

APLICAȚII INDUSTRIALE-PRACTICIANUL SUDOR INDUSTRIAL APPLICATION-WELDING PRACTITIONER

Scurt istoric al podurilor sudate din România, de la primul pod sudat din 1931 până în prezent

Brief history of welded bridges in Romania, from the first welded bridge in 1931 to the present day

Radu Băncilă

Universitatea Politehnica din Timișoara

Rezumat

România este una dintre țările europene în care industria siderurgică a început în secolul al XVIII-lea. În a doua jumătate a secolului al XIX-lea, STEG – Compania Căilor Ferate Austriece a dezvoltat în partea de vest a țării – la Reșița – producția de oțel și a introdus tehnologii moderne de oțel. În acest timp toate legăturile podurilor au fost nituite. Primele evoluții în racordurile sudate pentru poduri din oțel au apărut în anii '30 ai secolului trecut, înlocuind racordurile tradiționale nituite. Primul pod sudat din România a fost fabricat și ridicat la Reșița în 1931. În anii 1950 și 1960, podurile sudate din oțel fabricate în fabrici în condiții controlate și ridicate pe șantier prin șuruburi de înaltă rezistență sau prin sudură, devin modalitatea obișnuită în construcția de aceste structuri. După câțiva ani de experiență, în 1966 a început construcția podului Dunării la Giurgeni; este o structură complet sudată. În 1986 a fost inaugurat noul complex de poduri dunărene din zona Fetești – Cernavodă cu poduri sudate. Lucrarea prezintă o privire de ansamblu asupra istoriei și dezvoltării podurilor sudate în România.

Cuvinte cheie

poduri de oțel, îmbinări sudate, comportament la oboseală, rupere fragilă, defecte

Abstract

Romania is one of the European countries where the steel industry started in the 18th century. In the second part of the 19th century the Austrian Railways STEG – Company developed in the western part of the country – in Reșița – the production of steel and introduced modern steel technologies. In this time all the connections of the bridges were riveted. The first developments in welded connections for steel bridges appeared in the '30 of the last century, replacing the traditional riveted connections. The first welded bridge in Romania was fabricated and erected in Reșița in 1931. In the 1950's and 1960's, steel welded bridges fabricated in the plants under controlled conditions and erected on site by high strength bolts or welding, become the usual way in the construction of these structures. After some years of experience, in 1966 begun the construction of the Danube bridge in Giurgeni; it is a completely welded structure. In 1986 the new complex of Danube bridges in the Fetești – Cernavodă area with welded bridges was inaugurated. The paper presents an overview of the history and development of welded bridges in Romania.

Keywords

steel bridges, welded connections, fatigue behaviour, brittle fracture, defects

1. Introducere

Construcția podurilor a reprezentat de-a lungul secolelor un element de referință în istoria dezvoltării societății, a culturii națiunii, a civilizației și a nivelului bunăstării. Multe dintre aceste structuri au fost nu numai culmi ale unei tehnici perfecte, ci și monumente de artă, unele dintre ele păstrate până

1. Introduction

Bridge construction represented along centuries a reference element in the society development history, of the nation culture, civilization and welfare level. Many of these structures have been not only heights of a perfect technique, but also art monuments, some of them preserved till nowadays. The

În zilele noastre. Istoria podurilor de oțel a început în 1779 odată cu construcția podului Coalbrookdale din fontă, cu o deschidere de $L=31\text{m}$. A devenit un sit al Patrimoniului Mondial UNESCO în 1986 și rămâne o caracteristică emblematică a trecutului industrial al Marii Britanii. Fonta se obținea topind minereul de fier prin intermediul cărbunelui, în instalații din ce în ce mai perfectibile, în cuptoare, încărcate din partea superioară și cu suflare de aer prin orificii speciale amplasate în partea inferioară. Revoluția industrială, începută în secolul al XVIII-lea, a condus la creșterea intensivă a producției de metale și la perfecționarea metodelor de elaborare. Dacă în 1740 s-au produs doar 17.400 de tone de fontă, în 1834 s-au realizat 700.000 de tone, iar în 1876 s-au realizat circa 6,6 milioane de tone. Podurile din fontă, concepute ca poduri cu arc, permiteau deschideri mari. Podurile din fontă nu dăduseră încă rezultatele scontate, deoarece utilizarea acestui material necesită lucrări complicate și costuri ridicate. În plus, fonta era casantă, având o rezistență redusă la tracțiune, producând numeroase accidente, ceea ce a făcut ca, în timp, să fie interzisă în construcția podurilor. Apariția oțelului forjat la sfârșitul secolului al XVIII-lea (1784) și apoi a oțelurilor blânde (Bessemer în 1856 și Thomas în 1880) duce la construirea de poduri de oțel având deschideri din ce în ce mai mari și chiar recorduri, precum podurile duble de cale ferată, Firth of Forth (1890) în Scoția cu cele două grinzi ale sale de 521 m și Quebec (1917), cu o grindă centrală de 548 m. De la sfârșitul secolului al XVIII-lea și mai ales în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, când a început campania construcțiilor de căi ferate, oțelul începe să înlocuiască lemnul și piatra de construcții, remarcându-se tot mai mult ca material cu posibilități nebănuite în construcția podurilor.

2. Începuturile

La noi, unul dintre pionierii în construcția de poduri de fier a fost Karl Maderspach [1]. El a conceput și ridicat un număr important de poduri cu arc legate din fontă (figura 1).

Podurile din arcade din fontă proiectate de inginerul Karl Maderspach și construite de uzina Maderspach-Hoffmann din Rusca Montană (Banat), cu amplasamente pe râul Timiș în Caransebeș (figura 2), Lugoj (figura 1) și în Herculane peste râul Cerna - pot fi considerate pionierate absolute. Cu un concept original, erau adevărate opere de artă care astăzi ar reprezenta cu siguranță atracții pentru aceste orașe.

history of steel bridges begun in 1779 with the construction of the Coalbrookdale bridge made of cast iron, with a span of $L=31\text{m}$. It became a UNESCO World Heritage Site in 1986 and remains an iconic feature of Britain's industrial past. The cast iron was obtained melting the iron ore by means of coal, in more and more perfectible installations, in furnaces, loaded from the superior part and with air blowing by special holes placed at the inferior part. The industrial revolution, started in the XVIII century, led to the intensive increase of metal production and the improvement of the elaboration methods. If in 1740 only 17.400 tons of cast iron were produced, in 1834 700.000 tons, and in 1876 at about 6.6 million of tons were realized. The cast iron bridges, conceived as arch bridges, allowed large spans. The cast iron bridges had not given the expected results yet, as the use of this material needs complicated works and high costs. Additionally, the cast iron was brittle, having low tensile strength, producing many accidents, which made it, in time, to be forbidden in bridge construction. The appearance of the wrought steel at the end of the XVIII century (1784) and then of mild steels (Bessemer in 1856 and Thomas in 1880) leads to the construction of steel bridges having more and more large spans and even records, such as the double railway bridges, Firth of Forth (1890) in Scotland with the two spans of 521 m and Quebec (1917), with the central span of 548 m.

From the end of the XVIII century and especially in the second half of the XIX century, when the campaign of railways constructions started, steel begins to replace timber and building stone more and more distinguishing itself as a material having unsuspected possibilities in bridge construction.

2. The beginnings

In our country, one of the pioneers in the construction of iron bridges was Karl Maderspach [1]. He conceived and erected an important number of cast iron tied arch bridges (figure 1).

The bridges made of cast iron arches designed by the engineer Karl Maderspach and built by Maderspach-Hoffmann plant in Rusca Montana (Banat), with locations on river Timis in Caransebes (figure 2), Lugoj (figure 1) and in Herculane over the river Cerna - can be considered as absolute pioneering. With an original concept, they were real art objects, that today would certainly represent attractions for

Nu au rezistat la timp. Câțiva ani mai târziu a fost descoperit oțelul turnat rafinat, un progres pentru această perioadă. Dar defectele binecunoscute ale tehnologiei de turnare, prin care se obține oțel cu fiabilitate scăzută, agravează fenomenul de oboseală sub sarcini repetate pe măsură ce apar fisuri și fracturi periculoase. Podurile realizate din oțel turnat, sunt supuse unei supravegheri atente și cu foarte puține excepții au fost înlocuite cu poduri noi din oțel moale.

