

# DEZVOLTAREA DE SISTEME MODERNE PENTRU PODURI COMPUSE ÎN ROMÂNIA

Elena METEȘ<sup>1</sup>  
Dragoș ALUPOAIE<sup>2</sup>  
Guido RETTER<sup>3</sup>  
Sergiu ENACHE<sup>1</sup>  
Edward PETZEK<sup>1</sup>

## Rezumat

Găsirea unei soluții potrivite pentru podurile cu lungimi mari este o provocare din punct de vedere al consumului de resurse și timp. Soluțiile alese trebuie să asigure în primul rând integritatea structurală, dar timpii reduși de construcție și economia de materiale fac diferența între o soluție eficientă și una neeficientă. Soluția pentru poduri VTR<sup>®</sup> (rețea de grinzi compusă oțel-beton) își propune să ușureze munca pe șantier și să sporească productivitatea fiind un sistem modular, care are la bază o rețea de grinzi compusă oțel-beton. Are un grad ridicat de prefabricare, folosind elemente prefabricate cu formă regulată și ușor de manevrat, iar consumul de cofraje este minim. Aplicând acest concept alături de podurile integrale sau semi-integrale, structuri pe cadre, apar noi avantaje precum reducerea numărului de piloți, radiere de dimensiuni reduse, infrastructuri cu elevații zvelte, lipsa sau reducerea numărului de aparate de reazem și echipamente de acoperire a rosturilor de dilatație. Sistemul VTR<sup>®</sup> a fost aplicat cu succes pe autostrăzile din România. Trei poduri au fost deja finalizate iar alte trei sunt în curs de construire. Lungimile acestora sunt mai mari de 200 m, cel mai lung fiind podul peste râul Mureș pe varianta de ocolire a Devei cu lungimea de 720 m. Articolul oferă informații suplimentare despre sistemul VTR și prezintă structurile la care a fost aplicat.

Finding the right solution for long bridges is challenging from the resources and time consumption point of view. The chosen solutions have to ensure the structural integrity of the structure, but reduced construction time and economic use of materials make the difference between an efficient and a non-efficient solution. The VTR<sup>®</sup> solution (composite girder grid) aims to make the works on site easier and to increase the productivity. It is a modular system, based on a steel-concrete composite girder system. It has a high degree of prefabrication, using simple prefabricated elements which are easy to maneuver and few formworks are needed. Applying this concept alongside the integral or semi-integral bridges, frame type structures, new advantages appear like reduced number of piles, smaller foundation plates, slender substructure elevations, none or few bearings and expansion joints. The VTR<sup>®</sup> system was successfully applied on Romania's motorways. Three bridges are already built and another three bridges are under construction. The lengths of these bridges are greater than 200 m, the longest being the bridge over the Mureș River on the Deva bypass with the length of 720 m. The article offers additional details about the VTR system and presents the structures in which it was applied.

## CUVINTE CHEIE: VTR, POD COMPUS, POD INTEGRAL, PREFABRICATE

### 1. INTRODUCERE

În România se construiesc sectoare noi de autostradă și apare oportunitatea de a proiecta poduri utilizând cele mai moderne soluții. Deși în multe cazuri sunt alese în continuare soluțiile clasice pentru poduri, soluțiile inovatoare și eficiente își fac loc pe piață. O soluție eficientă de poduri va ține cont de aspecte precum: durabilitate și robustețe structurală,

---

1) SSF-RO s.r.l. & Universitatea Politehnica Timișoara, Facultatea de Construcții  
2) C.N.A.I.R. & Universitatea Tehnică Cluj-Napoca, Facultatea de Construcții  
3) S.C. RETTER PROJECTMANAGEMENT S.R.L.

execuție rapidă și ușoară, costuri de construcție reduse, costuri de mentenanță reduse și aspect estetic plăcut. Aceste aspecte sunt importante în special pentru podurile cu lungimi și deschideri mari. VTR® (ger. VerbundTrägerRost – rețea de grinzi compusă oțel-beton) a fost conceput tocmai pentru a satisface cerințele de mai sus. Este un sistem modular pentru podurile compuse oțel-beton.

Podurile compuse devin atractive pentru deschideri peste de 40 m, atunci când grinzile din beton pretensionate sunt mai greu de transportat și manevrat pe șantier. Grinzile metalice pot fi împărțite în tronsoane și sudate cu ușurință pe șantier la lungimea finală.

