

125 DE ANI DE LA INAUGURAREA PODULUI "REGELE CAROL I" PESTE DUNĂRE, DE LA CERNAVODĂ

George M. CROITORU¹

george.croitoru70@gmail.com

Abstract. The complex of bridges and viaducts of the Fetești–Cernavodă railway was inaugurated on 1895, September 14, has a total length of 4087.95-m and was the longest continental Europe's bridge, also the third longest in the world at the time. The "King Carol I" railway bridge, over Danube from Cernavodă, is the representative construction of this complex.

The designer and chief engineer of the construction of the bridge and viaducts complex is the engineer Anghel Saligny (1854 ÷ 1925), professor at the National School of Bridges and Roads in Bucharest, the most important personality in the Romanian history of civil engineering.

The bridge is cantilever type, it has five openings (a central opening of 190-m and four current openings of 140-m each) with a total length of 750-m. The most important innovations in this structure included the use of mild steel for the bridge deck and new system of cantilever beams (Gerber beams) for the superstructure. The total length of a cantilever beam is 240-m. This bridge is one of the representative constructions in Romania, being classified as an architectural monument of national interest.

Keywords: metal bridge, cantilever beams, mild steel, caisson.

Rezumat. Complexul de poduri și viaducte ale căii ferate Fetești–Cernavodă a fost inaugurat la 14 septembrie 1895, are o lungime totală de 4087,95-m și a fost cel mai lung pod din Europa continentală, de asemenea, al treilea ca lungime din lume la acea vreme. Podul de cale ferată „Regele Carol I”, peste Dunăre de la Cernavodă, este construcția reprezentativă a acestui complex.

Proiectantul și inginerul șef al construcției complexului de poduri și viaducte este inginerul Anghel Saligny (1854 ÷ 1925), profesor la Școala Națională de Poduri și Șosele din București, cea mai importantă personalitate din istoria românească a ingineriei civile.

Podul este de tip cantilever, are cinci deschideri (o deschidere centrală de 190-m și patru deschideri curente de 140-m fiecare) cu o lungime totală de 750-m. Cele mai importante inovații în această structură au inclus utilizarea oțelului turnat (moale) pentru tablierul podului și noul sistem de grinzi în consolă (grinzi Gerber) pentru suprastructură. Lungimea totală a unei grinzi cu console este de 240-m. Acest pod este una dintre construcțiile reprezentative din România, fiind clasificat ca monument de arhitectură de interes național.

Cuvinte-cheie: pod metalic, grinzi în consolă, oțel moale, cheson.

CUPRINS

1. Construcția podului de cale ferată peste Dunăre de la Cernavodă, obiectiv strategic major pentru dezvoltarea statului român
2. Concursurile de proiecte din anii 1883 și 1886. Numirea inginerului Anghel Saligny în funcția de director al *Serviciului pentru construcțiunea lucrărilor dintre Fetești-Cernavodă*
3. Etapa de organizare și documentare tehnică
4. Elaborarea proiectului. Date privind conformarea structurală
5. Punerea pietrei fundamentale și începerea lucrărilor de execuție
6. Execuția lucrărilor de fundații. Utilizarea chesoanelor metalice cu aer comprimat

¹ Dr. ing., Divizia de Istoria Tehnicii, Comitetul Român de Istoria și Filosofia Științei și Tehnicii.

7. Execuția lucrărilor de montaj a suprastructurii metalice. Inaugurarea obiectivului
8. Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă, o construcție de excepție cu largă recunoaștere internațională la nivelul epocii, proiectată de specialiști români
9. Concluzii
- Bibliografie

1. Construcția podului de cale ferată peste Dunăre de la Cernavodă, obiectiv strategic major pentru dezvoltarea statului român

Începând cu 12 aprilie 1877, data declanșării unui nou război ruso-turc la sud de Dunăre, într-o perioadă de aproximativ un an și jumătate, evenimentele politice și istorice pe care le parcurge statul român se succed într-o dinamică² deosebită: la 9 mai 1877 România își proclamă independența și participă ulterior în război de partea Imperiului Rus, la 19 ianuarie 1878 Imperiul Otoman solicită armistițiu, iar la 19 februarie 1878, prin Tratatul de la San Stefano, Imperiul Otoman recunoaște independența României. În urma Congresului de la Berlin (1 iunie ÷ 1 iulie 1878), este recunoscut noul statut internațional al României ca stat independent și este statuată reunirea cu România a Dobrogei, provincie a Țării Românești ce fusese ocupată de Imperiul Otoman în secolul al XV-lea.

Autoritățile române preiau oficial administrarea Dobrogei la 14 noiembrie 1878.

Condițiile specifice Dobrogei (provincie slab dezvoltată din punct de vedere economic, demografie deficitară, compoziție etnică eterogenă, majoritar neromânească), impun ca obiectivele importante ale infrastructurii sale de transport (calea ferată³ Cernavodă–Constanța și portul maritim⁴ Constanța) să fie conectate în cel mai scurt timp la infrastructura României pentru a contribui la dezvoltarea întregii țări.

Astfel, printre primele acțiuni majore demarate de autoritățile de la București în vederea integrării noului teritoriu, sunt deciziile referitoare la asigurarea joncțiunii între liniile de cale ferată, iar soluția de construcție a unui pod peste Dunăre care să lege România de Dobrogea se impune rapid la nivelul societății românești, fiind susținută de necesități strategice imediate:

- realizarea unei unificări și armonizări reale din punct de vedere politic, social, administrativ și economic a teritoriilor de pe cele două maluri ale fluviului;
- îmbunătățirea condițiilor de export a cerealelor românești către partenerii economici externi, prin renunțarea la dependența transportului pe Dunăre, pornind din cele două principale porturi de export, Brăila și Galați (transportul pe fluviu era deseori impracticabil pe timpul iernii din cauza înghețului apelor sau scurgerii sloiurilor);
- asigurarea unei legături directe între capitala țării și litoralul Mării Negre⁵.

În acest context, în anul 1880, statul român alocă Ministerului Agriculturii, Comerțului și Lucrărilor Publice un credit extraordinar în valoare de 70.000 de lei pentru finanțarea studiilor și proiectelor căii ferate București–Fetești, în anul 1882 cumpără linia de cale ferată

² Dan Berindei (coord.), *Istoria Românilor*, vol. VII, tom I, Editura Enciclopedică, București, 2003, pp. 633-698.

³ Calea ferată Cernavodă–Constanța, este construită în perioada stăpânirii otomane a Dobrogei, fiind concesionată la 1 septembrie 1857 companiei britanice Danube and Black Sea Railway Company Ltd. reprezentată de J.T. Barkley. Este inaugurată la 4 octombrie 1860: are 4 gări (Constanța, Murfatlar, Medgidia, Cernavodă) și o lungime de 64,6-km.

⁴ În anul 1878 la Constanța există un mic port ce cuprinde un cheu de lemn de 170-m lungime, un bazin cu suprafața de 4 ha, protejate dinspre larg de un dig de 200-m lungime, construite de Danube and Black Sea Railway Company Ltd., conform Direcțiunea serviciilor porturilor maritime, "Evoluția portului Constanța" în *Dobrogea, cincizeci de ani de viață românească*, Editura Cultura Națională, București, 1928, p. 455.

⁵ La nivelul epocii, o călătorie de la București la Constanța se efectuează în etape, cu mijloace de transport diferite: începerea călătoriei cu trenul până la Giurgiu sau Brăila, continuarea deplasării cu vaporul pe Dunăre până la Cernavodă (de multe ori improbabilă pe timpul iernii) și finalizarea călătoriei cu trenul de la Cernavodă la Constanța.

Cernavodă–Constanța⁶, iar liniile de cale ferată București–Cernavodă și Făurei–Fetești sunt declarate proiecte de utilitate publică în vederea realizării conexiunii cu calea ferată existentă în Dobrogea.

Următoarea etapă o reprezintă înființarea unei Direcții Speciale în cadrul ministerului amintit, al cărei obiectiv este stabilirea traseului posibil dintre Fetești și Cernavodă, porțiunea cea mai dificilă de amplasament: inginerii Spiridon Iorceanu și Dimitrie Frunză stabilesc traseul dintre cele două localități și locul de construcție a podului peste Dunăre, iar inginerul britanic Sir Charles Augustus Hartley⁷, elaborează un plan hidrografic al Dunării la Cernavodă.

2. Concursurile de proiecte din anii 1883 și 1886. Numirea inginerului Anghel Saligny în funcția de director al Serviciului pentru construcțiunea lucrărilor dintre Fetești-Cernavodă

La 3 august 1882 se publică primul anunț referitor la concursul internațional pentru construirea podurilor și a căii ferate peste Borcea și Dunăre, însoțit de un program care prezintă principalele cerințe ale temei de proiectare și de planul hidrografic al Dunării la Cernavodă.

În principal, tema de proiectare pentru cele două poduri prevede⁸: libertatea constructorilor de a propune traseul podurilor, lungimea aproximativă de 800-m pentru podul peste Dunăre și circa 260-m ÷ 270-m pentru podul peste brațul Borcea, înălțimea liberă de trecere pe sub pod⁹ față de nivelul maxim al Dunării să fie de 30,00-m (cerință impusă de Comisia Europeană a Dunării), admiterea ca material de construcție atât a fierului cât și a oțelului, obligația constructorului de a determina prin sondaje cota terenului bun de fundare.

La 1 septembrie 1883 se primesc din partea unor companii de construcții europene opt proiecte¹⁰, în variante constructive diferite¹¹, prezentate în fig. 1:

- *Röthlisberger et Simons* (Berna) prezintă un pod cu 3 deschideri de 206,70-m și o lungime totală de 620,10-m, având cota fundației la 25,00-m sub nivelul etiajului¹² și suprastructura din grinzi în arc fără articulații;

- *Ph. Holzmann & Co.* (Frankfurt) și *Union* (Dortmund) prezintă un pod cu 4 deschideri de 200,00-m și o lungime totală de 800,00-m, având cota fundației la 18,00-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi în arc cu trei articulații;

- *Société des Batignolles* (Paris) prezintă un pod cu 4 deschideri de 165,00-m și o lungime totală de 660,00-m, având cota fundației la 18,00-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi semiparabolice independente;

- *Klein, Schmoll & Gaertner und Gutehoffnungshütte* (Viena - Oberhausen), prezintă un pod cu 6 deschideri și o lungime totală de 767,40-m (dintre care 2 deschideri de 127,40-m și 4 deschideri de 128,15-m), având cota fundației la 21,00-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi semiparabolice independente;

⁶ Dumitru P. Ionescu, "Construirea și răscumpărarea liniei ferate Constanța-Cernavodă", *Anuarul Institutului de Istorie și Arheologie "A.D. Xenopol"*, 25 (2), Iași, 1988, pp. 205-217.

⁷ Sir Charles Augustus Hartley (1825 ÷ 1915), inginer-șef al lucrărilor efectuate în perioada 1857 ÷ 1872 de Comisia Europeană a Dunării pentru îmbunătățirea navigației la gurile de vărsare ale brațelor fluviului în Marea Neagră.

⁸ Anghel Saligny, *Memoriul asupra proiectului podului peste Dunăre la Cernavodă*, București, 1888, p. 2.

⁹ Înălțimea liberă de trecere pe sub pod reprezintă spațiul liber pe verticală măsurat între punctul cel mai de jos al suprastructurii, inclusiv săgeata elastică a acesteia și nivelul apelor extraordinare (cota cea mai ridicată cunoscută vreodată).

¹⁰ Este organizată o expoziție de prezentare publică a proiectelor până în 30 septembrie 1883 conform anunțurilor publicate în "Monitorul Oficial al României", începând cu nr. 133 din 21 septembrie/3 octombrie 1883.

¹¹ Anghel Saligny, *op. cit.*, pp. 3-5.

¹² Etiajul reprezintă nivelul mediu al celor mai scăzute ape pe o perioadă semnificativă de timp, de cel puțin 10 ani.

- *Compagnie de Fives-Lille (Paris) et Ingenieur Käthlisberger (Berna)* prezintă un pod cu 5 deschideri și o lungime totală de 627,00-m (dintre care 3 deschideri de 135,20-m și 2 deschideri de 110,70-m), având cota fundației la 22,00-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi continue drepte în sistem Neville;

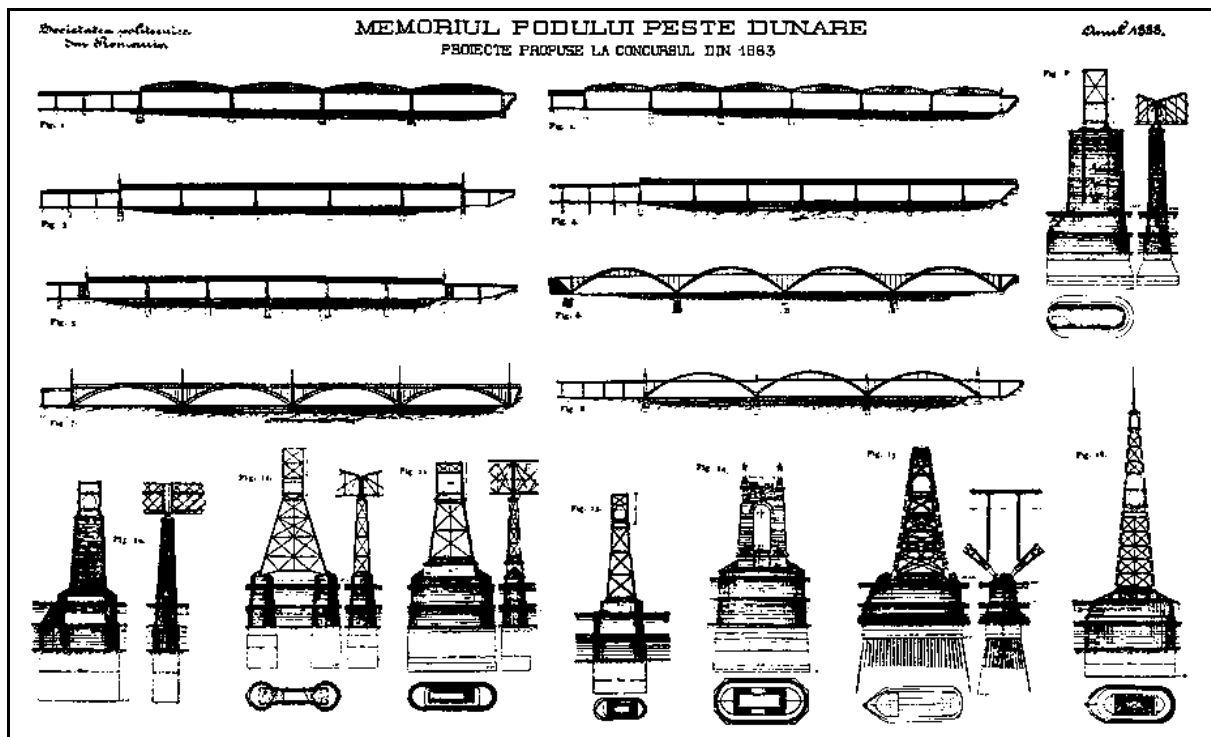


Fig. 1. Proiectele propuse pentru podul peste Dunăre la concursul internațional din anul 1883.

