина главног дела моста над коритом реке Висле, а 585 m је дужина прилазног дела моста над инундацијом. Главна мостовска конструкција је симетрична конструкција од челика, мост са косим кабловима кога чине: континуална греда (са распонима $2 \times 60 + 375 + 2 \times 60$ m), коси каблови и два пилона.

Греда моста има торзионо крут троћелијски пресек, трапезног облика (висине 3,5 m, ширине доњег појаса сандука 13,0 m, ширине горњег појаса сандука 16,5 m) са конзолним препустима горњег појаса од по 5,5 m. Пилони, којима коси каблови предају своје силе затезања, су од челика и укљештени су у греду моста. Коси каблови су постављени у средњој вертикалној равни моста у тзв. модификованом харфа распореду. Сваки коси кабл се састоји од по два појединачна кабла (ужета), који су на међусобном осном растојању од 750 mm.

Лежишта моста су неопренско-тефлонска. Стубови моста су од армираног бетона, заобљених облика са јасно диференцираним деловима: главом, телом и стопом стуба.

Рекордни распон од 375 m спада у највеће распоне у свету за мостове са косим затегама и кабловима у једној, средњој равни.

Мост је завршен 2005. године.

-
32. Hajdin, N.: *Destruction and Reconstruction of the Sloboda Bridge in Novi Sad*. 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.

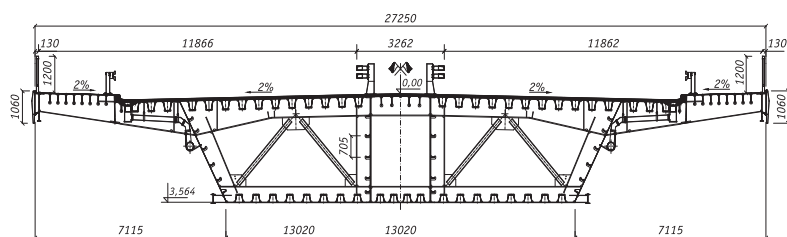
Мост је логичан наставак идеје која је претходно примењена код моста *Слободе* и представља корак даље у развоју мостова са косим затегама, с обзиром да је грађен више од две деценије касније од моста *Слободе*.

То се пре свега односи на кабловски систем који обилује гушћом расподелом ужади што се може приписати укупној тенденцији у изградњи ове врсте мостова и што по неким мишљењима доприноси естетском изгледу. Осим тога овај мост се својим распоном од 375 m приближава граници до које је могуће рационално пројектовати мостове са једном вертикалном равни каблова.

Мост је приказан у више публикација аутора од којих посебно издвајамо (*³³), (*³⁴), (*³⁵), (*³⁶), (*³⁷).

"Мост је цитиран у монографији Јана Билишчука (Jan Biliszczuk) као највећи мост у свим системима у Пољској."

Biliszczuk, J.: *Mosty podwieszono – projektowanie i realizacja*. Arkady, Warszawa, 2005.



сл. 22 Друмски мост преко реке Висле у Плоцку (Пољска) – попречни пресек

33. Hajdin, N., Stipanić, B.: *Design of Bridge Over Vistula River in Plock – First Prize on the International Competition*. Proceedings IMS Institute (Belgrade). 25: 1 (1998) 5-13.
34. Hajdin, N., Stipanić, B.: *Cable-Stayed Bridge Across the Vistula River in Plock*. Proceedings of the Conference Eurosteel '99. Praha: ČVUT, 1999. p. 459-462.
35. Hajdin, N., Stipanić, B., Krawczyk, J., Wachalski, K.: *The Roadway Bridge over Vistula River in Plock (Poland), Design and Construction*. Bridges in Danube Basin: Proceedings of the 5th Int. conf. on Bridges across the Danube Novi Sad: Euro Gardi Group, 2004. Vol. I, p. 359-370.
36. Hajdin, N., Stipanić, B., Krawczyk, J., Wachalski, K.: *Cable-Stayed Bridge Structure over Vistula River as Main Part of the Roadway Bridge in Plock*. Proceedings of Seminarium "Mosty Podwieszono i Wiszace", Politechnika Wroclawska. Wroclaw: DWE, 2005. p. 154-162.
37. Hajdin, N., Stipanić, B., Krawczyk, J., Wachalski, K.: *The Cable-Stayed Bridge across Vistula River in Plock*. Proceedings of the International Conference on Bridges, Dubrovnik, May 2006. Zagreb: SECON, HDGK, 2006. p. 135-142.