Sistemul VTR® se folosește de metoda realizării unei rețele de grinzi încă din faza de construcție, formată în direcție longitudinală din grinzi principale din oțel și în direcție transversală din grinzi secundare - antretoaze. Diferența față de modul obișnuit de a realiza sistemul de grinzi este folosirea de antretoaze prefabricate din beton armat în locul antretoazelor din oțel. Acest fapt ușurează semnificativ procesul de construcție, nemaifiind nevoie ca antretoazele să fie sudate pe șantier și reduce costurile totale ale construcției. Avantajul unei astfel de rețele este realizarea unei legături între grinzile principale și asigurarea stabilității în direcție transversală încă din faza de construcție. Suprastructura se realizează fără cărucior cu macara.

Se obțin rezultate optime folosind acest tip de suprastructură la podurile integrale sau semi-integrale. Structurile tip cadru sporesc redundanța structurii și rezistența la seism și sunt totodată avantajoase. Avantajele apar încă din faza de construcție prin reducerea numărului de piloți și a dimensiunilor infrastructurii. Pe termen lung costurile de mentenanță sunt reduse prin numărul mic sau chiar lipsa rosturilor.

În prezent 3 poduri semi-integrale cu suprastructură VTR au fost construite în România, iar alte 3 sunt în faza de construcție.

### 1.1. Sistemul VTR®

Suprastructurile VTR® sunt compuse din module prefabricate conectate cu beton monolit. Fazele de execuție sunt următoarele (Petzek et al. 2016) (Figura 1):

- 1 Grinzile din oțel sunt realizate în uzină și transportate pe șantier. Sunt prevăzute pe talpa superioară cu conectori tip gujon. Două astfel de grinzi dispuse pe direcția longitudinală reprezintă grinzile principale ale unui tablier.
- 2 Antretoaze prefabricate din beton armat sunt așezate pe grinzile principale. Acestea au goluri la intersecția cu grinzile din oțel pentru pătrunderea conectorilor.
- 3 Carcase de armătură prefabricate sunt dispuse între antretoaze, pe talpa superioară a grinzilor din oțel.
- 4 Se betonează deasupra grinzilor din oțel până la nivelul antretoazelor prefabricate, creându-se astfel rețeaua de grinzi compusă oțel-beton.
- 5 Plăci prefabricate din beton armat sunt dispuse pe rețeaua de grinzi. Acestea pot avea înălțimea finală a plăcii de suprabetonare sau doar jumătate.
- 6 Se introduc armături de legătură în spațiile dintre plăci și deasupra acestora (după caz). Rosturile generoase permit suprapunerea și ancorarea armăturilor.
- 7 Se betonează spațiile dintre plăci și deasupra acestora (după caz), cofraje fiind necesare doar pe părțile laterale.
- 8 În ultima fază are loc echiparea podului.

În cazul structurilor realizate până acum, cu acest sistem, s-au folosit grinzi metalice casetate, cu secțiune închisă. Rigidizările longitudinale și transversale au fost dispuse doar în interiorul casetei, fiind o soluție care va ușura semnificativ procesul de întreținere, existând doar 3 suprafețe plane care vor necesita refacerea protecției anticorozive în timp: talpa inferioară și suprafețele văzute ale inimilor. Totodată îmbinarea tronsoanelor pe șantier prin sudare este facilitată de acest aspect. Este important de menționat și faptul că

aspectul final al structurii este îngrijit, modern și plăcut, tocmai prin forma exterioară simplă a grinzilor.

