

TEHNICI MODERNE DE URMĂRIRE SPECIALĂ A EVOLUȚIEI DEGRADĂRILOR PENTRU UN PASAJ DE CALE FERATĂ

Gheorghită BOACĂ¹, Maria-Cristina SCUTARU¹,
Cristian-Claudiu COMISU¹, Răzvan-Gelu GIMIGA¹

¹ Gheorghe Asachi Technical University of Iasi-Romania, Department of Transportation Infrastructure and Foundations, Blvd. Mangeron, No. 1, 700050, Iasi, Romania

*Autorul corespondent: Gheorghită BOACĂ, boaca_gheorghita@yahoo.com

Rezumat. În zilele noastre, cea mai mare parte a infrastructurii de transport este deja construită, provocarea principală fiind reprezentată de menținerea acestor structuri în condiții optime de siguranță și confort a utilizatorilor. De aceea, în ultimii ani, cercetările în domeniul întreținerii structurilor de poduri s-au canalizat pe dezvoltarea și implementarea unor programe de urmărire specială, ce reușesc să identifice și să atenționeze administratorii infrastructurii de transport de apariția și dezvoltarea degradărilor, și, mai ales, de posibilitatea cedării elementului de construcție în viitorul apropiat. Prezenta lucrare își propune, pe lângă familiarizarea cititorilor cu structura constructivă a Podului Constanței, prezentarea principalelor tehnologii utilizate pentru implementarea programului de urmărire a comportării în exploatare, alături de modul de dispunere a unităților de captare a datelor și de o scurtă interpretare a informațiilor oferite de sistemul de monitorizare. În concluziile articolului, autorii vor trage un semnal de alarmă privitor la capacitatea portantă a structurii, influențată de dezvoltarea proceselor de degradare și a necesității implementării în regim de urgență a lucrărilor de reabilitare și consolidare a pasajului.

Cuvinte cheie: analiză structurală, monitorizare, poduri, reabilitare.

Introducere

O dată cu trecerea timpului, construcțiile prezintă diferite degradări apărute din cauza condițiilor de mediu și a exploatarei, în principal, degradări ale materialelor din care este realizată structura vizată. În zilele noastre, una dintre cele mai mari provocări ale administratorilor o reprezintă întreținerea infrastructurii deja construite. Astfel, administratorii, alături de inginerii proiectanți caută continuu cele mai bune soluții pentru realizarea la timp a lucrărilor de întreținere și reparație a podurilor și pasajelor. De asemenea, soluțiile implementate nu trebuie să fie costisitoare, ținând cont de fondurile bugetare limitate avute la dispoziție. În cazul podurilor deschise circulației de mult timp, a căror vârstă se apropie de vârsta maximă de exploatare, sau a acelor structuri de o importanță deosebită pentru buna desfășurare a traficului, în ultimii ani a fost recomandată implementarea unor programe de urmărire specială. Acestea au ca scopuri urmărirea comportării în exploatare a structurilor, evoluția degradărilor și atenționarea personalului responsabil în cazul identificării oricăror depășiri ale pragurilor de atenționare, împreună cu luarea măsurilor de remediere în regim de urgență.

Compania Națională de Căi Ferate CFR S.A din România a decis implementarea unui program de urmărire specială pentru pasajul de pe linia 800, de la km 4+327, care asigură traversarea căii ferate peste Calea Griviței, în București. Pasajul a fost construit în anul 1938, asigurând continuitatea unei căi ferate de importanță deosebită, magistrala CF 800 București Nord – Constanța, în inima capitalei, peste o arteră majoră de circulație, Calea Griviței. Aceasta preia traficul de pe două drumuri naționale principale DN 1A București – Ploiești și DN 7 București – Pitești, asigurând accesul către centrul capitalei. În anul 2014, în urma constatării unor degradări potențial periculoase în cadrul reviziilor zilnice, administratorul a contractat întocmirea unei Expertize Tehnice de specialitate. Concluziile ei au relevat o serie de degradări care afectează structura, recomandând implementarea unui program de urmărire a comportării în timp.

Articolul își propune prezentarea principalelor tehnologii utilizate pentru implementarea programului de urmărire a comportării în exploatare a Podului Constanței dezvoltat, alături de modul de dispunere a unităților de captare a datelor. Scopul principal al articolului este de a reprezenta o bază de pornire solidă pentru viitoarele proiecte de urmărire specială a podurilor și pasajelor, cu speranța utilizării tot mai dese a acestei practici în sistemul de administrare din țara noastră.