ПЕТИ ПЕРИОД

УДАР САОБРАЋАЈНИХ СРЕДСТАВА

Од 1993. захваљујући сарадњи са швајцарским организацијама професор Хајдин је усмерио рад на изучавање проблема импакта (удара) саобраћајних средстава на инжењерске објекте, и то у почетку на проблем удара железничких композиција на грађевинске објекте, а нешто касније на проблем удара пловних објеката првенствено на стубове мостова у реци.

Обе врсте студија имале су извесне примене на прорачун савремених конструкција под дејством удара.

Овде ћемо се осврнути само на проблем удара пловних објеката који је анализиран и објављен у више радова професора Хајдина (*)³⁸, (*)³⁹, (*)⁴⁰, (*)⁴¹.

Суштина овог интересантног и важног проблема динамике захтева паралелну анализу пловног објекта и његовог понашања при удару и самог грађевинског објекта најчешће мостовских стубова.

Овај типично интердисциплинарни проблем је одвео професора Хајдина у област конструкција у бродоградњи, посебно на проблеме деформације пловног објекта. Проблем је излазио из оквира динамичке анализе пловног објекта

38. Grob, J., Hajdin, N.: *Schiffsanprall*. Schweizer Ingenieur und Architekt. 30-31(1995) 1-8.

39. Hajdin, N., Mandić, R.: *Ship Collision with Bridges: a Contribution to the Standardization of Vessel Impact Forces for the Bridges on the Danube*. Proceedings / The Second International Conference "Bridges over the Danube", Cernavoda, 11-15 September 1995. p. 113-119.

40. Grob, J., Hajdin, N.: *Ship Impact on Inland Waterways*. Structural Engineering International. 4 (1996) 230-236.

41. Hajdin, R., Adey, B. T., Hajdin, N.: *Probable occurrence of ship impact forces on bridge piers in inland waterways*. IABMAS Conference "Bridge Maintenance, Safety and Management", Kyoto, Japan, October 19-22, 2004. p. 8.

какав се чини у процесу изградње тих објеката. Тада се обично анализирају мале деформације које сежу до појаве и тока малих пластичних деформација.

Код анализе удара ради се о великим деформацијама (гњечењима) која значе, поред осталог, скраћење пловног објекта и за неколико метара.

Захваљујући неким постојећим експерименталним подацима Мајера Дернберга (Meier Doernberg) (*)⁴² професор Хајдин је формирао заједно са Р. Мандићем један практичан модел који се показао успешним у анализи проблема импакта (*)⁴³, (*)⁴⁴.

Модел има сложену структуру којом су обухваћене деформације палубе и дна брода и одговарајуће силе које изазивају те деформације. На овом месту се нећемо упуштати у прорачун који има неколико делова при чему се води рачуна о деформацији палубе или дна у својој равни као и о деформацији која је карактеристична за такозвано „фалтање“ елемената при сукцесивној промени силе деформације.

Резултати тога рада су, поред приказа у поменутих радовима, коришћени и у предлогу Препорука (*)⁴⁵ за прорачун објеката на води у сектору Рајне, првенствено на швајцарској територији.

Овај проблем као и проблем удара железничких композиција постао је веома актуелан за анализу грађевинских конструкција, поред сеизмичке анализе, с обзиром на густину саобраћаја и саобраћајних средстава и по важности спада у категорију оних ванредних утицаја као што су земљотреси, експлозије и хаварије изазване терористичким нападима.

Било би од великог научног интереса ако би се млађи научни радници позабавили овим и сличним проблемима.

42. Meier Doernberg: „*Knautschkraefte und Verformungen der Bugpatien von Motorgueterschiffen bezueglich Anfahren an Pfeiler und Waende 2*“, Teilbericht TH Darmstadt, 1988.