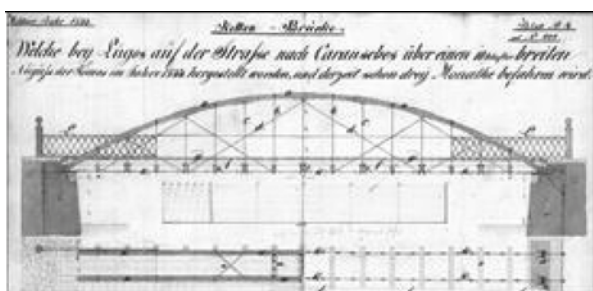


Figura 1. Pod din Lugoj (1833-1845)
Figure 1. Bridge from Lugoj (1833-1845)

Odată cu înființarea „Kaiserliche und Königliche Privilegierte Österreichische Staatseisenbahngesellschaft” (St.EG) la Reșița în 1771, construcțiile din oțel, în general, și construcțiile de poduri, în particular, primesc un nou impuls. Este important de menționat că majoritatea podurilor de oțel construite în vestul României și în Europa de Est pe teritoriul antic al Imperiului Austriac, au fost realizate la Reșița.

După realizarea cu succes a podurilor dunărene în perioada 1890 – 1895 (figura 3), constructorii de poduri s-au orientat cu curaj către utilizarea oțelului moale în execuția podurilor de oțel, înlocuind complet oțelul de băltoacă. În acest fel au fost executate majoritatea podurilor mari, folosind structuri nituite din plăci de oțel de 8- 20 mm și profile din oțel moale de tip OL37 (St 37) [2].

these cities. They did not resist in time. Some years later the wrought steel was discovered, a progress for this time. But the well-known defects of the puddle technology, by which low reliability steel is obtained, aggravate the fatigue phenomenon under repeated loads as dangerous cracks and fractures appear. Bridges realized out of puddle steel, are subjected to an attentive surveillance and with very few exceptions have been replaced with new mild steel bridges.

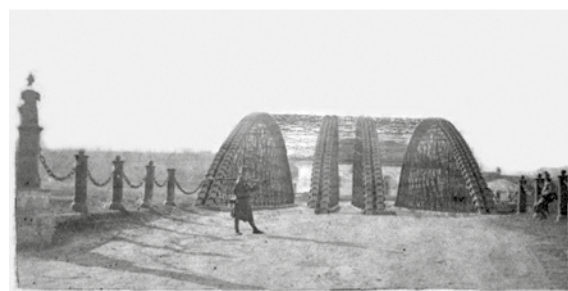


Figura 2. Podul peste râul Timiș în Caransebeș 1831-1897
Figure 2. Bridge over Timiș River in Caransebeș 1831-1897

With the founding of the „Kaiserliche und Königliche Privilegierte Österreichische Staatseisenbahngesellschaft” (St.E.G.) in Reșița in 1771, steel and bridge construction become a new impulse. It is important to mention that the majority of steel bridges build in the western part of Romania and in Eastern Europe on the ancient territory of the Austrian Empire, were made in Resita.

After the successful construction of the Danube bridges in the period 1890 – 1895 (figure 3), the bridges constructors oriented with courage to the use of mild steel in the execution of steel bridges, replacing the puddle steel completely. In this way were executed the majority of large bridges, using riveted structures from steel plates of 8- 20 mm and mild steel profiles of the OL37 (St 37) type [2].

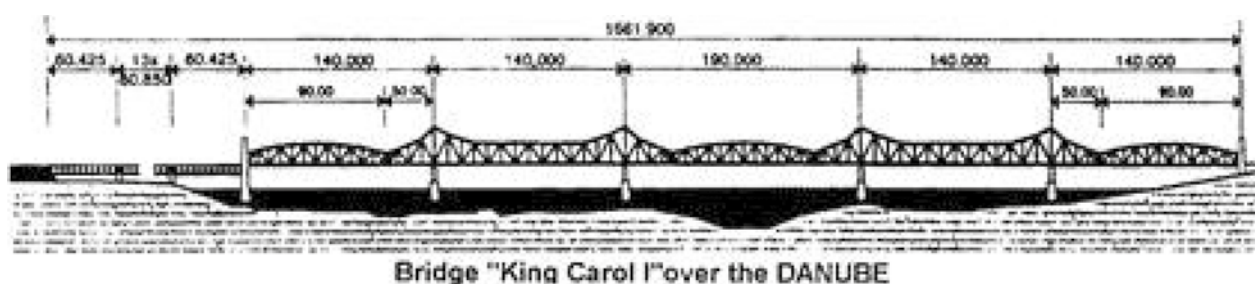


Figura 3. Podul feroviar peste Dunăre de la Cernavodă – Fetești (Anghel Saligny- 1895)
Figure 3. The railway Danube bridge in Cernavodă – Fetești (Anghel Saligny- 1895)

Toate aceste realizări au prefigurat construcția de poduri din oțel sudate ulterior.

All these achievements prefigured the construction of later welded steel bridges.

3. Primii pași

După Primul Război Mondial, construcțiile de poduri din oțel capătă noi valențe, odată cu îmbunătățirea procesului de elaborare a oțelului, diversificarea calităților de oțel, îmbunătățirea metodelor de analiză și s-a cunoscut mai bine comportamentul construcției din oțel în condiții de încărcare diferită. Apariția și dezvoltarea sudurii, precum și avantajele economice ale îmbinărilor sudate, prin reducerea costurilor de fabricație și a materialului oțel, au impus această nouă tehnologie de asamblare a structurilor din oțel.

La început s-a folosit același oțel moale și aceleași tipuri de îmbinare și detalii constructive ca la podurile din oțel nituite, fără a realiza necesitatea oțelurilor cu caracteristici speciale de sudabilitate și a utilizării unor soluții constructive specifice. În consecință, primele rezultate practice au fost descurajatoare.

Seria accidentelor a început în 1938, când o grindă a viaductului Rüdersdorf, unul dintre cele 50 de poduri cu grinzi realizate din elemente sudate, construite în perioada 1931-1937 în Germania, s-a prăbușit. Cauza accidentului a fost o fisură la una dintre flanșele inferioare ale grinzii principale (figura 4) [3].

Două luni după acest eveniment cedează Podul Hasselt, având o deschidere de 74,50 m, sudată integral, cu structura constând din grinzi de tip Vierendeel [4]. Construită din oțel belgian cu rezistență de 420-450 N/mm², structura a suferit o avarie din cauza ruperii coardei inferioare, care avea o grosime de 55 mm, prea mult pentru a asigura omogenitatea oțelului în acele timpuri (figura 5). Aceste evenimente au dus la suspendarea, în Germania, a execuției de poduri sudate. Cercetările făcute în acea perioadă, și ulterior celui de-al Doilea Război Mondial, au condus la următoarele concluzii:

- fisuri produse fragilizării zonei influențate termic (ZIT);
- sudarea nu este contraindicată pentru poduri, dar este necesar să se folosească un oțel cu condiții optime de sudare;
- construcțiile sudate trebuie executate și controlate riguros;
- trebuie considerate detalii constructive corespunzătoare, pentru evitarea concentrărilor de tensiuni;
- necesitatea unor noi oțeluri de calitate superioară, ușor sudabile, cum ar fi oțelurile calmate, oțelurile cu granulație fină, limitarea conținutului de carbon la maximum 0.2%.

3. First steps

After the First World War, steel bridge constructions get new valences, once the steel elaboration was improved, and the steel grades were diversified, the analysis methods were improved, and the steel construction behaviour under due to different loadings was better known.

The appearance and development of welding, as well as the economic advantages of welded connections, through the reduction of the fabrication costs and of the steel material, imposed this new assembling technology for steel structures.