- *Anciens Etablissements Cail (Paris)* prezintă un pod cu 4 deschideri de 202,00-m și o lungime totală de 804,00-m, având cota fundației la 15,70-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi în arc cu două articulații;

- *Société Internationale Braine-le-Comte (Belgia)* prezintă un pod cu 6 deschideri de 110,00-m și o lungime totală de 660,00-m, având cota fundației la 25,50-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi continue drepte în sistem Neville;

- *Gustave Eiffel (Paris)* prezintă un pod cu 7 deschideri de 100,00-m și o lungime totală de 700,00-m, având cota fundației la 20,00-m sub nivelul etiajului și suprastructura din grinzi continue drepte în sistem Neville.

Este constituită o comisie guvernamentală¹³ de examinare cu participare internațională, al cărei președinte este inginerul inspector-general Dimitrie Frunză. Membrii comisiei sunt profesorul german Emil Winkler¹⁴, profesorul francez Édouard Charles Romain Collignon¹⁵, inginerii inspectori-generalii Spiridon Iorceanu și Constantin Olănescu, iar secretariatul este asigurat de inginerul-șef clasa II Anghel Saligny.

¹³ Ion Ionescu, "Podul Regele Carol I", *Natura*, 1 (1), București, 1906, p. 11.

¹⁴ Emil Winkler (1835 ÷ 1888), inginer constructor și om de știință german, profesor după anul 1870 la Bauakademie Berlin, instituție reorganizată în anul 1879 în Technische Hochschule Charlottenburg.

¹⁵ Édouard Charles Romain Collignon (1831 ÷ 1913), inginer constructor și om de știință francez cu activitate importantă în proiectarea și construcția căilor ferate din Imperiul Rus (Sankt Petersburg-Varșovia, Moscova-Nijni Novgorod, în perioada 1857 ÷ 1862) și ulterior profesor la École des Ponts et Chaussées Paris (după anul 1864).

Proiectele sunt examinate și verificate, inițial de secretarul comisiei, apoi discutate de întreaga comisie în intervalul 3 ÷ 20 septembrie 1883.

Comisia apreciază ca nesatisfăcătoare proiectele prezentate¹⁶ și stabilește o nouă serie de condiții în vederea organizării unui viitor concurs: să nu mai fie admise deschideri mobile (datorită întreținerii foarte dificile și sub care adâncimea apei s-ar putea reduce în timp datorită deplasării curenților), pilele să fie executate numai din zidărie și să prezinte avantbecuri¹⁷, suprastructura să nu fie realizată din grinzi continue (existând pericolul apariției unor denivelări la partea superioară datorită înălțimii foarte mari a pilelor), cota fundației să fie la 30,00-m sub nivelul etiajului, suprastructura să utilizeze fierul pudlat ca material de construcție (și nu oțelul), podul să fie conceput cu cale dublă.

În aceste condiții, statul român declară de utilitate publică¹⁸ construcția podurilor peste Dunăre și Borcea, împreună cu racordările lor, pentru realizarea joncțiunii între calea ferată București–Fetești–Dunăre cu calea ferată existentă Cernavodă–Constanța.

Pentru acoperirea cheltuielilor este aprobat un credit de 35.000.000 lei, iar pentru darea în antrepriză a acestor lucrări, guvernul va organiza un nou concurs internațional de proiecte pe baza unui program și caiet de sarcini.

În anul 1886 se organizează următoarea ediție a concursului internațional de proiecte pentru construirea podurilor și a căii ferate peste Borcea și Dunăre. Comisia de examinare este alcătuită de această dată, în exclusivitate, din specialiști români (inginerii Spiridon Iorceanu, Gheorghe Duca, C. Popescu, C. Mironescu și Anghel Saligny) și va introduce unele modificări în cerințele cuprinse în tema de proiectare: podul să fie conceput cu cale simplă, cota fundației să poată varia crescător sau descrescător cu cel mult 3,00-m și asigurarea înălțimii de 11,00-m față de nivelul maxim al apei pentru podul de peste brațul Borcea.

Sunt primite din partea unor companii europene numai cinci proiecte, însă comisia apreciază și de această dată că nici una dintre soluțiile propuse nu îndeplinește condițiile solicitate.

În acest context, comisia de examinare îi propune inginerului Anghel Saligny să elaboreze propriul său studiu privind tema propusă, fără a exista nici o obligație de a fi acceptat.

La momentul încredințării sarcinii de elaborare a studiului, inginerul Anghel Saligny¹⁹ (1854 ÷ 1925), absolvent la „Bauakademie” din Berlin în anul 1874, este unul dintre specialiștii recunoscuți ai corpului inginerilor români: deține o experiență bogată în proiectarea și execuția căilor ferate și podurilor metalice (începând din anul 1876), fondator al Societății Politehnice (1881), profesor la Catedra de Poduri a Școlii Naționale de Poduri și Șosele din București (începând din anul 1884), inginer-șef clasa I (din 16 iunie 1886).

Realizările sale în domeniul proiectării de poduri metalice sunt remarcabile: proiectează în anul 1881 podul combinat de la Onești peste râul Trotuș (150-m lungime, primul pod combinat din țară), proiectează în anul 1882 podul combinat de la Cosmești peste râul Siret (430-m lungime,

¹⁶ Premiul I (în valoare de 40.000 lei) nu se acordă deoarece în cazul celui mai bun proiect adâncimea de fundare este cu totul insuficientă, iar modificarea acestei cote implică modificări radicale referitoare la mărimea deschiderilor, conformarea pilelor și a suprastructurii. Premiul II (în valoare de 30.000 lei) este acordat companiei Société des Batignolles din Paris, iar premiul III (în valoare de 20.000 lei) este acordat companiei Klein, Schmoll & Gaertner und Gutehoffnungshütte din Viena. S-au acordat și trei mențiuni companiilor Ph. Holzmann & Co. din Frankfurt, Compagnie de Fives-Lille din Paris și Röthlisberger et Simons din Berna, conform Ion Ionescu, *op. cit.*, pp. 11, 12.

¹⁷ În lungul cursului de apă, pila podului este alcătuită din avantbec (este situat în amonte și reprezintă o racordare ogivală pentru a permite scurgerea ușoară a apelor sau spargerea ușoară a ghețurilor pe timpul iernii), corpul propriu-zis al pilei și arierbec (este situat în aval și reprezintă o racordare semicirculară).

¹⁸ Decretul nr. 1052 din 29 martie 1885, publicat în "Monitorul Oficial al României" nr. 1 din 2/14 aprilie 1885.

¹⁹ Dorina Rusu, *Membrii Academiei Române 1866 ÷ 2003. Dicționar*, ediția a III-a, Editura Enciclopedică / Editura Academiei Române, București, 2003, p. 743.

primul pod combinat suprapus din țară și la care se utilizează în premieră principiul clopotului scufundat pentru execuția fundațiilor), proiectează în anul 1885 podul de cale ferată de la Vadu Pașii peste râul Buzău (344-m lungime), proiectează și coordonează execuția în anul 1886 a primelor poduri metalice cu console fără culee pe linia de cale ferată Filiași–Târgu Jiu.

Studiul prezentat de inginerul Anghel Saligny este aprobat de Ministerul Lucrărilor Publice la 18 noiembrie 1887, iar acesta este desemnat în mod oficial constructor al liniei de cale ferată Fetești–Cernavodă și al podurilor peste Dunăre și Borcea.

3. Etapa de organizare și documentare tehnică

În vederea organizării activităților de proiectare și execuție, inginerul Anghel Saligny formează, într-o primă etapă, un grup de ingineri români specialiști, în principal foști studenți ai săi, dar și colegi de la Școala Națională de Poduri și Șosele din București.

Până în anul 1895, când are loc inaugurarea obiectivului, în cadrul grupului de lucru își desfășoară activitatea, în diverse funcții și în diferite perioade, actuali și viitori profesori sau specialiști în domeniu: profesorul Nicolae N. Herjeu (1851 ÷ 1910), viitorii profesori Ion Ionescu (1870 ÷ 1946), Alexandru Davidescu (1858 ÷ 1937), Petru Zahariade (1870 ÷ 1938), viitorii ingineri inspectori-generalii Ștefan Gheorghiu, Romulus Băiulescu (1863 ÷ 1941) și Ioan Băiulescu (1854 ÷ 1911). De asemenea, este recunoscută contribuția inginerilor Ion I. C. Brătianu, Vintilă I. C. Brătianu, Grigore Cazimir, Alexandru Bădescu, Vasile Christescu, Nicolae Davidescu, Camil Brânză, Ion Pâslă, A. Dumitrescu și alții.

Complementar activității organizatorice, inginerul Anghel Saligny efectuează o documentare tehnică prin vizite la obiective reprezentative din Europa și America de Nord, aflate în execuție sau finalizate și întreține corespondență cu specialiști recunoscuți ai epocii.

Analizează pe amplasament poduri renumite care puteau avea un anumit nivel de similitudine cu specificul proiectului început în România: Forth Bridge din Marea Britanie (la data vizitei este încă în execuție), East River Bridge și podul peste Niagara din S.U.A., podul peste râul Fraser din Canada, primele două oferind argumente tehnice semnificative în conturarea soluției structurale.

Forth Bridge²⁰ (proiectanți Sir John Fowler și Sir Benjamin Baker) este un pod cu două deschideri de 521,20-m și lungimea de 1624,60-m, având suprastructura din grinzi cu zăbrele cu console, cu calea la mijloc. Împreună cu viaductele de acces are lungimea totală de 2528,30-m, iar înălțimea liberă de trecere pe sub pod este de 45,70-m.

Elementele dominante ale podului sunt 3 grinzi cu zăbrele cu console ce au înălțimea de 109,70-m (grinda centrală are lungimea de 493,80-m iar cele două grinzi marginale au lungimea de 458,75-m), conectate prin intermediul a două grinzi cu zăbrele independente semiparabolice cu lungimea de 106,70-m. Consolele grinzilor cu zăbrele au lungimea de 207,25-m. Fundarea pilelor este pe chesoane metalice cu aer comprimat.

East River Bridge²¹ (proiectant John Augustus Roebling) este un pod suspendat pe cabluri de oțel, cu o lungime totală de 1825,45-m.

Are ca elemente dominante 2 pile de proporții monumentale din zidărie de calcar și granit cu înălțimea de 84,30-m iar deschiderea centrală, între pile, este de 486,35-m. Înălțimea liberă de

²⁰ Wilhelm Westhofen, *The Forth Bridge*, Reprinted from "Engineering" February 28, 1890, Third Edition, Revised, With Appendix, London: Offices Of "Engineering" 35 & 36, Bedford Street, Strand, W.C., pp. 10-12. [https://en.wikisource.org/wiki/The_Forth_Bridge] [18 Martie 2020].

²¹ "National Register of Historic Inventory - Nomination Form for Federal Properties: The Brooklyn Bridge". United States Department of the Interior, National Park Service, October 15, 1966., pp. 2,6. [<https://npgallery.nps.gov/GetAsset/763eefb2-3e0e-44e3-be5e-c7bdd9608e7b>] [29 aprilie 2020]

trecere pe sub pod este 41,15·m (la jumătatea deschiderii) și 36,2·m (în zona pilelor). Fundarea pilelor este executată pe chesoane metalice cu aer comprimat.

Dimensiunile în „metri” în cele două cazuri rezultă transformând din „picioare” („ft”)²².

În perioada vizitei pe șantierul din Marea Britanie îi cunoaște pe cei doi mari proiectanți britanici, iar soluția tehnică implementată de aceștia (pod cantilever) completată cu reazeme puternice (pile masive) asemănătoare podului peste East River, este apreciată de inginerul Anghel Saligny ca foarte potrivită și pentru amplasamentul de la Dunăre.

În ceea ce privește materialul de construcție, după cercetări și analize, inclusiv încercări pe materiale efectuate în România, optează pentru folosirea oțelului turnat, produs prin procedee industriale moderne, cu caracteristici mecanice superioare fierului pudlat, foarte folosit în epocă.

Reținerea privind posibilitatea folosirii, în zone cu climă rece, a oțelului turnat este eliminată în urma corespondenței²³ pe care inginerul Anghel Saligny o întreține cu profesorul rus Nikolai Apollonovici Beleliubski²⁴, proiectant al unui număr important de poduri metalice la care folosește oțelul, pe liniile de cale ferată Riga–Pskow, Loundnetz–Gomel, Kiev–Wiasna²⁵.