43. Hajdin, N., Mandić, R.: *Ship Collision with Civil Engineering Structures*. Bulletin / Académie serbe des sciences et des arts. Classe des sciences techniques. 120 : 28 (2000) 15-27

44. Hajdin, N., Mandić, R.: *Crushing of Ship's Bow Structure During Collision with Bridge Piers*. 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.

45. Kanton Basel Stadt Richtlinien Betreffend Entwurf und Bemessung von durch Schiffsanprall gefardeten Bauwerken Basel, Nov. 1993.

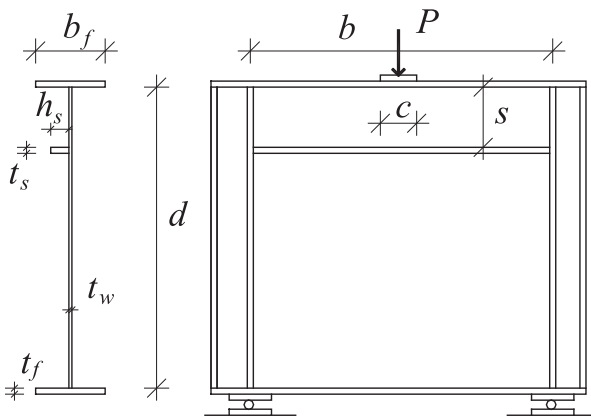
ШЕСТИ ПЕРИОД

PATCH LOADING

(СТАБИЛНОСТ И НОСИВОСТ ЧЕЛИЧНИХ НОСАЧА)

КАО ШТО ЈЕ напред речено прве објављене публикације произашле из сарадње професора Хајдина са Колбрунером односиле су се на проблем стабилности штапова са променљивим пресеком односно на линијске елементе.

Средином седамдесетих година професор Хајдин је објавио низ радова који се баве проблемима стабилности и граничне носивости лимених носача односно проблемима избочавања плоча. У то време су у свету, после низа хаварија мостова, интензивирана како теоријска тако и експериментална истраживања разних аспеката стабилности и носивости челичних носача. У радовима професора Хајдина су анализирана најновија сазнања и њихова примена у оквиру наших прописа за прорачун челичних конструкција.



сл. 23 "patch loading"

Крајем седамдесетих година посебна пажња у свету почиње да се посвећује проблему такозваног "patch loading"-а, оптерећења појасева лимених носача концентрисаним или оптерећењем расподељеним на малој дужини силама у равни ребра, које може да доведе прво до локалног избочавања у зони уношења оптерећења, а зависно од осталих услова и до прогресивног лома носача. Овај проблем је посебно важан код монтаже челичних мостова превлачењем преко привремених или сталних ослонаца. Ради се о сложеном теоријском проблему за који још увек нису добијена у потпуности задовољавајућа решења тако да су ова истраживања и даље актуелна у свету.

Крајем седамдесетих и почетком осамдесетих година професор Хајдин је у Београду руководио истраживањима у овој области. Његови сарадници, Б. Ђорић и Н. Марковић, са Грађевинског факултета у Београду добијају прилику да на Универзитету у Кардифу (University College Cardiff) у Великој Британији, веома важном истраживачком центру у том периоду, учествују у истраживањима која се дужи низ година спроводе у свету у овој области. Они даље настављају сопствена истраживања у земљи. У току деведесетих овим истраживањима се придружује и Д. Лучић са Грађевинског факултета у Подгорици. У овом периоду истраживања се спроводе у оквиру сарадње са Институтом за механику Чехословачке академије наука, односно са професором М. Шкалоудом.

Из тих истраживања је произашао већи број радова публикованих у међународним часописима и приказаних на међународним научним скуповима, а који су касније цитирани од аутора из различитих земаља који се баве овим проблемима.