In the beginning the same mild steel was used and the same joining types and constructive details as for riveted steel bridges, without realizing the necessity of steels with special weldability characteristics and the use of specific constructive solutions. In consequence the first practical results were discouraging. The series of accidents begun in 1938 when a span of the Rüdersdorf viaduct, one of the 50 welded plate girder bridges, built in the period 1931-1937 in Germany, collapsed. The cause of the accident was a crack in one of the lower flanges of the main girder (figure 4) [3].

Two months after this event the Hasselt Bridge fails, having a span of 74.50 m, integrally welded, with the structure consisting in Vierendeel type girders [4]. Built from Belgian steel with strength of 420-450 N/mm², the structure failed due to the fracture of the lower chord, which had a thickness of 55 mm, too much to assure, homogeneous steel, at that time (figure 5).

These events led to the suspension, in Germany, of welded bridges execution.

Researches made in that period, continued after the World War II led to the following conclusions:

- fractures produced due to the fact that material becomes brittle in the heat affected zone (HAZ);
- welding is not contra-indicated for bridges, but it is necessary to use a steel having optimum welding conditions;
- welded constructions must be rigorous executed and controlled;
- suitable constructive details, to avoid stress concentrations;
- necessity of some new quality weldable steels, like killed steels, fine grained steels, limiting the carbon content to maximum 0.2%

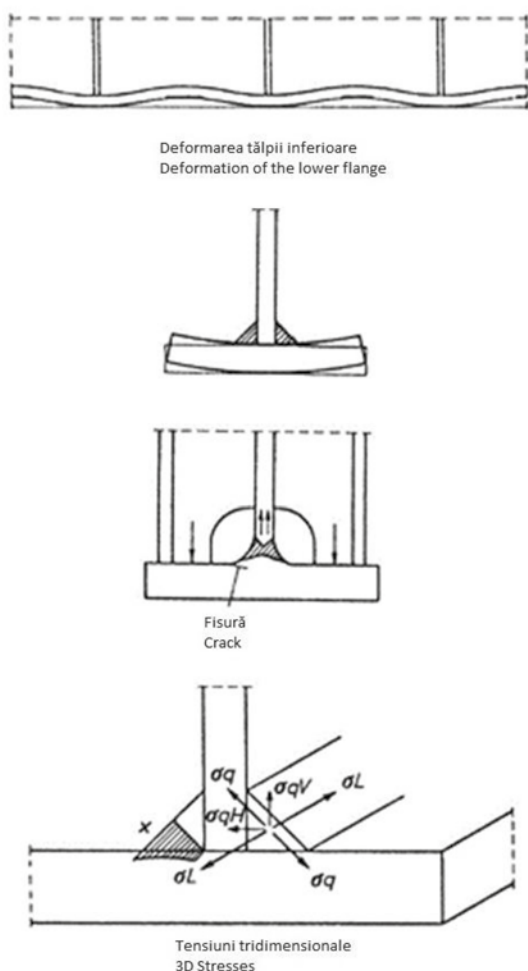


Figura 4. Pod din Lugoj (1833-1845)

Figure 4. Bridge from Lugoj (1833-1845)

Construcțiile sudate sunt mult mai simple; consumul lor de oțel este mai mic și permite executarea de diverse forme, care răspund bine cerințelor privind rezistența mecanică. Sudarea elementelor se realizează prin topirea cu arc electric și introducerea de material de adaos topit, prin procedee manuale, mecanizate sau automatizate. Sudarea elementelor se realizează prin topire. Structurile sudate aduc o economie de oțel de aproximativ 15-20% și o economie a costurilor de fabricație, asigurând o transmitere directă a eforturilor.

Tehnologia de sudare îmbunătățită, precum și noile calități de oțel sudabil, au impulsat apariția unor noi structuri de poduri din oțel, cu soluții constructive specifice pentru îmbinările sudate.

4. Primul pod sudat din Reșița

Primul pod complet sudat cu grinzi din plăci a fost construit în 1927 în Pennsylvania (SUA). În Europa, proiectantul primului pod complet sudat a fost inginerul polonez Stefan Bryła (1886–1943) [5]. Podul rutier este situat în centrul Poloniei, lângă Lodz.

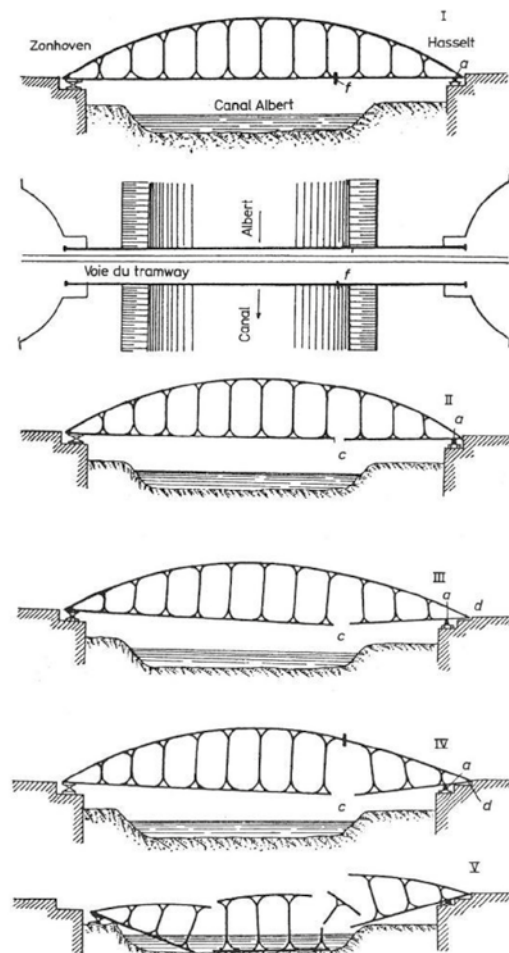


Figura 5. Prăbușirea Podului Hasselt (Belgia)

Figure 5. Collapse of the Hasselt Bridge (Belgium)

Welded constructions are much simpler; their steel consumption is lower and allows the execution of various shapes, which respond well to the strength requirements. The welding of elements is made by the electric arc melting and addition of melted material, by means of manual, mechanized and automated processes. The welding of elements is made by fusion. Welded structures bring an economy of steel of about 15- 20% and a fabrication costs economy, assuring a direct transmission of efforts.

The improved welding technology, as well as the new weldable steel grades, impelled the appearance of new steel bridge structures, with specific constructive solutions for welded joints.

4. First welded bridge in Reșița

The first fully welded bridge with plate girder beams was built in 1927 in Pennsylvania (USA). In Europe, the designer of the first fully welded bridge was the Polish engineer Stefan Bryła (1886–1943) [5]. The road bridge is located in central Poland near Lodz.

Podul este o grindă de ferme cu o deschidere de $L = 27$ m și o lățime de 6,76 m (figura 6). Structura a fost construită în 250 de zile de către trei sudori, realizând o economie de 17% față de versiunea similară cu nituire. În perioada 9-12 august 1929 a fost efectuată o încercare de sarcină, după care a fost dat în exploatare podul. Structura complet sudată a deschis o nouă eră în Europa în domeniul podurilor din oțel sudate. După deteriorarea structurii în al Doilea Război Mondial, structura restaurată este acum un monument de artă tehnică a ingineriei care servește drept punte pentru pietoni.



Figura 6. Primul pod sudat din Europa (Polonia, 1929) – a. astăzi, b. imediat după construire
Figure 6. First welded bridge in Europe (Poland, 1929) – a. nowadays, b. after the building

În țara noastră, primul pod complet sudat a fost construit în anul 1931, fiind podul din Reșița numit Podul Stavila (clasat monument istoric sub CS-II-m-B-10903) peste râul Bârzava. Grinda principală este o grindă parabolică cu diagonale descendente (tensionate) și stâlpi verticali (comprimați), păstrând compoziția tipică a structurilor nituite (figura 7). În timpul lucrărilor de sistematizare din 1970, structura a fost finalizată acoperită. Deși încă utilizabilă, amplasarea într-o locație total nefavorabilă și acoperită de noul pod de beton îl scoate din circuitul de interes al orașului. În 2016, la o inițiativă locală, a fost instalată o placă comemorativă la 85 de ani de la inaugurarea structurii (figura 8) [6].



