

VIABILITATEA SUPRASTRUCTURII MIXTE OȚEL-BETON PENTRU PODURILE RUTIERE ÎN EXPLOATARE, CRITERII DE COMPORTARE FAȚĂ DE CERINȚELE EUROCOD

*conf.univ., dr. Sergiu BEJAN
drd. Andrei BURAGA
ing. Ion COCIORVA*

Universitatea Tehnică a Moldovei

SUMMARY

The author proposes a general description of the reuse of the elements from mixed steel-concrete superstructure of the road bridges in operation. For bridge rehabilitation or reconstruction works, in-depth research of the de facto capabilities of resistance structures is sometimes minimized, often limited to visual examinations or some non-destructive or destructive testing, but without the testing of bridges, because of its expensive costs. A case study is presented by determining the calculation of endurance and load-bearing capacity of the limit states according to Eurocode requirements. In the paper are estimated consolidating solutions of mixed superstructures, the increasing of the load-bearing capacity at dynamic stresses.

Cuvinte cheie: pod, suprastructura mixtă, oțel-beton, reazem, reconstrucție, viabilitate, experiza, inspecție, durabilitate, capacitate portantă.

Întroducere

Viabilitatea podurilor depinde de foarte mulți factori cum ar fi: calitatea proiectării, calitatea lucrărilor de construcție montaj, condițiile de exploatare, mentenanță, reparație sau consolidări. Un factor important între acești indici este evaluarea obiectivă a stării tehnice a podurilor în exploatare, îndeosebi după perioada estimată de exploatare, pentru care se intervine cu lucrări de reabilitare, reconstrucție sau înlocuirea elementelor de rezistență. Cu referire la suprastructurile mixte oțel-beton problema devine cu mult mai diversă deoarece avem materiale diferite de acățuire a sistemului, alte grupări și repartiție a sarcinii raportate la structurile mixte, metodele de mentenanță cu referire la elementele din oțel-beton, fac ca obiectul lucrării să fie de importanță, motivând și faptul că

anume suprastructurile mixte au o dezvoltare semnificativă la poduri îndeosebi pentru deschideri mari și mijlocii.

Starea tehnică a suprastructurii, defecte și degradări

În studiul de caz, a fost inspectată o construcție de pod cu suprastructură mixtă oțel-beton, schema statică 12+12+12 monolitizată continuu la nivel de placă a suprastructurii, amplasată pe traseul republican R30 km42+375.70, anul de construcție 1985 (35 ani), doar că grinzile metalice tip "I" bloc "Peineu", au fost executate în Germania an 1942 (78 ani) vezi fig.1, fiind considerate și grinzi de trofeu, rezultate în urma celui de al II-lea Răzmoi Mondial, utilizate pentru podurile temporare la trecerile peste râul Nistru. În transversal deschiderile sunt alcătuite din 6 grinzi din oțel unificate prin placa din beton armat, executată din elemente prefabricate monolitizate în rosturi pe toată lățimea tablierului.

În rezultatul inspectării și diagnosticării suprastructurii au fost identificate următoarele defecte și degradări: coroziunea suprafețelor elementelor metalice, îmbinări prin sudură sau nituri corodate, îmbinarea prin sudură a zonelor întinse a grinzilor metalice, corodarea nodurilor de îmbinare grindă-placă din beton armat, utilizarea diferitor tipuri de contravânturi nesimetria montării lor, lipsa aparatelor de reazem (doar pe hârtie kraft bitumată), degradarea rosturilor de dilatație, denivelări a carosabilului de pe pod, faianțări, fisuri și crăpături pe suprafețele carosabile, lipsa documentației de proiect și a întreținerii. Rezultatele evaluării stării tehnice conform AND 522-2006[2] raportate la indicelui global I_{ST} [2] a dat că, suprastructura este de calificativul stării tehnice III "Stare satisfăcătoare" cumulând în total de $I_{ST} = 45$ de puncte.