Од тих радова посебно се истиче рад *A Contribution to the Analysis of the Behaviour of Plate Girders Subjected to Patch Loading*⁴⁶, са Н. Марковићем који је по позиву објављен 1992. год. у броју часописа „Journal of Constructional Steel Research“ који је био посвећен приказу стања истраживања у челичним конструкцијама у средње и источно европским земљама. У оквиру припрема за даља истраживања којима је руководио професор Хајдин, а у оквиру сарадње са Институтом за механику Чехословачке академије наука, односно директне сарадње са професором М. Шкалоудом, разматрана су дотадашња истраживања дејства "patch loading"-а. Између осталог, у оквиру овог проблема извршена је анализа утицаја подужних укрућења у зони уношења оптерећења

на избочавање лимених носача и у раду је дат предлог израза којим се тај утицај узима у обзир. До тада је у свету било мало истраживања овог утицаја, тако да у прописима за прорачун конструкција он или није био обухваћен или је само начелно упућивано на његово позитивно дејство. Постојало је само неколико предлога у објављеним радовима у часописима у односу на које је овај нови предлог имао једноставнији облик, а показивао боље слагање са постојећим експерименталним резултатима.

Овај предлог је у 2000. години прихваћен у целости у новој верзији британских прописа за мостове (BS 5400-3:2000 *Steel, concrete and composite bridges – Part 3: Code of practice for design of steel bridges*. BSI, May 2001) у којима је раније био обухваћен само прорачун за носаче без подужних укрућења. Тако да је то први пропис у свету који је директно укључио утицај подужних укрућења на носивост лимених носача под дејством концентрисаног оптерећења по појасу лимених носача.

Деведесетих година настављају се у свету интензивна истраживања овог проблема у циљу унапређења постојећих решења. До сада је урађен већи број докторских и магистарских дисертација, публикован знатан број радова, а у многим од њих је цитиран горе наведени рад Марковића и Хајдина. У неким од њих предложено решење је коришћено за упоређење са новим предлозима заснованим на новим истраживањима.

Већ 1995. у докторској дисертацији О. Лагерквиста (O. Lagerqvist) из Шведске приказан је рад (*)⁴⁶:

Markovic continued his research and published in 1992 [74], together with Hajdin, a paper concerning the influence of longitudinal stiffeners on the ultimate resistance. Results from a series of six tests, a continuing series from the one in [73], was presented. Four of the girders had longitudinal stiffeners applied to the web but the remaining two tests without stiffeners are given in the end of Table C: 2.23. In [74] a review of equations for the ultimate resistance suggested by other researchers was given as well as the result from a comparison of of the different equations with

46. Marković, N., Hajdin, N.: *A Contribution to the Analysis of the Behaviour of Plate Girders Subjected to Patch Loading*. Journal of Constructional Steel Research. 21: 1-3(1992) 163-173.

a total of 451 test results, 318 from tests performed on girders without longitudinal stiffeners. When all 451 test results was considered the best agreement was attained with equation (2.99), either in basic form or after corrections for the influence of longitudinal stiffeners and bending stresses.

- [28] Lagerqvist, O.: Patch Loading – Resistance of Steel Girders Subjected to concentrated Forces. Doctoral thesis, Lulea University of Technology, Div. of Steel Structures, 1994, 159D, Lulea, 1995.

Марковић је наставио своја истраживања и објавио 1992 године [74], заједно са Хајдином, рад који се бавио утицајем подужних укрућења на граничну носивост. Приказани су резултати серије од шест експеримената, наставак серије приказане у раду [73]. Четири носача су имала подужна укрућења на ребрима, а преостала два експеримента без подужних укрућења су дата на крају табеле C : 2.23. У раду [74] дат је преглед израза за граничну носивост предложених од других истраживача, као и резултати поређења различитих израза са укупно 451 резултатом експеримената, 318 на носачима без подужних укрућења. Када је разматрано свих 451 резултата најбоље слагање је добијено са изразом (2.99), било у основном облику или после корекције за утицај подужних укрућења и напона савијања.

Овај рад је такође више пута цитиран од аутора из Шведске где су после 2000. године настављена истраживања подужно укрућених носача, а предложена решења су коришћена и за упоређења са новим решењима тих аутора.