Figura 7. Podul „Stavila” – Reșița; fotografie actuală
Figure 7. „Stavila” bridge – Reșița; nowadays photograph

In our country, the first completely welded bridge was built in 1931, being the bridge in Resita called Stavila Bridge (classified as a historical monument under CS-II-m-B-10903) over the river Bârzava. The main girder is a parabolic truss girder with descending (tensioned) diagonals and vertical (compressed) posts, keeping the typical composition of riveted structures (figure 7). During the systematization works of 1970, the structure was completed covered. Although still usable, the location in a totally unfavourable location and covered by the new concrete bridge removes it from the circuit of interest of the city. In 2016, at a local initiative, a commemorative plaque was installed 85 years after the inauguration of the structure (figure 8) [6].



Figura 8. Podul „Stavila”; placă comemorativă (1991)
Figure 8. „Stavila” bridge; Commemorative plaque (1991)

Cel de-al doilea pod sudat construit în țara noastră (clasat monument istoric sub CS-II-m-B-10911) în

The second welded bridge built in our country (classified as a historical monument under CS-II-m-B-10911) in

soluție modernă este situat peste râul Bârzava în zona centrală a Reșiței și desparte orașul în două părți: Reșița Română și Reșița Montană. Este considerat primul pod modern sudat din România, fiind construit de firma Uzinele de Fier și Domeniile Reșița - UDR în anul 1937. „Podul Vamal”, așa cum este cunoscut în zonă, este un pod oblic cu o singură travă. Infrastructura a fost realizată din zidărie de piatră și suprastructura complet sudată, figura 10 [7].

in a modern solution, is located over the river Bârzava in the central area of Reșița and separates the town in two parts: Reșița Română and Reșița Montană. It is considered the first modern welded bridge in Romania, being built by the company Uzinele de Fier și Domeniile Reșița - UDR in 1937. The "Customs Bridge", as it is known in the area, is an oblique bridge with a single span. The infrastructure was made of stone masonry and the superstructure completely welded, figure 10 [7].



Figura 9. „Podul Vamal” – Reșița; fotografie actuală
Figure 9. „Podul Vamal” bridge – Reșița; nowadays photo



Figura 10. Aspecte din timpul construcției structurii [8]
Figure 10. Aspects during the erection of the structure [8]

Soluția constructivă este un pod autostradă oblic modern din grinzi principale de tip Vierendeel (soluție estetică și adecvată pentru grinda sudată), cu coarda superioară poligonală. Structura reabilitată servește în prezent ca un pod pietonal, fiind perfect integrată în centrul istoric al orașului.

După anul 1955, podurile din oțel sudate trec peste faza experimentală.

În domeniul podurilor de cale ferată, sudarea este introdusă ulterior, cu multă prudență, caracteristică administrației feroviare, executând structuri pentru poduri de linie secundară, combinând îmbinări sudate realizate în fabrică cu îmbinări nituite sau bolțuri realizate in situ. Începutul a fost anul 1959, cu o deschidere de 32,00 m, pe calea ferată îngustă

The constructive solution is a modern skew highway bridge made of Vierendeel type main beams (an aesthetic and adequate solution for welded girder), with polygonal upper chord. The rehabilitated structure currently serves in present as a pedestrian bridge, being perfectly integrated in the historic centre of the city.

Beyond 1955 welded steel bridges pass over the experimental phase.

In the field of the railway bridges, the welding is introduced later, with much prudence, characteristic for the railway administration, performing structures for secondary line bridges, combining welded joints made in the plant with riveted or bolts connections made in situ. The beginning was the year 1959, with a 32.00m span, on the narrow railway Cristești –

Cristești – Lechința. În anul 1961 este fabricat primul pod cu grinzi sudate, pentru un pod feroviar normal pe linia Titu-Pietroșița, având secțiuni transversale T din plăci sudate. În 1964 se ridică peste râul Olt la Slătioara un pod de cale ferată, format din două grinzi de 56,20 m, grinzi cu zăbrele [9].

5. Îmbunătățiri tehnologice și constructive. Poduri cu deschidere mare realizate în România

La început s-au fabricat poduri sudate, dintr-un oțel special elaborat de CS RESITA, tip 17M13 (oțel slab aliat cu 0,17 % C și 1,3% Mn), care a fost folosit până în 1969, când standardul pentru oțelul de structură, STAS 500-69 a intrat în vigoare, iar podurile au fost realizate din oțel OL 37.4.K. În această perioadă se generalizează execuția podurilor din oțel astfel încât, din 1960 până în 1980, se construiesc peste 750 de structuri metalice.

Primul pod sudat integral este realizat în anul 1965 pentru podul rutier peste râul Olt la Căineni și acoperă trei grinzi de 37,00 + 45,90+37,70 m (figura 11). Executat din oțel calmat OL 37 fabricat de ICM BOCSA, tablierul podului de la Căineni a fost un precursor al Podului de peste Dunăre de la Giurgeni – Vadul Oii, experimentând pentru prima dată în România soluția constructivă a tablierului ortotrop și tehnologiile de sudare corespunzătoare. Construcția de poduri din tablă de oțel ortotropă a început după cel de-al Doilea Război Mondial, din cauza nevoii extinse de poduri de autostradă, cu deschidere lungă, peste marile râuri europene. Tablierul podului de la Căineni, este o grindă continuă, de înălțime variabilă de la 2,80 m pe reazem la 1,60 m în zona suspendată, are la flansa superioară o placă de tablă de 8300 x 10 mm, rigidizări de 150 x 10 mm la distanța de 290 mm și grinzi transversale de 450 x 8 mm cu flanșe de 140 x 12 mm.

Flanșa inferioară a celor două grinzi principale a fost realizată din tablă de 570 x 25 mm și a fost necesar să se prevadă o a doua placă de 420 x 25 mm în zona momentului maxim. Pe lame sunt prevăzute rigidizatoarele orizontale și verticale, rigidizatoarele verticale se montează pe flanșe cu plăci mici, fără suduri. Podul peste Dunăre de la Giurgeni - Vadul Oii, dezvoltat în 1966-1970 (în această zonă Dunărea are un singur braț), asigură legătura de la București la Marea Neagră; podul are patru benzi, figura 12 [10]. Structura are 720 m lungime peste albia minoră (120,00 + 3,00 x 160,00 + 120,00 m), împreună cu

Lechința. In 1961 the first welded truss girder bridge is fabricated, for a normal railway bridge on the line Titu-Pietroșița, having T cross-sections from welded plates. In 1964 a railway bridge is erected over the Olt River at Slătioara, consisting in two spans of 56.20m, truss girders [9].

5. Technological and constructive improvements. Large span bridges realised in Romania

In the beginning welded bridges were manufactured, of a special steel elaborated by C.S. RESITA, 17M13 (low alloy steel with 0,17 % C and 1,3% Mn) type, which was used up to 1969, when the standard for structural steel STAS 500-69 came into force, and bridges were made from OL 37.4.K steel. In this period the execution of steel bridges is generalized so that from 1960 to 1980 over 750 steel structures are built.

The first integrally welded bridge is realized in 1965 for the road bridge over the Olt River at Căineni and covers three spans of 37.00 + 45.90+37.70 m (figure 11). Executed from OL 37 killed steel manufactured by ICM BOCSA, the bridge deck from Căineni was a precursor of the Danube Bridge from Giurgeni – Vadul Oii, experimenting for the first time in Romania the constructive solution of orthotropic deck and corresponding welding technologies. Construction of orthotropic steel plate bridges started after World War II, because of the extensive need for long span highway bridges over major European rivers. The deck of the bridge from Căineni, is a continuous girder, of variable height from 2.80 m on the bearing at 1.60 m in the field, has at the upper flange a sheet plate of 8300 x 10 mm, stringers of 150 x 10 mm at 290 mm distance and cross girders of 450 x 8 mm with flanges of 140 x 12 mm.