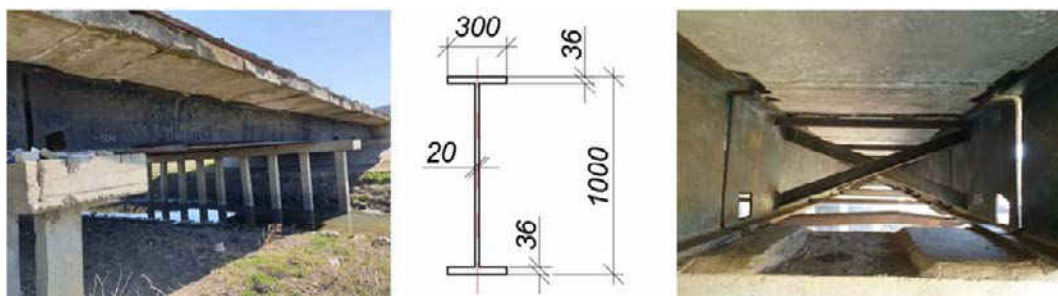


Figura 1. Suprastructura mixtă oțel-beton. Studiu de caz, grinzi metalice tip "Peineu" (an. 1942).

În general, dacă ne referim la cerințele Eurocod EN 1990-2004 p.2.3 tab.2.1, observăm că durata de viață proiectată pentru construcțiile de poduri la categoria 5 este de 100 ani, fapt care nu poate fi atribuit multor construcții aflate în exploatare din RM, dacă ne referim la literatura de specialitate atribuirea duratei de viață a unui pod va depinde nu numai de materialul de execuție a elementelor

de rezistență dar și de importanța lucrării, exemplu fiind podurile mari pentru care sunt recomandate termenul de exploatare 100 de ani, desigur în ambele cazuri referindu-se la o buna întreținere.

Determinări și calcule

Conform CP D.02.06-2014 [3], a fost evaluată uzura elementelor căii podului cu determinarea coeficientului dinamic, cu referire la carosabil, elementelor de siguranță și planietate, care influențează direct la fiabilitatea construcției de pod, în rezultatul cărora sa obținut condițiile restricționale tip "C" în care nu este asigurată planietatea de circulație, din care cauză este necesară limitarea vitezei de circulație până la nivelul stabilit din considerentele economice (evaluarea "satisfacatoare" sau "mediocră"), sunt necesare lucrări de reconstrucție a îmbrăcăminteii, elementelor de siguranță, evacuarea apei.

Pentru lucrarea dată se vor prezenta doar unele rezultate a calculului de stabilizare și rezistență, cu utilizarea softului de calcul *MIDAS CIVIL* [4], pentru care s-au făcut trimiteri la cerințele Eurocoduri 1, 2, 7, 8, aplicațiile sau făcut asupra structurii existente de pod peste r. Botna r-l Căușeni km 42 a traseului R30, pod cu trei deschideri cu suprastructură mixtă oțel-beton, rezemate pe infrastructuri prefabricate pile/culee flexibile alcătuite dintr-un singur rând de piloți, care au o durată de exploatare de peste 35 ani. Structura de rezistență a podului supus calculului *MIDAS CIVIL*, este alcătuită din trei deschideri cu suprastructură mixtă oțel-beton, simplu rezemată, avînd grinzi metalice tip "P" cu inimă plină laminate, unificate prin traverse tiranți și contravântuiri (de dimensiuni și forme foarte diverse: cornieri, șine, bare tip U, etc.) metalice unite prin sudură, care sunt unificate la talpa superioară a grinzii prin plăci prefabricate din beton armat 670x120x25 cm, monolitizate prin rosturi din beton armat (≈ 30 cm) formand platelajul podului ca o placă unică continua de lățime 14,02m și lungimea de 35,95m.

Date generale pentru necesarul de calcul:

- Clasa de incarcare: "E" - A30; V80 (echivalent sarcinii HK-80 conform SNiP 2.05.03-84*) și Eurocode: LM1;
- Clasa de importanta: "C" – Importanta normala;
- Proiectare seismica: $ag = 0.25g$, $T_c = 1.6s$ Conf. SR EN 1998 și P100/1-2013;
- Betonul din elevații, piloți prefabricați, suprastructură C25/30;
- Calitate oțel tablîer metalic: OL44;
- Acțiuni permanente (G), acțiuni din greutatea proprie.