Рад је коришћен и у истраживањима групе аутора из Шефилда, Велика Британија који су се бавили истраживањима веза челичних елемената у условима пожара и цитиран је у више радова. У раду С. Спируа (S. Spyrrou), Џ. Б. Дејвисона (J. B. Davison), И. В. Барџеса (I. W Burgess) и Р. Ј. Планка (R. J. Plank) [29] се констатује:

“...Existing empirical formulas for the capacity of column webs at ambient temperature were unsuitable, as these did not include the effect of the stiffness of the column flanges, **but studies by Markovic & Hajdin (1992) of plate girders subjected to patch loading proved useful. ...**”

- [29] Spyrou, S., Davison, J.B., Burgess, I.W. and Plank, R.J., Component Studies for Steelwork Connections in Fire, 5th International Conference on Stability and Ductility of Steel Structures, Budapest, Hungary, (2002) pp. 769-776.

"...Постојећи емпиријски изрази за капацитет ребра стуба на амбијенталној температури нису били погодни, пошто нису укључивали ефекат крутости појасева стуба, али проучавање лимених носача изложених "patch loading"-у од стране Марковића и Хајдина (1992) се показало корисним. ..."

У радовима који приказују истраживања спровођена у Немачкој рад је цитиран више пута. У раду У. Кулманове (U. Kuhlman) и М. Сајца (M. Seitz) се констатује:

Aufbauend auf der Versuchsserie von /Januš et al., 1988/ und weiteren Versuchen wird von /Marković & Hajdin, 1992/ ein neuer Erhöhungsfaktor

$$f = 1,28 - 0,7 \cdot h_l / h_w \quad \text{für } 0,1 < h_l / h_w < 0,4$$

vorgeschlagen, der auf die Stegbeulformel nach /Roberts, 1981/ abgestimmt ist und wiederum nur von der Lage der Steife abhängt. Dieser Vorschlag ist inzwischen in die aktuelle britische Stahlbrückennorm /BS 5400-3, 2000/ aufgenommen worden.

- [30] Kuhlmann, U., Seitz, M.: Zum Tragverhalten längsversteifter Blechträger unter konzentrierter Lasteinleitung. In: Ofner, R. (Hrsg.); Unterweger, H. (Hrsg.): Festschrift Univ.-Prof. Richard Greiner. Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächen tragwerke – Universität Graz, 2001, S. 19 – 28.

Један нови фактор увећања је предложен /Марковић и Хајдин, 1992/

$$f = 1,28 - 0,7 \cdot h_l / h_w \quad \text{за } 0,1 < h_l / h_w < 0,4$$

Он је заснован на серији експеримената (Јануша и сарадника, 1988) и другим експериментима, користи се уз формулу за избочавање према (Робертсу, 1981) и зависи само од положаја укрућења. Овај предлог је прихваћен у актуелним Британским прописима за челичне мостове (BS 5400-3, 2000).

У докторској дисертацији Л. Давин (L. Davaine) из Француске се констатује:

N. MARKOVIC qui a travaillé d'abord à l'université de Cardiff avec T. M. ROBERTS, a poursuivi ses investigations sur le "patch loading" en s'intéressant au raidissage longitudinal de l'âme à l'université de Belgrade avec N. HAJDIN. A Cardiff, MARKOVIC a réalisé 2 essais avec raidisseurs longitudinaux qui viennent s'ajouter à la base de données expérimentales. **Sa principale contribution s'est située dans la conduite, en 1992, d'une analyse statistique de cette base de données, soit 451 essais (dont 318 sans raidisseurs longitudinaux et 133 avec). Dans [62], il propose un nouveau facteur tr.s simple de correction de la charge de ruine F_{Mo} pour tenir compte de la présence d'un raidisseur longitudinal:**

$$f(h_l/h_w) = 1,28 - 0,7 \cdot h_l/h_w \quad \text{pour } 0,1 < h_l/h_w < 0,4$$

- [31] Davaine, L.: Formulation de la résistance au lancement d'une âme métallique de pont raidie longitudinalement (Résistance dite de "Patch Loading"), These de docteur en Genie Civil, INSA (L'Institut National des Sciences Appliquees de Rennes, France, 2005, 270.