4. Elaborarea proiectului. Date privind conformarea structurală

*Norme de proiectare*²⁶

Dimensionarea elementelor structurilor metalice ale construcțiilor din complexul de poduri și viaducte ale liniei de cale ferată Fetești–Cernavodă se realizează în conformitate cu cerințele *Circularei austriece* din anul 1887, una dintre cele mai avansate norme de proiectare existente.

Proiectul este definitivat la 1 decembrie 1889, însă după apariția în anul 1892 a unei noi norme de calcul, *Circulara elvețiană*, se efectuează recalculări ale unor elemente prin verificări la flambaj și eforturi alternante, care conduc la îmbunătățirea secțiunii unor piese comprimate ale podului.

Complexul de poduri și viaducte ale liniei de cale ferată Fetești–Cernavodă

Grupul de proiectanți din *Serviciul pentru construcțiunea lucrărilor dintre Fetești-Cernavodă*, aflat sub coordonarea inginerului Anghel Saligny, elaborează într-o perioadă de aproximativ doi ani, documentația de proiectare pentru cele trei părți²⁷ ale obiectivului:

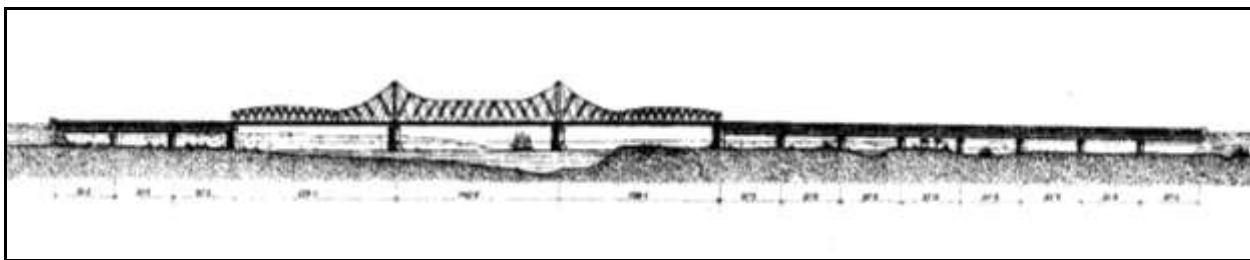


Fig. 2. Podul peste brațul Borcea. Elevație.

²² 1 picior [ft] = 0,3048 metri [m].

²³ Paul Iliescu Saligny, *Anghel Saligny - un român pentru eternitate*, Asociația Română pentru Istoria Științei și Tehnicii, 1995, p. 25.

²⁴ Nikolai Apollonovici Beleliubski (1845 ÷ 1922), inginer constructor și om de știință rus, profesor la Institutul de Inginerie Civilă din Sankt-Petersburg. A studiat și folosit, printre primii în lume, oțelul turnat în construcția podurilor.

²⁵ Ion Crișan, *Anghel Saligny*, Editura Tineretului, București, 1959, p. 110.

²⁶ Ion Ionescu, *Curs de poduri predat la Școala Politehnică din București. Partea II, Executarea podurilor metalice*, București, 1926, p. 68.

²⁷ Dinu-Teodor Constantinescu, *Construcții monumentale*, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1989, pp. 177, 178.

(i) *Podul de cale ferată peste brațul Borcea* are 3 deschideri curente de 140,00-m și o lungime totală de 420,00-m. Viaductele de acces la pod au 3 deschideri de 50,00-m (spre Fetești) și 8 deschideri de 50,00-m (spre Cernavodă), rezultând o lungime totală de 550,00-m.

(ii) *Construcțiile din actuala insulă Borcea* care, în perioada elaborării studiilor tehnice și a documentației de proiectare, era zonă de baltă inundată²⁸ în cea mai mare parte a anului.

Acestea cuprind un tronson de cale ferată de 14 km lungime și viaductul Iezer (alcătuit din 34 deschideri de 42,80-m, rezultând o lungime totală de 1455,20-m), pentru conectarea celor două poduri. Scopul construirii acestui viaduct îl reprezenta necesitatea asigurării scurgerii apelor de inundație peste toată balta. În prezent, viaductul Iezer nu mai există, fiind desființat începând cu anul 1969 în contextul execuției amplelor lucrări de desecare a bălții și ameliorări hidrotehnice în urma cărora a fost îndiguită Balta Ialomiței.

(iii) *Podul de cale ferată peste Dunăre* are 5 deschideri (o deschidere centrală de 190,00-m și 4 deschideri curente de 140,00-m) și o lungime totală de 750,00-m.

Viaductul de acces la pod, dinspre Fetești, are 15 deschideri de 60,85-m, rezultând o lungime totală de 912,75-m. La intrarea pe pod, viaductul are o rampă de 10·% impusă de necesitatea asigurării înălțimii libere de trecere pe sub acesta.



Fig. 3. Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă. Elevație.

Cele trei părți distincte ale complexului de poduri și viaducte ale liniei de cale ferată Fetești–Cernavodă însumează 4087,95-m și reprezenta, la nivelul epocii, cel mai lung complex de poduri construit în țară și al treilea ca lungime la nivel mondial.

Noutăți tehnice în conformarea suprastructurii podurilor

Specificul de amplasare al podului peste Dunăre impune adoptarea unor deschideri foarte mari, semnificativ superioare dimensiunilor podurilor construite până în acel moment în România.

În aceste condiții, prin implementarea unor noutăți tehnice din practica internațională a construirii podurilor, în premieră în România, inginerul Anghel Saligny obține pentru o construcție de mari dimensiuni o eficientizare reală a soluției structurale, caracterizată de proporție și simetrie, adecvată din punct de vedere al rezistenței și stabilității, prezentată într-un contur general armonios.

(i) **Adoptarea unui nou material de construcție: oțelul turnat**

Din punct de vedere cronologic, primul material utilizat la construcția podurilor metalice este fonta, ce prezenta însă o comportare nesatisfăcătoare la solicitările de întindere.

²⁸ "...în dreptul Cernavodei [...] Dunărea prezintă două brațe, care în timpul viiturilor mari se unesc, formându-se o pânză continuă de apă de 15 km lățime, având adâncimi până la 18 metri; pe care apele curg cu o iuțeală de 2 m pe secundă, cu un debit de 30000 mc pe secundă; pe care circulă corăbiile având catargele de 30 metri și în care temeliele picioarelor nu se puteau pune decât cel puțin la 16 metri sub fundul lor spre a le feri de săpăturile curentului", conform Ion Ionescu, "Podul Regele Carol I", *Natura*, 1 (1), București, 1906, p. 8.

Fierul pudlat, înlocuitorul fontei, prezenta avantajul unui conținut redus de carbon, putea fi prelucrat și sudat ușor iar procesul de coroziune evolua mai lent. Prezenta dezavantajul unei structuri fibroase (cu rezistență și alungire neuniformă pe direcții diferite) ce putea conduce la impredictibilitate în exploatare, prin posibilitatea cedării în anumite condiții de încărcare și concentrări ale eforturilor.

La momentul elaborării proiectelor podurilor dunărene, oțelul turnat este un material relativ nou, aflat în fază de început a utilizării la construcția podurilor metalice pentru care fierul pudlat este, de mai multe decenii, materialul folosit în locul fontei.

După descoperirea procedeelor industriale moderne de obținere a oțelului, în a doua jumătate a secolului al XIX-lea, oțelul turnat elimină principalul inconvenient al fierului pudlat (neomogenitatea structurală), având caracteristici mecanice superioare acestuia și putându-se utiliza la structuri metalice cu deschideri mai mari, cum sunt cele ale podurilor.

Utilizarea fierului pudlat se va restrânge în timp, până la excluderea folosirii sale la construcțiile metalice²⁹.

(ii) Adoptarea unui nou sistem structural: pod cantilever și grinzi cu zăbrele în consolă³⁰

Podul cantilever utilizează grinzi cu console și articulații (grinzi Gerber), indicate în cazul structurilor solicitate predominant la încovoiere.

Pentru podul peste Dunăre, prin folosirea acestui sistem structural s-a obținut reducerea înălțimii grinzii cu zăbrele și creșterea deschiderii centrale la 190,00-m.

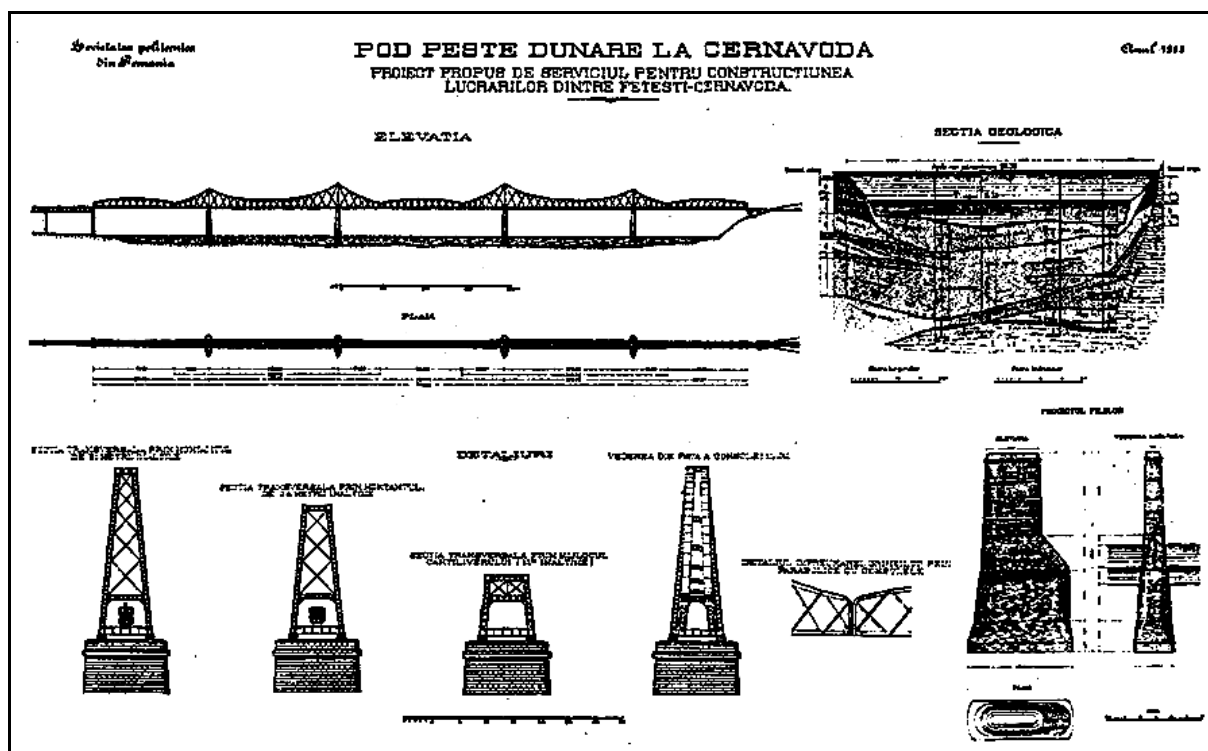


Fig. 4. Proiectul de pod peste Dunăre propus de *Serviciul pentru construcțiunea lucrărilor dintre Fetești-Cernavodă* coordonat de inginerul Anghel Saligny.

²⁹ Una dintre primele norme de proiectare care exclude folosirea fierului pudlat la construcțiile metalice este *Circulara elvețiană* din anul 1913, conform Ion Ionescu, *Curs de construcțiuni metalice*, Școala Politehnică București, 1923, p. 7.

³⁰ Ion Ionescu, *Curs de poduri prelat la Școala Politehnică din București. Partea VII, Poduri cu zăbrele*, București, 1926, pp. 62-64.

S-a redus consumul de materiale deoarece grinzile cu console sunt mai economice comparativ cu grinzile independente și cu grinzile continue (pentru deschideri mai mari de 80,00-m). Podurile peste Dunăre și Borcea au deschiderile curente de 140,00-m, valorificând acest avantaj.

Grinzile cu console au o înălțime maximă de 32,00-m pe reazeme, în dreptul pilelor, care scade la 17,00-m în zona centrală și la 9,00-m la extremități. Aceste dimensiuni au condus la:

- valori mai reduse ale eforturilor din greutatea proprie în elementele grinzilor cu zăbrele cu console, ca urmare a dispunerii secțiunilor cele mai puternice pe reazeme, realizându-se o concentrare a sarcinilor în apropierea acestora;
- valori mai reduse ale eforturilor din acțiunea vântului în elementele grinzilor cu zăbrele cu console, prin concentrarea suprafeței expuse vântului către reazeme.

Se menționează însă și inconvenientul prezentat de capetele grinzilor cu zăbrele în consolă, unde se înregistrează valorile maxime ale săgeților ($f_{\max} = 11\text{-cm}$).

(iii) Prin detaliile de execuție elaborate, inginerul Anghel Saligny oferă soluții și altor probleme teoretice existente la nivelul epocii³¹ precum conlucrarea spațială a platelajului cu grinzile principale, îmbunătățirea stabilității sistemului, asigurarea continuității lonjeroanelor prin intermediul platbandelor de continuitate.

Date privind conformarea structurală a podurilor

(i) Specificul geologic al amplasamentului³²

Informații mai recente despre specificul geologic provin din studiile efectuate cu prilejul construirii celui de-al doilea ansamblu feroviar și rutier de poduri de la Cernavodă³³, în perioada 1975 ÷ 1987: profilul geologic al podului peste Dunăre evidențiază prezența în straturile superioare a unor depozite aluvionare de nisipuri fine și medii, cu incluziuni de lentile din pietrișuri rotunde. Pe anumite zone sunt dispuse și straturi subțiri, sub 2,00-m grosime, de soluri coezive.

După cum se prezintă în fig. 5, nisipurile sunt predominante și în straturile inferioare, urmate de straturi de marne argiloase, marne calcaroase și calcar cu incluziuni de marne, care reprezintă terenul bun de fundare la o adâncime de peste 25,00-m, față de nivelul mării.