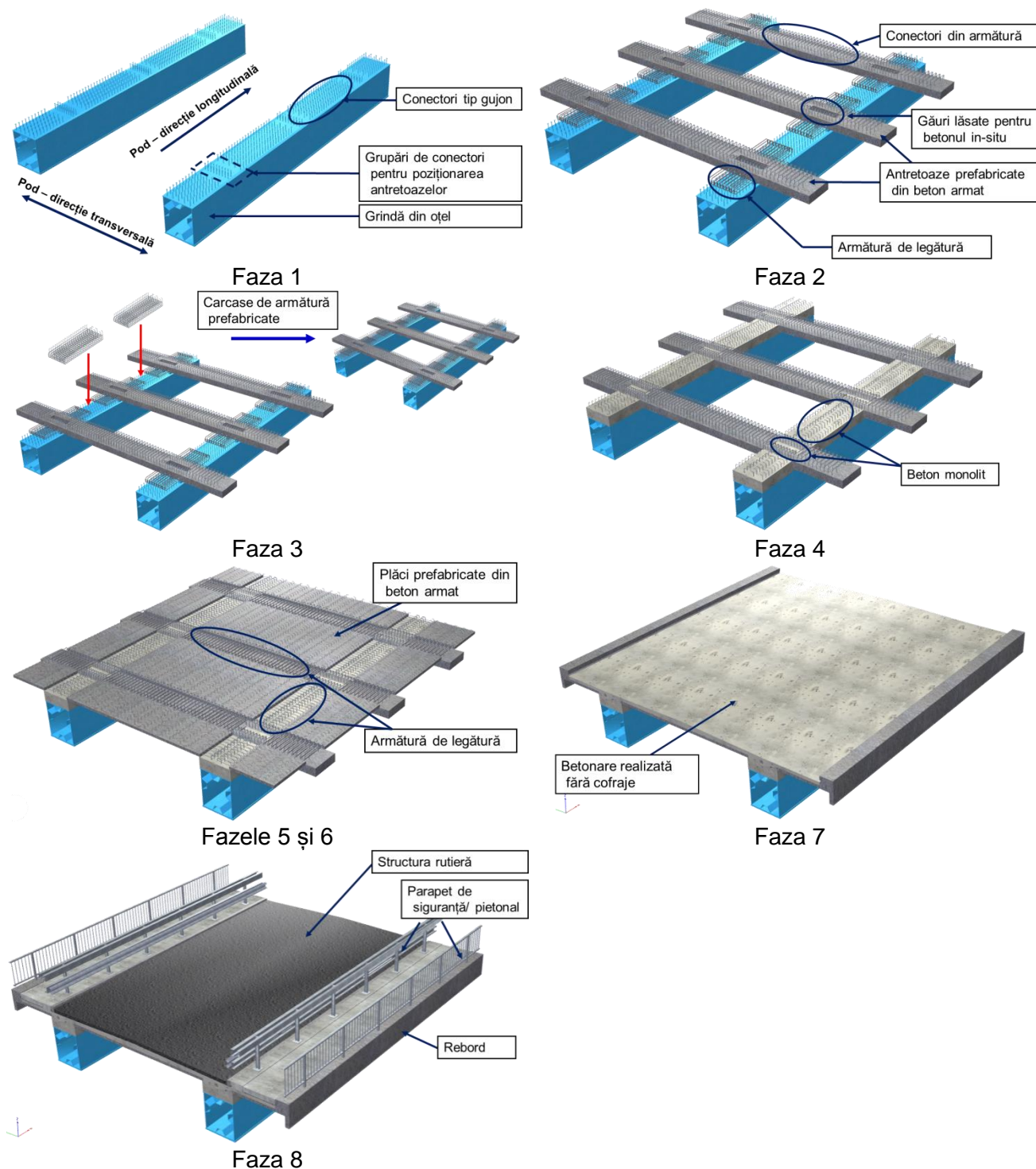


Figura 1– Sistemul VTR<sup>®</sup>, faze de execuție (Petzek et al. 2016)

## 1.2. Poduri integrale și semi-integrale

Podurile integrale au deja tradiție în Statele Unite ale Americii (SUA), în prezent existând mai mult de 13000 astfel de structuri (White 2007). În ultimii ani această soluție este aplicată tot mai frecvent în Europa, Regatul Unit chiar recomandă ca podurile cu lungimi până la 60 m să fie integrale. Țări precum Germania, Elveția și Austria au deja norme cu recomandări specifice (Petursson et al. 2011). Și în România s-au construit poduri integrale. Un exemplu ar fi lotul 1 al sectorului de autostradă Orăștie-Sibiu, care are 25 de

structuri integrale și 1 structură semi-integrală. În prezent pe lotul 2 al sectorului de autostradă Sebeș-Turda se construiesc 18 poduri integrale și 3 semi-integrale. Interesul pentru aceste structuri a crescut în ultimii ani datorită costurilor reduse ale beneficiarului la mentenanță și a simplificării întregului proces de întreținere. Traficul tot mai intens face ca elementele consumabile folosite la poduri, precum aparatele de reazem și echipamentele pentru rosturile de dilatație, să se deteriorează repede. Podurile integrale elimină această problemă prin crearea unei legături monolite între suprastructură și infrastructură, nemaifiind utilizate nici aparate de reazem, nici echipamente pentru rosturi de dilatație. Practic aceste structuri sunt niște cadre cu una sau mai multe deschideri (Figura 2).