Н. Марковић који је претходно радио са Т. М. Робертсом на Универзитету у Кардифу, наставио је истраживања "patch loading"-а интересујући се за подужна укрућења ребра на Универзитету у Београду са Н. Хајдином. У Кардифу Марковић је реализовао 2 експеримента са подужним укрућењима који су придружени бази експерименталних података. Њихов главни допринос се налази у спровођењу, 1992. године, једне статистичке анализе базе података од 451 експеримента (од којих је 318 без и 133 са подужним укрућењима). У раду [62] је предложен један нови коефицијент, веома једноставан, за корекцију граничног оптерећења за узимање у обзир присуства подужног укрућења

$$f(h_l/h_w) = 1,28 - 0,7 \cdot h_l/h_w \quad \text{за } 0,1 < h_l/h_w < 0,4$$

У овој дисертацији наведени рад је коришћен за поређење са резултатима нових истраживања и предлозима самог аутора.

УМЕСТО ПОГОВОРА

ДЕТАЉАН ПРЕГЛЕД публикованих научних и стручних радова, као и најзначајнијих конструкторских остварења професора Хајдина може се наћи у књизи „Библиографија радова академика Николе Хајдина“⁴⁷. На пратећем компакт диску налазе се и сви објављени радови професора Хајдина.

Из укупног опуса професора Хајдина овде је издвојено само оно, што по нашем мишљењу има већи значај, повезујући то са одјеком на развој одговарајуће научне гране и утицај на конструкције које је пројектовао.

Опус професора Хајдина приказан је кроз шест периода, који представљају и шест области у којима је дао свој допринос науци и њеним применама.

Као прилог општем напретку из његовог стваралаштва издвајамо:

Нов и оригиналан *нумерички метод* за решавање дводимензионалних проблема Теорије конструкција и других грана примењене механике;

Оригиналан поступак за анализу танкозидних *сирејнујих конструкција* са произвољним распоредом саставних материјала;

Пројектовање моста Орашје као првог моста у свету са дуплим спрезањем. Као новина у мостоградњи он је имао, истовремено, и највећи распон за мостове те врсте;

Серија чланака и монографија из области *Танкозидних шпайова* и конструкција истиче аутора као једног од водећих научника на овом пољу у свету. Бројне публикације представљале су основу за научне раднике, докторанте и инжењере при реализацији различитих конструкција;

Мостови са косим зајтејама представљали су један од најзначајних преокрета у светској мостоградњи. У том процесу Н. Хајдин се јавља као један од пионира. Сваки од мостова који је пројектовао представља корак напред

47. Г. Радојчић - Костић, Н. Марковић: *Библиографија радова академика Николе Хајдина / Nikola Hajdin Bibliography, САНУ*, Издања Библиотеке 20, Београд 2004.

у развоју ове гране. Тако је железнички мост у Београду први мост ове врсте за железнички саобраћај, а у исто време рекорд у погледу распона. Мостови у Новом Саду и Плоцку (Пољска) представљају изузетна достигнућа у погледу конструкције и естетике и са рекордним распонима за мостове те врсте;

Анализа удара (импакција) представљала је нови изазов за аутора. Решења која је дао имала су непосредну примену у пракси у којој се у новије доба овај проблем јавља као изузетно важан у погледу сигурности објеката у води и на копну;

Patch Loading је област којом се Н. Хајдин са својим сарадницима бавио више деценија. Поред низа чланака у тој области свакако су важни и практични резултати. У том погледу круну овог посла представља прихватање једног од наших резултата у Британске стандарде што је велика част за истраживаче и земљу.

ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ ИЗ КОЈЕ СУ НАВЕДЕНИ КОМЕНТАРИ
НАЈЗНАЧАЈНИЈИХ НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА
НИКОЛЕ ХАЈДИНА