Lățimea fluviului este de aproximativ 450,00-m, viteza apei este de 2,90-km/h, iar din analiza datelor măsurătorilor efectuate în perioada 1890 ÷ 1975, se constată creșterea lățimii albiei brațului Borcea cu aproximativ 100,00-m și reducerea lățimii albiei vechi a Dunării la Cernavodă cu aproximativ aceeași valoare, modificări ce sunt prezentate, de asemenea, în fig. 5.

(ii) Infrastructura³⁴

Podul de cale ferată peste Dunăre, prezentat în fig. 3, are o lungime totală de 750,00-m și este alcătuit din 5 deschideri.

Infrastructura podului este alcătuită din șase pile masive fundate la 27,00-m sub nivelul etiajului (proiectul prevede inițial cota de 30,00-m). Dintre acestea, patru pile (cele centrale) se amplasează în albia minoră a fluviului iar două pile (cele marginale) se amplasează în albia majoră.

³¹ Hristache Popescu, *Personalități românești în construcții*, ediția a II-a, Editura H.P., București, 2008, p. 50.

³² I. Manoliu, D. Teodorescu, M. Tranca, "Large Bored Piles for the New Danubian Bridges in Romania", *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13, New Delhi, 1994, pp. 509, 510.

³³ În anul 1987 este inaugurat noul pod peste Dunăre, în amonte, la 30-80-m față de podul proiectat de inginerul Anghel Saligny. Noul pod, impus de necesitățile de dezvoltare economică a statului român, este alcătuit dintr-un viaduct cu lungimea de 1050,00-m (la intrarea pe pod), podul pentru cale ferată dublă cu lungimea de 470,00-m și un viaduct cu lungimea de 68,50-m (la ieșirea spre Cernavodă), conform Dinu-Teodor Constantinescu, *op. cit.*, pp. 175, 176.

³⁴ E. Gaertner, "Der Donau-Übergang Fetesti - Cernavoda in Rumänien", *Allgemeine Bauzeitung*, Wienn, 1896, pl. no. 13, fig. 8, fig. 9.

Înălțimea totală a unei pile de pod este de 63,00-m, din care fundația are înălțimea de 26,00-m iar elevația pilei are înălțimea de 37,00-m.

La dimensionarea fundației s-a avut în vedere valoarea presiunii maxime admise ($10 \cdot \text{daN/cm}^2$) asupra terenului de fundare.

Fundarea pilelor podului se realizează pe chesoane metalice cu aer comprimat, iar camera chesonului are dimensiunile în plan de 11,00-m $\times$ 30,00-m și înălțimea totală de 4,40-m.

Volumul masiv al fundației, are o compoziție eterogenă și retrageri pe înălțime, după cum se prezintă în fig. 6, considerând cota de referință ± 0.00 la nivelul etiajului.

Între cotele -27,00-m și -22,60-m, pe 4,40-m înălțime, se află baza fundației care are dimensiunile în plan 11,00-m $\times$ 30,00-m, fiind alcătuită integral din beton de mortar hidraulic.

Între cotele -22,60-m și -12,00-m, lățimea fundației are retragere constantă cu 3,00-m, astfel încât la cota -12,00-m, fundația are dimensiunile în plan 8,00-m $\times$ 30,00-m.

Între aceste cote, fundația este alcătuită din zidărie de blocuri de piatră masivă solidarizate cu mortar de ciment, amplasată perimetral și completată cu beton de mortar hidraulic la interior.

Zidăria de blocuri de piatră masivă din zona perimetrală are o grosime variabilă pe înălțime, pornind de la 3,30-m la bază până la 2,00-m la partea superioară (dimensiuni aproximative).

Între cotele -12,00-m și -1,00-m, lățimea fundației se menține la 8,00-m. Fundația este alcătuită integral din zidărie de blocuri de piatră masivă de carieră solidarizate cu mortar hidraulic.

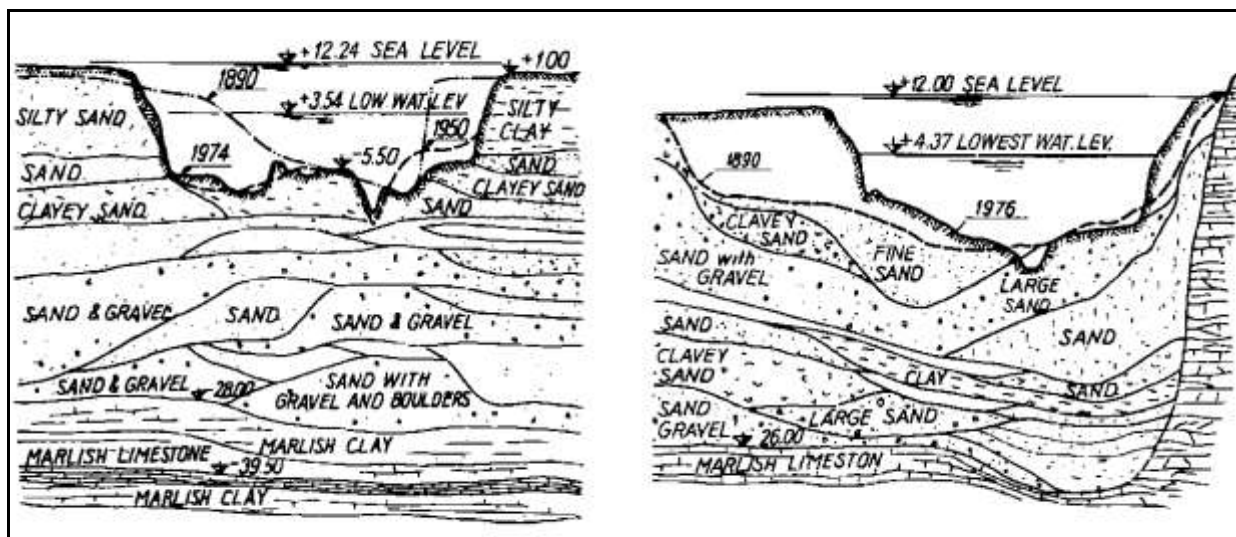


Fig. 5. Profilul geologic al zonei de amplasare a podurilor peste brațul Borcea (stânga) și Dunăre (dreapta).

Elevația pilei podului are înălțimea de 37,00-m și prezintă retragere constantă a lățimii, pornind de la 7,20-m la bază (cota -1,00-m) până la 5,00-m la partea superioară (cota +36,00-m). Pila podului este alcătuită integral din zidărie de blocuri de piatră masivă solidarizate cu mortar hidraulic, fiind placată la final cu moloane de granit dobrogean.

În cazul podului de cale ferată peste brațul Borcea, prezentat în fig. 2, elevația este alcătuită din patru pile masive fundate la 27,50-m sub nivelul etiajului. Înălțimea totală a unei pile de pod este de 45,00-m, din care fundația are înălțimea de 26,50-m iar elevația are înălțimea de 18,50-m. Fundarea pilelor podului se realizează pe chesoane metalice cu dimensiunile în plan 8,00-m $\times$ 27,00-m.

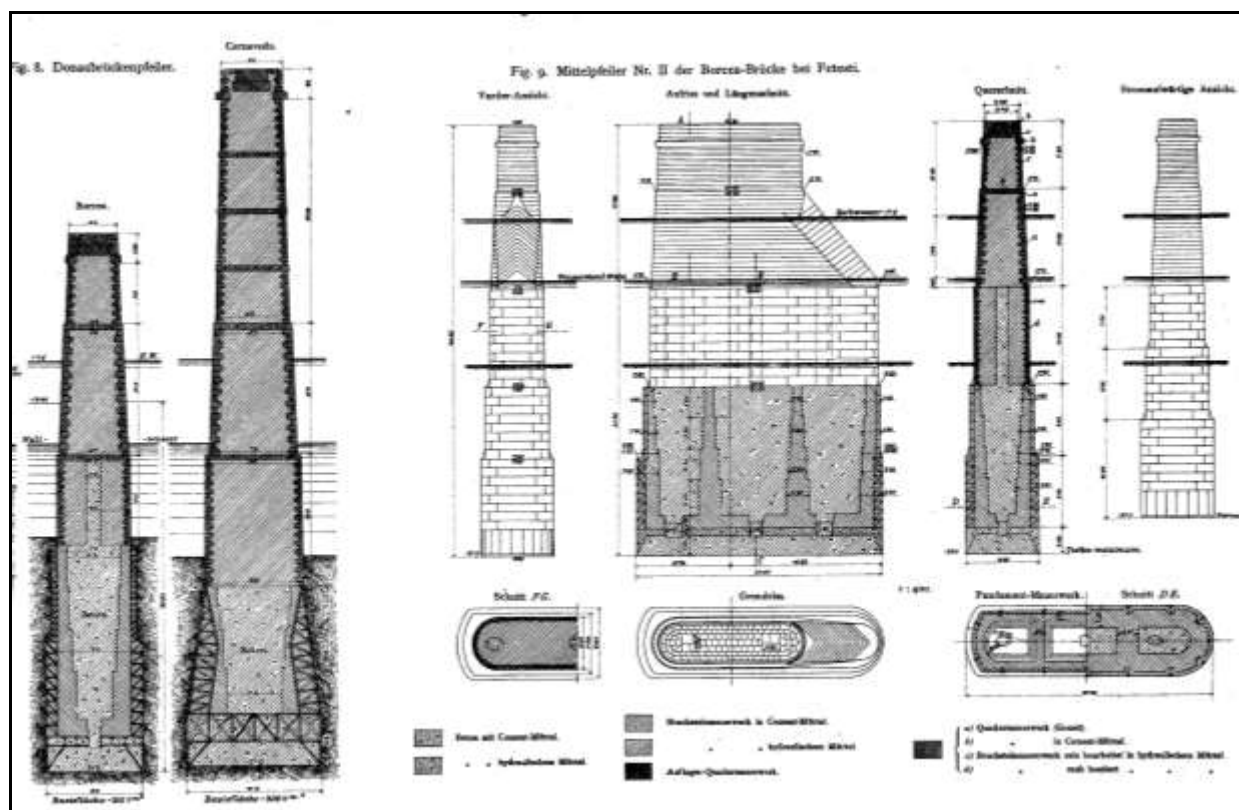


Fig. 6. Secțiune transversală prin pilele podurilor peste brațul Borcea și Dunăre (stânga). Vedere frontală, elevație, secțiune longitudinală și vedere posterioară a pilei podului peste brațul Borcea (dreapta).

(iii) Suprastructura³⁵

Suprastructura podului de cale ferată peste Dunăre, prezentat în fig. 3, este alcătuită din 5 grinzi metalice cu zăbrele cu calea jos, poziționate la 30,00-m peste nivelul maxim al fluviului pentru a asigura înălțimea solicitată de liberă trecere pe sub pod.

La dimensionarea elementelor de suprastructură s-au avut în vedere, în afara greutății proprii, încărcările exercitate de locomotive pe patru osii (13-tone/osie, respectiv 4,50-tone/m) și de convoiul de vagoane (3,50-tone/m). De asemenea, s-a avut în vedere valoarea încărcărilor orizontale datorate presiunii vântului, însă nu au fost luate în considerare forțele rezultate din frânare, șerpuire și acțiunea dinamică³⁶.

Pentru proiectarea și uzinarea tablierelor metalice s-a realizat o modulare a întregii structuri, fiind folosite doar două tipuri de grinzi cu zăbrele de mare deschidere:

- 2 grinzi cu zăbrele în consolă (grinzi Gerber) cu lungimea de 240,00-m, înălțimea maximă de 32,00-m pe reazeme, care scade la 17,00-m în zona centrală și la 9,00-m la extremități.
- 3 grinzi cu zăbrele semiparabolice (grinzi independente) cu lungimea de 90,00-m, înălțimea maximă de 13,00-m în zona centrală, care scade la 9,00-m la extremități.

Suprastructura podului de cale ferată peste brațul Borcea, prezentat în fig. 2, este alcătuită din 3 grinzi metalice cu zăbrele cu calea jos, iar prin modularea întregii structuri, se folosesc două tipuri de grinzi cu zăbrele:

- o grindă cu zăbrele în consolă (grindă Gerber) cu lungimea de 240,00-m, înălțimea maximă de 32,00-m pe reazeme, care scade la 17,00-m în zona centrală și la 9,00-m la extremități.

³⁵ Ion Ionescu, *Ibidem*, p. 70.

³⁶ Costel Marin, "Stăpân să rămână peste țărmurile Dunării!...", *Drumuri și Poduri*, 215, București, 2015.

- 2 grinzi cu zăbrele semiparabolice (grinzi independente), cu lungimea de 90,00-m, înălțimea maximă de 13,00-m în zona centrală, care scade la 9,00-m la extremități.

Ambele tipuri de grinzi cu zăbrele sunt de tip sistem triunghiular dublu, fără montanți.

Talpa inferioară a grinzilor cu zăbrele este rectilinie, iar talpa superioară urmărește înălțimea impusă de variația momentelor încovoietoare.

Secțiunea ambelor tălpi ale grinzii cu zăbrele este de tip „perete dublu”: pereții au inima din platbandă cu corniere de rigidizare pe margini și sunt solidarizați cu zăbreluțe din corniere.

Diagonalele au același tip de secțiune ca tălpile, „perete dublu”, însă cu secțiuni diferite (reduse) față de tălpi.

Intersecția diagonalelor este rezolvată fără întreruperea acestora: în cazul diagonalelor comprimate, distanța dintre cei doi pereți ai secțiunii este mai mare, pentru a permite secțiunii mai reduse a diagonalelor întinse să treacă printre aceștia.

Deoarece nu există montanți, contravântuirile transversale ale grinzilor cu zăbrele sunt dispuse înclinat, în planul diagonalelor comprimate, la partea superioară a înălțimii acestora.

