

Principii generale privind reabilitarea podurilor metalice

General Principles Regarding the Rehabilitation of Steel Bridges

Univ. Prof. Dr.-Ing. Radu Băncilă, Dr.-Ing. Edward Petzek, Dr.-Ing. Dorel Bolduş -

Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Departamentul de Construcții Metalice și Mecanica Construcțiilor, radu.bancila@ceft.utt.ro, epetzek@ceft.utt.ro, dboldus@ceft.utt.ro

Rezumat

Verificarea structurilor existente reprezintă la ora actuală una din cele mai importante probleme ale inginerilor proiectanți. Majoritatea podurilor metalice existente, atât de cale ferată cât și de șosea, care au fost construite la începutul secolului trecut, sunt structuri nituite. În prezent multe din podurile metalice existente au atins o durată de viață considerabilă; în acest sens stabilirea siguranței în exploatare a acestor structuri devine o prioritate pentru societatea contemporană. Multe dintre aceste poduri cu durată mare de viață sunt încă în exploatare, după ce au fost supuse de-a lungul timpului unor multiple intervenții asupra structurii – cum ar fi lucrări de reparații și consolidări – datorate atât avariilor structurale, cât și datorită necesității de adaptare la noile condiții de trafic. Alături de metoda clasică de cumulare liniară a vătămărilor este propusă o nouă analiză bazată pe principiile mecanicii ruperii. Lucrarea prezintă metodologia existentă în țara noastră în acest domeniu împreună cu câteva studii de caz.

1. Starea tehnică a podurilor existente

Reabilitarea și mentenanța podurilor existente constituie una din cele mai importante probleme actuale.

Infrastructura căilor de comunicație de la noi din țară și din alte țări est europene are o vechime de 70 până la 90 de ani. Multe dintre aceste structuri, în special podurile de cale ferată au ajuns la o vechime de 90 – 100 de ani sau chiar mai mult, fiind menținute în circulație după o serie de avarii, reparații și consolidări. Menținerea în exploatare a acestor structuri constituie una din sarcinile cele mai importante ale societății la ora actuală. Înlocuirea acestora cu structuri noi ridică probleme financiare, tehnice și politice.

În timpul exploatării podurile sunt supuse degradării. În ultimele decenii volumul inițial al traficului a crescut. Din acest motiv multe poduri necesită o inspecție și o verificare detaliată. Examinarea structurii trebuie să ia în considerare vechimea structurii, reparațiile efectuate, precum și mărimea și locația defectelor.

O mentenanță continuă, care în mod evident se intensifică în timp, este deosebit de importantă pentru asigurarea siguranței în exploatare a podurilor existente.

Aspectul cel mai important în cadrul evaluării siguranței în exploatare a podurilor îl constituie realizarea unei inspecții atente a structurii.

Abstract

The verification of existing structures is in present one of the main problems of the structural engineers. The majority of existing railway steel bridges that have been built at the turn of the last century are riveted structures. Today many of these structures have already achieved a considerably age; therefore the establishment of the remaining fatigue safety of these structures is one of the most important tasks of contemporary society. Many of these bridges are still in operation after damages, several phases of repair and strengthening. Along with the classical method of damage accumulation, a new approach based on the fracture mechanics principles is proposed. The paper presents the Romanian Methodology in this field with some case studies.

1. Technical condition of existing bridges

Rehabilitation and maintenance of existing steel bridges is one of the most important actual problems.

The infrastructure in Romania and in other East – European countries has an average age of about seventy to ninety years. Many of these structures, particularly railway bridges, have already achieved an age of ninety, hundred or even more years and are still in operation after damages, several phases of repair and strengthening. To maintain these structures is one of the most important tasks of our society. Replacement with new structures raises financial, technical and political problems.

During service, bridges are subject to wear. In the last decades the initial volume of traffic has increased. Therefore many bridges require a detailed investigation and control. The examination should consider the age of the bridge and all repairs, the extent and location of any defects etc.

A continuous maintenance, which generally must increase in time, is important in order to assure the safety in operation of the existing structures.

Carefully inspection of the structure is the most important aspect in evaluating the safety of the bridge. On the accuracy of the in situ inspection depends the level of evaluation.

The check of existing structures should be based on the complete bridge documentation (drawings with accuracy details, dimensions and cross sections of all structural elements, information about structural steel, stress history). However, in many cases these documentations are incomplete or missing. But these information can be recovered due to the

Verificarea podurilor existente trebuie să se bazeze pe o documentație completă a structurii (desene tehnice însoțite de detalii de acuratețe, dimensiuni și secțiuni transversale pentru toate elementele structurale, informații legate de mate-

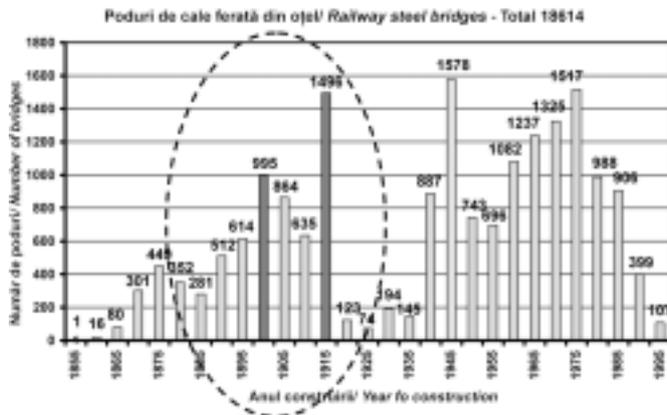


Figura 1. Numărul podurilor de cale ferată / anul de construcții/
Figure 1. Railway steel bridges / year of construction

rial, istoricul de solicitare). Însă, în multe situații documentația podului este incompletă sau chiar lipsește. Cu toate acestea informațiile pot fi refăcute printr-o inspecție detaliată a structurii, încercări experimentale care să pună în evidență caracteristicile de material și eforturile în elementele structurale, încercări in situ cu convoaie de probă (în regim static și dinamic), calibrarea structurii și calculul spațial al acesteia.

În general, durata de viață a podului este dată de oboseala materialului; dificilă este reconstituirea istoricului de solicitare. Pentru podurile la care istoricul de solicitare este cunoscut durata de viață rămasă poate fi calculată utilizând regula lui Miner și o curbă adecvată S-N; de asemenea, asumarea unui spectru de solicitare realist utilizat la determinarea duratei de viață a unui pod trebuie realizată. Pe durata procesului de estimarea a duratei de viață a podurilor existente este importantă stabilirea oboselii deja cumulate de elementele structurale. Pentru lonjeroni și antretoaze numărul de 10^7 cicluri este depășit. S-ar putea afirma că pentru astfel de poduri, dacă nu au apărut fisuri din oboseală, fenomenul nu este semnificativ! În consecință, dacă spectrul de solicitare ar rămâne identic nici în viitor nu ar apărea fisuri din oboseală. În aproape toate cazurile încărcările au crescut; în această situație existența structurii după 100 de ani (sau mai mult) fără fisuri, nu justifică presupunerea că nu s-au acumulat degradări. Defectele minore sunt dificil de detectat în timpul inspecțiilor curente.

Metodele uzuale, simplificate, nu conduc întotdeauna la rezultatele cele mai defavorabile, utilizarea unor metode mai rafinate sunt costisitoare. În conformitate cu experiența expertului o analiză progresivă poate fi aplicată. Într-un prim pas se va utiliza metoda clasică [1]. Dacă rezultatele nu sunt corespunzătoare se vor folosi metode mai sofisticate până când se poate demonstra că structura este adecvată sau sunt necesare consolidări. Un inginer cu experiență poate sări peste unele etape de durată care nu oferă rezultate concludente (o propunere interesantă se referă la plata inginerului care să fie recompensat în funcție de economiile realizate). Încărcările actuale sunt, în general, mai mici decât cele utilizate în proiectare. Încercări de oboseală pe elemente extrase din

carefully investigations and inspections of the structures, experimental determination of the material characteristics and stresses in structural elements, full scale in situ tests (static and dynamic), calibration of structure and spatial static analysis.