The lower flange of the two main girders was made out of 570 x 25 mm plate and it was necessary to provide a second plate 420 x 25 mm in the maximum moment zone. Horizontal and vertical stiffeners are provided on webs, the vertical stiffeners are fitted in on the flanges with small plates, without welds.

The bridge over the Danube at Giurgeni – Vadul Oii, developed in 1966-1970 (in this area the Danube has only one branch), assures the connection from Bucharest to the Black Sea; the bridge has four lanes, figure 12 [10].

The structure is 720 m long over the minor riverbed

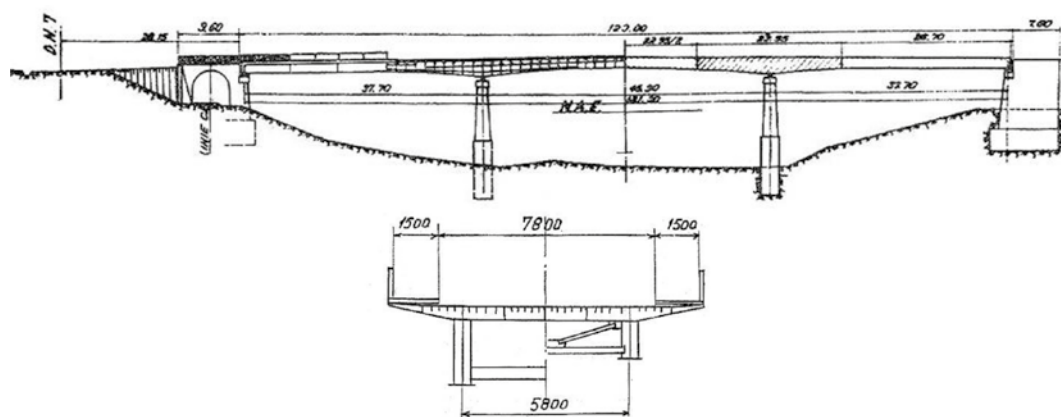


Figura 11. Primul pod cu tablier ortotropic - Câineni
Figure 11. The first bridge with orthotropic deck - Câineni

viaductele de acces însumând o lungime totală de $L = 1464,4$ m. Structura principală este o grindă continuă pe cinci travee, cu grinzi plăci de înălțime variabilă de la 4,00 m în zona suspendată până la 7,50 m pe lagăre, și tablier ortotrop.

O problemă specială a fost furnizarea de oțel necesar. În perioada 1959 -1961 când a fost conceput studiul inițial, fabricarea de oțel de înaltă rezistență clasa 52 (slab aliat) era bine cunoscută și acest oțel era folosit în mod obișnuit la construcția de poduri din oțel în partea de vest a Europei.

($120.00 + 3 \times 160.00 + 120.00$ m), together with the access viaducts summing up a total length of $L=1464.4$ m. The main structure is a continuous girder on five spans, with plate girders of variable height from 4.00 m in the field to 7.50 m on the bearings, and orthotropic deck. A special problem was the supply of the necessary steel. In the period of 1959 -1961 when the initial study was conceived, the production of high strength steel class 52 (low alloyed), was well known and this steel was commonly used in the construction of steel bridges in the western part of Europe.

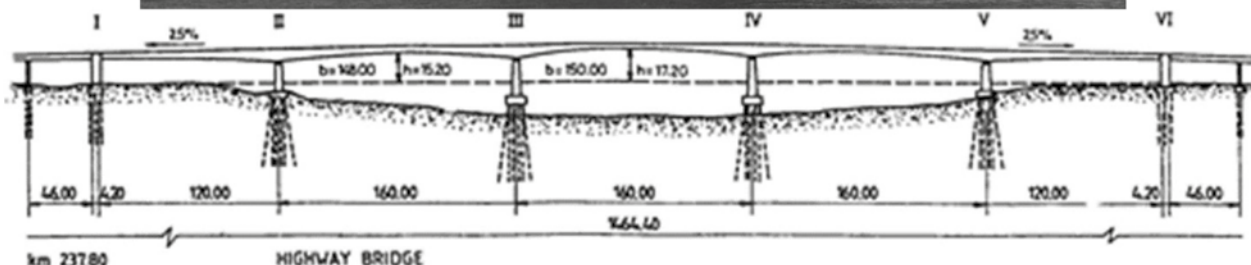


Figura 12. Podul de autostradă peste Dunăre la Giurgeni - Vadul Oii (1970) [10]
Figure 12. The highway Danube bridge in Giurgeni - Vadul Oii (1970) [10]

Industria românească nu a fost capabilă să producă acest oțel și într-un prim pas s-a prevăzut importarea acestuia. Cinci ani mai târziu, când a început construcția podului, România producea deja oțelul

Romanian industry was not able to produce this steel and in a first step it was provided to import it. Five years later, when the construction of the bridge begun, Romania produced already the steel 17M13

17M13 din clasa St 52, la Galați. Subansamblele tablierului au fost fabricate la Bocșa. În 1966, în subansamblele depozitate pe șantier s-au descoperit fisuri, iar fabricarea a fost oprită la Bocșa, în octombrie 1966. La acel moment erau deja fabricate 1000 t. Analiza făcută în acest timp a relevat:

- Compoziția neomogenă a oțelului;
- Pregătirea insuficientă a elementelor înainte de sudare;
- Tehnologie de sudare necorespunzătoare.

Într-o a doua fază, oțelul a fost realizat la CS Reșița în cuptoarele Siemens – Martin, iar plăcile au fost laminate la Galați. Au fost efectuate multe teste; au demonstrat o calitate constantă bună a oțelului. În tabelul 1 este prezentată evoluția calității oțelului. Podul a fost inaugurat în 1970. Comportarea podului, după mai bine de 50 de ani de funcționare, este normală.

Dincolo de 1970 construcția structurilor sudate este generalizată (figura 13). Pentru podurile de cale ferată sudarea se limitează la asamblarea componentelor și elementelor din instalație, fiind utilizate șuruburi cu nituire in situ sau pretensionate de mare rezistență. În acest fel au fost executate poduri de oțel cu travee de 64,20 m (pod peste râul Siret la Bărboși). Totodată, pentru podurile cu deschidere mică și mijlocie au fost adoptate noi soluții constructive cu elemente sudate (figura 14).

from the class St 52, in Galati. The deck sub-assemblies were manufactured in Bocșa. In 1966, in the sub-assemblies stored on site, cracks were discovered, and the fabrication was stopped in Bocșa, in October 1966. At that time 1000 t were already manufactured. The analysis made in this time revealed:

- The inhomogeneous composition of the steel;
- Insufficient preparation of elements before welding;
- Improper welding technology.

In a second phase the steel was made at CS Reșița in Siemens – Martin furnaces and the plates were rolled in Galati. Many tests were performed; they demonstrated a constant good quality of the steel. In table 1 the evolution of the steel quality is presented. The bridge was inaugurated in 1970. The behaviour of the bridge, after more than 50 years of operation is normally. Beyond 1970 the construction of welded structures is generalized (figure 13). For the railway bridges the weld is limited to assembling components and elements in the plant, and in situ riveted or high strength pre-tensioned bolts are used. In this way were executed steel bridges with spans of 64.20 m (bridge over the Siret River at Bărboși). At the same time, for small and middle span bridges new constructive solutions have been adopted with welded elements (figure 14).