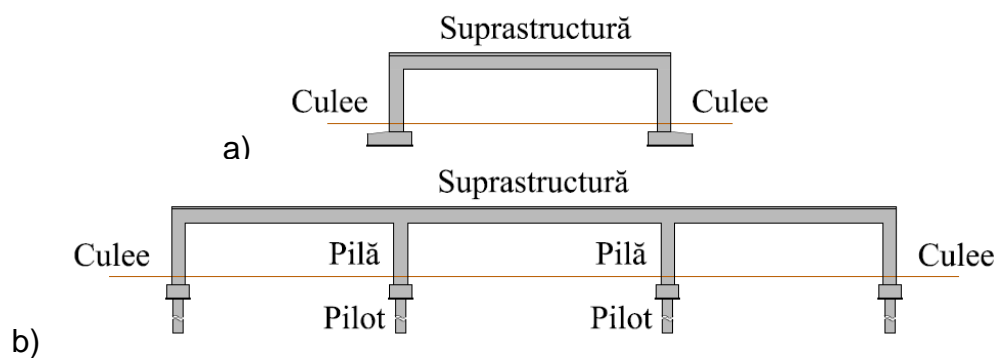


Figura 2 – Pod integral: a) o deschidere, b) mai multe deschideri

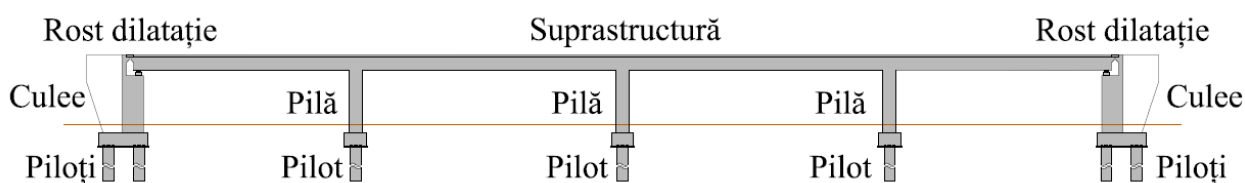


Figura 3 – Pod semi-integral

Podurile integrale în întregime sunt folosite în special pentru lungimi mici și medii. În cazul podurilor lungi, unde apar dilatații semnificative pot fi folosite structuri semi-integrale (Figura 3). Definiția podurilor semi-integrale diferă în funcție de stat, în SUA și în unele țări europene podurile semi-integrale au în dreptul culeelor fie aparate de reazem, fie rosturi de dilatație. Conform normei germane (RE-ING 2016) un pod este considerat semi-integral, atunci când nu este integral și are cel puțin două pile legate monolit de suprastructură, în timp ce culeele și restul pilelor au aparate de reazem. România nu are încă o terminologie stabilită în acest sens, iar structurile prezentate în capitolele următoare folosesc termenul de pod semi-integral conform normei germane.

Deși nu sunt eliminate în totalitate aparatele de reazem și rosturile de dilatație, numărul acestora este redus, structurile semi-integrale fiind de asemenea avantajoase.

## 2. STRUCTURI VTR PE SECTORUL DE AUTOSTRADĂ SEBEȘ-TURDA

Pe sectorul Sebeș-Turda, lotul 2 al autostrăzii A10a a fost re-proiectat o serie de poduri folosind soluții moderne și inovatoare. Majoritatea podurilor cu lungimi până în 100 m sunt integrale, cu suprastructură pe grinzi prefabricate din beton cu armătură externă rigidă sau pretensionate. Pentru cele 3 poduri cu lungimi mai mari decât 200 m a fost ales sistemul VTR. Calculul de rezistență s-a făcut după normele europene și românești în vigoare. Structurile sunt în momentul de față în faza de construcție, infrastructurile fiind în mare parte realizate.

## 2.1. Pasaj km 26+350

Pasajul de autostradă de la km 26+350 trece peste 3 linii de cale ferată electrificate, CF300 și linia dublă CF201 la un unghi de 31°. Lungimea totală este de 217 m (Figura 4), cu 6 deschideri (28 + 32 + 48 + 40 + 28 + 28 m). Pasajul este format din două structuri paralele cu lățimea de 13,60 m, una pentru fiecare sens de circulație (Figura 5).