Tabelul 1 Încărcări permanente.

Element	buc	Arie, m ²	Densitate kN/m ³	Gn kN/m	γ	Gc, kN/m
Grinzi	6	0.0368	78.50	17.33	1.35	23.40
Placa	1	4.20	25.00	105.00	1.35	141.75
Cale	1	1.40	24.00	33.60	1.35	45.36
Trotuar	2	0.135	24.00	6.48	1.35	8.75
Parapet pietonal	2	-	-	2.0	1.35	2.70
Parapet direccional	2	-	-	3.0	1.35	4.05

- Acțiuni variabile (Q), acțiuni din trafic la pduri pentru convoiul LM1, EN 1991-2:2005) (A30+V80)(HK-80);

În *prima etapă* a calcului se dorește analizarea stării de eforturi în structura podului existent, înainte de reabilitare. În această primă etapă se va încărca structura cu acțiunea convoiului de calcul A30 și V80.

În a *doua etapă* de calcul se are în vedere reabilitarea structurii podului, reabilitarea și creșterea clasei de încărcare cu aplicarea acțiunii convoiului de calcul conform normelor europene (LM1).

Pentru cazul particular al acestui pod, au rezultat 4 benzi de circulație (lățimea de 3.00m).

Convoiul de calcul 1 (LM1) :

Acest convoi este alcătuit din încărcări concentrate și încărcări uniform distribuite ce acoperă cele mai multe efecte din traficul alcătuit din camioane și automobile, fiind utilizat atât pentru verificări locale cât și globale.

Încărcările concentrate sunt reprezentate de sistemul tandem TS alcătuit din 2 osii cu greutatea " $\alpha_Q Q_k$ " pe fiecare osie.

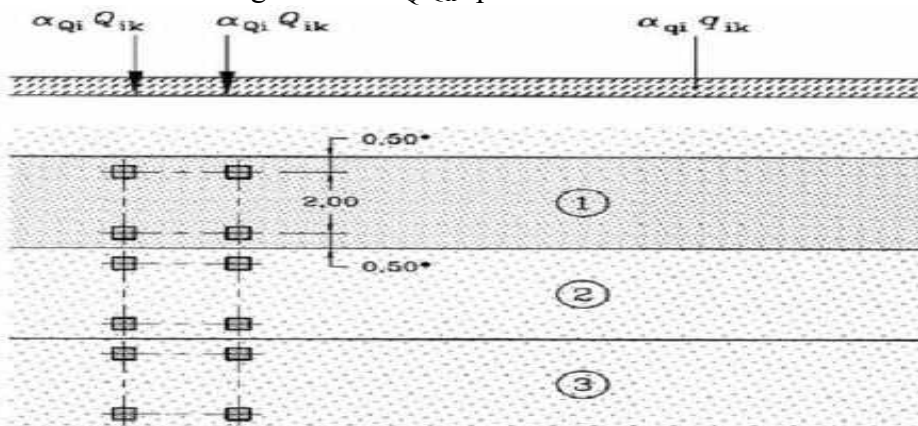


Figura 2. Încărcările concentrate sunt reprezentate de sistemul tandem TS

Notă: atât pentru verificări locale cât și generale se va aplica un singur sistem tandem pe fiecare bandă de circulație cu precizarea că poziționarea acestuia se va face centrat pe axul fiecărei benzi, în cazul verificărilor globale, și în poziția cea mai defavorabilă în cazul celor locale, fără însă a depăși limita de 0.5 m între două sisteme de pe două benzi adiacente.

Încărcările uniform distribuite sunt reprezentate de sistemul UDL cu greutatea "αqk" pe metru pătrat. Coeficienții de corecție pentru încărcările uniform distribuite și concentrate "α_q" și "α_Q" se iau egali cu 1 (conform [5] secțiunea 4-4.3.2(3)- SR EN 1991-2:2004/NB:2006).

Tabelul 2. Încărcări uniform distribuite UDL.

Poziția	Sistemul tandem TS	Sistemul UDL
	Încărcarea pe osie Q_{ik} (kN)	q_{ik} (sau q_{rk}) (kN/m ²)
Banda numărul 1	300	9,0
Banda numărul 2	200	2,5
Banda numărul 3	100	2,5
Alte benzi	0	2,5
Zona rămasă (q_{rk})	0	2,5

Nota: Valorile încărcărilor prezentate în tabel includ amplificarea dinamică.