Tabelul 1. Evoluția calității oțelului OL 52

Table 1. Evolution of OL 52 steel quality

Mărci uzinale Works mark Furnizori Suppliers C.S. Reșița C.S. Galați		U.M. M.U.	17 M 13 STAS 6928-64	OL 52 3a propuneri caiet sarcini Technical specification proposed	OL52 3a A (C38)Caiet sarcini aprob. 1967 Technical specification approved	OL 52-4B (P.D.) Caiet sarcini aprobat 19.I.1969 Technical specification approved 1969		Rezultate statistice pe produs livrat la UCMMA Bocșa pt. oțel P.D. Statistical data on produce supplied UCMM Bocșa	
								Min	Max
Compoziția chimică Chemical composition	C	%	0.20	0.20	0.20	0.18		0.11	0.16
	Mn	%	1.20/1.50	1.50	1.45	1.50		0.90	1.39
	Si	%	0.55	0.55	0.45	0.55		0.27	0.38
	P	%	0.04	0.045	0.045	0.04		0.010	0.018
	S	%	0.04	0.045	0.45	0.04		0.013	0.023
	Al	%	–	0.025	0.025	0.025		0.028	0.060
	V	%	–	0.06 - 0.17	0.07-0.15	0.012		0.06	0.10
	Ce	%	–	0.484	0.470	0.41		0.31	0.39
R3		kgf/cm ² % kgf/mm ²	36	36t< 16 35t > 16	38t< 16 36t > 16	33	35	34.5	41.6
R			52	52	50	46 – 60	48 – 62	48	65
A5			22	22	22	22	20	27	34.5
Reziliența ISO-T longitudinală Longitudinal resiliency			3.5 la - 10°C	3.5 la - 30°C	3.5 la - 30°C	3.5 la - 30°C		4.2 la - 10°C	16.3 la - 30°C

În perioada 1976-1988 au fost construite un număr mare de poduri cu deschidere mare, cum ar fi cele peste Canalul Dunăre – Marea Neagră și noile poduri

In the period 1976-1988 a great number of large span bridges have been constructed, such as those over the Danube – Black Sea Channel and the new

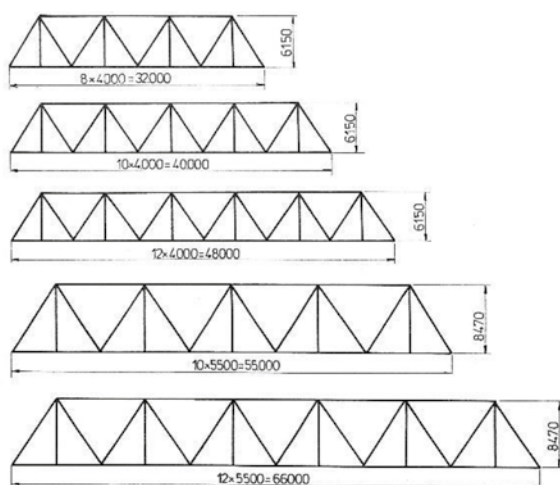


Figura 13. Poduri de cale ferată sudate
Figure 13. Welded railway bridges

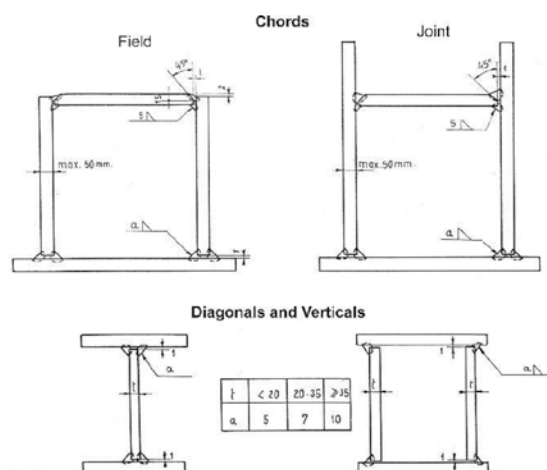


Figura 14. Soluții uzuale pentru secțiunile transversale ale elementelor de ferme
Figure 14. Usual solutions for the cross sections of truss elements

ale Dunării din zona Fetești-Cernavodă (Dunărea are două brațe). În general, sunt de cale ferată dublă: poduri sau poduri combinate de cale ferată și rutieră, cu travee în intervalul 80,00 – 190,00 m, concepute ca sisteme spațiale, însumând peste 50.000 de tone de construcții din tablă de oțel. Soluțiile constructive sunt, în principiu, structuri sudate cu plăci groase OL52, asamblate prin sudură in situ, pentru poduri rutiere și prin nituri sau șuruburi de mare rezistență pentru poduri de cale ferată. Verificarea calității plăcilor și a îmbinărilor sudate pentru aceste lucrări de importanță deosebită, a impus un volum imens de lucrări de examinare nedistructivă [11].

Danube bridges in Fetești - Cernavodă (the Danube has two branches) area. Generally, they are double railway bridges or combined railway and road bridges, with spans in the range 80.00 – 190.00 m, conceived as spatial systems, summing over 50,000 tons of steel plate constructions. The constructive solutions are, in principle, welded structures with OL52 thick plates, assembled by welding in situ, for road bridges and by rivets or high strength bolts for railway bridges. The checking of the quality for the plate and for the welded joints for these special importance works, imposed an immense volume of non-destructive examination works [11].

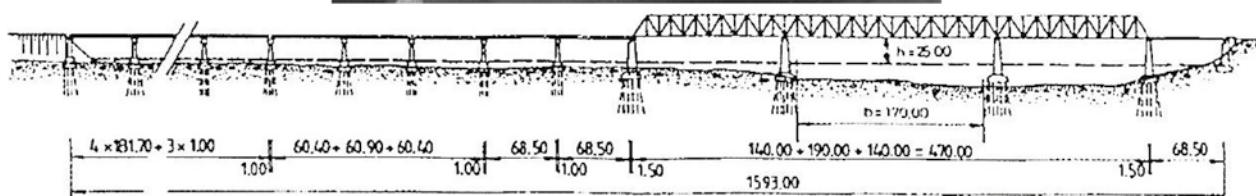


Figura 15. Noile poduri Dunării la Borcea și Cernavodă (1987)
Figure 15. The new Danube bridges in Borcea and Cernavodă (1987)

Traficul de călători și mărfuri pe linia principală București – Constanța a crescut la începutul anilor '70 din cauza dezvoltării economice. Având în vedere și perspectiva unei legături directe de autostradă la Marea Neagră, s-a ales soluția unui nou pod com-

The traffic of passengers and goods on the main line Bucharest – Constanta increased at the beginning of the '70 because of the economic development. Also considering the perspective of a direct motorway connection to the Black Sea, the solution of a

binat (figura 15), în vecinătatea vechilor poduri Dunării existente. Sunt peste 7 km de poduri – structuri combinate cu patru benzi pentru autostradă și o cale ferată dublă, viaducte, diferite treceri și alte structuri auxiliare.

Întregul complex presupunând 21 km de cale ferată dublă, 23 km de autostradă, cu aproximativ 38000 de tone de structuri metalice, infrastructuri, fundații etc., necesită lucrări continue de topografie și întreținere [12]. Suprastructura podurilor principale este un Warren Truss continuu pe trei trave $L = 140 + 190 + 140$ m. Podul este unul combinat, cu două șine pentru calea ferată și patru benzi pentru autostradă, pe consolele laterale (figura 16).

Suprastructura podurilor principale este formată din tablă sudată din oțel, asamblate cu șuruburi pretenzionate de mare rezistență.

Structurile au fost executate din plăci OL 37 și OL 52 selectate din producția actuală, în baza condițiilor dintr-o fișă tehnică specială, devenită apoi standardul STAS 12187/1988. S-au folosit plăci cu grosimea maximă de 50 mm; au fost controlate în SUA având un conținut limitat de sulf pe produs la maximum 0,02% și un echivalent de carbon limitat de 0,44%. Fiecare foaie livrată cu o grosime de 15 – 50 mm a fost examinată cu ultrasunete.

Sudurile cap la cap au fost examinate cu radiații penetrante, iar sudurile în colț cu pătrundere completă au fost examinate cu ultrasunete.

new combined bridge (figure 15), in the vicinity of the existing old Danube bridges was chosen. They are more than 7 km of bridges – combined structures with four lanes for highway and a double railway track, viaducts, different crossings, and other auxiliary structures. This whole complex assuming 21 km of double railway track, 23 km of motorway, with approximately 38000 tonnes steel structures, infrastructures, foundations etc., needs [12] a continuous surveying and maintenance works.