În cazul grinzilor cu zăbrele în consolă (grinzile Gerber) nu există contravântuiri orizontale superioare, conexiunea la partea superioară fiind realizată cu rigle orizontale cu secțiune zăbrelită.

În schimb, în cazul grinzilor cu zăbrele semiparabolice (grinzile independente), există contravântuiri orizontale superioare în X, grinzile fiind închise astfel la partea superioară.

Având în vedere lungimea foarte mare a căii de circulație între reazeme (140,00-m, respectiv 190,00-m), încărcările transmise de aceasta generează eforturi de încovoiere importante.

Calea de circulație este dispusă pe grinzi longitudinale și transversale, respectiv lonjeroni și antretoaze metalice³⁷.

Antretoazele sunt poziționate în nodurile tălpilor inferioare ale grinzilor cu zăbrele, iar distanța maximă dintre antretoaze este de 13,00-m. Secțiunea acestora este executată cu inimă plină, respectiv inimă din platbande rigidizate pe margini cu corniere.

Pentru sporirea rigidității în plan orizontal a tablierului, sub calea de rulare, între antretoaze, sunt dispuse contravântuiri în X.

Toate îmbinările elementelor metalice ale suprastructurii sunt nedemontabile și sunt realizate prin nituri cu cap semirotund.

5. Punerea pietrei fundamentale și începerea lucrărilor de execuție

În urma organizării la 3 ianuarie 1890 a licitației pentru atribuirea lucrărilor, se încheie contracte de execuție cu mai multe societăți de construcții europene.

(i) Pentru podul de cale ferată peste brațul Borcea, lucrările sunt atribuite astfel:

- execuția integrală (fundații, zidăria de piatră a pilelor și suprastructura metalică): *Creusot (Schneider)* din Franța și *E. Gaertner* din Austria;

- execuția viaductelor acestui pod: *D.F. Ozinga* din Olanda (fundații), *D. Grakoski* (zidăria pilelor), *Société J. Cockerill* din Belgia (grinzile metalice).

(ii) Pentru viaductul de legătură, lucrările sunt atribuite societăților *D.F. Ozinga* (fundații), *Dimitrie C. Iarcă*, constructor român (zidăria pilelor), *Société J. Cockerill* (grinzile metalice).

(iii) Pentru podul de cale ferată peste Dunăre, lucrările sunt atribuite astfel:

- execuția integrală (fundații, zidăria de piatră a pilelor și suprastructura metalică): *Compagnie de Fives-Lille* din Franța;

³⁷ Antretoazele și lonjeronii sunt grinzi cu inimă plină ce susțin calea de circulație: antretoazele sunt dispuse transversal pe cale și se reazemă la extremități pe grinzile principale ale tablierului iar lonjeronii sunt dispuși longitudinal, susțin traversele căii și se reazemă la extremități pe antretoaze.

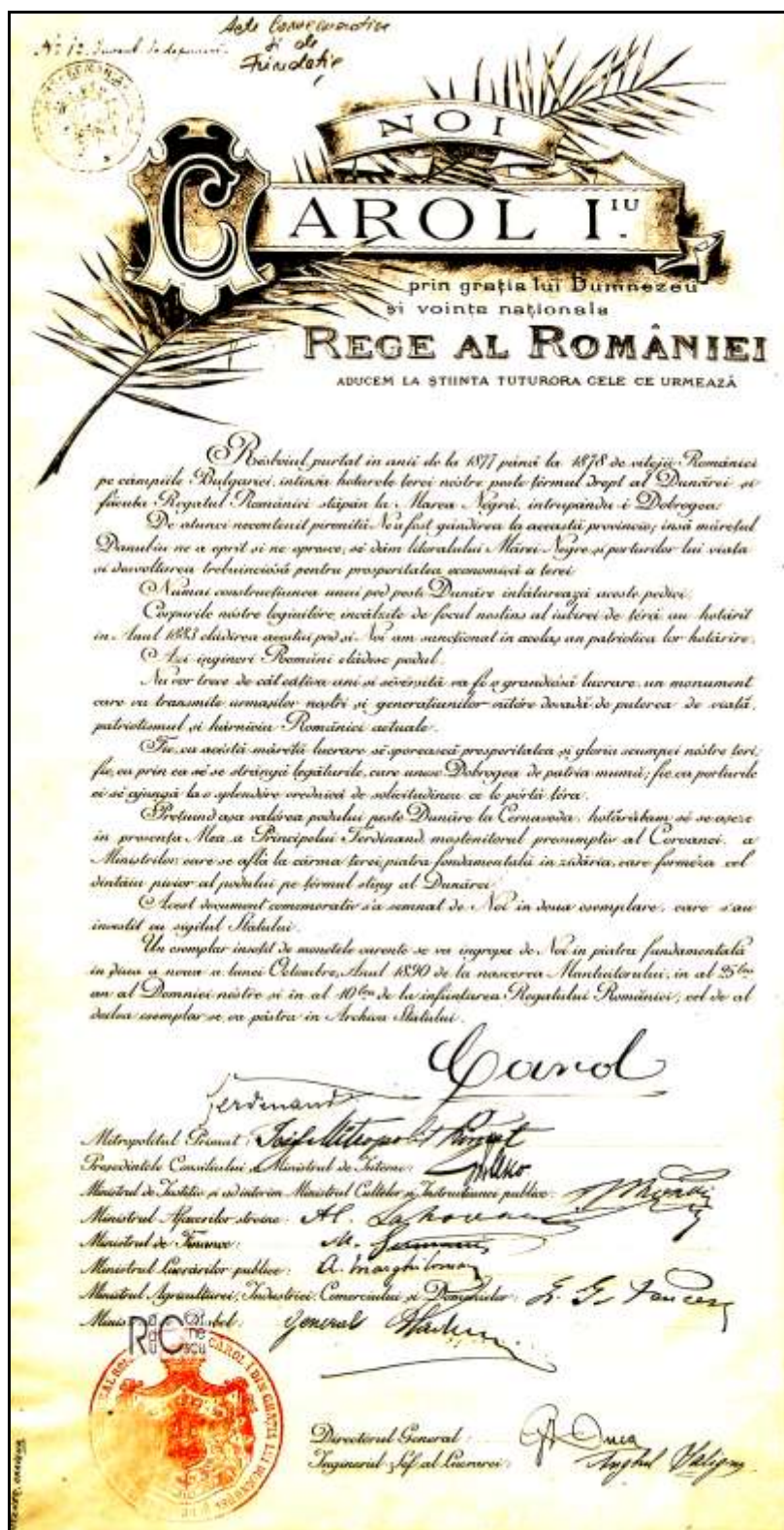


Fig. 7. Documentul comemorativ din 9 octombrie 1890 semnat de Regele Carol I, Principele Ferdinand, Mitropolitul Primat Iosif, Gheorghe Manu (Președintele Consiliului de Miniștri), Theodor Rosetti (ministrul Justiției), Alexandru Lahovary (ministrul de Externe), Menelas Ghermani (ministrul Finanțelor), Alexandru Marghiloman (ministrul Lucrărilor Publice), Grigore Păucescu (ministrul Agriculturii), general Matei Vlădescu (ministrul de Război), Gheorghe Duca (director general al C.F.R.), Anghel Saligny (inginerul-șef al lucrării).

- execuția viaductului acestui pod: *D.F. Ozinga* (fundații), *Rottenberg et. Comp.* (zidăria pililor), *Société Cockerill* (grinzile metalice).

Coordonarea lucrărilor și controlul de calitate al execuției, pentru toate fazele și toate obiectivele, sunt asigurate de grupul alcătuit din ingineri români organizat de Anghel Saligny.

Având în vedere importanța economico-socială, valoarea strategică deosebită precum și complexitatea tehnică majoră a proiectului, elaborat în exclusivitate de specialiști români, Guvernul României organizează la 9 octombrie 1890 o ceremonie fastuoasă de punere a pietrei fundamentale³⁸ a construcției podului peste Dunăre, în prezența Regelui României, Carol I, a principelui moștenitor, Ferdinand și a unui număr important de înalți demnitari ai statului.

Documentul oficial comemorativ, prezentat în fig. 7, este citit de către Alexandru Marghiloman, ministrul Lucrărilor Publice, iar un exemplar din document, protejat într-un tub de sticlă, este depus în fundația podului peste Dunăre, marcând punerea pietrei fundamentale și începerea oficială a lucrărilor de execuție.

6. Execuția lucrărilor de fundații. Utilizarea chesoanelor metalice cu aer comprimat

Începând cu a doua jumătate a secolului al XIX-lea, în statele dezvoltate economic și avansate tehnologic din Europa și America de Nord, fundațiile de adâncime ale unor poduri metalice dispuse pe amplasamente dificile se proiectează prin adoptarea unor soluții tehnice noi, ce folosesc chesoane metalice cu aer comprimat.

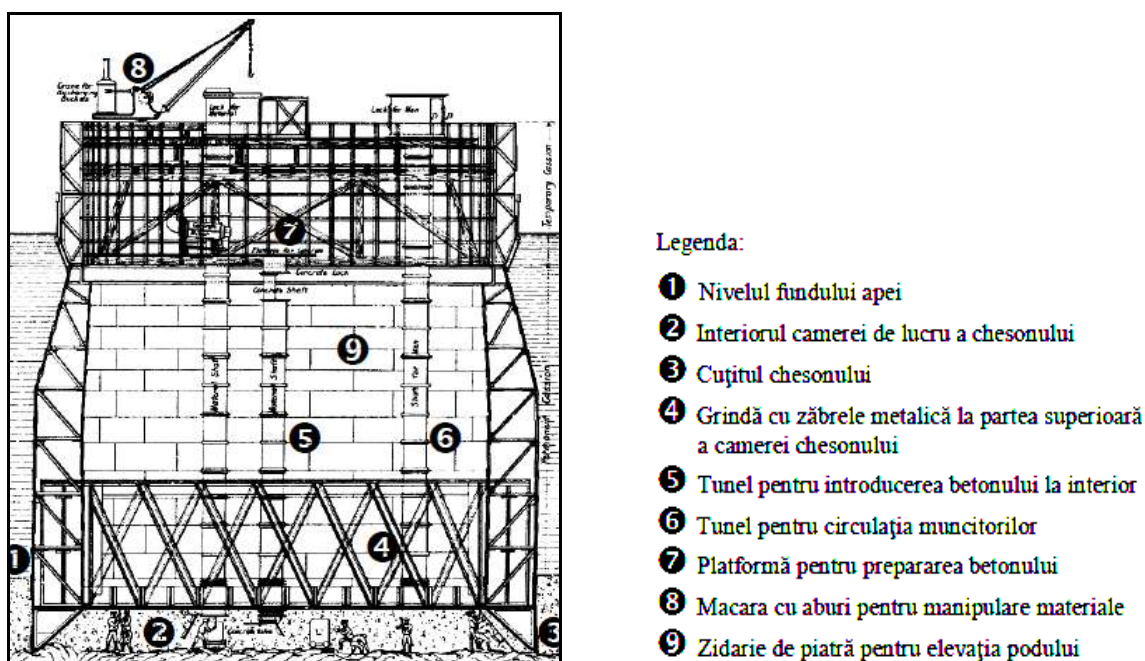


Fig. 8. Pentru exemplificare, prezentarea organizării, tehnologiei și a operațiunilor specifice de execuție pentru fundarea pe chesoane cu aer comprimat a pililor podului Forth Bridge din Marea Britanie.

Execuția acestora se realizează prin utilizarea unor tehnologii complexe, însă costisitoare din punct de vedere financiar și periculoase pentru sănătatea lucrătorilor din cauza condițiilor dificile de presiune, temperatură și umiditate specifice lucrului la mare adâncime.

³⁸ Ceremonialul este publicat în "Monitorul Oficial al României" nr. 156 din 12/24 octombrie 1890, pp. 3636-3638.

Tehnologia execuției fundațiilor cu aer comprimat³⁹ are la bază invenția inginerului geolog francez Jacques Triger (1801 ÷ 1867) pentru lucrul la adâncime, în mină, iar primele utilizări ale acestuia la construcția podurilor metalice de cale ferată se realizează în anul 1858 (podul peste Rin de la Khel, pe granița franco-germană și podul peste râul Garonne de la Bordeaux).

Dintre podurile reprezentative la nivel mondial construite în epocă, la care se utilizează fundații pe chesoane metalice cu aer comprimat, se remarcă East River Bridge din New York (1869 ÷ 1883, chesoane executate în 1870) și Forth Bridge din Marea Britanie (1882 ÷ 1890, chesoane executate în perioada 1884 ÷ 1885, al cărui model este prezentat ca exemplu⁴⁰ în fig. 8).

Podurile metalice de cale ferată peste Dunăre și brațul Borcea, sunt primele poduri din România la care se adoptă soluția fundării pe chesoane cu aer comprimat la mare adâncime⁴¹.

Chesonul metalic cu aer comprimat funcționează pe principiul clopotului de scufundare, metodă adoptată de inginerul Anghel Saligny încă din anul 1885, în premieră în România, la execuția podului metalic combinat peste râul Siret de la Cosmești⁴².

Camera chesonului metalic folosit la fundația podului peste Dunăre, prezentat în fig. 9, are dimensiunile în plan de 11,00-m × 30,00-m, înălțimea de 4,40-m și este executată din tole metalice (tablă groasă de oțel cu grosimea de 8-mm). La partea superioară a camerei, plafonul din tole metalice descarcă pe grinzi cu zăbrele cu înălțimea de 2,00-m.



Fig. 9. Camera chesonului metalic folosit pentru execuția fundațiilor pilelor podului peste Dunăre.

Camera chesonului folosit la fundația podului peste brațul Borcea, prezentat în fig. 10, are dimensiuni mai reduse, respectiv 8,00-m × 27,00-m și înălțimea de 2,83-m.

În total, cantitatea de oțel folosită pentru chesoanele celor două poduri este de 1130·tone la podul peste Dunăre și 610·tone la podul peste brațul Borcea.