- Acțiuni termice, temperatura (T-) și T(+).

Valoarea caracteristică a componentei de temperatură uniformă este asociată fie contracției, fie dilatării fiind notată cu $\Delta_{TN,contractie}$ sau cu $\Delta_{TN,dilatare}$ pentru fiecare caz în parte.

$$\Delta_{TN,contractie} = T_0 - T_{e,min} \text{ - temperatura, T(-).}$$

$$\Delta_{TN,dilatare} = T_{e,max} - T_0 \text{ - temperatura, T(+).}$$

T_0 - reprezintă temperatura inițială, se utilizează valoarea recomandată 15°C (SR EN 1991-1-5:2004/NA:2008).

$T_{e,min}$ și $T_{e,max}$ reprezintă componentele de temperatură uniformă minimă și maximă.

$T_{e,min} = -32^\circ\text{C}$ și $T_{e,max} = 40^\circ\text{C}$ – conf. SR EN 1991-1-5:2004/NA:2008, tabel NA.1(RO).

- Acțiuni seismice, Seism x (longitudinal), Seism y (transversal), Seism z (vertical).

- Amplasamentul structurii este caracterizat de acceleratia maxima a terenului $a_g=0.30g$ si perioada de colt $T_c=1.6s$.

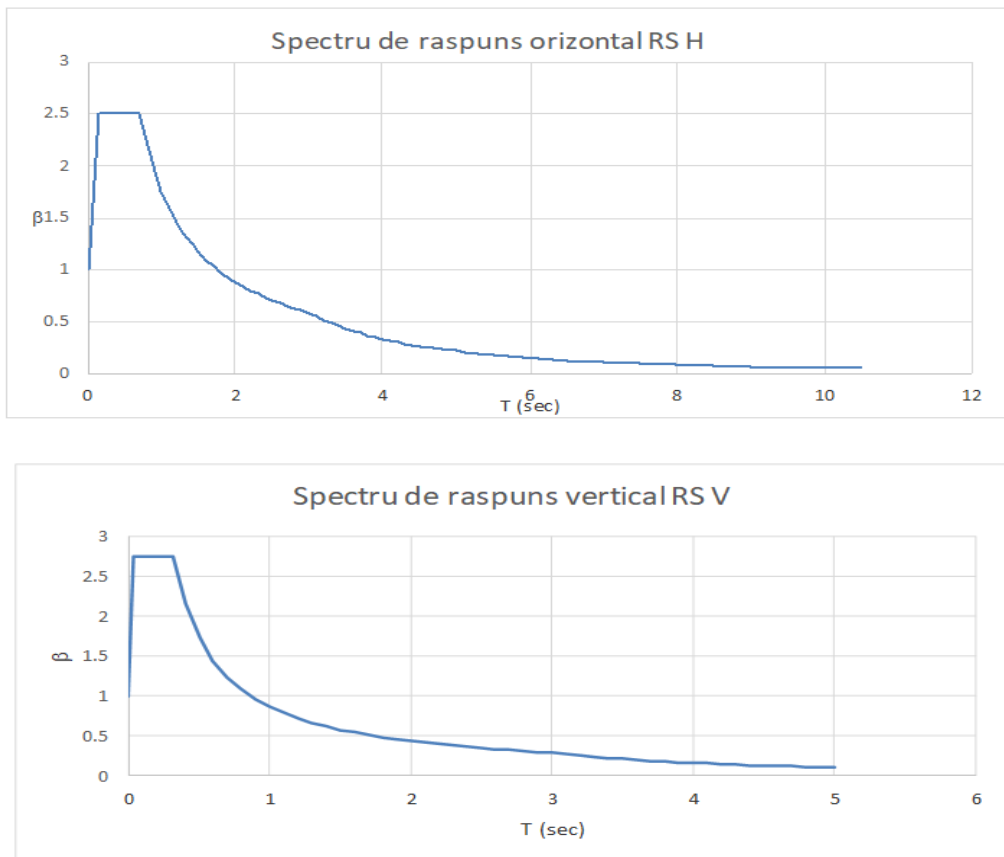


Fig.3 Spectru de răspuns seismic orizontal (P100/2013)

- Verificare grinzi metalice.