The upper-structure of the main bridges is a continuous Warren Truss over three spans $L = 140 + 190 + 140$ m. The bridge is a combined one, with two tracks for the railway and four lanes for the motorway, on the side cantilevers (figure 16).

The superstructure of the main bridges consists in welded steel decks, assembled with high strength pre-tensioned bolts.

The structures were executed from OL 37 and OL 52 plates selected from the current production, on the basis of conditions in a special technical sheet, which then became the standard STAS 12187/1988. Plates with maximum thickness of 50 mm have been used; they were US controlled having a limited sulphur content on the product to maximum 0,02% and a limited carbon equivalent 0,44%. Every delivered sheet with a thickness of 15 – 50 mm was ultrasonic examined.

The butt welds were examined by radiographer, and the penetrated fillet welds by US.

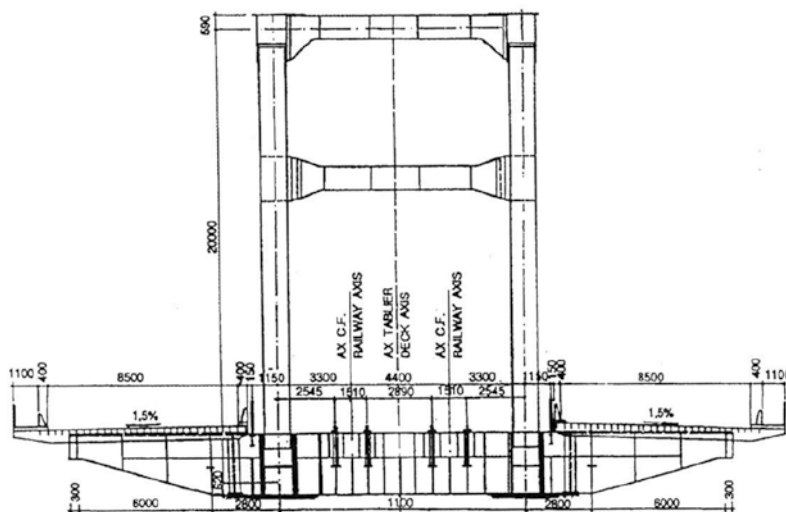


Figura 16. Secțiunea transversală a noilor poduri de pe Dunăre

Figure 16. Cross section of the new Danube bridges

6. Tendințe actuale în construcția podurilor sudate

În ultimii ani a fost inițiat un amplu program de investiții în sistemul de autostrăzi din România. În-

6. Present trends in welded bridge construction

In the last years, a large investment program on the Romanian motorway system was initiated. The

treaga rețea de comunicații românească este într-un proces de reînnoire. Multe dintre noile investiții sunt atribuite prin proiecte de licitație sub formă de „design & build”; în acest fel, societățile mixte între firme de execuție și birouri de inginerie structurală au posibilitatea de a construi întregi sectoare de drum în mod economic și avantajos. Această metodă de atribuire permite, de asemenea, introducerea unor soluții inovatoare și economice. În cele ce urmează sunt descrise câteva soluții eficiente de poduri compozite implementate pe sistemul de autostrăzi din România.

Podurile compozite [13], domină astăzi obișnuitele deschideri scurte și medii în special în domeniul podurilor de autostrăzi. Unele dintre avantajele bine cunoscute pot fi subliniate:

- Punți foarte zvelte și estetice datorită combinației optime dintre rezistența mare la tracțiune a oțelului de structură și rezistența ridicată la compresiune a betonului; costurile sunt, de asemenea, minimizate;
- Durabilitate ridicată a tablierelor normale din beton armat datorită limitării restrictive a lățimii fisurilor;
- Greutatea proprie redusă a podurilor compozite cu avantaje în ceea ce privește fundația și așezările suporturilor;
- Datorită metodelor inovatoare timpul de montare este foarte scurt, ceea ce duce la un minim de perturbări și restricții de trafic;
- Impact redus asupra mediului în comparație cu alte tipuri de poduri. Podurile compozite sunt structuri sustenabile [10], având în vedere caracteristicile generale ale acestor structuri (figura 17). Oțelul este reciclabil.

whole Romanian communication network is in a renewal process. Many of the new investments are assigned by tender projects in form of „design & build”; in this way joint ventures between execution companies and structural engineering offices have the possibility to build whole road sectors in economic and advantageous manner. This assignment method permits also to introduce some innovative and economical solutions. In the following, some efficient solutions of composite bridges implemented on the Romanian motorway system are described.

Composite bridges [13], dominate today the usual short and medium spans especially in the field of highway bridges. Some of the well-known advantages can be underlined:

- Very slender and aesthetic bridges due to the optimal combination of high tensile strength of structural steel and the high compressive strength of concrete; costs are also minimized;
- High durability of normal reinforced concrete decks due to restrictive crack width limitation;
- Low dead weight of the composite bridges with advantages in regard to the foundation and settlements of supports;
- Due to innovative methods the erection time is very short, leading to a minimum of traffic disturbance and restrictions;
- Reduced environmental impact in comparison with other bridge types. Composite bridges are sustainable structures [10], considering the general characteristics of these structures (figure 17). Steel is recyclable.

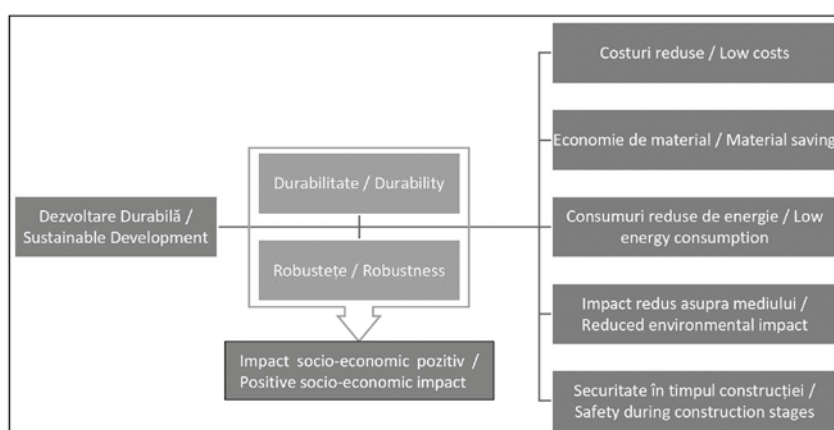


Figura 17. Sustenabilitatea podurilor compozite
Figure 17. Sustainability of composite bridges

Din 1998, podurile au fost create printr-o metodă de construcție prefabricată din compozit (VFT® = Verbund – Fertigteil - Träger = grindă compozită prefabricată). Sistemul a fost utilizat în cazul a peste 300 de structuri

Since 1998, bridges have been created in a composite pre-fabrication (VFT® = Verbund - Fertigteil - Träger = prefabricated composite beam) method of construction. The system was used for over 300

ridicate, în principal în Germania, precum și în Polonia și Austria. Este o construcție eficientă din punct de vedere al costurilor pentru poduri compozite cu deschideri mici și medii, cu tablier de trafic asamblat în șantier (figura 18).

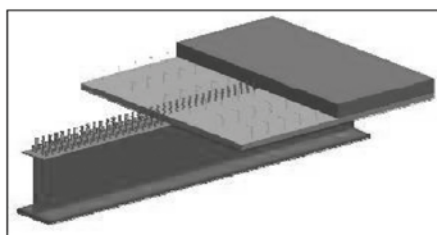
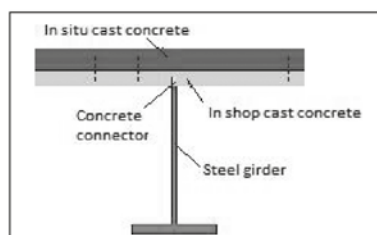


Figura 18. Metoda VFT

Figura 18. VFT method

Sistemul PRECOBEAM – grindă VFT cu grinzi laminate din beton – reprezintă o dezvoltare ulterioară a acestei metode de construcție (figura 19). Noul sistem oferă o secțiune de grinzi laminate care este tăiată în centrul benzii astfel încât să rezulte 2 secțiuni în T, în timp ce forma de tăiere (figura 20) asigură conectorul de forfecare. Această tăietură specială a pânzei de oțel permite o legătură perfectă cu partea superioară de beton. Ghidul de tăiere selectat pentru fabricarea diblurilor de beton permite fabricarea de secțiuni înalte fără deșeuri. Cu tehnologia adecvată de sudare prin separare utilizată, este posibil să se obțină o calitate înaltă a fețelor de separare cu efecte de creștătură locale minime [14].