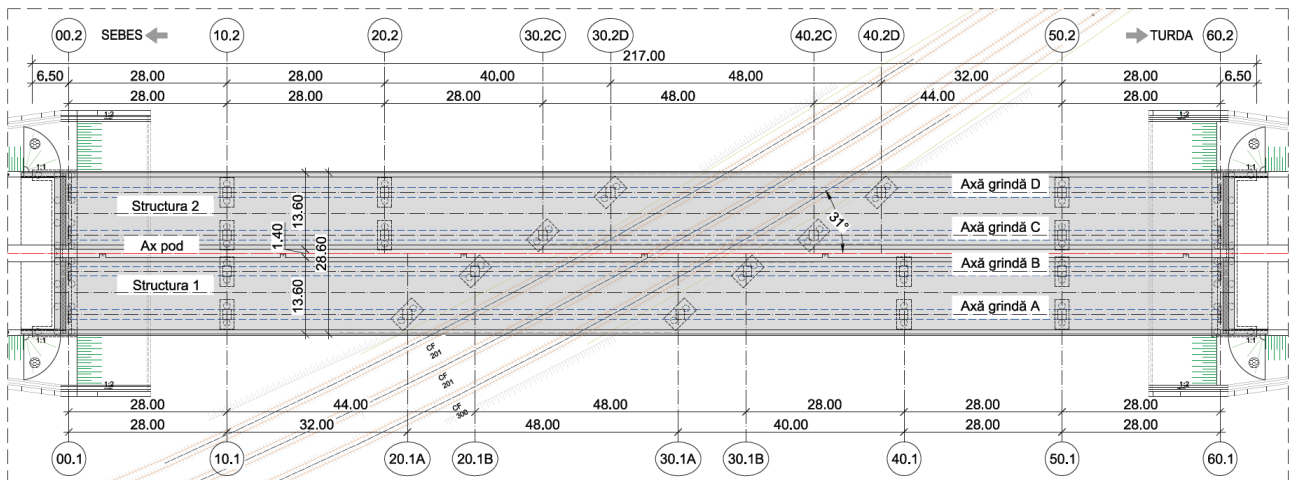


Figura 4 – Vedere plană

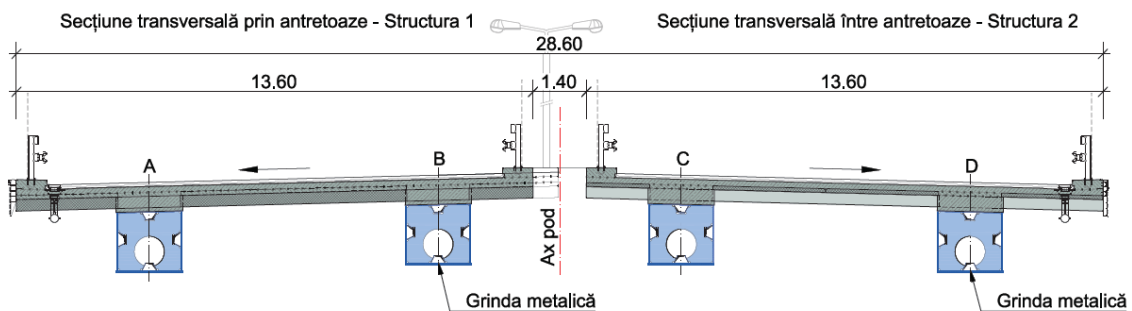


Figura 5 – Secțiune transversală generală

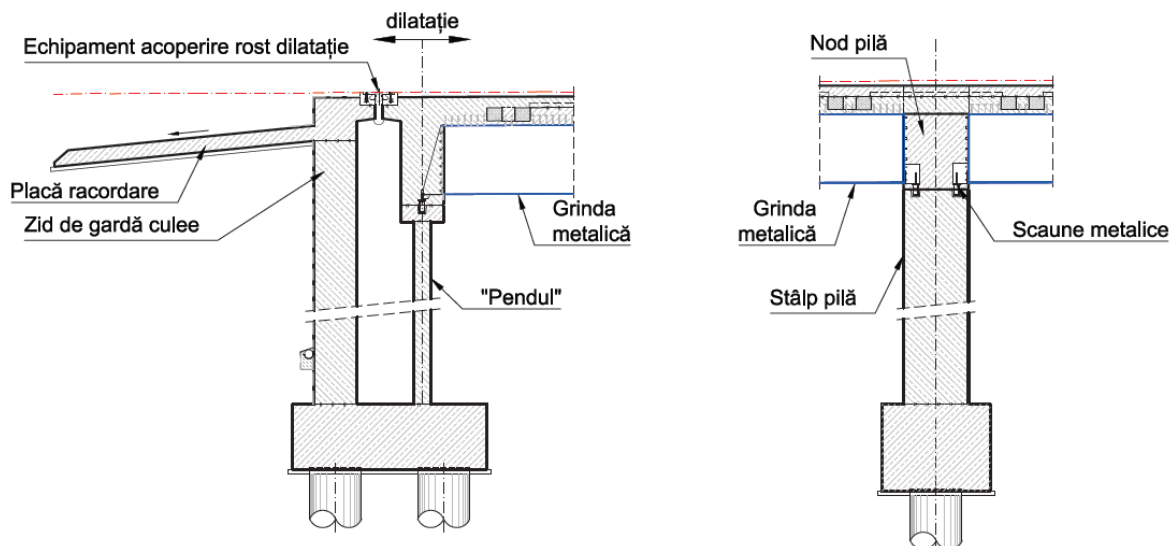


Figura 6 – Conexiune infrastructură-suprastructură: culee/ pendul (stânga), pilă (dreapta)