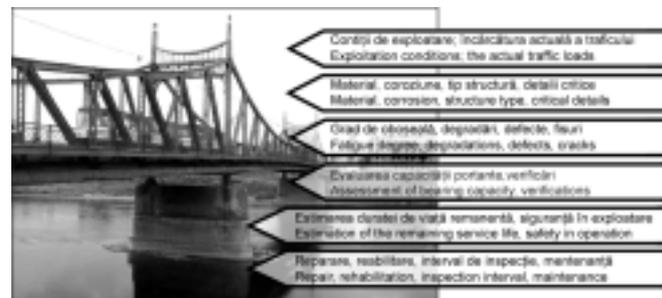


Figura 2. Inspecția și verificarea podurilor existente/
Figure 2. Assessment and control of existing steel bridges

Bridge life is generally given by fatigue; difficult is the estimation of the loading history. For bridges where the stress history is known the fatigue life may be calculated using the Miners's rule and an appropriate S-N curve; also the assumption of one spectrum for bridge life (or for certain periods) must be made. During the process of assessment the fatigue life of existing bridges is important to establish the proportion of the whole fatigue life that has been already got through. For stringers and cross girders of existing railway bridges the number of 10^7 cycles is exceeded. It might be affirmed that for such bridges if no fatigue cracks can be detected, no fatigue damage has occurred! Subsequently, if the loading spectrum remains the same in the future as in the past, fatigue cracking might not take place! In almost all the cases the loadings increased; in this situation survival for 100 years (or more) without cracking would not justify the assumption that no damage has yet occurred! Minor cracking is difficult to detect during usual inspections.

The usual simplified analysis methods do not always give the lowest resistance values for the structure, but usually the more refined assessment methods which give greater resistance are expensive. According to the experience of the expert a progressive analysis can be applied. In a first step simple classical methods can be applied [1]. If they fail, more sophisticated methods can be used, until either it is shown that the bridge is adequate, or it is concluded that strengthening is needed. An engineer with experience can jump over some time consuming steps which do not give any benefit (an interesting proposal is that the engineer will be paid on a percentage on the saving basis [2]). Actual loads are lower than those used for design purposes. Fatigue tests on elements taken from demolished structures gives – generally - greater fatigue life than the values according to the codes [3].

The applied stress range, the geometry of the detail and the number of stress cycles have a decisive effect on the remaining fatigue life of the structures.

By differences of more than 5 % of the cross section – due to corrosion, the actual values must be introduced.

However, from the overall examination of a large number of bridges many defects can be pointed out. The defects are widespread, having a heterogeneous character from the point

structuri dezafectate conduc la valori mai ridicate ale rezistenței la oboseală decât cele indicate în norme [3].

Ecartul de tensiuni, geometria detaliului constructiv și numărul de cicluri de solicitare influențează în mod decisiv durata de viață rămasă a structurilor.

La diferențe mai mari de 5% ale secțiunii transversale – datorită coroziunii, se vor introduce valorile reale ale acestora.

Din examinarea exhaustivă a unui mare număr de poduri au rezultat o serie întreagă de defecte. Aceste defecte au un caracter aleatoriu și eterogen din punct de vedere al poziției, al dezvoltării cât și al tendinței de creștere; amplificarea acestora se datorează atât variațiilor climaterice cât și a poluării care conduc la o reducere a secțiunii datorită coroziunii.

Din punct de vedere statistic în 283 din 1088 de poduri metalice sudate și în 356 din aproximativ 3201 de poduri metalice nituite au fost detectate fisuri care au fost ulterior reparate. Nu este permisă sudarea fisurilor. Podurile cu vechime mare sunt uneori executate prin sudură; o atenție deosebită trebuie acordată acestor îmbinări. În general îmbinările nituite au o comportare bună în timp, datorită forței inițiale de pretensionare care poate să atingă $70 - 80 \text{ N/mm}^2$.

2. Caracteristicile de material

Următoarele aspecte pun în evidență importanța analizei calității materialului pentru poduri vechi nituite:

- Podurile vechi au fost executate în multe cazuri cu materiale cu o sudabilitate redusă; din informațiile administrației și din literatura de specialitate este cunoscut faptul că a fost utilizat la construcția de poduri și oțelul pudlat;
- Literatura tehnică de specialitate nu oferă informații suficiente referitoare la acest oțelurile din acea perioadă;
- Materialul provine de la mai mulți producători (pentru sud – estul Europei, în majoritatea cazurilor, de la Reșița – România și de la Győr – Ungaria).

Rezultatele studiului pot fi extinse la Europa centrală și de est istoria căilor de comunicații terestre și dezvoltarea podurilor de cale ferată și de șosea fiind similare.

În acest context se menționează următorul eveniment: la 1 ianuarie 1855 curtea imperială habsburgică prin firma particulară “Kaiserliche und Königliche Privilegierte Österreichische Staatseisenbahngesellschaft” (St.E.G.) a cumpărat toate a cumpărat toate instalațiile și uzinele metalurgice din Banat a cumpărat toate oțelăriile din Banat. Investițiile de la Reșița au transformat laminorul într-o importantă fabrică de poduri.

Producția de poduri a ajuns la 3960 tone în 1910; poduri executate la St.E.G. Reșița sunt încă în exploatare în România, Austria și Ungaria. Între 1911 – 1913, 1620 tone de structuri de poduri din oțel pudlat au fost înlocuite în partea de vest a României (Banat) în special pe linia Timișoara – Orșova.

În consecință studiul de material ia în considerare poduri din această zonă construite în jurul anului 1911.

Următoarele analize de material au fost executate în vederea determinării caracteristicilor acestuia:

- analize chimice;
- analize metalografice;
- încercări de tracțiune;
- durități Brinell;
- determinări ale energiilor consumate la rupere pe probe Charpy “V”.

of view of location, development and development tendency; their amplification was also due to the climate and polluting factors that caused the reduction of the cross section due to corrosion. Statistically, in 283 from among 1088 welded bridges, and in 356 from among 3201 steel riveted bridges cracks were detected and repaired. It is not allowed to weld cracks. Old bridges can have welds executed in the early years; a special attention must be paid to these parts. Generally the riveted connections have a good behaviour in time due to the initial prestressing force which can reach $70 - 80 \text{ N/mm}^2$.

2. Characteristics of materials

The following facts show that a material analysis for old riveted bridges is very useful:

- Old bridges are in many cases erected using material with very poor welding qualities and basing on railway administration data and specialised literature it is known that cast iron was used to build bridges;
- The specialised literature doesn't offer enough information about these structural steels;
- The material comes from several producers (for South Eastern Europe mostly from Reschitz – Romania and Győr – Hungary).

The study's results can be extended to Middle and South Eastern Europe when the history of communication ways and the state of old railway and highway steel bridges in this region is regarded.

In this context we mention the following event: on the 1st of January 1855 the “Kaiserliche und Königliche Privilegierte Österreichische Staatseisenbahngesellschaft” (St.E.G.) took over all steel producers in Banat. The investments in Reschitz turn the steel mill into an important bridges' factory.

The production of steel bridges reached 3960 tonnes in 1910, whilst bridges made by St.E.G. Reschitz are still in use in Romania, Austria and Hungary. Between 1911 – 1913, 1620 tonnes of bridge structures made of cast iron were replaced in the western part of Romania (Banat), namely on the railway segment Timișoara – Orșova.

In this sense the material study took into account bridges from this region, built around 1911.

Following material analysis were performed in order to determine the characteristics of the material:

- chemical analysis;
- metallographic analysis;
- tensile tests
- Brinell tests;
- Charpy “V Notch” tests.

The samples were taken from secondary elements, but also in some cases (Bridges in Arad and Sag which were replaced) from main elements: stringers, cross girders, main girders [4].

The results of the chemical analysis are presented in the table 2.

The statistical interpretation of the tensile tests results shows a minimal value for the yield stress of 230 N/mm^2 .

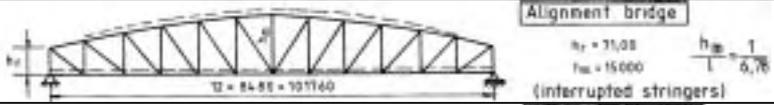
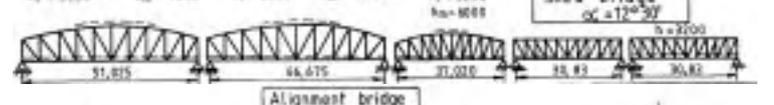
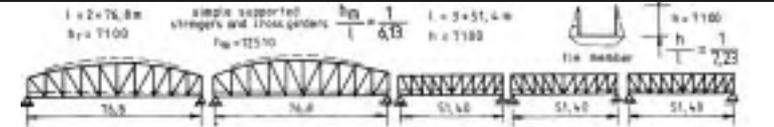
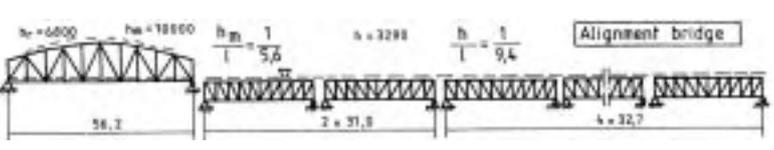
The impact tests on Charpy V Notch specimens lead to conclusion that the transition temperature is situated in many cases in the range from -10°C to 0°C (Figure 4).