³⁹ Henri Blerzy, "Les fondations par l'air comprimé", *La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie. Journal hebdomadaire illustré*, 1 (1), 1873, pp. 148-151.

⁴⁰ Wilhelm Westhofen, *op. cit.*, p.28, fig.51. [https://en.wikisource.org/wiki/The_Forth_Bridge] [18 Martie 2020].

⁴¹ În aceeași perioadă, este în fază de execuție podul peste Olt de lângă Slatina, cu 5 deschideri de 80,00-m și o lungime totală de 400,00-m. Proiectul este elaborat de inginerul Elie Radu în anul 1888 și prevede fundații pe chesoane metalice cu aer comprimat la 12,00-m adâncime, conform Emil Prager, *Betonul armat în România*, Editura Tehnică, București, 1979, p. 85, fig. 5.2.4. Podul a fost distrus în anul 1916, în timpul Primului Război Mondial.

⁴² Podul metalic combinat suprapus (rutier și de cale ferată) peste râul Siret de la Cosmești, este proiectat de inginerul Anghel Saligny în anul 1882 și este executat în perioada 1885 ÷ 1888. Podul are 430-m lungime și este în exploatare doar pentru o perioadă de 29 de ani, până la 2 august 1917, când este distrus în timpul Primului Război Mondial.

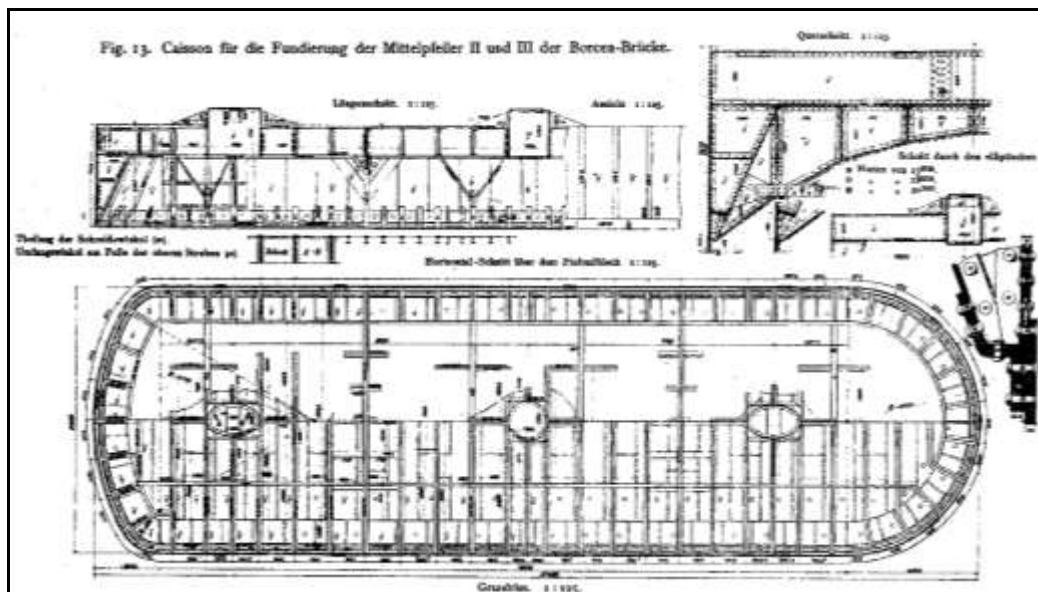


Fig. 10. Chesonul metalic folosit pentru execuția fundațiilor pilelor podului peste brațul Borcea. Secțiune longitudinală cheson (detaliu sus). Forma în plan a chesonului și racordările curbe specifice ale laturilor scurte pentru arierbec, în stanga și avantbec, în dreapta (detaliu jos).

Tehnologia de execuție impune ca, într-o primă etapă, chesonul să fie coborât la adâncimea de lucru, urmând ca la interior să se mențină o presiune egală cu presiunea apei prin introducerea de aer comprimat produs în stații de aer, aflate la exterior, acționate cu motoare cu abur. Prin crearea unei atmosfere controlate, în condiții de presiune maximă de 3,1· atm, pentru podul peste Dunăre se excavează un volum de pământ de aproximativ 43000·m³. Pentru podul peste brațul Borcea volumul de pământ excavat este de aproximativ 19000·m³.

La finalul unui schimb de lucru, muncitorii (chesonieri) sunt evacuați prin tunelul de acces către suprafață unde se efectuează procesul obligatoriu de decompresie.

Iluminatul în camera de lucru este asigurat inițial în mod empiric (cu lumânări de ceară), ulterior fiind introdus iluminatul electric.

După finalizarea excavațiilor și atingerea cotei de fundare, volumul camerei chesonului se umple cu beton de mortar hidraulic și ulterior se trece la executarea zidăriei din blocuri de piatră masivă de carieră a fundației și a elevațiilor folosind, ca liant, mortar de ciment și mortar hidraulic.

În cazul podului peste Dunăre, cota de fundare a pilelor, stabilită inițial la 30,00-m sub nivelul etiajului, a fost redusă în final la 27,00-m pe baza noilor informații obținute din forajele efectuate sub coordonarea inginerului Nicolae N. Herjeu.

Acest detaliu are o importanță majoră pentru desfășurarea ulterioară a lucrărilor deoarece, din punct de vedere al cunoașterii tehnice în epocă, la adâncimi inferioare cotei de 30,00-m sub nivelul etiajului, aplicarea tehnologiei de execuție cu chesoane metalice cu aer comprimat ar fi impus adoptarea unor măsuri excepționale de siguranță, cu costuri aferente oneroase.

În final, fundațiile podului peste Dunăre se vor executa la cote cuprinse între -27,00-m și -25,00-m, iar fundațiile podului peste brațul Borcea⁴³ se vor executa la cotele -23,00-m, -27,50-m, -27,50-m și -26,00-m, sub nivelul etiajului.

Exteriorul elevațiilor se plachează la final cu moloane⁴⁴ de granit dobrogean, solidarizate cu mortar de ciment. Calitatea execuției prelucrării moloanelor de granit și racordarea suprafețelor

⁴³ E. Gaertner, *op. cit.*, p. 30, tab. 3.

acestora de avantbecurile pilelor sunt de o mare acuratețe și precizie, ceea ce accentuează aspectul general de monumentalitate și rafinament ale pilelor podului.

Înălțimea totală a unei pile de la podul peste Dunăre este de 63,00·m, iar cuzineții dispuși la partea superioară sunt realizați din blocuri de granit cu dimensiunile în plan de 2,00·m × 2,30·m.

Pentru elevațiile pilelor celor două poduri se folosește un volum de aproximativ 110270·m³ de zidărie din blocuri de piatră masivă de carieră.

7. Execuția lucrărilor de montaj a suprastructurii metalice. Inaugurarea obiectivului

Execuția lucrărilor de montaj a suprastructurii metalice a podului peste Dunăre, prin anvergura proiectului și elementele de noutate tehnică introduse, are un caracter complex. Succint, principalele momente specifice ale fazelor și modului de desfășurare a lucrărilor, pot fi sintetizate astfel:

- Din punct de vedere al etapizării, după cum se prezintă în fig. 11, ordinea montajului celor 5 grinzi cu zăbrele începe cu grinda în consolă dinspre Cernavodă, se continuă cu grinda în consolă dinspre viaductul Iezer, grinda semiparabolică dinspre Cernavodă, grinda semiparabolică dinspre viaductul Iezer și la final se completează întregul ansamblu de grinzi prin montarea grinzii semiparabolice centrale.

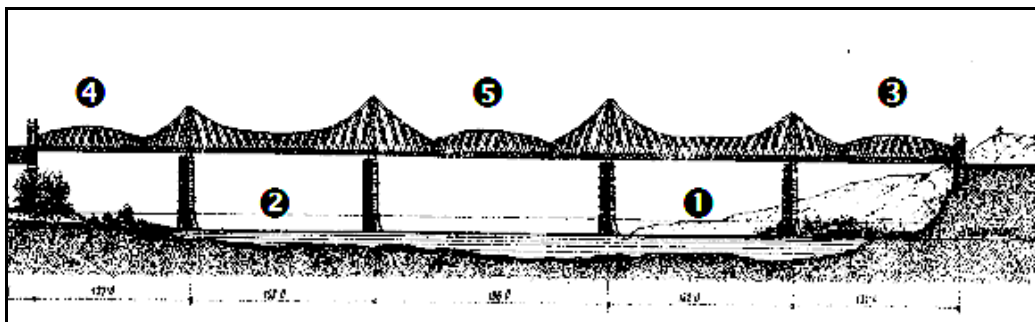


Fig.11. Ordinea montajului grinzilor cu zăbrele ale podului peste Dunăre de la Cernavodă.

- Din punct de vedere al tipului sistemului de montaj, la execuție se adoptă sistemul de montaj pe schele, deși memoriul de prezentare al proiectului prevede sistemul de montaj în console (specific grinzilor cu zăbrele în consolă).

- În cazul montajului *grinzilor cu zăbrele în consolă*, sistemul de schele este susținut de un grup de piloți de lemn introduși sub cota fundului albiei fluviului, la aproximativ (10,00 ÷ 15,00)·m adâncime, după cum se prezintă în fig. 12 și fig. 13.

Pe schela montată pe poziție, se execută montajul și nituirea elementelor tablierului cu ajutorul unor macarale portal, cu capacitatea de aproximativ 20·tf.

După finalizarea execuției tablierului, acesta este ridicat în etape succesive de aproximativ 1,00·m înălțime, este poziționat provizoriu pe reazeme din tuburi metalice cu diametrul de 900·mm și se execută placarea elevațiilor pilelor cu zidărie de moloane de granit.

Tablierul continuă ridicarea până la cota finală, concomitent cu execuția plăcii elevațiilor pilelor, iar pentru susținerea lui la cota finală, când trebuie executată bancheta cuzineților, se folosesc două console laterale dispuse la reazeme.

⁴⁴ Molonul este un bloc de piatră folosit la execuția zidăriilor, care are fața văzută cioplită grosier sau prelucrată, cu forma dreptunghiulară sau poligonală. În cazul celor două poduri, s-au folosit moloane din piatră masivă la execuția fundațiilor și moloane din granit dobrogan pentru placarea elevațiilor pilelor.

- În cazul montajului *grinzilor cu zăbrele semiparabolice marginale*, execuția sistemului de schele se realizează într-un mod mai facil, popii schelelor descărcând pe solul albiei majore, după cum se prezintă în fig. 15.

- În cazul montajului *grinzii cu zăbrele semiparabolice centrale*, execuția sistemului de schele este foarte dificilă. Pentru execuția montajului și nituirii elementelor tablierului, schela se montează pe poziție la o înălțime de 32,00-m față de oglinda apei, cu piloții de lemn introduși sub cota fundului albiei, după cum se prezintă în fig. 16. Montarea tablierului metalic la cota finală se realizează folosind macaraua portal.

Pentru inaugurarea oficială a obiectivului, Guvernul României organizează la 14 septembrie 1895 o ceremonie fastuoasă⁴⁵ în prezența Regelui României, Carol I, Reginei României, Elisabeta, a principelui moștenitor Ferdinand, a principesei Maria și a unui număr important de înalți demnitari ai statului.



Fig.12. Execuția primei grinzi cu zăbrele în consolă, dinspre Cernavodă. Sistemul de schele este susținut de un grup de piloți de lemn introduși sub cota fundului albiei fluviului. Se lucrează la montajul tablierului.



Fig.13. Finalizarea execuției primei grinzi cu zăbrele în consolă, către Cernavodă. Pentru cea de-a doua grindă cu zăbrele în consolă, către viaduct, sistemul de schele susținut de piloți de lemn introduși sub cota fundului albiei fluviului este finalizat și se lucrează la montajul tablierului.

⁴⁵ Ceremonialul este publicat în "Monitorul Oficial al României" nr. 134 din 17/29 septembrie 1895, pp. 4474-4478.



Fig.14. Momentul finalizării execuției celor două grinzi cu zăbrele în consolă.



Fig.15. Finalizarea montajului tablierului grinzii cu zăbrele semiparabolice marginale către viaductul Iezer și poziționarea acestuia la cota finală.

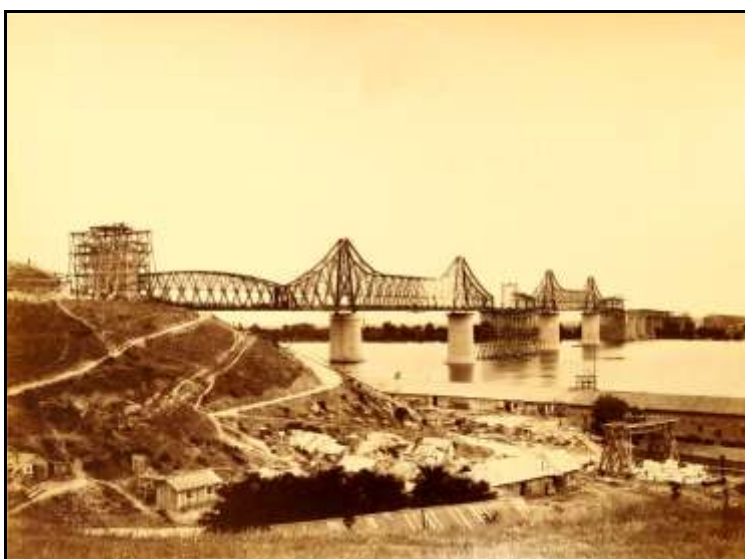


Fig.16. Montarea sistemului de schele la 32.00 m înălțime de la oglinda apei pentru execuția tablierului grinzii cu zăbrele semiparabolice centrale.