Proiectul inițial propunea un pod compus a câte 4 (patru) grinzi metalice cu inimă plină pe fiecare tablier, cu înălțimea de 2,80 m, câte două fiind prinse cu contravântuiri și montanți și prefabricate de cale din beton armat. Deschiderea mediană avea 80 m, pentru a putea acomoda oblicitatea pronunțată.

În sistemul VTR pilele au forma unor stâlpi dispuși sub fiecare grindă principală, motiv pentru care infrastructura poate urma unghiul oblic. Astfel după reproiectarea structurii

folosind sistemul VTR s-a obținut o deschidere mediană de 48 m. Grinzile metalice se vor realiza în uzină pe tronsoane de aproximativ 20 m și vor fi ulterior sudate la lungimea finală la sol, pe șantier. Având o greutate de 71 t și o lungime de 48 m, acestea sunt considerabil mai ușor de manevrat, față de unele de 80 m și vor putea fi ridicate deasupra căii ferate cu întreruperi minime de trafic. Nu sunt necesare turnuri temporare de sprijinire, și nu se vor face suduri in situ deasupra liniilor de cale ferată. Se elimină detaliile cu risc crescut la coroziune și oboseală ale grinzilor, iar suprafețe de oțel ce trebuie protejate anticoroziv sunt reduse prin utilizarea unei secțiuni casetate, fără contravânturi și fără rigidizări expuse.

Structura este integrală având o legătură rigidă între suprastructură și infrastructură. Din lipsa aparatelor de reazem pe întreaga structură, deformațiile longitudinale sunt preluate de coloane cu rol de pendule dispuse la culee. Rosturi de dilatație sunt prevăzute doar în dreptul culeelor, între pendule și zidul de gardă (Figura 6). În restul axelor pilele au formă regulată, dreptunghiulară cu secțiunea de 1,80 m x 1,50 m. Conexiunea rigidă dintre infrastructură și suprastructură se realizează prin betonarea nodurilor de cadru.

Fiecare tablier este compus din două grinzi metalice casetate, cu înălțimea constantă de 1,60 m. Pe aceste grinzi sunt dispuse antretoaze la distanța de 4 m, iar după prima betonare se realizează rețeaua de grinzi. Se dispun plăci prefabricate cu înălțimea de 10 cm, care conțin armarea inferioară a plăcii de suprabetonare și au totodată rol de cofraj pierdut. Ulterior se armează și se betonează până la grosimea finală a plăcii.

În final a rezultat un indice de consum al oțelului de 171 kg/m<sup>2</sup> (kg/ arie tablier).

## 2.2. Pod km 34+750

Podul de autostradă peste râul Mureș de la km 34+750 are o lungime de 268 m, cu 7 deschideri (28 + 33 + 33 + 80 + 33 + 33 + 28 m). Pentru cele 3 deschideri mediane s-a optat pentru o suprastructură compusă VTR, în timp ce pentru restul deschiderilor s-au folosit grinzi prefabricate pretensionate (Figura 7). Podul este semi-integral, având aparate de reazem și rosturi de dilatație în dreptul culeelor. Pilele sunt încastrate, cu excepția celor mediane de la deschiderea de 80 m, unde s-a realizat o articulație din beton între suprastructură și infrastructură (Figura 8).

Grinzile metalice folosite la deschiderile VTR au înălțime variabilă între 1,20 m și 2,60 m. În faza de construcție sunt prevăzute turnuri de sprijinire temporare pentru deschiderea de 80. Turnurile vor fi poziționate la distanța de 60 m, pe malurile Mureșului. După sudarea tronsonului median cu L=60 m de grinzi marginale, turnurile vor fi îndepărtate. Pe deschiderile compuse restul fazelor se vor desfășura conform sistemului VTR.

Îmbinând două soluții constructive, grinzi pretensionate din beton pentru deschiderile mici și suprastructură compusă pentru deschiderile mari, s-a obținut o structură avantajoasă.