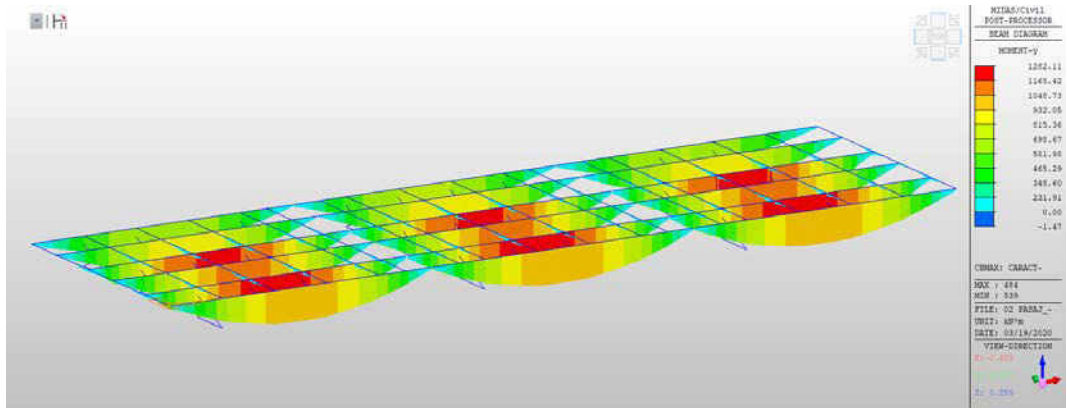
Calculul grinzilor a fost efectuat pe etape de executie, cu considerarea secțiunilor în fiecare etapă de execuție.

Etapetele de execuție considerate sunt prezentate mai jos:

Etapa 1 – montare grinzi metalice

Etapa 2 – montare plăci prefabricate și monolitizarea acestora

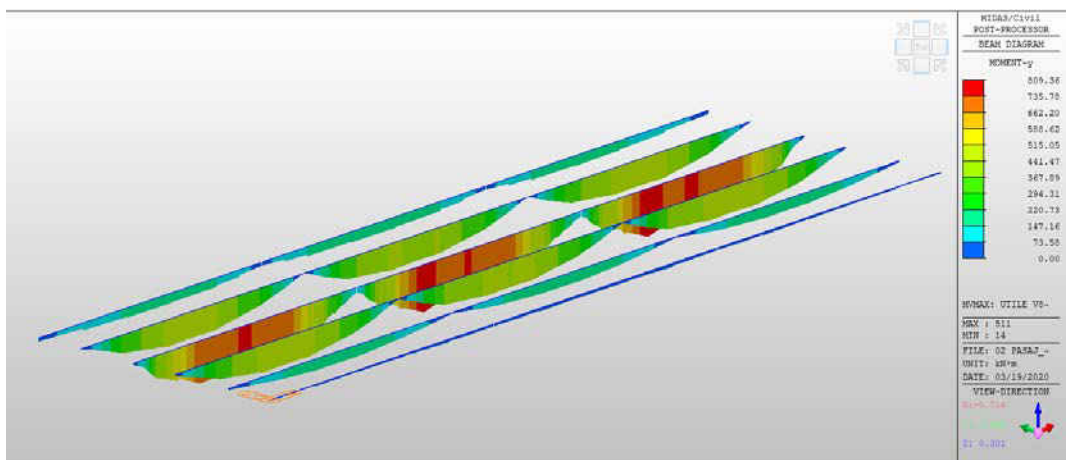
Etapa 3 – execuția căii, montarea bordurilor, parapetilor.



$$M_{Ed_max} = 1282.11 \text{ kN}\cdot\text{m} - L=12.00\text{m};$$

GRINZI L=12.00m, h=1.00m

- Momentul total de calcul din gruparea cea mai defavorabilă este de 1282.11 kN*m;



- Momentul de calcul din încărcari utile (convoi V80) este de 809.36 kN*m;

Sectiunea este solicitată la încovoiere. Se consideră ca sectiunea mixtă (oțel - beton) preia momentul încovoiător. Solicitățile maxime se obțin în situația de proiectare permanentă și tranzitorie.