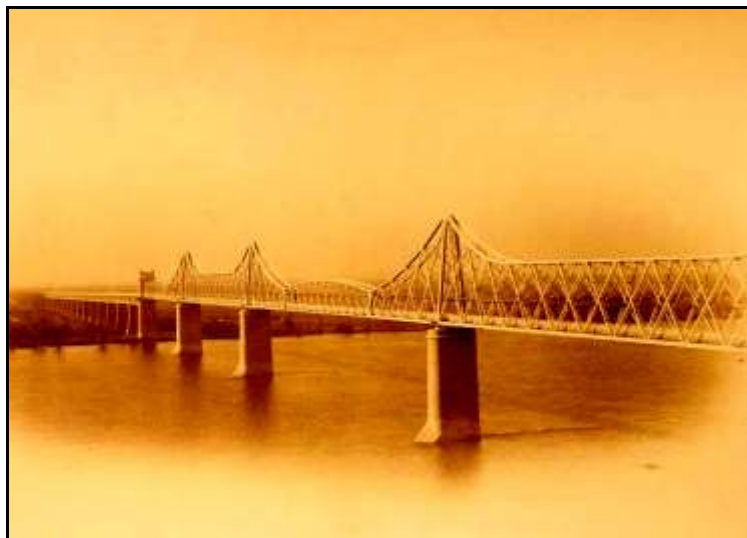


Fig.17. Finalizarea execuției podului de cale ferată "Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă. Vedere de ansamblu a podului după inaugurare.

Documentul oficial comemorativ este citit de către Constantin Olănescu, ministrul Lucrărilor Publice, iar după zidirea unui exemplar din document în stâlpul podului de pe malul drept al Dunării, urmează încercarea de rezistență a podului care constă în traversarea acestuia de către un convoi de 15 locomotive cu viteza de 80·km/oră.

8. Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă, o construcție de excepție cu largă recunoaștere internațională la nivelul epocii, proiectată de specialiști români

Complexul de poduri și viaducte ale liniei de cale ferată Fetești–Cernavodă, inaugurat la 14 septembrie 1895, are o lungime totală de 4087,95·m prin care realizează conexiunea între infrastructurile de transport existente pe cele două maluri ale Dunării. La nivelul epocii, acesta reprezintă o realizare majoră din punct de vedere ingineresc, fiind recunoscut drept cel mai lung complex de poduri din Europa continentală.

Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă, este construcția reprezentativă a complexului de poduri și viaducte, are dimensiuni semnificative, o concepție structurală modernă, iar prin aprecierea sa de către mari specialiști în domeniu de pe plan mondial, reprezintă un autentic simbol al afirmării României, la un nou nivel de statut internațional, ca stat european suveran, lansat pe calea dezvoltării economice și sociale.

Corpul de ingineri români, organizat de inginerul Anghel Saligny în *Serviciul pentru construcțiunea lucrărilor dintre Fetești-Cernavodă* se remarcă prin elaborarea unei documentații de proiectare de complexitate ridicată și prin asigurarea controlului și coordonării unor lucrări de execuție cu dificultate tehnică mare.

În acest context, inginerul Anghel Saligny, directorul *Serviciului pentru construcțiunea lucrărilor dintre Fetești-Cernavodă* și proiectant al podurilor peste Dunăre și brațul Borcea, primește o largă recunoaștere a nivelului său profesional și științific la nivelul societății românești.

Astfel, la 9 mai 1890 Anghel Saligny este avansat inginer inspector-general clasa II, iar la 1 ianuarie 1894 obține gradul maxim care se poate acorda inginerilor conform *Regulamentului pentru organizarea corpului de ingineri civili*, respectiv inginer inspector-general clasa I.

În această perioadă, este admis ca membru al Academiei Române⁴⁶ (membru corespondent la 31 martie 1892 și membru titular la 7 aprilie 1897). În perioada 1901 ÷ 1904 va deține funcția de vicepreședinte, iar în perioada 1907 ÷ 1910 va fi președintele acestei prestigioase instituții științifice.

⁴⁶ Dorina Rusu, *op. cit.*, p. 743.

Cu ocazia inaugurării podului "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă, inginerul Anghel Saligny primește medalia oficială *Inaugurarea podului "Regele Carol I" de la Cernavodă, octombrie 1890-septembrie 1895*⁴⁷, prezentată în fig. 18 și la scurt timp, 7 octombrie 1895, este numit Director General al Căilor Ferate Române.



Fig. 18. Medalia oficială *Inaugurarea podului "Regele Carol I", de la Cernavodă, octombrie 1890-septembrie 1895*. (avers și revers, bronz, 69-mm), gravor A. Scharff, Viena.

Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă, este remarcat de cercul specialiștilor din întreaga lume, oameni de știință, importanți proiectanți și constructori de poduri, este citat și inclus ca exemplu în tratate tehnice de specialitate.

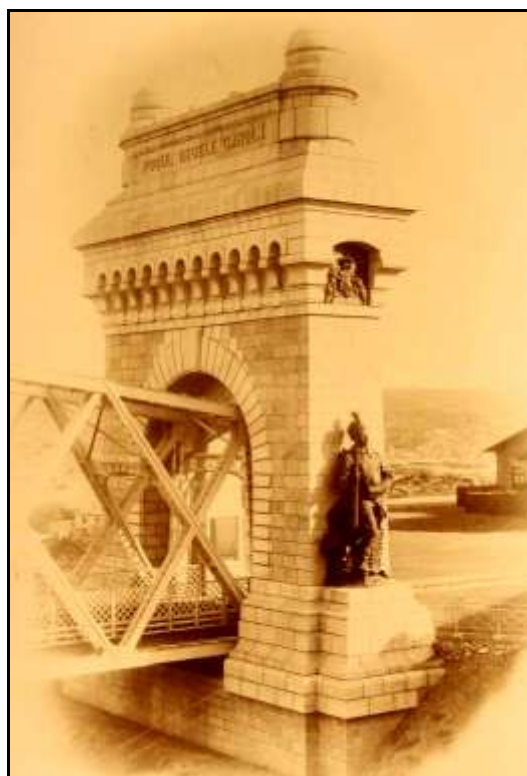
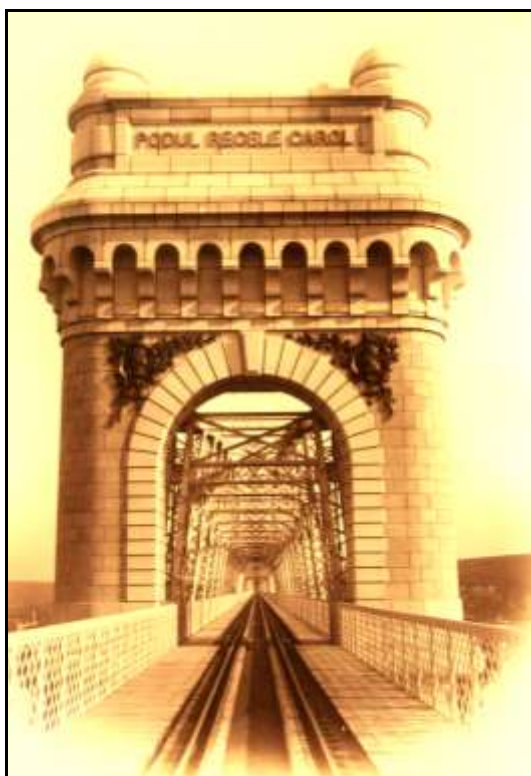


Fig. 19. Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă. Accesul pe pod dinspre viaduct (stânga) și ieșirea de pe pod către Cernavodă (dreapta).

⁴⁷ Katiușa Pârvan, Dragoș Ungureanu, "Despre medaliile și plachetele dedicate lui Anghel Saligny și lucrărilor sale", *Cercetări Numismatice*, 7, București, 1996, pp. 227, 228.

Pentru exemplificare, o parte dintre citările și referirile asupra podului sunt prezentate în continuare.

În volumul LXXXIII (mai ÷ iunie 1897) al prestigioasei publicații științifice britanice *The Engineer*, publicat la Londra, un material amplu este consacrat prezentării noului pod Franz Josef, construit peste Dunăre, la Budapesta. Proiectantul podului, inginerul Aurel Czekelius menționează că pentru acest pod, cu o singură cale, având deschiderea principală de 175-m și două deschideri laterale de 78-m, a folosit sistemul cantilever, care este sistemul podurilor Forth Bridge și al noului pod peste Dunăre de lângă Cernavodă, în România, cel mai lung pod din Europa.

[...] *It was them, decided to adopt the system of continual girders over the three spans, with links in the middle span; that is to say, the cantilever system. The stability of such a system is assured, and the construction entails only perpendicular pressures, upon the abutments. This is the system of the Forth Bridge and the new Danube bridge near Cernavoda, in Romania, the longest bridge in Europe.* [...] ⁴⁸

Profesorul german Georg Mehrtens de la Universitatea Tehnică din Dresda face referire în cadrul volumului *Der Brückenbau sonst und jetzt* publicat în anul 1899 la Zürich, asupra podului cu grinzi cantilever, care, la acel moment, este cel mai lung pod din Europa continentală, respectiv podul peste Dunăre de la Cernavodă din România, proiectat de Saligny și inaugurat în anul 1895, care conectează stațiile Fetești și Cernavodă, având o deschidere principală de 190-m și deschideri laterale de 140-m.

[...] *Die weitestgespannte Brücke des europäischen Festlandes ist auch eine Auslegerbrücke. Es ist die Donaubrücke bei Cernavoda in Rumänien, die bei ihrer Einweihung im Jahre 1895 den Namen Carol-brücke erhalten hat. Sie wurde von Saligny entworfen und verbindet die Stationen Fetesci und Cernavoda der Eisenbahnlinie Cernavoda-Constantza mit einer Hauptöffnung von 190-m und Seitenöffnungen von 140-m Weite.* [...] ⁴⁹

Profesorul Georg Mehrtens menționează în noul său volum, *Der Deutsche Brückenbau im XIX*, publicat în anul 1900 la Berlin că, dintre podurile europene cu o singură cale, podul Cernavodă de pe linia București-Constanța este, din punct de vedere istoric, cel mai important.

[...] *Unter den Europäischen Brücken ist die eingleisige Czernavoda-Brücke der Linie Bukarest-Constantza, geschichtlich die bedeutendste* [...] ⁵⁰.

În volumul referitor la construcția podurilor din *Handbuch der Ingenieurwissenschaften in fünf Tilen* publicat de Th. Landsberg în anul 1904 la Leipzig, podul peste Dunăre de lângă Cernavodă este prezentat, datorită deschiderii sale centrale de 190-m, ca un pod cantilever important la nivel mondial, alături de cunoscutul Forth Bridge din Marea Britanie. În capitol separat, podul Dunării de lângă Cernavodă este exemplificat prin înălțimea sa de 30-m deasupra nivelului apei.

⁴⁸ Aurel Czekelius, "The Francis-Joseph Bridge at Buda-Pest", *The Engineer*, 83, London, 1897, pp. 486-488.

⁴⁹ Georg Mehrtens, *Der Brückenbau sonst und jetzt*, Vortrag gehalten am 2 November 1897 im Technischen Verein zu Frankfurt a. M., Verlag von Ed. Rascher, Meyer & Zeller's Nachfolger, Zürich, 1899, p. 19 [Cel mai lung pod de pe continentul european este, de asemenea, un pod (cu grinzi) în consolă. Este podul de peste Dunăre de lângă Cernavodă din România, care a fost numit Podul Carol când a fost inaugurat în 1895. A fost proiectat de Saligny și conectează stațiile Fetești și Cernavodă ale liniei de cale ferată Cernavodă-Constanța cu o deschidere principală de 190-m și deschideri laterale de 140-m].

⁵⁰ Georg Mehrtens, *Der Deutsche Brückenbau im XIX*. Denkschrift Bei Gelegenheit Der Weltausstellung Des Jahres 1900 in Paris, Jahrhundert, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GmdH, 1900 [Podul Czernavodă cu o singură cale de pe linia București-Constanța este, istoric, cel mai important dintre podurile europene].

[...] *Auslegerbrücken sind denn auch in allen Ländern der Erde ausgeführt worden, so in England die Forth-Brücke, in Rumänien die Brücke über die Donau bei Cernavoda (Abb. 9, 190-m Spannweite). [...] Eine ähnliche Höhe (30-m über dem Wasserspiegel) war für Donaubrücke bei Cernavoda gefordert [...]*⁵¹.

În monumentalul tratat *Bridge Engineering* publicat în anul 1916 la New York, marele proiectant american de poduri metalice J. A. L. Wadell, evidențiază podul peste Dunăre de la Cernavodă din România prin informații asupra dimensiunilor, soluției structurale (grinzi cantilever, sistem triunghiular dublu al grinzilor cu zăbrele, accentuarea turnurilor pilelor prin adoptarea înălțimii rezultate din calcul) și prin remarcarea simetriei perfecte a întregului ansamblu.

[...] *Next there comes the Cernavoda Bridge over the Danube in Romania. It consists of a simple span of 295-feet and a cantilever-arm of 164-feet forming an opening of 459-feet, an anchor-span of 295-feet, two cantilever-arms of 164-feet each and a suspended-span of 295-feet forming the main opening of 623-feet, an anchor-span of 459-feet, and a cantilever-arm of 164-feet with a simple span of 295-feet forming an opening of 459-feet. [...] The trusses are of the double intersection triangular type, and the towers are accentuated by the adoption of a liberal height. Although the bridge may seem odd to the trained eyes of American engineers, its appearance is not altogether displeasing, because the perfect symmetry of its entire layout is quite striking, as shown in the cut. [...]*⁵².

Profesorul francez Paul Séjourné de la École des Ponts et Chaussées Paris menționează, în corespondența purtată în anul 1920 cu profesorul Ion Ionescu de la Școala Națională de Poduri și Șosele din București, că atenția i-a fost atrasă de magnificul pod Cernavodă, care este considerat ca fiind una dintre cele mai remarcabile lucrări din Europa, ce face o mare onoare pentru eminentul inginer care l-a proiectat, inspectorul general Saligny.