By analysing the laboratory results we can conclude that the steel is a mild one, that could be associated to the present steel types St 34 or St 37.1.

Also, on the two dismantled bridges – Arad and Sag –

Reabilitare poduri metalice

Tabelul 1. Podurile studiate/ Table 1. The bridges on which the material study basis.

Deschiderea/ Span	Anul construirii/ Year of construction	Poziția/ Position	Tipuri de structuri/ Type of structures
101,76 m	1912 (St.E.G. Reschitz)	Mehadia	 Alignment bridge $h_s = 71,08$ $h_m = 15000$ $\frac{h}{h_s} = \frac{1}{210,8}$ (interrupted stringers)
81,6 m	1911 (St.E.G. Reschitz)	Valea Cernei	 Alignment bridge $h_s = 5800$ $h_m = 12000$ $\frac{h}{h_s} = \frac{1}{206,9}$ (interrupted bridge)
71,76 m	1913 (St.E.G. Reschitz)	Balta Sărată	 Alignment bridge $h_s = 4300$ $h_m = 9000$ $\frac{h}{h_s} = \frac{1}{19}$
50,65 + 66,20 + 36,70 + 2x30,40 m	1912 (St.E.G. Reschitz)	Șag replaced 1997	 Skew bridge $\alpha = 12^\circ 30'$ $h_s = 2620$ $h_m = 7500$ $\frac{h}{h_s} = \frac{1}{286,3}$
2x76,80 + 3x51,42 m	1912 (Győr)	Arad replaced 2000	 Alignment bridge $h_s = 7100$ $h_m = 12570$ $\frac{h}{h_s} = \frac{1}{177,1}$ simple supported stringers and cross girders
56,2 + 2x31,0 + 4x 32,7 m	56,2 m 1927 (Reschitz) 2x31,0 + 4x32,7 m 1907	Brănișca	 Alignment bridge $h_s = 6800$ $h_m = 12800$ $\frac{h}{h_s} = \frac{1}{189,9}$

* An probabil de construire/Possible construction year

Table 2. Rezultatele analizelor chimice/ Table 2. Chemical analysis results

Nr./ No.	Pod / Număr probe și poziția Bridge / Specimen number & position	Compoziția chimică/Chemical composition [%]						
		C	S	Mn	P	Si	Ni	N
1	Valea Cernei Bridge / S1-VCB / Secondary elements	0,12	0,034	0,39	0,021	0,023	-	-
2	Valea Cernei Bridge / S2-VCB / Sec. Secondary elements	0,11	0,020	0,32	0,024	0,010	-	-
3	Mehadia Bridge / S1-MB / Secondary elements	0,11	0,014	0,50	0,028	0,050	-	-
4	Balta Sărată Bridge / S1-BSB / Secondary elements	0,07	0,072	0,38	0,016	0,010	-	-
5	Șag Timiș Bridge / S1-STB / Secondary elements – Span I	0,16	0,058	0,46	0,035	0,035	-	-
6	Șag Timiș Bridge / S2-STB / Secondary elements – Span II	0,14	0,066	0,63	0,030	0,061	-	-
7	Șag Timiș Bridge / S3-STB / Secondary elements – Span III	0,13	0,060	0,50	0,051	0,112	-	-
8	Șag Timiș Bridge / S4-STB / Secondary elements – Span IV	0,18	0,054	0,48	0,066	0,056	-	-
9	Șag Timiș Bridge / S5-STB / Secondary elements – Span V	0,18	0,017	0,44	0,059	0,010	-	-
10	Brănișca Bridge / S1-BB / Secondary elements	0,12	0,070	0,39	0,013	0,060	-	-
11	Brănișca Bridge / S2-BB / Secondary elements	0,11	0,055	0,38	0,014	0,060	-	-
12	Arad Bridge / S1-AB / Secondary elements – Span I	0,14	0,061	0,53	0,038	0,069	-	-
13	Arad Bridge / S2-AB / Secondary elements – Span II	0,19	0,033	0,64	0,051	0,018	-	-
14	Arad Bridge / S3-AB / Main elements – Stringers Span III	0,089	0,032	0,531	0,009	0,018	0,067	-
15	Arad Bridge / S4-AB / Main elements – Cross girders Span III	0,058	0,059	0,485	0,017	0,018	0,037	-
16	Arad Bridge / S5-AB / Main elements – Main girder Span III	0,056	0,032	0,493	0,001	-	0,031	-
17	Arad Bridge / S6-AB / Secondary elements – Span IV	0,18	0,035	0,46	0,063	0,078	-	-
18	Arad Bridge / S7-AB / Secondary elements – Span V	0,1	0,047	0,43	0,020	0,030	-	-
19	St 37 (STAS 500/2-80)	0,25	0,065	0,85	0,065	0,07	0,30	0,015
20	St 34 (STAS 500/2-80)	0,17	0,055	0,60	0,055	-	-	-
21	INCERTRANS Bucharest Research for cast iron	0,04... 0,11	0,014... 0,043	0,15... 0,48	0,121... 0,32	0,07... 0,31	-	-
22	German Research for cast iron*	0,16	0,056	0,100	0,470	0,100	0,007	-

* Cercetare germană/German research – Stahlbau 05.1985 (Prof.Dr.Ing. D. Kosteas, Ing. W. Stier, Ing. W. Grap)

[main elements - elemente principale, secondary elements - elemente secundare, span - deschidere, main girder - grindă principală,
cross girders - grinzi transversale, stringers - grinzi longitudinale

Probele de material au fost extrase din elemente secundare, dar și în unele cazuri (podurile din Arad și Șag care au fost dezafectate) din elementele structurale principale: lonjeroni, antretoaze și grinzi principale [4].

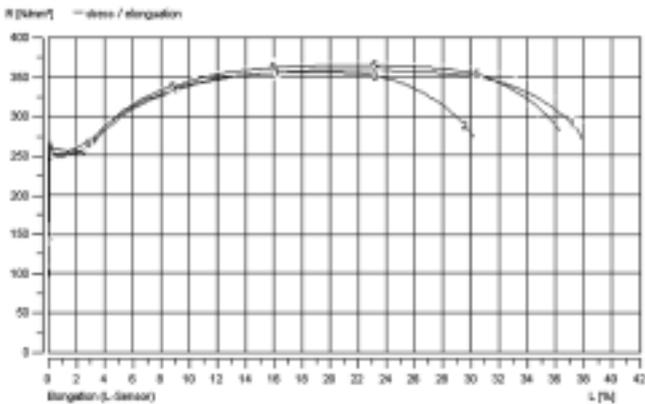


Figura 3. Exemplu – rezultatele încercărilor de tracțiuni la antretoazele podului din Arad (1912)

Figure 3. Example – the results of the tensile tests for the cross girders – Arad bridge (1912)

were made fracture mechanics tests [5] in order to establish the integral value J_c (according to ASTM E813-89), the CTOD and to determine the fatigue crack growth rate and the material constants C and m (according to ASTM E647-93). For these tests compact specimens CT (thickness 8 mm) as well as bending specimens have been used (Figure 6).

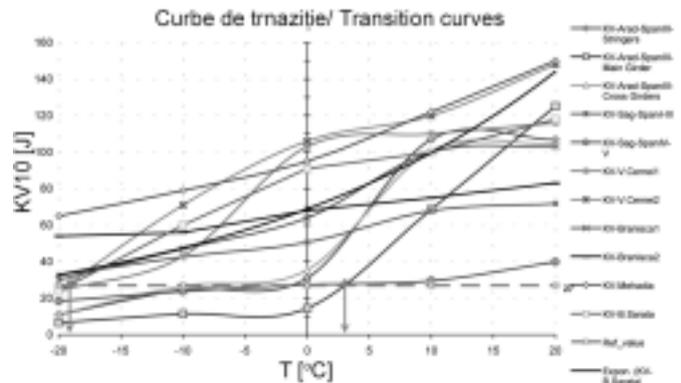


Figura 4. Curbele de tranziție pentru podurile analizate

Figure 4. Transition curves for the analysed bridge structures

Rezultatelor analizelor chimice sunt prezentate în tabelul 2. Interpretare statistică a rezultatelor încercărilor de tracțiune au condus la o valoare minimă a limitei de curgere de 230 N/mm^2 .

Încercările de încovoiere prinșoc pe epruvete cu creștătura în „V” au condus la concluzia că temperatura de tranziție este situată în majoritatea cazurilor în intervalul -10°C to 0°C (figura 4).

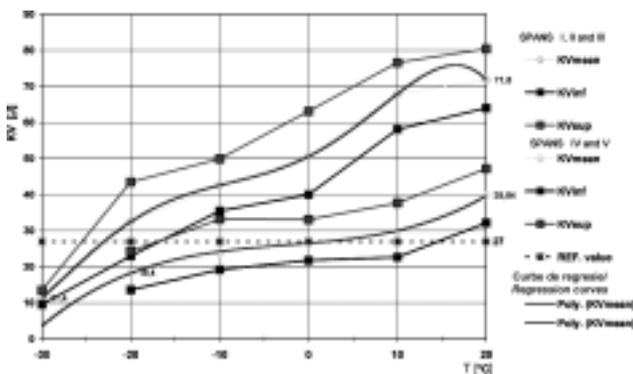
The impact tests on Charpy V Notch specimens lead to conclusion that the transition temperature is situated in many cases in the range from -10°C to 0°C (figura 5).

They have been obtained from the stringers, cross girders and main girder – lower chord.

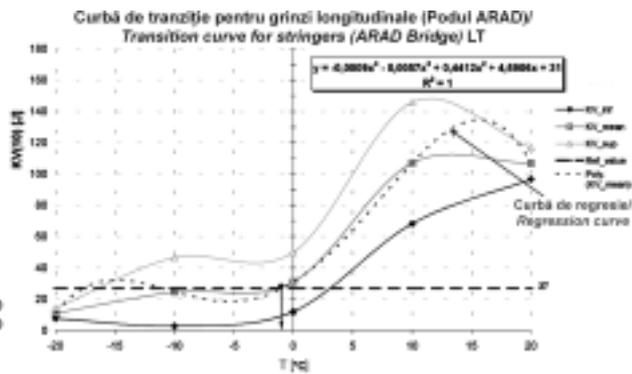
The minimal value of material toughness in term of J-Integral for these old riveted steel bridges is $J_{crit} = 10 \text{ N/mm}$ for a temperature of -20°C [4].

3. Loading tests of existing steel bridges

In order to have a realistic assessment of old steel bridges, full scales tests are very useful. The Romanian Railway Administration together with the Department of Steel



Podul Șag – Timișeni (1912)
Sag – Timișeni Bridge (1912)



Podul Arad – lonjeroni (1912)
Arad Bridge – Stringers (1912)

Figura 5. Exemple de curbe de tranziție

Figure 5. Example of transition curves for two representative bridges

Pe baza rezultatelor analizelor de laborator se poate concluziona faptul că oțelul utilizat este de tip moale care poate fi asimilat cu actualele mărci OL34 respectiv OL37.1.

De asemenea, din podurile dezafectate de la Arad și Șag au fost efectuate și încercări de mecanica ruperii pentru determinarea tenacității la rupere J_c (conform ASTM E813-89), a deschiderii critice la vârful fisurii CTOD și pentru stabilirea vitezelor de propagare a fisurilor au fost determinate

Structures from the Technical University “Politehnica” Timisoara organized, beginning with 1985 a detailed program for loading tests of existing bridges. For the beginning a classical bridge in alignment was chosen [6].

For some critical elements (stringer, cross girders, elements of the main girder) stress measurements were performed with strain gauges. Typical positions of the convoy (usually 2 – 5 engines) were chosen.

Pentru încercările statice s-au efectuat două măsurători în aceeași poziție a convoiului, efectuându-se media rezultatelor obținute. În pasul următor pentru același convoi și pentru viteze diferite (de ex. 25, 50, 75, 100 km/h) au fost efectuate

deck trough bridges, the results obtained by a space analysis are not different to the values of a simplified calculus.

For other types of structures, like skew, curved bridges, deck bridges, in situ tests are very useful and some differences

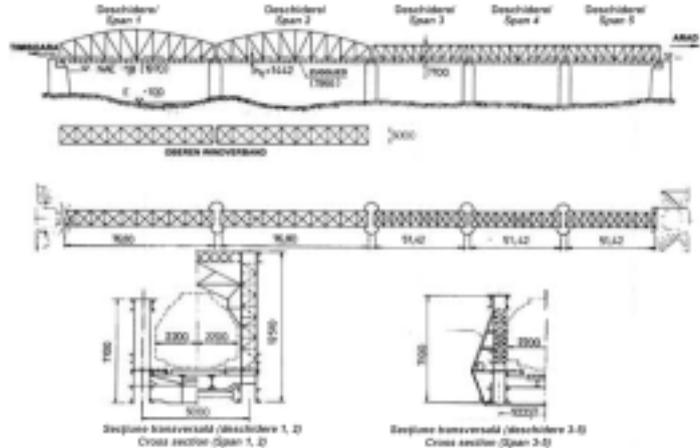


Figura 8. Podul Arad (1912) – dispoziție generală

Figure 8. Arad Bridge (1912) – general view

măsurători dinamice determinându-se coeficientul de impact:

$$\Psi = \frac{\sigma_{\text{dinamic}}}{\sigma_{\text{static}}}$$

Pe de o parte scopul încercărilor in situ a constat în stabilirea comportării generale a structurii, pe de altă parte s-a realizat o calibrare a modelului structurii pentru analiza spațială. Aceleași încărcări au fost aplicate pe structura spațială rezultatele obținute fiind comparate cu cele măsurate la fața locului. Alegerea corectă a modelului spațial pentru structura podului este una dintre cele mai importante probleme. Calibrarea modelului spațial depinde în mod direct de experiența inginerului.

În general, eforturilor calculate în structură sunt cu 10 – 30% mai mari decât cele măsurate; acest lucru înseamnă o extindere de 1,5 – 3 ori a duratei de viață rămase.

Verificarea a două structuri importante de poduri cu $L > 60$ m au condus la următoarea concluzie: pentru podurile cu cale jos și alcătuire clasică rezultatele obținute într-o analiză spațială nu diferă față de cele obținute printr-un calcul simplificat. Pentru alte tipuri de structuri: poduri oblice, poduri în curbă, poduri cu cale sus încercările in situ sunt importante și se obțin diferențe față de un calculul spațial. În continuare se prezintă câteva exemple:

- Podul din Arad cu o soluție deosebită pentru platelaj (lonjeronii și antretoazele sunt la capete simplu rezemați – cale flotantă); (figura 8, 9).

- Podul de la Slatina Timiș (cale sus) – în acest caz efectul analizei spațiale este important, distanța între grinzile principale fiind $B = 3600$ mm (figura 10).

- Podul de la Mehadia – lonjeronii sunt întreruși la aproximativ 1/3 din deschidere (figura 11).

În concluzie, încercările in situ sunt foarte utile dar costisitoare. Se recomandă efectuarea încercărilor in situ doar pentru structuri speciale. În studiul de caz (§5) se prezintă rezultatele unor încercări in situ la un pod de șosea cu grinzile principale cu zăbrele tip Gerber.

4. Conceptul actual de verificare

În timpul exploatării podurile sunt supuse încărcărilor repetate. Din această cauză multe poduri necesită inspecții și

between the space analysis and the measured values were noticed. In the following, some examples are presented:

- The bridge in Arad, with a special solution for the deck girders (stringers and cross girders are simple supported in the joints of the main girder); (Figure 9, 10).

- The bridge in Slatina Timis (open deck) – in this case the effects of a space analysis are important, the distance between the main girders is $B = 3600$ mm (Figure 11).

- The bridge in Mehadia – the stringers are interrupted

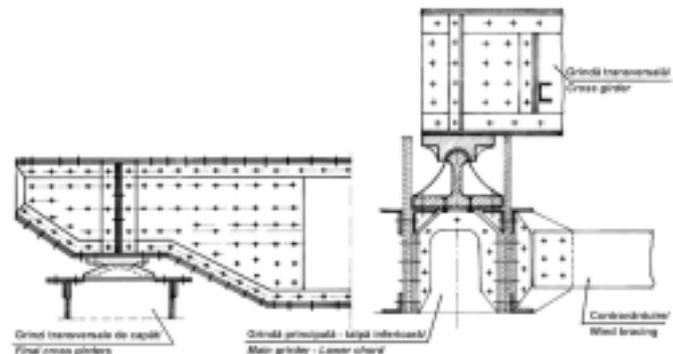


Figura 9. Podul Arad– detalii/ Figure 9. Arad Bridge – details

approximately at 1/3 of the span (Figure 12).

In conclusion, in situ tests are very useful but expensive. The recommendation is to perform full scale tests only for special structures. In the case study (§5) the results of a full scale test on a Gerber highway bridge are presented.

4. Present verification concept

During service, bridges are subject to wear. Therefore many bridges require an inspection. The assessment of the bearing capacity of existing bridges is a complex matter.

The methodology adopted by the Romanian standard is illustrated in Figure 13 and represent a three steps procedure.

Usually old riveted bridges are structures which are not

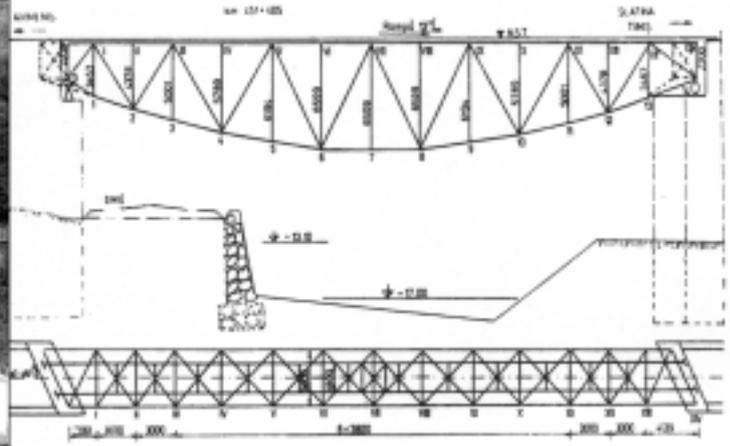


Figura 10. Podul Slatina Timiș (1933) – încercări in situ și dispoziția generală
 Figure 10. Slatina Timiș Bridge (1933) – in situ test and general view

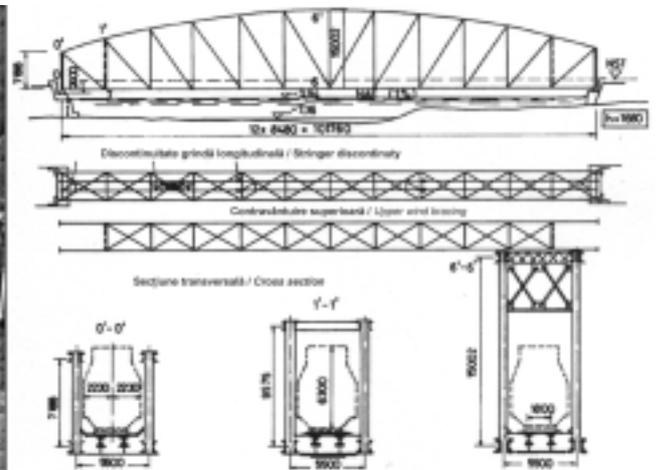


Figura 11. Podul Mehadia (1912) – încercări in situ și dispoziția generală
 Figure 11. Mehadia Bridge (1912) – in situ test and general view

supravegheri continue. Aprecierea capacității portante a structurilor constituie o problemă complexă fiind necesară analiza mai multor aspecte.

Metodologia adoptată de standardul român este prezentată în figura 13 și reprezintă o procedură de verificare în trei pași.

integrated in general standards, only some specific regulations include this problem. There is a difference between design and assessment codes; the last ones give more freedom in

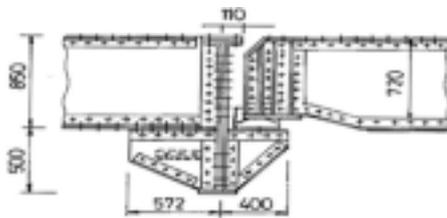


Figura 12. Podul Mehadia: întreruperea lonjeronilor
 Figure 12. Mehadia Bridge: stringer discontinuity

În mod uzual metodologia de verificare a podurilor cu durată mare de exploatare - structuri nituite, nu este conținută în standardele generale. Această problemă este inclusă doar de unele regulamente tehnice. Există o mare diferență între standardele de proiectare și calcul și cele de verificare a capacității portante a structurilor existente, ultimele oferind o libertate mult mai mare în ceea ce privește evaluarea siguranței structurale. "Checking to codes is on-way process. If the



Figure 13. Methodology of the Romanian standard SR 1911-98 [9]

safety evaluation of the structure. "Checking to codes is on-way process. If the structure complies, the check tells

structure complies, the check tells you the structure is satisfactory. If it does not comply, the check on its own tells you nothing at all" [7].

Calculul duratei de viață rămase a unui pod existent se face

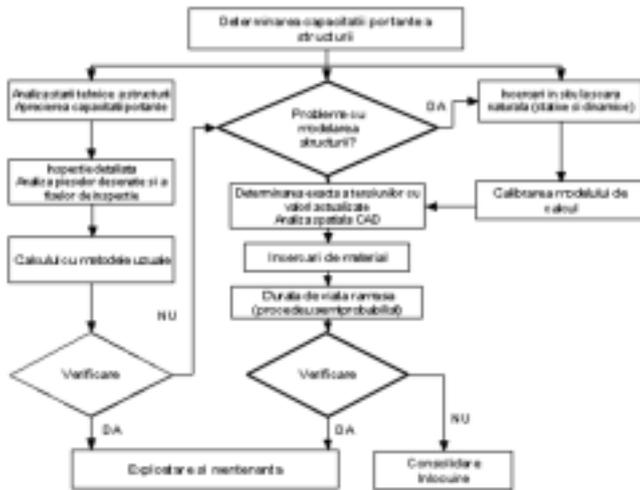


Figura 13. Metodologia conținută de standardul român SR 1911-98 [9]

pe baza ipotezei cumulării liniare a vătămarilor. Teoretic, ruperea se atinge atunci când vătămarea devine totală.

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (1)$$

Conceptul clasic de oboseală se bazează pe presupunerea că în elementele constructive analizate nu există defecte sau fisuri din oboseală. Cu toate acestea, mici discontinuități și defecte microstructurale sunt inevitabile în cadrul componentelor structurale, fapt datorat în principal producerii materialului, respectiv execuției structurii. Este foarte clar că astfel de fisuri din oboseală, inițiate în zonele cu concentratori de tensiune datorati, în principal, neomogenității structurale (posibile incluziuni nemetale sau impurități), defecte de suprafață (inclusiv coroziune) și factorilor de tensiune, sunt prezente în elementele constructive componente ale podurilor vechi nituite.

Prezența unor fisuri în elementele structurale modifică în mod esențial comportarea la oboseală a acestora. Ruperea, ca proces continuu de extindere a fisurilor inițiale sub acțiunea ciclurilor de solicitare, este puternic influențată de capacitatea de deformare a materialului, respectiv rezistența acestuia la creșterea fisurii. Mecanica ruperii permite luarea în considerare a efectului de accelerare a creșterii defectelor din oboseală; odată cu creșterea fisurilor și ecarturi de tensiuni mai mici conduc la vătămarea totală prin rupere a elementului.

Autorii propun o metodă complementară [4] de evaluare a duratei de viață rămase a structurilor de poduri existente bazate pe conceptul de bază al mecanicii ruperii:

$$J_I \leq J_{Ic} \quad (2)$$

În practică se înregistrează două situații și anume dacă:

- $D < 0,8$ probabilitatea detectării unor fisuri este redusă. Intervalele între două inspecții succesive (în general între 3 – 6 ani) pot fi stabilite pe criterii independente de oboseală. Totuși, se va acorda o atenție deosebită detaliilor critice.
- $D \geq 0,8$ apariția unor fisuri este probabilă și posibilă.

you the structure is satisfactory. If it does not comply, the check on its own tells you nothing at all" [7].

The calculation of remaining fatigue life is normally carried out by a damage accumulation calculation. The cumulative damage caused by stress cycles will be calculated; failure criteria will be reached.

$$D = \sum \frac{n_i}{N_i} \leq 1 \quad (1)$$

The classical fatigue concept is based on the assumption that a constructive element has no defects or cracks. However, discontinuities and cracks in the components of structures are unavoidable, basically because of the material fabrication and the erection of structures. It is very clear that the kind of fatigue cracks, which are initiated by structural non-homogeneity (possible non-metallic inclusions or other impurities), surface defects (including corrosion) and the stress factor, are present in the old riveted structures.

The presence of cracks in structural elements modifies essentially their fracture behavior. Fracture, assimilated in this case as crack dimensions growth process under external loadings, will be strongly influenced by the deformation capacity of material. The FM approach has acceleration in damage increase; with increasing damage a smaller stress range contribute to the damage increase. The authors proposed a complementary method [4] based on the fracture mechanics basic concept

$$J_I \leq J_{Ic} \quad (2)$$

In practice two situations can be distinguished:

- $D < 0,8$ the probability to detect cracks is very low. The inspection intervals (generally between 3 – 6 years) can be established on criteria independent of fatigue. Nevertheless, a special attention must be paid to critical details.
- $D \geq 0,8$ cracks are probable and possible. An in situ inspection and the analysis of critical details are strongly necessary. Also a fracture mechanics approach is recommended.

Generally, the establishing of the maintenance program, the determination of inspection intervals, the inspection priorities of structural elements and finally the calculation with high accuracy of the remaining service life of existing steel bridges takes into account the following main data:

- type of structure and exploitation conditions (traffic events);
 - information about structural steel (mechanical properties – yield strength, tensile strength, hardness, transition curve ductile – brittle and transition temperatures, chemical composition, metallographic analysis);
 - determination of critical members and details;
 - crack detection and inspection techniques for evaluation of the initial crack size – a_0 and crack configuration;
 - recording of the stress spectrum for the critical members under the actual traffic loads;
 - evaluation of the critical crack size – a_{crit} based on failure assessment diagrams;
 - fracture mechanics parameter – K_{crit} , δ_{crit} , J_{crit} (fracture toughness);
 - simulation of the fatigue crack growth;
 - temperature, environment conditions.
- The methodology is conceived as an advanced, complete

Reabilitare poduri metalice

Inspecția in situ a structurii cu analiza detaliilor critice este necesară. O evaluare bazată pe principiile mecanicii ruperii este recomandabilă.

În general, pentru stabilirea programului de mentenanță, a intervalelor de inspecție, a priorităților de investigare a elementelor constructive și în final a determinării cu acuratețe a duratei de viață rămase a structurilor de poduri existente trebuie îndepliniți următorii pași:

- informații privind structura și condițiile de trafic;
- identificarea elementelor și a detaliilor critice;
- informații despre oțelul structural (în baza analizelor chimice, analizelor metalografice, a încercărilor convenționale de determinare a proprietăților fizico – mecanice – încercări de tracțiune, duritate Brinell, încovoiere prin șoc pe probe Charpy „V”);
- stabilirea colectivelor de încărcare, prin înregistrarea traficului pe pod;
- determinarea eforturilor în structură;
- stabilirea defectelor în baza unei analize in situ, respectiv a unei analize nedistructive;
- determinarea tenacității la rupere a materialului (prin încercări de mecanica ruperii pentru determinarea K_{crit} , J_{crit} , δ_{crit});
- evaluarea admisibilității defectelor depistate în structură prin aplicarea metodei bicriteriale bazată pe diagramele de evaluare a ruperii;
- determinarea valorii critice a fisurii pe baza criteriilor de mecanica ruperii;
- evaluarea la oboseală a elementelor structurale analizate – determinarea duratei de viață rămase prin simularea creșterii fisurii.

Metodologia bazată pe principiile mecanicii ruperii este concepută ca o analiză completă, avansată în două etape a elementelor structurale ce conțin defecte din oboseală și anume: pasul 1 - cuprinde o primă etapă în care se determină

analysis of structural elements containing fatigue defects, being founded on fracture mechanics principles and containing two steps; namely one of determination of defects’



Figure 14. Life prediction methodology

acceptability with the help of Failure Assessment Diagrams and of determination of final acceptable values of defect dimensions; this is followed by a second step which in fact represents a fatigue evaluation of the analyzed structural elements basing on the present stress history recorded on the structure, on the initial and final defect dimensions and the FM parameters, namely the material characteristics C and m from the Paris relation (crack growth under real traffic stress) and further on the exact determination of the number of cycles N needed in order that a fracture take place, respectively the determination of the remaining service life of the structural elements (years, months, days).

5. Case study

A typical situation for an old structure is the Traian’s bridge in Arad. The bridge is located on the national highway DN 69, at km 49 + 621, crossing the Mures River. The structure is part of the North – South axis between Banat and Crisana. The bridge was built between 1910 – 1913 being a reference work for that period and a symbol for the city Arad. After the World Wars and different events, the bridge is still in operation with some restrictions. The bridge is a cantilever trough truss girder with three spans, $L = 50,05 + 85,30 + 50,5 = 185,40$ m.

The main girders are parabolic. The appearance of the bridge is well adapted aesthetically to cross the river in a flat landscape. The portal of the bridge is monumental. The chord members are double plane riveted sections, typical for the that period (Figure 16). The stringers (longitudinal girders) are riveted; the central ones are symmetrical, the marginal are unsymmetrical.

The stringers support the deck composed by ZORRES sections and a reinforced concrete deck completed in 1972. Before 1940 a double tramway line was introduced with a narrow rail gauge (1 m) and steel sleepers. The roadway consists of an asphalt surface. Some restrictions were introduced. The trucks circulation is prohibited, only light



Figura 14. Metodologia de estimare a duratei de viață

acceptabilitatea defectelor decelate în structură pe baza unei analize ce are la bază diagramele de evaluare a ruperii, respectiv sunt determinate valorile finale acceptate ale dimensiunilor defectelor studiate pe baza tenacității la rupere a materialului, iar pasul al doilea include o evaluare la oboseală a elementelor

structurale analizate, pe baza înregistrărilor de trafic real ce se scurge pe pod, a dimensiunilor inițiale respectiv finale ale

cars are allowed to cross the bridge. The tramway has only two cars (maximum speed 10 km/h), and only one tramway is

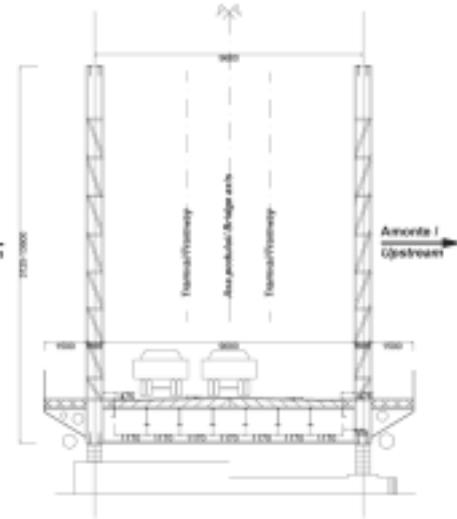


Figura 15. Podul Traian din Arad (1910 – 1913)/ *Figure 15. Traian Bridge in Arad (1910 – 1913)*

defectelor și a parametrilor de mecanica ruperii ce caracterizează progresia fisurii, adică a constantelor de material din ecuația lui Paris C și m. Această a doua etapă se impune deoarece structurile de poduri sunt supuse la încărcări cu caracter repetitiv sub acțiunea cărora defectele decelate și evaluate ca fiind acceptabile cresc până la ruperea elementului. În aceste condiții este importantă cunoașterea perioadei de timp în care podul mai poate fi exploatat în condiții de siguranță (ani, luni, zile).

allowed on the bridge. Also some general maintenance works are prescribed.

5. Studiu de caz

Un exemplu tipic pentru o structură nituită cu durată mare de exploatare este podul Traian din Arad. Podul este situat pe drumul național DN 69, la km 49 + 621 și traversează podul Mureș. Structura asigură continuitatea axei nord – sud dintre Banat și Crișana. Podul a fost construit între anii 1910 – 1913 și reprezintă o lucrare de referință pentru acea perioadă și un simbol al orașului Arad. După o serie întregă de evenimente



Figura 16. Articulația Gerber și talpa superioară a grinzii principale

Figure 16. Hinge and upper chord of the bridge

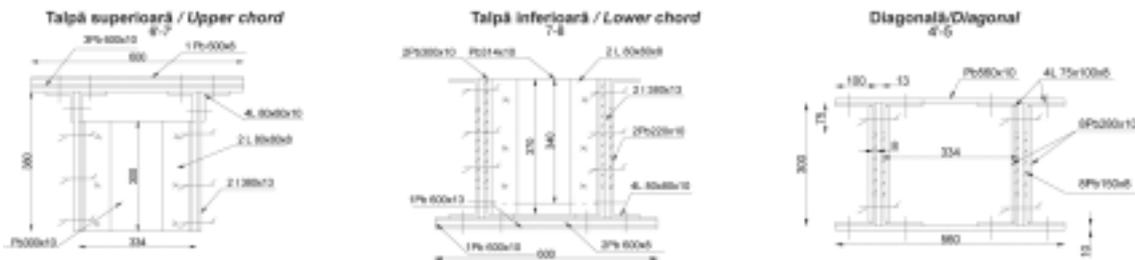


Figura 17. Secțiunile transversale ale elementelor grinzilor principale/ *Figure 17. Double-plane truss members*

și după războaiele mondiale podul este încă în exploatare cu anumite restricții. Grinzile principale cu zăbrele ale podului sunt alcătuite în soluția cu console și articulații (grinda Gerber), având trei deschideri $L = 50,05 + 85,30 + 50,5 = 185,40$ m.

Grinzile principale au formă parabolică. Aspectul general al structurii este adaptat d.p.d.v. estetic la peisajul înconjurător. Portalul podului are un caracter monumental. Tălpile grinzilor

Verification of the structure: Taking into account the age and the importance of the structures, the already existing verifications the following two steps were proposed:

- ♦ Calibration of the space models of the bridge using the in situ measured results (tensions and deformations).
- ♦ Space analyses of the bridge for the prescribed loads. The static scheme is presented in figure 18. Four in situ

Reabilitare poduri metalice

principale cu zăbrele sunt alcătuite în soluție cu perete dublu, nituite tipice pentru perioada respectivă (figura 16). Lonjeronii sunt alcătuiți în soluție nituită, cei centrali au o alcătuire simetrică, iar cei marginali una nesimetrică.

Lonjeronii susțin calea compusă din profile Zorres peste care s-a turnat în 1972 o placă din beton armat. Înainte de 1940 s-a introdus pe pod o linie dublă de tramvai cu ecartament îngust (1,0 m) și cu traverse din oțel. Calea de rulare este alcătuită din asfalt turnat. Au fost introduse unele restricții. Circulația autocamioanelor este interzisă, doar autoturisme pot circula pe pod. Tramvaiele pot avea maximum două vagoane (viteza maximă 10 km/h), doar un singur tramvai fiind permis pe structură. De asemenea s-au prevăzut și unele lucrări generale de mentenanță.

Verificarea structurii: Având în vedere importanța structurii, verificările deja efectuate, s-au propus următoarele două etape:

- Calibrarea modelului spațial utilizând rezultatele măsurătorilor in situ (tensiuni și deformații).
- Analiza spațială a structurii pentru încărcările prescrise.

Schema statică a structurii este prezentată în figura 18. Au fost propuse patru scheme de încărcare în conformitate cu liniile de influență ale elementelor respective; în figura 19 se prezintă poziția autocamioanelor de 30 tone. Au fost determinate eforturi și deformații. Pentru calibrarea modelului spațial au fost considerate aceleași încărcări și pe structură. În final s-a obținut o concordanță bună a valorilor. Aceste rezultate confirmă corectitudinea modelului spațial.

loading schemes – according to the influence line – were proposed; in figure 19 the position of the 30 tones trucks are shown; stresses and deformations were measured. In order to calibrate the space model the same loads were considered on

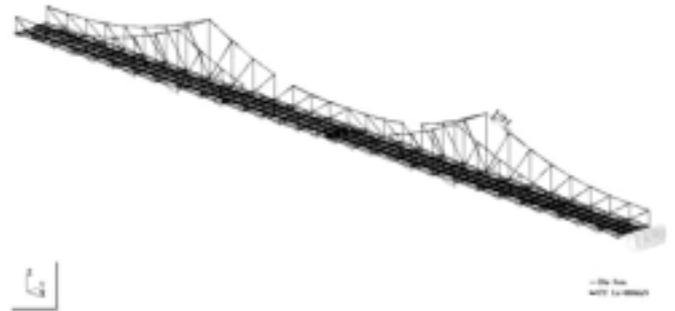


Figura 18. Schema statică a structurii/
Figure 18. Static scheme of the structure

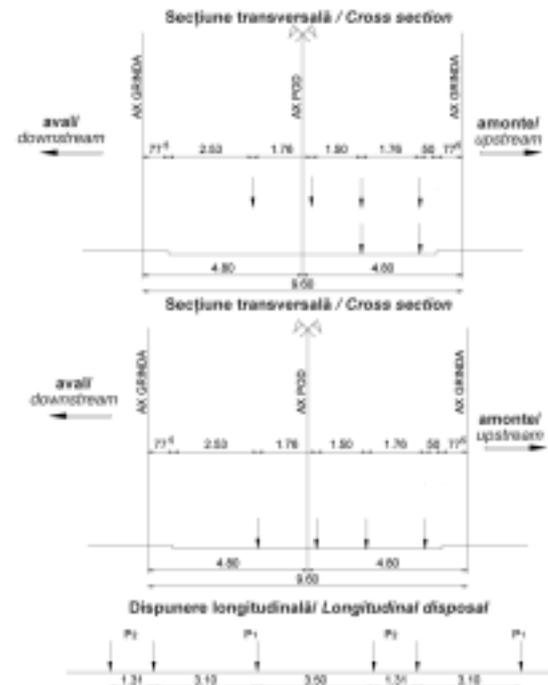
the structures. Finally a good concordance was found. This result confirms the space model.

In the next step the standardized loads (Figure 20) were applied:

- Dead load (evaluation of the in situ situation).
- Trucks convoy A30 (30 tones) and heavy vehicle V80 (80 tones).
- Tramway convoy (74 tones).



Figura 19. Schema de poziționare a camioanelor A30/
Figure 19. Loading schemes with 30 tones trucks



În pasul următor s-au aplicat încărcările standardizate (figura 20).

- Încărcarea permanentă (prin evaluarea situației de la fața locului).
- Convoitul de autocamioane A30 (30 tone) și vehiculul greu (80 tone).
- Convoitul de tramvai (74 tone).

Volumul de calcul a fost important iar interpretarea

The calculus volume was important and the interpretation of the impressive number of results was laborious. The stresses in a number of elements of the main girder are – for the standardized loads – greater than the allowable ones. The exceeding range is up to 35%, which justified the present traffic limitation. Material tests were performed, the result is a mild steel type St 37; for the allowable stress the value of $\sigma_a^I = 1500 \text{ daN/cm}^2$ was accepted.

rezultatelor laborioasă. Eforturile unitare într-un număr de elemente ale grinzii principale depășesc – pentru încărcările standardizate – valoarea admisă. Depășirile sunt de până la 35%,

In the next step the present fatigue of the structures must be established using the Palmgreen – Langer – Miner rule of cumulative damage. In this direction the traffic systematisation

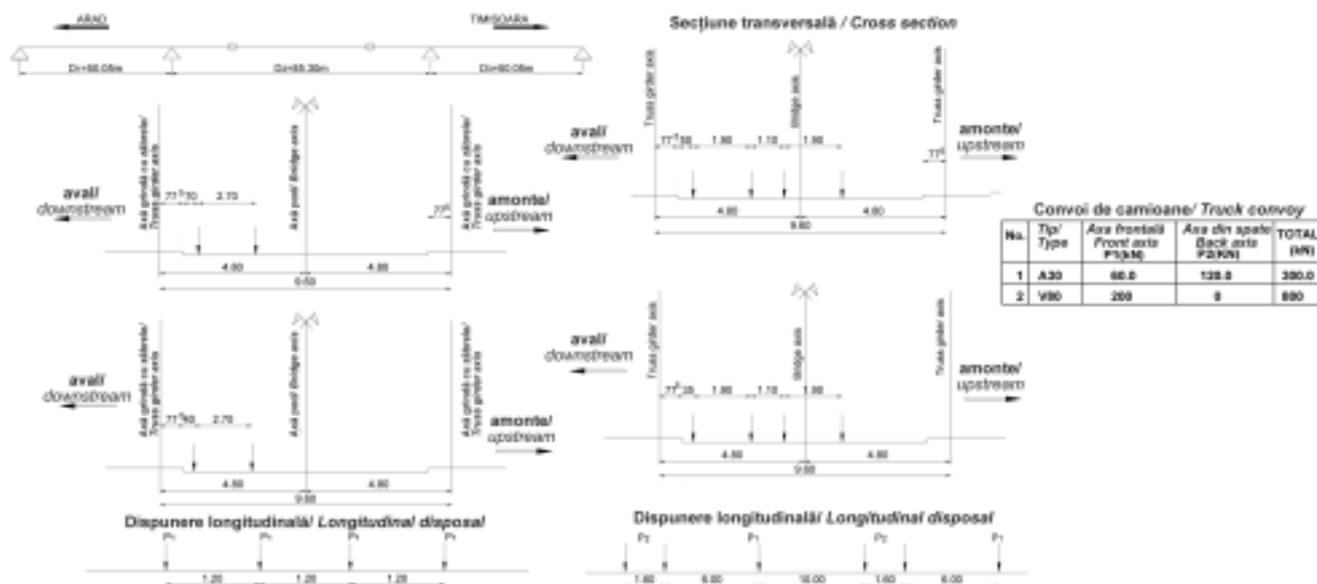


Figura 20. Încărcările standardizate/ Figure 20. The standardized loads

fapt care justifică actualele limitări ale traficului. Încercările de material executate au condus la concluzia că oțelul utilizat este unul moale, marca OL37; ca valoarea admisă pentru eforturile unitare s-a acceptat $\sigma_a^I = 1500 \text{ daN/cm}^2$.

is difficult but it can be approximately evaluated. Also a fracture mechanics evaluation is possible and useful.

Taking into account the real technical condition of the bridge, its historical importance for the town ARAD, the maintaining of this bridge is a duty for the technical staff and we suggest even a public discussion in this direction.

6. Conclusions

- The introduction of a complementary method based on fracture mechanics principles along with the classical method for the evaluation of the safety in operation of existing steel bridges is very useful.
- A better knowledge of the fatigue resistance of riveted details and of the repair and strengthening of riveted bridge members damaged by fatigue could extend the service life of a large number of bridges. In many cases there is a need to retain particular bridges as historical monuments.
- For a reliable assessment of existing bridges a unified methodology is needed including damage accumulation method and fracture mechanics concepts.
- The conclusions can be extended to other countries from Middle and Southeast Europe, where the situation of the existing bridges is similar.

Bibliografie/ References

- [1] ***: DS 805, Bestehende Eisenbahnbrücken. Bewertung der Tragsicherheit und konstruktive Hinweise, Hauptverwaltung der Deutschen Bundesbahn, 1991.
- [2] Jackson, P.: Is bridge assessment losing its credibility?, The Structural Engineer, Volume 79 / No 9, May 2001.
- [3] Xie; M., Bessant G.T.; Chapman, J.C.; Hobbs, R.E.: Fatigue of riveted bridge girders, The Structural Engineer, Volume 79 / No 9, May 2001.

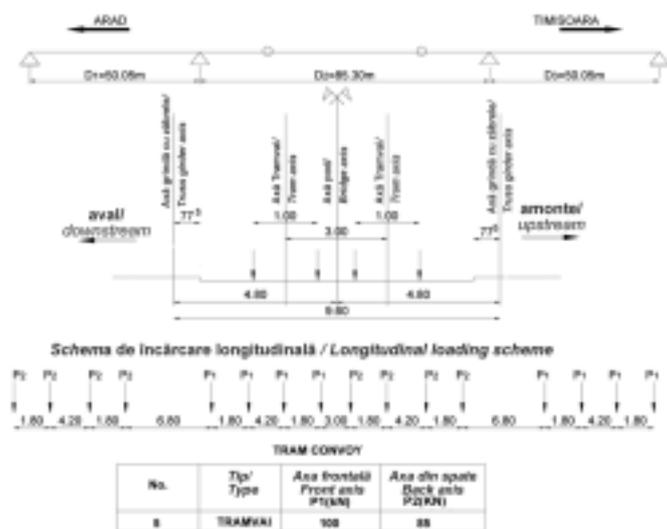


Figura 21. Încărcările standardizate
Figure 21. The standardized loads

Pasul următor va consta dintr-o evaluare la oboseală a structurii pe baza regulii de cumulare liniară a vătămarilor Palmgreen – Langer – Miner. În acest sens o sistematizare a traficului scurs pe pod este greu de efectuat, însă poate fi realizată o evaluare aproximativă. De asemenea o abordare bazată pe principiile mecanicii ruperii este posibilă și de ajutor având în vedere dificultățile legate de reconstituirea istoricului de solicitare.

Luând în considerare starea tehnică actuală a podului,

importanța acestuia, inclusiv ca monument istoric pentru orașul Arad, menținerea acestei structuri este o îndatorire a personalului tehnic de specialitate, iar în acest context noi sugerăm că ar fi deosebit de utilă și o discuție publică.

6. Concluzii

- Pentru evaluarea siguranței în exploatare a structurilor metalice existente se recomandă introducerea metodei complementare bazate pe principiile mecanicii ruperii alături de metoda clasică.
- O mai bună cunoaștere a rezistenței la oboseală a elementelor nituite, precum și repararea respectiv consolidarea acestora poate extinde durata de viață a podurilor nituite existente. În multe cazuri se întâlnesc structuri cu valoare istorică deosebită.
- Pentru estimarea siguranței în exploatare a podurilor existente este necesară o metodologie unică care cuprinde cumularea vătămarilor și conceptul mecanicii ruperii.
- Concluziile studiului pot fi extinse și la alte țări din centrul și sud - estul Europei, unde starea tehnică a podurilor existente este similară.

[4] Petzek, E.: Safety in Operation and Rehabilitation of Steel Bridges, Doctoral Thesis, UP Timisoara, Feb. 2004.

[5] ***: Code UIC 778-2R; Recommendations pour la détermination de la capacité portante des structures métalliques existantes; Union Internationale des Chemins de fer, Paris, 1986.

[6] ***: ICPTT Bucharest, „Laboratory and in situ tests for old steel bridges - Regional Railway Administration Timisoara”, contract nr. 6077, vol. I & II, Bucharest, 1987.

[7] ***: Code UIC 778-2R; Recommendations pour la détermination de la capacité portante des structures métalliques existantes; Union Internationale des Chemins de Fer, Paris, 1986.

[8] ***: DS 805 „Bestehende Eisenbahnbrücken. Bewertung der Tragsicherheit und konstruktive Hinweise, 1999.

[9] ***: SR 1911-98, „Railway steel bridges. Design rules”, Institutul Român de Standardizare, Bucharest, 1998.



Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Sudură și Încercări de Materiale – ISIM Timișoara



Vă oferă

Lucrările Conferinței Internaționale a IIW 2003 - Construcții sudate pentru infrastructura urbană (limba română)	750.000 lei (75 lei noi)
Lucrările Conferinței Internaționale a IIW 2003 - Construcții sudate pentru infrastructura urbană, pe CD-ROM (limba română)	200.000 lei (20 lei noi)
Lucrările Conferinței Internaționale a ASR, 2003 - Realizări și perspective în fabricația structurilor sudate pentru medii urbane (limba română)	500.000 lei (50 lei noi)
Lucrările Conferinței Internaționale a ISIM, 2003 - Metode de examinare a componentelor structurilor sudate, pe CD-ROM (limba română)	150.000 lei (15 lei noi)
Lucrările Conferinței Internaționale a ISIM, 2004 - Procese de sudare de mare productivitate, pe CD-ROM	200.000 lei (20 lei noi)
Lucrările Conferinței Internaționale a ISIM, 2005 - Tendințe în activitatea de cercetare-dezvoltare în domeniul sudării, pe CD-ROM	200.000 lei (20 lei noi)
Atlas metalografic	400.000 lei (40 lei noi)
ISIM-Rezumat - Îmbinarea materialelor plastice	200.000 lei (20 lei noi)
ISIM-Rezumat - Materiale avansate	150.000 lei (15 lei noi)
ISIM-Rezumat - Pulverizare termică	150.000 lei (15 lei noi)
Revista BID-ISIM, 2004 (4 numere)	600.000 lei (60 lei noi)
Revista BID-ISIM, 2005 (abonament)	1.430.000 lei (143 lei noi)

În cazul în care sunteți interesați de oferta noastră vă rugăm să virați în contul ISIM nr. RO04RNCB450000000440001, BCR Timișoara sau RO94TREZ6215069XXX002498 Trezoreria Timișoara sau direct la casieria ISIM, sumele corespunzătoare. Prețurile conțin TVA și cheltuielile de expediție. Informații suplimentare la telefonul 0256-491828, int. 150.