Figura 19. Grindă PRECOBEAM

Figura 19. PRECOBEAM girder

Principiul PRECO combină avantajele grinzii VFT cu robustețea tradiționalei „plăci de grinzi de umplere” (figura 21).

The PRECOBEAM system – VFT girder with rolled girders in concrete – represents a further development of this method of construction (figure 19). The new system provides a rolled beam section that is cut in the web centre in such a way to result in 2 T-sections, whereas the cutting form (figure 20) provides the shear connector. This special cut of steel web allows a perfect connection to the upper concrete part. The cutting guide selected for the manufacture of the concrete dowels enables the manufacture of tall sections without waste. With the adequate separation welding technology used, it is possible to achieve a high quality for the separating faces with minimum local notch effects [14].

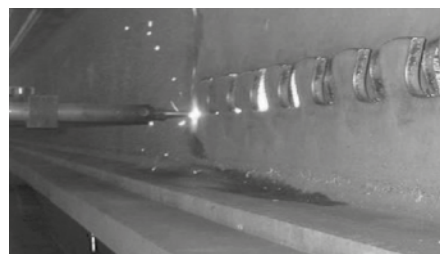


Figura 20. Decuparea profilelor din oțel

Figura 20. Cutting of the steel profiles

The PRECO principle combines the advantages of the VFT girder with the robustness of the traditional “filler beam plate” (figure 21).

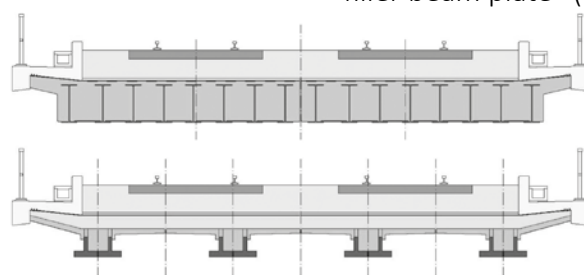


Figura 21. Evoluția soluției constructive a grinzilor încorporate

Figura 21. Evolution of the embedded girders solution

În ultimii ani, podurile având culee integrale s-au dovedit a fi foarte atractive pentru proiectanți, constructori și administrațiile de drumuri. Motivul principal pentru

In recent years, integral abutment bridges turn out to become highly attractive to designers, constructors, and road administrations. The main reason for

aceasta este că acestea tind să fie mai puțin costisitoare de construit, mai ușor de întreținut și de exploatat pe parcursul vieții. Acest lucru se datorează în principal inexistenței rulmenților și îmbinărilor care sunt principalele surse de costuri de întreținere pe durata vieții. Astfel, pe o porțiune de 24,1 km din tronsonul de autostradă dinspre Orăștie-Sibiu au fost construite 27 de poduri, toate integrale, cu excepția unei structuri pentru un viaduct unde s-a preferat soluția unei structuri semi-integrale.

În concluzie, structurile compozite sudate sunt soluții extrem de competitive – pe o gamă largă de deschideri. Pe lângă soluția clasică, cele noi cu design și construcție eficientă îmbunătățesc și consolidează poziția de piață a industriei producătoare de oțel și a construcțiilor sudate. În plus, această formă avansată de construcție contribuie la economisirea consumului de materiale și energie pentru structură în timpul producției și întreținerii.

7. Concluzii

Lucrarea prezintă o scurtă istorie a podurilor din oțel sudate din România, insistând asupra perioadei de început, în care podurile sudate au început treptat să le înlocuiască pe cele nituite, sudarea impunându-se ca o soluție sigură și eficientă pentru îmbinarea elementelor din oțel. Colaborarea dintre inginerul proiectant și specialistul în sudură este esențială pentru realizarea unor structuri sigure, durabile și estetice.

Bibliografie/References

- [1]Árpád J., Szekernyés J., "Maderspach", ArtPress, Timișoara, 2004.
- [2]Teodorescu D., Băncilă R., "Das Verhalten der König Karl I Donaubrücke, drei Jahrzehnte nach ihrer Verstärkung", 3. Internationale Donaubrückenkonferenz, Regensburg, Springer Verlag, 1998, ISBN 3-9806286-1-2.
- [3]Herzog, A.M., „Schadensfälle im Stahlbau und ihre Ursachen“, Germania, Werner Verlag, 1998, ISBN 3-9806286-1-2.
- [4]Joachim Scheer „Versagen von Bauwerke“ Band 1 – Brücken, Verlag: Ernst & Sohn, Oktober 2000.
- [5]Zbigniew Mirski, Józef Rabięga, Zbigniew Fałek "The Welding of Steel Road Bridges in the Past and Today" <https://journals.indexcopernicus.com/api/file/viewByFileId/912366.pdf>.
- [6]<https://www.radioresita.ro/224411/podul-de-la-stavila-semn-al-istoriei-industriale-resitene-la-ceas-aniversar>.
- [7]D. Bolduș, R. Băncilă A. Feier "Istoria și starea tehnică actuală a primului pod modern sudat din România" Revista "SUDURA" 2015, ISSN 1453-038.
- [8]Helmut Kulhanek, Reșița – Poduri, podețe, punți, pasarele și pasaje de-a lungul timpului [Reschitz - Brücken, Stege, Hochbrücken und Unter- bzw. überführungen im Laufe der Zeit], Mechernich, Ed. Doku-Verlag, 2015, 175 p.
- [9]* * *, "ISPCF – 50 de ani de activitate", monografie, 1997.
- [10]Buzuloiu Gh., "Bridge over the Danube at Giurgeni- Vadul Oii", Ed. Inedit, București 1995.
- [11]Teodorescu D., "New Bridges Crossing the Danube at Fetești – Cernavodă", Ed. Inedit, București 1995.
- [12]Băncilă R. "Experience in management of ageing of bridges in Eastern Europe" Proceedings of the IIW International Conference, July 2003, Bucharest, ROMANIA, ISBN 973-8359-16-3.
- [13]Petzek, E., Băncilă R., Schmitt V.: Romanian experience in new efficient solutions for composite bridges, Eurosteel 2011 Budapest, 978-954-724-014-5, 2011.
- [14]* * * EcoBridge- RFCS research project 2010. ECOBRIDGE: Demonstration of economical bridge solutions based on innovative composite dowels and integrated abutment, Grant no. RFSP-CT-2010-00024.

Pentru citare:

Băncilă, R., Brief history of welded bridges in Romania, from the first welded bridge in 1931 to the present day, Sudura, nr. 1 (2022), year XXXI, 31-45

this is, that they tend to be less expensive to build, easier to maintain and more economical to own over their lifetime. This is principally due to the non-existence of bearings and joints, which are main sources of maintenance costs during lifetime.

Thus, on a portion of 24.1 km from the highway section from Orăștie-Sibiu, 27 bridges were built, all integral, except one structure for a viaduct where the solution of a semi- integral structure was preferred.

In conclusion, composite welded structures are highly competitive solutions – over a wide range of spans. Beside the classical solution, the new ones with efficient design and construction improve and consolidate the market position of the steel producing industry and welded constructions. Additionally, this advanced form of construction is contributing to savings in material and energy consumption for the structure during production and maintenance.

7. Conclusions

The paper presents a short history of welded steel bridges in Romania, insisting on the beginning period, in which welded bridges began gradually to replace the riveted ones, welding imposing itself as a safe and efficient solution for the connection of steel elements. The collaboration between the design engineer and the welding specialist is essential for the achievement of safe, sustainable and aesthetic structures.