[...] *Je suis très sensible à l'hommage que vous bien voulu me faire de votre jolie et fort intéressante brochure sur le remarquables ponts roumains, étudiés, construits ou consolidés par M. l'Inspecteur Général Saligny, durant sa longue et belle carrière. J'ai été vivement impressionné par l'apparente légèreté, le caractère esthétique et les dispositions rationnelles de ses ouvrages. Mon attention a été surtout retenue par le magnifique pont de Cernavoda, qui est toujours très justement considéré comme l'un des ouvrages les plus remarquables de l'Europe. Il fait le plus grand honneur à l'éminent ingénieur qui l'a conçu, M. l'Inspecteur général Saligny. [...]*⁵³.

⁵¹ Th. Landsberg (ed.), *Handbuch der Ingenieurwissenschaften in fünf Tilen, Zweiter Teil: Der Brückenbau*, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1904, pp. 38, 46, 77. [Au fost construite poduri (cu grinzi) în consolă în toate țările lumii, de exemplu Podul Forth din Anglia și podul peste Dunăre lângă Cernavodă în România (Fig. 9, deschidere principală de 190-m). Pentru podul Dunării de lângă Cernavodă a fost necesară o înălțime similară (30-m deasupra nivelului apei)].

⁵² John Alexander Low Wadell, *Bridge Engineering*, vol. I, First Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1916, pp. 600, 602. [Apoi vine Podul Cernavodă peste Dunăre în România. Se compune dintr-o grindă simplă cu lungimea de 295-picioare și un braț al unei grinzi în consolă de 164-picioare care formează o deschidere de 459-picioare, o grindă cu deschiderea de 459-picioare, două brațe ale unei grinzi în consolă, de 164-picioare fiecare și o grindă suspendată de 295-picioare care formează deschiderea principală de 623-picioare, o grindă cu deschiderea de 459-picioare, un braț al unei grinzi în consolă de 164-picioare cu o grindă simplă cu lungimea de 295-picioare, formând o deschidere de 459-picioare. Grinzile cu zăbrele sunt în sistem triunghiular dublu iar înălțimea turnurilor pilelor podului este accentuată de adoptarea unei înălțimi liberele.].... [Deși podul poate părea ciudat pentru ochii instruiți ai inginerilor americani, aspectul său nu este deloc neplăcut, deoarece simetria perfectă a întregului ansamblu este destul de izbitoare, așa cum se arată în secțiune].

⁵³ Ion Ionescu, "Anghel Saligny", *Buletinul Societății Politehnice*, 39 (11-12), București, 1925, p. 416-455. [Sunt foarte sensibil la omagiul pe care mi l-ați făcut prin broșura frumoasă și foarte interesantă despre remarcabilele poduri

9. Concluzii

Inaugurat la 14 septembrie 1895, complexul de poduri și viaducte ale liniei de cale ferată Fetești–Cernavodă are o lungime totală de 4087,95-m și reprezenta la nivelul epocii cel mai lung complex de poduri construit în România și Europa continentală și al treilea ca lungime la nivel mondial. Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă face parte din acest complex, fiind construcția sa reprezentativă.

Proiectantul complexului de poduri și viaducte este inginerul Anghel Saligny (1854÷1925), profesor la Școala Națională de Poduri și Șosele din București, cea mai importantă personalitate din istoria ingineriei civile românești.

Podul de cale ferată peste Dunăre este de tip cantilever cu calea jos, are 5 deschideri (o deschidere centrală de 190,00-m și 4 deschideri curente de 140,00-m) cu o lungime totală de 750,00-m. Infrastructura este alcătuită din șase pile masive înalte de 63,00-m, din care fundația are înălțimea de 26,00-m iar elevația pilei are înălțimea de 37,00-m. Pilele sunt executate din zidărie de blocuri de piatră masivă și sunt fundate la 27,00-m sub nivelul etiajului pe chesoane metalice cu aer comprimat. Suprastructura este modulată, fiind alcătuită din 5 grinzi metalice cu zăbrele de mare deschidere, concepute în doar două variante constructive: două grinzi cu zăbrele în consolă având lungimea de 240,00-m și înălțimea maximă de 32,00-m pe reazeme și trei grinzi cu zăbrele semiparabolice având lungimea de 90,00-m și înălțimea maximă de 13,00-m în zona centrală.

Principalele noutăți tehnice introduse în concepția structurii metalice sunt folosirea unui nou material de construcție (oțelul turnat) și a unui nou sistem structural ce utilizează grinzi cu zăbrele în consolă (grinzi Gerber). Complementar, detaliile de execuție elaborate de inginerul Anghel Saligny oferă soluții și altor probleme teoretice existente la nivelul epocii, precum conlucrarea spațială a platelajului cu grinzile principale, îmbunătățirea stabilității sistemului, asigurarea continuității lonjeroanelor prin intermediul platbandelor de continuitate.

Prin soluțiile tehnice adoptate, inginerul Anghel Saligny obține, pentru o construcție de mari dimensiuni, o eficientizare reală a soluției structurale, caracterizată de proporție și simetrie, adecvată din punct de vedere al rezistenței și stabilității, prezentată într-un contur general estetic și armonios, apreciată încă de la inaugurarea sa, în urmă cu 125 de ani.

Podul "Regele Carol I" peste Dunăre, de la Cernavodă, este una dintre construcțiile reprezentative ale țării, fiind încadrat, conform Listei monumentelor istorice din România, ca monument de arhitectură de interes național, având poziția CT-II-m-A-02872.

Bibliografie

I. Cărți

1. Berindei, Dan (coord.), *Istoria Românilor*, vol. VII, tom I, Editura Enciclopedică, București, 2003.
2. Constantinescu, Dinu-Teodor, *Construcții monumentale*, în seria Mici enciclopedii și dicționare ilustrate, Editura Științifică și Enciclopedică, București, 1989.
3. Crișan, Ion, *Anghel Saligny*, Editura Tineretului, București, 1959.
4. Ionescu, Ion, *Curs de construcțiuni metalice*, Școala Politehnică București, 1923.

românești, studiate, construite sau consolidate de inspectorul general Saligny pe parcursul îndelungatei și plinei de succese cariere ale sale. Am fost foarte impresionat de ușurința aparentă, caracterul estetic și aranjamentul rațional al operelor sale. Atenția mea a fost captată în special de magnificul pod Cernavodă, care este considerat pe bună dreptate una dintre cele mai remarcabile lucrări din Europa. Face cea mai mare onoare eminentului inginer care a proiectat-o, inspectorul general Saligny].

5. Ionescu, Ion, *Curs de poduri predat la Școala Politehnică din București. Partea II, Executarea podurilor metalice*, București, 1926.
6. Ionescu, Ion, *Curs de poduri predat la Școala Politehnică din București. Partea VII, Poduri cu zăbrele*, București, 1926.
7. Ilescu Saligny, Paul, *Anghel Saligny – un român pentru eternitate*, Asociația Română pentru Istoria Științei și Tehnicii, 1995.
8. Landsberg, Th. (ed.), *Handbuch der Ingenieurwissenschaften in fünf Tilen, Zweiter Teil: Der Brückenbau*, Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig, 1904.
9. Mehrrens, Georg, *Der Brückenbau sonst und jetzt*, Vortrag gehalten am 2 November 1897 im Technischen Verein zu Frankfurt a. M., Verlag von Ed. Rascher, Meyer & Zeller's Nachfolger, Zürich, 1899.
10. Mehrrens, Georg, *Der Deutsche Brückenbau im XIX. Denkschrift Bei Gelegenheit Der Weltausstellung Des Jahres 1900 in Paris, Jahrhundert*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg GmdH, 1900.
11. Popescu, Hristache, *Personalități românești în construcții*, ediția a II-a, Editura H.P., București, 2008.
12. Prager, Emil, *Betonul armat în România*, Editura Tehnică, București, 1979.
13. Rusu, Dorina, *Membrii Academiei Române 1866-2003. Dicționar*, Ediția a III-a, Editura Enciclopedică / Editura Academiei Române, București, 2003.
14. Saligny, Anghel, *Memoriul asupra proiectului podului peste Dunăre la Cernavodă*, București, 1888.
15. Wadell, John Alexander Low, *Bridge Engineering*, volume I, First Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1916.

II. Studii și articole în volume și publicații de specialitate

16. Blerzy, Henri, "Les fondations par l'air comprimé", *La Nature. Revue des sciences et de leurs applications aux arts et à l'industrie. Journal hebdomadaire illustré*, **1 (1)**, 1873.
17. Czekelius, Aurel, "The Francis-Joseph Bridge at Buda-Pest", *The Engineer*, **83**, London, 1897.
18. Direcțiunea serviciilor porturilor maritime Constanța, "Evoluția portului Constanța", *Dobrogea, cincizeci de ani de viață românească*, Editura Cultura Națională, București, 1928.
19. Gaertner, E., "Der Donau-Übergang Fetesti-Cernavoda in Rumänien", *Allgemeine Bauzeitung*, Wienn, 1896.
20. Ionescu, Ion, "Podul Regele Carol I", *Natura*, **1 (1)**, București, 1906.
21. Ionescu, Ion, "Anghel Saligny", *Buletinul Societății Politehnice*, **39 (11-12)**, București, 1925.
22. Ionescu, Dumitru P., "Construirea și răscumpărarea liniei ferate Constanța-Cernavodă", *Anuarul Institutului de Istorie și Arheologie "A.D. Xenopol"*, **25 (2)**, Iași, 1988.
23. Manoliu, I., Teodorescu, D., Tranca, M., "Large Bored Piles for the New Danubian Bridges in Romania", *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, **13**, New Delhi, 1994.
24. Marin, Costel, "Stăpân să rămână peste țărmurile Dunării!...", *Drumuri și Poduri*, **215**, București, 2015.
25. Pârvan, Katiușa, Ungureanu, Dragoș, "Despre medaliile și plachetele dedicate lui Anghel Saligny și lucrărilor sale", *Cercetări Numismatice*, **7**, București, 1996.

III. Periodice

26. "Monitorul Oficial al României" nr. 133 din 21 septembrie / 3 octombrie 1883.
27. "Monitorul Oficial al României" nr. 1 din 2 / 14 aprilie 1885.
28. "Monitorul Oficial al României" nr. 156 din 12 / 24 octombrie 1890.
29. "Monitorul Oficial al României" nr. 134 din 17 / 29 septembrie 1895.

IV. Documente de arhivă

30. Biblioteca Academiei Române, Albumul fotografic "Podul Regele Carol I", album cu cota topografică AF IV 310, care cuprinde fotografii executate în timpul șantierului Podului de la Cernavodă, între anii 1890-1895. Numerele de inventar cuprinse în album: 82074-82113.

V. Internet

31. Westhofen, Wilhelm, *The Forth Bridge*, Reprinted from "Engineering" February 28, 1890, Third Edition, Revised, With Appendix, London: Offices Of "Engineering" 35&36, Bedford Street, Strand, W.C.,
[https://en.wikisource.org/wiki/The_Forth_Bridge] [18 Martie 2020].
32. "National Register of Historic Inventory - Nomination Form For Federal Properties: The Brooklyn Bridge". United States Department of the Interior, National Park Service. October 15, 1966,
[<https://npgallery.nps.gov/GetAsset/763eefb2-3e0e-44e3-be5e-c7bdd9608e7b>] [29 aprilie 2020].
33. *Podul de la Cernavodă era cel mai lung din Europa*,
[<https://identitatea.ro/podul-de-la-cernavoda-era-cel-mai-lung-pod-din-europa-1895/>] [29 aprilie 2020].

VI. Sursele ilustrațiilor

- Fig.1: Saligny, Anghel, *Memoriul asupra proiectului podului peste Dunăre la Cernavodă*, București, 1888.
- Fig.2: Gaertner, E., "Der Donau-Übergang Fetesti-Cernavoda in Rumänien", *Allgemeine Bauzeitung*, Wienn, 1896, pl. no. 11, fig. 2.
- Fig.3: Gaertner, E., *op. cit.*, pl. no. 11, fig.1.
- Fig.4: Saligny, Anghel, *op. cit.*
- Fig.5: Manoliu, I., Teodorescu, D., Tranca, M., "Large Bored Piles for the New Danubian Bridges in Romania", *International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13, New Delhi, 1994, p. 510, fig. 3, fig. 4.
- Fig.6: Gaertner, E., *op. cit.*, pl. no. 13, fig.8, fig.9.
- Fig.7: [<https://identitatea.ro/podul-de-la-cernavoda-era-cel-mai-lung-pod-din-europa-1895/>]
- Fig.8: Westhofen, Wilhelm *The Forth Bridge*, Reprinted from "Engineering" February 28, 1890, p.28, fig.51, [https://en.wikisource.org/wiki/The_Forth_Bridge]
- Fig.9: Duschek, Franz, [Începuturile șantierului pentru podul de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82094.
- Fig.10: Gaertner, E., *op. cit.*, pl. no. 15, fig.13.
- Fig.11: Gaertner, E., *op. cit.*, pl. no. 11, fig.1.
- Fig.12: Duschek, Franz, [Șantierul podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82105.
- Fig.13: Duschek, Franz, [Șantierul podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82103.
- Fig.14: Duschek, Franz, [Șantierul podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82110.
- Fig.15: Duschek, Franz, [Șantierul podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82091.
- Fig.16: Duschek, Franz, [Șantierul podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82113.
- Fig.17: Duschek, Franz, [Vedere de ansamblu a Podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82074.
- Fig.19: Duschek, Franz, [Vedere în ax dinspre vest a podului de la Cernavodă]. [București] : [s.n.], [1895], cota F IV 82089. Duschek, Franz, [Vedere laterară a capului podului de la Cernavodă]. [București]: [s.n.], [1895], cota F IV 82084.