Această lucrare face parte într-un amplu program de cercetare în domeniul dezvoltării și implementării la nivel național a sistemelor moderne de urmărire a comportării în timp a podurilor. Programul este dezvoltat de către Facultatea de Construcții și Instalații a Universității Tehnice "Gheorghe Asachi" din Iași.

Prezentarea structurii

Deși structura ce face obiectul prezentului studiu este cunoscută ca Podul Constanța, ea este de fapt un pasaj ce asigură continuitatea Liniei ferate București – Constanța, Magistrala 800, peste una dintre cele mai importante magistrale rutiere din București, respectiv Calea Griviței.

Datorită amplasării în plină curbă a pasajului, lungimea structurii este de 28,70 m, lungime ce a fost măsurată în planul parapetului din partea stângă a liniei ferate.

Pentru asigurarea traficului feroviar la capacitate maximă de transport și datorită importanței deosebite a liniei deservite, pasajul a fost construit cu o lățime totală măsurată între parapete, la nivelul rostului de pe culeea C1, de 32,42 m, lățime de corespunde deservirii a 5 linii de cale ferată.

Din punct de vedere al materialului de construcție, pasajului este din beton armat. O caracteristică interesantă este faptul că suprastructura este formată din două structuri asimetrice alăturate (Figura 1).

Analizând structura în secțiune transversală, observăm prezența a 20 grinzi principale (Figura 1) solidarizate prin intermediul unei plăci din beton armat dispusă la nivelul tălpilor superioare a grinzilor. Datorită specificului căii de comunicații, placa susține cele 5 linii ferate prin intermediul unei cuve din beton armat.



Figura 1. Suprastructura pasajului.

Fiecare structură este alcătuită din câte 9 grinzi principale, dispuse în zona liniilor ferate, în axul pasajului aflându-se 2 grinzi alăturate, separate printr-un rost longitudinal. Grinzile principale prezintă o lățime de 50 cm și o înălțime de 1,20 m, dimensiuni ce au fost măsurate între planul intradosului și talpa inferioară a grinzilor.

Toate cele 10 grinzi ale fiecărei structuri reazemă direct pe cele trei infrastructuri, fiind solidarizate la nivelul rezemărilor și în secțiunea centrală prin intermediul antretoazelor. Acestea prezintă o lățime medie de 30 cm, menținând aceeași înălțime ca în cazul grinzilor.

Infrastructurile pasajului, formate din două culei și o pilă (Figura 1), sunt fondate direct. Conform documentației existente la Cartea Tehnică a construcției, talpa fundației are o lățime de 5,50 m, grosimea fiind de 1,50 m.

Culeele sunt masive, construite din beton, elevația lor fiind tencuită, cu asize, la bază fiind dispus un soclu placat.

Pila pasajului (Figura 2) are o lungime de aproximativ 34,00 m, lungime măsurată la nivelul soclului. Elevația pilei este formată din 20 stâlpi construiți din beton armat.

Fiind vorba de un pasaj, este important să amintim și configurația căii de comunicație traversată. Astfel, lumina dintre soclurile elevațiilor culeelor fiind de 17,89 – 17,93 m, cuprinde 2 trotuare cu lățimea de aproximativ 1,00 m fiecare și 2 zone destinate traficului rutier și a tramvaielor cu lățimea de 7,78 m fiecare, despărțite de elevația pilei de 0,70 m lățime.



Figura 2. Pila pasajului Constanța înainte de executarea lucrărilor de reabilitare.

Motivele instituirii urmăririi curente

Conform Expertizei, deși concluziile au fost că structura se află într-o stare tehnică bună, pasajul prezenta o serie de defecte și degradări a căror extindere poate conduce la impunerea unor restricții de circulație, și chiar ar putea fi în pericol siguranța utilizatorilor.

Unele dintre cele mai mari probleme identificate au fost:

- Traficul rutier este foarte intens (Figura 5), acest lucru datorându-se gabaritului de liberă trecere de sub pod, lumina pasajului fiind dimensionată doar pentru 2 benzi de circulație rutieră pe fiecare sens și câte 2 linii de tramvai. În zona pasajului, Calea Griviței a suferit o serie de extinderi de-a lungul timpului, în acest moment având câte 3 benzi de circulație pe fiecare sens și 2 linii de tramvai
- Circulația tramvaielor (Figura 6) prin pasaj produce vibrații puternice în imediata vecinătate a pilei, ceea ce a condus la multiple degradări, inclusiv la structura de siguranță a pasajului.

La nivelul suprastructurii au fost identificate următoarele degradări:

- Grinzile marginale (Figura 7) au numeroase semne de lovire din cauza nerespectării gabaritului de siguranță
- Din cauza vârstei înaintate și a lovirilor repetate, armătura de la fibra inferioară a grinzilor este descoperită, ruginită, unele dintre barele de armătură fiind chiar rupte, ceea ce conduce la o scădere pronunțată a capacității portante a grinzilor și, implicit, a întregii structuri

Unele dintre cele mai importante degradări au fost identificate la nivelul infrastructurilor, respectiv:

- Stâlpii pilelor prezintă degradări puternice la nivelul stratului de beton de acoperire, cu reducerea secțiunii, corodarea armăturii în întregime, fisuri orientate în lungul elementelor și un beton cu aspect friabil (Figura 8)
- Elevațiile pilelor și a culeelor sunt puternic degradate, cu zone extinse de tencuială căzută, beton segregat, cuiburi, armătură fără strat de acoperire

De asemenea, având în vedere importanța structurii, societatea civilă a tras un semnal de alarmă puternic prin apariția în presa locală și cea centrală a numeroase articole care prezentau pe larg, exagerând chiar, situația structurii (Figura 9). Acest lucru a condus la grăbirea procedurilor necesare lucrărilor de reabilitare, instituindu-se, până la finalizarea lor, un proces de

urmărire specială. Aceasta avea ca scop principal semnalarea în timp real a apariției pericolului de prăbușire, și, mai ales, a evoluției degradărilor.

Tehnologii de urmărire a comportării în exploatare

Datorită specificului structurii și a degradărilor identificate, echipa de specialiști însărcinați cu proiectarea sistemului model de urmărire a comportării au decis instalarea mai multor tipuri de tehnologie, vizând următoarele aspecte:

- urmărirea video a traficului feroviar și a modului în care structura reacționează la diferite încărcări
- urmărirea evoluției fisurilor
- stabilirea schemei de armare, acest aspect devenind important în urma constatării volumului mic de informații disponibile de la construcția pasajului
- determinarea rezistenței betonului
- înregistrarea deformațiilor prin intermediul unor sisteme moderne ce utilizează fibra optică de precizie

1. Urmărirea evoluției fisurilor în structura de rezistență a pasajului

Prezenta etapă se va concentra asupra realizării unui releveu al fisurilor. Acest releveu a fost utilizat ca dată de intrare pentru analiza deschiderii, poziții și lungimii fisurilor, indicând și evoluția lor în timp. Metodele de realizare releveului au fost pur vizuale. Suplimentar, în această etapă au fost montați martori din sticlă, citirile fiind efectuate cel puțin o dată pe săptămână.

2. Supravegherea video a structurii

Scopul prezentei tehnologii este de a urmări desfășurarea traficului în timp real prin pasaj și la nivelul căii ferate. Astfel, au fost montate camere video pe fiecare rampă de acces. Datele captate au fost transmise în timp real către un centru de comandă și control.

3. Determinarea poziției armăturii, a distanței dintre bare și a acoperirii cu beton armături

În zonele pasajului cu degradări majore și fisuri pronunțate în structura de rezistență, au fost realizate încercări nedistructive. Acestea au avut ca scop localizarea armăturii, determinarea poziționării, a diametrelor barelor utilizate la construcția elementului vizat și măsurarea stratului de acoperire cu beton rămas, după producerea degradărilor.

Testarea nedistructivă a fost realizată cu ajutorul unui Profomet 5+, model Scan Log5+ (Figura 11), compus din unitate de afișare, scanner și sondă universală. Măsurătoarea s-a realizat prin poziționarea sondei paralel cu direcția de dispunere a armăturii vizate. Astfel, au fost realizate 3 treceri succesive peste fiecare arie setată. Datele afișate cuprind diametrul armăturii, acoperirea cu beton a fiecărei bare și distanța dintre ea și punctul de origine al măsurătorii.

4. Determinarea rezistenței la compresiune a betonului

Încercare a vizat betonul din pilele pasajului, din construcția grinzilor principale și din culei. Având în vedere specificul urmăririi speciale, încercările efectuate au fost nedistructive. Determinarea s-a realizat cu ajutorul unui sclerometru, model Digi Schmidt (Figura 12).

5. Determinarea coroziunii armăturii

Determinarea a fost de tip nedistructiv, utilizându-se sistemul de măsurare a câmpurilor electromagnetice potențiale a elementelor de beton afectate, sistem denumit CANIN+ (Figura 13). Sistemul determină apariția schimbărilor gradelor de potențial pe unitatea de lungime, atrăgând atenția asupra diferitelor zone afectate.

6. Monitorizarea evoluției deformațiilor structurale

Sistemul a fost compus din 12 senzori montați fiecare pe câte un stâlp a pilei și 6 senzori montați la nivelul grinzilor principale (Figura 14). Lungimea fiecărui senzor a fost de minimum 2 m pentru fiecare stâlp și de minimum 5 m pentru cei montați la nivelul grinzilor.

De asemenea, pentru o mai mare acuratețe a datelor, au fost instalate și 4 accelerometre triaxiale. acestea au monitorizat modul de vibrație a pilelor, mai ales în regim dinamic, sunt

încărcările utile. Accelerometre au fost triaxiale, cu un domeniu de captare a datelor de +/-4 G, sensibilitate de 1 μ G și frecvență de lucru de 0 + 500 Hz.

Disponerea unităților de captare a datelor

În cadrul proiectării lucrărilor de urmărire special au fost alese punctele exacte de instalare a tuturor unităților de captare a datelor (Figura 3), indiferent de specificul lor. Analizând îndeaproape starea de degradare a structurii, dar și evoluția în timp, s-a stabilit ca datele să fie înregistrate de la nivelul grinzilor principale de rezistență și a pilonilor pilei.

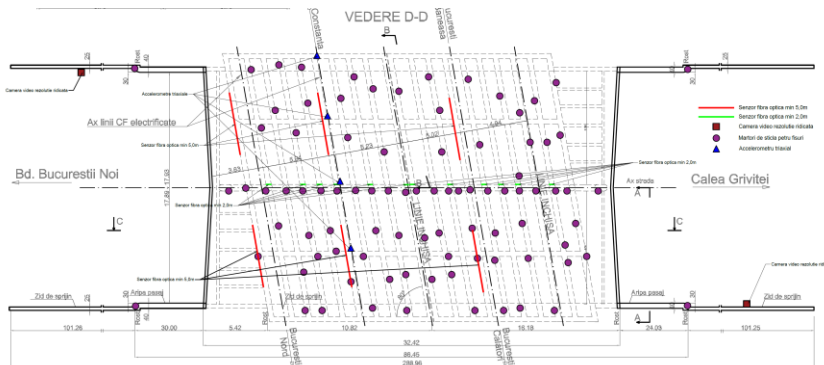


Figura 3. Poziția principalilor senzori pentru monitorizarea structurii

- Pentru monitorizarea evoluției fisurilor, martorii de sticlă au fost montați astfel:
- În dreptul fisurilor care afectează stâlpii pilei pentru a evidenția starea de tensiune și evoluția fisurilor în timp
 - În cazul fisurilor care afectează grinzile principale vor fi monitorizate toate fisurile, urmărindu-se evoluția lor sub trafic

Pentru monitorizarea modului în care structura reacționează per ansamblu, din punctul de vedere al variației temperaturii ambientale și a forțelor orizontale apărute din traficul feroviar, se vor monta câte 2 martori la nivelul fiecărui rost dintre elevația culeelor și aripile pasajului și a celui dintre aripi și zidurile de sprijin.

Camerele video necesare urmăririi specificului traficului deservit de structură, atât din punct de vedere al celui rutier, cât și feroviar, vor fi montate pe fiecare rampă. Camerele au vizat direcții opuse, în acest fel asigurând o claritate înaltă a datelor înregistrate.

Pahometrul ScanLog5+ a fost utilizat la nivelul tuturor stâlpilor pilei, a uneia dintre culei și a unei grinzi, analizând cu ușurință armarea structurii, gradul de degradare și acoperirea cu beton. Determinarea a avut loc cu ocazia unei vizite în amplasament în data de 19.12.2018,.

Rezistența la compresiune a betonului a fost determinată la nivelul tuturor stâlpilor și a radierului pilei, pentru 2 dintre grinzile principale, elevația culeelor și a aripilor. Această determinare devine o piesă de bază în luarea deciziilor privitoare la lucrările de reabilitare ce vor fi realizate, betonul fiind unul dintre cele mai importante materiale de construcție, iar de rezistența disponibilă depinde soluția de reabilitare aleasă și tipul materialelor ce vor fi puse în operă.

După cum am subliniat și în capitolul anterior, pentru a asigura un grad de calitate înalt a lucrărilor de reabilitare, trebuie identificată și eliminată și coroziunea armăturii. Încercarea a fost realizată cu ajutorul sistemului CANIN+, cu ocazia aceleiași vizite în amplasament. Zonele vizate au fost pilonii pilei și grinzile cel mai puternic afectate de degradare.

Pentru monitorizarea evoluției deformațiilor structurii în timp, cele 4 accelerometre triaxiale au fost montate la nivelul grinzii principale nr. 6, fiind dispuse astfel:

- 2 accelerometre au fost amplasate la mijlocul deschiderii
- 1 accelerometru a fost amplasat la nivelul pilei
- 1 accelerometru a fost amplasat la nivelul culeei

Fibra optică a fost instalată la nivelul fiecărui pilon a pilei. Aceasta a avut ca scop principal înregistrarea comportării sub trafic a structurii.

Date înregistrate în cadrul urmăririi comportării în exploatare

O data cu instalarea întregului sistem de urmărire a comportării în exploatare pentru pasajul Constanța din București, a fost demarat un amplu proces de monitorizare. Acesta s-a întins pe prima jumătate a anul 2019, comportamentul în exploatare a structurii fiind scos în evidență încă din primele zile de monitorizare.

Sistemul de urmărire a evoluției modurilor de vibrație a pasajului sub încărcările din trafic a evidențiat grave probleme de rezistență a pasajului, modurile proprii de vibrație variind față de cele așteptate, respectiv de cele calculate în etapa de proiectare a acestui sistem.

Principalele cauze ale apariției vibrațiilor structurale au fost tramvaiele și troleibuzele care circulau prin pasaj. Acestea produceau cele mai mari încărcări dinamice ce se propagau la toate elementele structurale, așa cum se poate observa și din Figura 4.

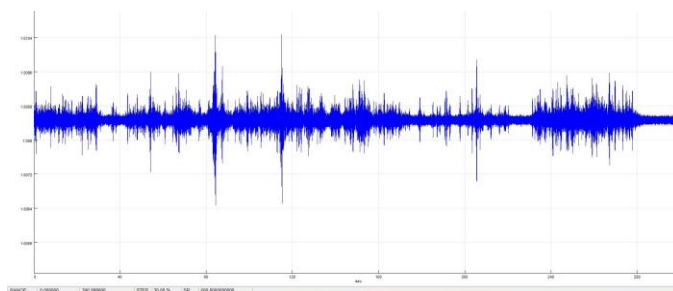


Figura 4. Evoluția vibrațiilor structurale

De asemenea, sistemul de monitorizare a reușit să capteze și reacția structurii la un seism înregistrat în 31.01.2019. Astfel, pe graficele de evoluție a modurilor de vibrație (Figura 5) se poate observa saltul semnificativ înregistrat. În același timp, sistemul de monitorizare a avertizat echipa însărcinată cu implementarea urmăririi curente privitor la situația apărută. Analizând cauza apariției saltului, echipa de monitorizare nu a reușit să găsească nicio explicație structurală, aflând din mass-media de producerea seismului în zona Vrancea și propagarea undelor spre București. Astfel, a fost demonstrată eficacitatea conceptului în atenționarea apariției situațiilor cu un potențial crescut de risc pentru utilizatori.

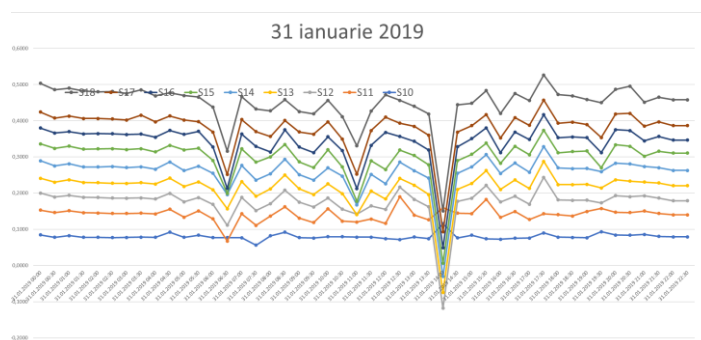
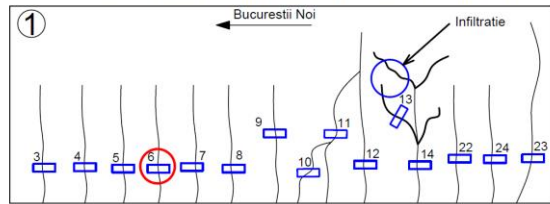


Figura 5. Înregistrarea seismului din 31.01.2019

Din punctul de vedere al monitorizării evoluției fisurilor, se poate observa, în Figura 6, faptul că a fost identificată o tasare importantă la nivelul ambelor culei, în jumătatea aflată spre Calea Griviței. Tasarea a apărut imediat după producerea seismului din 31.01.2019.

Reprezentarea fisurilor este realizată schematic pentru a putea poziționa fisurometrele pe schita



Reprezentarea fisurilor este realizată schematic pentru a putea poziționa fisurometrele pe schita

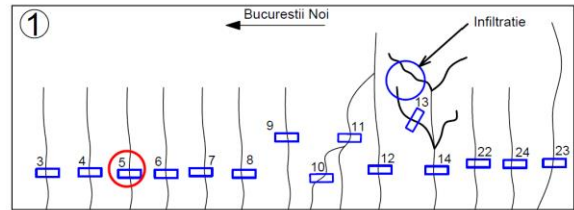


Figura 6. Evoluția fisurilor

Concluzii

Prezentul articol își propune familiarizarea cititorilor cu privire la tehnologiile de urmărire a comportării în exploatare utilizate în cadrul Pasajului Constanța din București. Acest articol poate reprezenta o bază de pornire solidă pentru viitoarele proiecte de urmărire specială a podurilor și pasajelor.

În urma analizării pe larg a datelor înregistrate, se pot desprinde următoarele concluzii privitoare la structura vizată:

1. După o durată de exploatare de peste 80 ani, deși nu au fost executate lucrări de reparații, consolidare sau reabilitare, capacitatea portantă a întregii structuri este vizibil diminuată, dar fără a depăși pragul limită impus de norme pentru siguranța utilizatorilor, implicit fără a se pune în pericol integritatea structurală a pasajului
2. Analiza stării de fisurare a structurii evidențiază prezența unor procese de degradare aflate în stadii avansate de dezvoltare, care contribuie în mod semnificativ la reducerea rezistenței și stabilității generale a pasajului
3. Starea de degradare identificată în prezent, la timpul $T=0$, nu pune în pericol imediat și direct rezistența și stabilitatea locală a stâlpilor pilei și nici a pasajului, în ansamblul structurii de rezistență
4. Urmează să fie întocmite grafice de variație, la timpii $T=1...T=n$, în cadrul cărora se vor analiza evoluția proceselor de degradare (starea de fisurare, comportarea în regim static și dinamic a structurii podului). În baza analizei variației în timp a stării generale de degradare a structurii de rezistență, după cel puțin 3-4 etape de măsurători, se vor putea trage concluzii și se vor putea emite cu certitudine concluzii privind starea de viabilitate a structurii
5. În cazul unui seism puternic, starea de fisurare generalizată la nivelul structurii de rezistență va fi sursa principală care poate afecta grav funcționalitatea pasajului, care nu se va prăbuși, dar, în acest caz, se va impune închiderea imediată a circulației feroviare, rutiere și pietonale în pasaj, pentru a se evita producerea unor accidente grave
6. Se recomandă executarea în cel mai scurt timp posibil a lucrărilor de consolidare și reabilitare a pasajului, pentru a evita degradarea gravă a structurii, în cazul unui seism puternic, care să impună închiderea circulației pe pod.

Această lucrare face parte dintr-un program de cercetare complex dezvoltat de către Facultatea de Construcții și Instalații din cadrul Universității Tehnice "Gheorghe Asachi" din Iași. Cercetarea de față se canalizează pe studiul modurilor de întreținere a podurilor, pe dezvoltarea unor sisteme moderne de urmărire a comportării în exploatare a lor și pe adaptarea și aplicarea sistemelor în cazul podurilor din țara noastră.