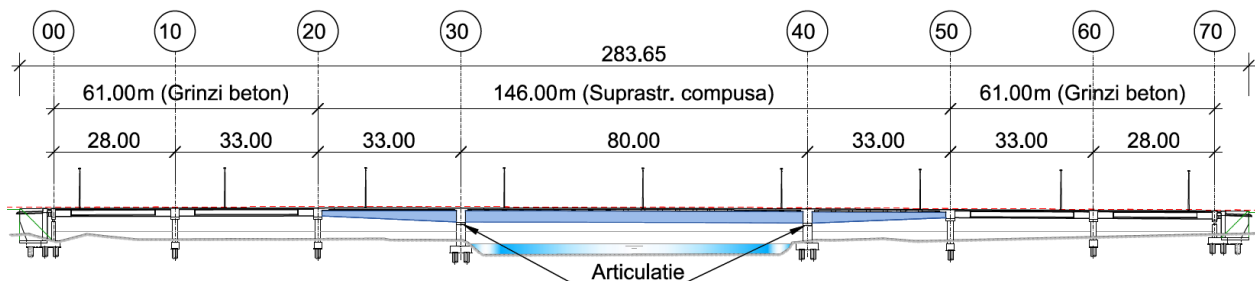


Figura 7 – Secțiune longitudinală



Figura 8 – Infrastructuri km 34+750 (stânga) și detaliu pile cu articulații (dreapta)

### 2.3. Pod km 40+200

Pentru podul de autostradă de la km 40+200 peste râul Mureș s-a optat pentru folosirea sistemului VTR pentru întreaga structură. Lungimea totală este de 212,80 m și are 4 deschideri (46 + 55 + 55 + 42,90 m). Podul este curb, cu raza în plan de doar 800 m. Grinzile metalice preiau această curbura, iar antretoazele sunt dispuse radial. Podul este și oblic, infrastructurile fiind decalate astfel încât să urmeze malurile Mureșului (Figura 9).

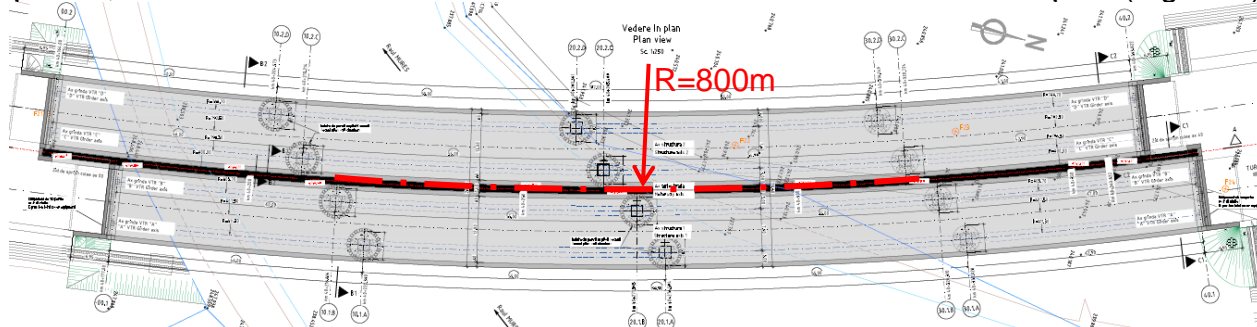


Figura 9 – Vedere în plan

Sistemul static este semi-integral, cu două axe ale pilelor legate monolit de suprastructură, iar în restul cazurilor, o axa de pilă și cele două culee, au fost introduse aparate de reazem. Rosturi de dilatație au fost necesare și în acest caz doar în dreptul culeelor.



Figura 10 – Stadiu actual infrastructură axe 20, 30, 40

### 3. STRUCTURI VTR FINALIZATE

#### 3.1. Pod peste râul Mureș pe varianta de ocolire a Devei

Sistemul VTR<sup>®</sup> a fost introdus pentru prima dată în România în anul 2012 când a fost aplicat pentru podul peste râul Mureș cu lungimea de 720 m (Figura 11) de pe varianta de ocolire a Devei, fiind la momentul finalizării cel mai lung pod din țară. Experiența a fost una pozitivă, structura fiind finalizată înainte de termen (Petzek et al. 2016).

Podul este curb, cu raza de 1800 m și are 12 deschideri de câte 60 m. Sistemul static este de tip pod semi-integral, în 3 axe centrale pilele sunt prinse monolit de suprastructură, în restul axelor podul fiind asemenea unei grinzi continue. Rosturi de dilatație au fost folosite doar în dreptul culeelor.