- [1] K. Girkmann: Flachentragwerke. – Springer Verlag, Wien, 1956.
- [2] H. A. Hadid: An analytical and experimental investigation into the bending theory of elastic conoidal shells (Ph.D.Thesis) – Univ. of Southampton, March, 1964.
- [3] R. Stilwell, R.V. Svaraminathan, J. L. Serafim: Theory of Arch Dams (Discussion), Pergamon Press, 1965.
- [4] R. S. Srinivasan, S. Sankaran: Vibration of Cantilever Cylindrical Shells. Journal of Sound and Vibration, Vol. 4, No 1, 1975.
- [5] R. S. Srinivasan, B. J. C. Babu: Free Vibration of Cantilever Quadrilateral Plates, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 73, No 1, 1983.
- [6] [International Aerospace Abstracts]
- [7] H. A. Hadid, B. M. Ahuja, M. A. Mohamed: Analysis of shew slabs using Integral Method. – The Bridge & Structural Engineer, Vo. 9, No 1, Journal of Indian Nat. Group of IABSE, New Delhi, March 1979.
- [8] H. Hadid: Analysis of parabolic velaroidal shells with simply supported boundary conditions. – Journal of Structural Engineering, Vol. 8, No 4, 1982.
- [9] J. R. Rydzewski: Recent Advances in the theory of Arch Dams-Applied Mechanics Reviews, Vol. 16, No 10, Oct. 1965.
- [10] S. K. Agarwal, D. Krishna: Double Integration technique, A new Numerical Procedure for Structural Analysis – "Cement & Concrete", New Delhi, Oct. – Dec., 1970.
- [11] F. Nather: Steel Bridges with Double Composite action in Germany. Al II-lea Seminar de Poduri "Directii Actuale in calculul si proiectarea podurilor" Timisoara, martie 1996, 41-74.
- [12] F. Nather: Stahlbrücken mit Doppelverbund in Deutschland Überblick und Ergebnisse von Forschungsaufträgen, Bauingenieur 72, Heft 3, 1997, 131-141.
- [13] Bernabeu Larena, J.: Evolucion tipologica y estetica de los puentes mixtos en Europa, Tesis doctoral, Universidad Politecnica de Madrid, 2004.

- [14] „Bauingenieur“, H.3. 1969.
- [15] Schweizer Baublatt, No 6, Jan. 1969.
- [16] Applied Mechanics Reviews, USA, Vol. 29, February 1976
- [17] Rivista de meccanica, Italien, Nr. 607, 1975.
- [18] Schrifttumkartei Bauwesen, 196 9, Lfg. 3, Nr. 546
- [19] N. W. Murray: Introduction to the Theory of Thin-Walled Structures. The Oxford Engineering Science Series. Clarendon Press, 1984.
- [20] Nowuje Knigi sa rubjeschom (UDSSR), 2, Serie A, 1974 Mathematik
- [21] Konstruktion im Maschinen – Apparate – und Gerätebau, Heft 9, 1976
- [22] N. J. Gimsing: Cable Supported Bridges. Concept and design. (Book). John Wiley & Sons, 1983.
- [23] „Structure“ International data base and Gallery of Structures.
- [24] E. Castillo, A. F. Canteli, V. Esslinger, B. Thürlimann: Statistical Model for Fatigue Analysis of Wires, Strands and Cables. IABSE Proceedings P-82, IABSE Periodica 1/1985, Periodica AIPC, IVHB Periodica, Februar 1985.
- [25] W. Andra, R. Saul: Festigkeit, insbesondere Dauerfestigkeit langer Paralleldraht – bündel. – Der Bautechnik, H. 4, 1979.
- [26] Engineering News-Record, July, 29, 1976
- [27] “Design Thinking of Europe and America Bridges”, 2007, [(5.1)242-248]
- [28] Lagerqvist, O.: Patch Loading – Resistance of Steel Girders Subjected to concentrated Forces. Doctoral thesis, Lulea University of Technology, Div. of Steel Structures, 1994, 159D, Lulea, 1995. /74/
- [29] Spyrou, S., Davison, J. B., Burgess, I. W. and Plank, R. J.: Component Studies for Steelwork Connections in Fire, 5th International Conference on Stability and Ductility of Steel Structures, Budapest, Hungary, (2002) pp. 769-776. (12)
- [30] Kuhlmann, U., Seitz, M.: Zum Tragverhalten längsversteifter Blechträger unter konzentrierter Lasteinleitung. In: Ofner, R. (Hrsg.) ; Unterweger, H. (Hrsg.): Festschrift Univ.-Prof. Richard Greiner. Institut für Stahlbau, Holzbau und Flächentragwerke – Universität Graz, 2001, S. 19 – 28.
- [31] Davaine, L.: Formulation de la résistance au lancement d’une âme métallique de pont raidie longitudinalement (Résistance dite de “Patch Loading”), These de docteur en Genie Civil, INSA (L’Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, France, 2005, 270. /62/ Adey, B. T. 67