Verificarea eforturilor în tablier s-a făcut atât la starea limita de serviciu în faza finală, cât și la starea limită ultimă.

Eforturile unitare pe etape de execuție sunt prezentate în tabelul de mai jos.

Tabelul 3 Eforturile unitare pe etape de executie.

1. METAL	Sectiune de calcul Mijlocul Deschiderii	
2. BETON	$\sigma_{sup,bet}$ [MPa]	
	σ_{sup} [MPa]	-4.80
	σ_{inf} [MPa]	4.75
3. BETON 1. Placa beton fara conlucrare	$\sigma_{sup,bet}$ [MPa]	
	σ_{sup} [MPa]	- 23.87
	σ_{inf} [MPa]	23.65
4. CTP. Actiune pe sectiunea mixta	$\sigma_{sup,bet}$ [MPa]	-0.1
	σ_{sup} [MPa]	-0.17
	σ_{inf} [MPa]	5.62
5. UTILE Actiune V80	$\sigma_{sup,bet}$ [MPa]	-0.25
	σ_{sup} [MPa]	-0.87
	σ_{inf} [MPa]	44.85
TOTAL	$\sigma_{sup,bet}$ [MPa]	-0.35
	σ_{sup} [MPa]	-1.41
	σ_{inf} [MPa]	78.87

Se observă ca la fibra inferioară sunt eforturi unitare de întindere de 78.87 N/mm², în deschiderile simplu rezemate, valori inferioare valorii rezistenței admisibile de 240N/mm².

Concluzii si recomandări

Actuala structură cu o vechime de 80 ani respectă cerințele minime de siguranță și stabilitate.

Pentru punerea în siguranță a podului cu o durata de viață de minim 50 ani se recomandă consolidarea tablierului astfel:

Tablier metalic: rigidizare grinzi pe zona de reazeme, execuție antretoaze metalice pentru solidarizarea întregului tablier (ce va curpinde toate grinzile în secțiune), curățare, sablare, tratare și vopsire structură metalică, consolidare zone de îmbinare prin montare eclise ce cel puțin grosimea elementelor grinzii.

Dala din beton armat: îndepărtare betoane degradate, reparații cu mortare speciale, armăturile corodate se vor curăța și pasiva înainte de a fi acoperite cu

mortar, injecții fisuri cu rășini epoxidice (daca la execuție se vor identifica crapături, obligatoriu se va anunța proiectantul).

Infrastructuri: îndepărtare betoane degradate, reparații cu mortare speciale.

În condițiile economiei de piață și a resurselor financiare obstructate pentru execuția de construcții noi de poduri, face ca, păstrarea structurilor în exploatare să fie supuse la metode moderne de inspectare, diagnosticare și încercare, prin aceasta valorificând potențialul de facto a structurii în vederea prelungirii duratei de exploatare, asigurând consumuri minime de mentenanță.

Bibliografia

- [1] Bejan S., Buraga A., Munteanu M., Raport de evaluare a stării tehnice a construcțiilor de poduri. Volumul 1.3 Starea tehnică a lucrărilor de artă. Obiectivul "Reparația drumului R30 Anenii-Noi-Căușeni-Ștefan Vodă-frontieră cu Ucraina, km0,00-45,00", "ASTRAL-PROIECT"SRL, Chișinău 2020;
- [2] Indicativ AND 522-2006 "Instrucțiuni tehnice pentru stabilirea stării tehnice a unui pod", CESTRIN București 2006.
- [3] CP D.02.06-2014 "Ghid de evaluare a stării lucrărilor de artă pe baza funcționalității". Ediție oficială, MDRC, ICȘC "INCERCOM" Î.S. Chișinău 2014;
- [4] <https://www.midasoftware.com/bridge-library/midas-civil-2020-v.-3.1-release>;
- [5] SR EN 1994-2:2006 Proiectarea structurilor compozite oțel și beton. Partea 2: reguli generale și reguli pentru poduri.