Figura 11– Pod peste Mureș, L=720 m

Conform cerințelor beneficiarului s-a făcut o încercare in situ a structurii, din care a rezultat că structura are un comportament bun chiar și atunci când pe pod circulă convoaie A30 încărcate cu 30 t și dispuse în cele mai nefavorabile poziții (Figura 12).



Figura 12–Încercare in situ, convoaie A30

#### 3.2. Viaduct peste CF și DN7 pe sectorul Orăștie-Sibiu

Al doilea pod realizat folosind acest sistem este viaductul de pe sectorul de autostradă Orăștie-Sibiu, lotul 1 (Figura 13). Acesta străbate în oblicitate, la un unghi de aproximativ 33° calea ferată dublă și DN 7. Lungimea totală este de 240 m, cu deschideri variabile între 28 m și 40 m. Infrastructura urmează oblicitatea, pilele fiind dispuse decalat. În acest caz toate pilele sunt prinse monolit de suprastructură, aparate de reazem și rosturi de dilatație au fost necesare doar în dreptul culeelor. Traficul feroviar (Figura 14) nu a fost întrerupt, cu excepția momentului în care grinzile metalice au fost ridicate și poziționate pe pile cu ajutorul macaralelor (Petzek et al. 2016). Restul lucrărilor la suprastructură



deasupra căii ferate au fost făcute în pauze de trafic (dispunere antretoaze și plăci prefabricate, betonare placă). Structura a fost dată în folosință în anul 2014, respectând termenul de finalizare al lotului de autostradă.



Figura 13 – Viaduct peste CF și DN7 pe sectorul Orăștie-Sibiu, L=240 m



Figura 14 – Faza de construcție sub trafic feroviar

### 3.3. Pasaj peste CF Simeria-Vințu de Jos pe DN7

Pasajul este amplasat pe lotul Simeria-Vințu de Jos, pe tronsonul Coșlariu-Simeria de cale ferată la km CF 457+431 și asigură continuitatea drumului DN7. La momentul redactării articolului pasajul este în ultima faza de echipare, structura de rezistență fiind finalizată.



Figura 15– Dispunere antretoaze pe grinzile metalice

Acesta este de asemenea un pod semi-integral cu suprastructură VTR, are lungimea de 184 m și intersectează calea ferată la un unghi de doar 19°. Axele pilelor urmează

oblicitatea, motiv pentru care pilele au un decalaj de 20 m în zona căii ferate, sistemul propus putând prelua eforturile suplimentare rezultate. Lungimea deschiderilor variază, cea mai mare fiind de 48 m (Figura 15, Figura 16). La fel ca și în celelalte două cazuri, ritmul de construcție a fost rapid.



Figura 16– Pasaj peste CF Simeria-Vințu de Jos pe DN7

#### 4. CONCLUZII

Sistemul modular VTR simplifică mult munca pe șantier prin utilizarea de prefabricate și a grinzilor casetate cu secțiune închisă, iar necesarul de cofraje este foarte redus. Pe lângă avantajele din timpul construcției, mentenanța acestor structuri este minimă prin reducerea suprafețelor, care vor necesita refacerea protecției anticorozive. Prin exemplele prezentate în această lucrare se observă că soluția este dinamică, se dezvoltă continuu și se adaptează la fiecare situație.

Îmbinând acest sistem cu structuri de tip cadru, poduri integrale sau semi-integrale, se pot obține structuri atractive atât pentru beneficiari, cât și pentru constructori.

Constructorii:

1. Structurile în lucru (capitolul 2): AKTOR TECHNICAL SOCIETE ANONYME (AKTOR S.A.)
2. Structurile finalizate (capitolul 3): STRABAG S.R.L.

#### REFERINȚE

WHITE, H.(2007) Integral Abutment Bridges – Comparison of current practice between European countries and the United States of America. Special report 152, Transportation Research and Development Bureau, New York State Department of Transportation

PETURSSON, H, COLLIN, P., VELJKOVIC, M., ANDERSSON, J. (2011) Monitoring of a Swedish Integral Abutment Bridge. Structural Engineering International, SEI vol. 21, No. 2, p.p. 175-180

RE-ING (2016) Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten, Teil 2 Brücken, Abschnitt 5 Integrale Bauwerke

PETZEK, E., METEȘ, E., ȚURCAN, A., SCHMITT, V. (2016) New Integral and Semi-integral Bridge Solutions for the Romanian Highways and Motorways. Bridges in Danube Basin, EDIS, University of Zilina, ISBN 978-80-554-1249-8, pp. 111-112