ИМЕНСКИ РЕГИСТАР

- Adey, B. T., 67
 Agarwal, S. K., 23
 Ahuja, B. M., 18
 Andra, W., 55
 Babu, B. J., 14
 Benscoter, Stanley U., 45
 Bernabeu Larena, Jorge, 34
 Biliszczyk, Jan, 66
 Božović, Aleksandar, 19
 Burgess, Ian W., 72, 73
 Canteli, A. Fernández, 55
 Castillo, Enrique, 55
 Christensen, N. B., 45
 Cvetković, Slobodan, 50, 51, 63
 Ćorić, Branislav, 70
 Davaine, Laurence, 74
 Davison, Buick J., 72
 Dinić, Stojan, 63
 Doernberg, Meier, 68
 Donnell, L. H., 22, 23
 Đurić, Milan, 11, 13, 29
 Esslinger, Volker, 55
 Euler, Leonhard, 18
 Fernandez Troyano, Leonardo, 59
 Fredholm, Ivar, 18, 26
 Gimsing, Niels J., 53
 Girkmann, Karl, 11
 Gojković, Ljubiša, 63
 Green, George, 18, 19, 26
 Grob, Josef, 67
 Hajdin, Rade, 67
 Hadid, Hassoun A., 14, 18, 22
 Hlitičijev, Jakov, 11
 Jevtović, Ljubomir, 47, 50, 51, 56
 Kármán, Theodore von, 45
 Krajčinović, Dušan, 14, 15
 Krawczyk, Jozef, 66
 Kollbruner, Curt F., 35, 49, 69
 Krishna, D., 23
 Kuhlmann, Ulrike, 73
 Lagerqvist, Ove, 71, 72
 Lazović, Miloš, 63
 Lukić, Dragomir, 63
 Lučić, Duško, 70
 Mandić, Rastislav, 63, 66, 68
 Marković, Nenad, 70, 71, 72, 73, 74
 Marcus, Henri, 13
 Matić, Vladimir, 50, 51
 Menn, Christian, 59
 Mohamed, M. A., 18
 Montens, Serge, 59
 Muller, Jean, 58, 59
 Müller, H. R., 63
 Murray, Noel W., 45
 Nather, Friedrich, 33
 Navier, Claude-Louis, 9
 Plank, Roger J., 72, 73
 Roberts, Terry M., 74
 Rydzewski, Janusz R., 19
 Saint – Venant, Barré de, 9
 Sankaran, S., 14, 22
 Saul, R., 55
 Sclaisch, Jörg, 59
 Seitz, Martin, 73
 Simpson, Thomas, 23, 26
 Spyrou, Spyros, 72, 73
 Srećković, Gradimir, 63
 Srinivasan, R. S., 14, 22
 Svensson, Holger C., 59
 Stilwell, Roger S., 14
 Stipanić, Bratislav, 49, 66
 Škaloud, Miroslav, 70
 Thürlimann, Bruno, 55
 Tottenham, H., 19
 Virlogeux, Michel, 59
 Wachalski, Krzysztof, 66
 Weddle, Thomas, 23, 26
 Yingliang Wang, 57

CIP – Каталогизација у публикацији
Народна Библиотека Србије, Београд

012 Хајдин Н.
624 : 929
016 : 624

Шумарац, Драгослав, 1955 –

Најзначајнији научни и стручни радови
Николе Хајдина : у коментарима иностране
литературе : у част осамдесет пет година живота /
Драгослав Шумарац, Братислав Стипанић, Ненад
Марковић . – Београд : Институт техничких наука
САНУ, 2008 (Београд : Публикум) . – 80 стр. :
илустр. ; 24 см

Слика Н. Хајдина . – Тираж 500 . – Напомене и
Библиографске референце уз текст . –
Библиографија : стр. 76-77.

ISBN 978-86-80321-17-2

1. Стипанић, Братислав, 1949 – [аутор] 2.

Марковић, Ненад, 1951– [аутор]

а) Хајдин, Никола (1923 –)

Биобиблиографије

COBISS.SR – ID 154708492

Захваљујемо се на помоћи и сарадњи у реализацији ове књиге:

