

# Implementarea unei metodologii moderne de urmărire a comportării în exploatare în cazul unui pod cu structură mixtă oțel-beton

dr. ing. Maria - Cristina SCUTARU

Direcția Regională de Drumuri și Poduri Iași,

Compania Națională de Administrare a Infrastructurii Rutiere, România

**P**osibilitățile de transport ale Țărilor, bunurilor și ușurarea asigurării serviciilor sunt esențiale pentru progresul economic și buna desfășurare a oricărei societăți. Conform unor studii efectuate la nivelul Uniunii Europene (UE), anual, guvernele țărilor membre cheltuie până la 1.000 miliarde de euro sau mai mult de 10% din Produsul Intern Brut (PIB) pentru asigurarea eficienței industriei transporturilor. În cadrul acestei industrii sunt angrenați aproximativ 10 milioane de oameni, neținând cont de faptul că întreaga populație, atât a UE cât și a întregului glob utilizează într-un fel sau altul rețelele publice de transport avute la dispoziție. Pentru a urmări evoluția rezistențelor construcțiilor, a siguranței oferite de aceasta și de a menține un nivel acceptabil al calității traficului, de-a lungul timpului, la nivel mondial au fost implementate diferite abordări și sisteme utilizate în scopul evaluării și monitorizării stării tehnice a podurilor. Cea mai utilizată abordare este identificarea vizuală, reprezentată de descoperirea defectelor și degradărilor în urma unei vizite în amplasament. În scopul ușurării evaluării stării tehnice a structurilor, cercetătorii au dezvoltat tehnologii moderne responsabile cu monitorizarea continuă a lor și cu identificarea timpurie a diferitelor tipuri de degradări, încercând surprinderea acestora într-o fază incipientă de dezvoltare.

## Introducere

Podurile au fost create și dezvoltate continuu încă din cele mai vechi timpuri. Aceste construcții fac parte din categoria lucrărilor de artă și sunt realizate în scopul traversării unor obstacole (râuri, strâmtoni, văi, căi de comunicații). Datorită limitărilor bugetare cu care se confruntă administratorii rețelelor rutiere, atât comunitatea academică cât și personalul tehnic responsabil cu întreținerea podurilor lucrează permanent la dezvoltarea unor noi metode de reducere a costurilor și de creștere a sustenabilității structurilor.

În zilele noastre, în majoritatea țărilor, cea mai mare parte a infrastructurii de transport este deja construită, provocarea principală fiind întreținerea acesteia, la costuri acceptabile. În unele cazuri, când se constată o stare avansată de degradare a structurii, lucrările de întreținere și reparații pot fi mai costisitoare decât înlocuirea completă a podului.

În scopul evaluării viabilității (capacitatea de preluare a traficului în condiții de siguranță și confort), administratorii au dezvoltat un sistem de calcul al Indicelui de Stare Tehnică ( $I_{ST}$ ) prin care se clasifică podurile în funcție de starea de degradare. În România,  $I_{ST}$ -ul se determină la peri-

oade normate de timp, pe baza constatărilor vizuale ale unei persoane specializate, desemnată de către administrator. Metodologia actuală de calcul a  $I_{ST}$ -ului presupune identificarea tuturor degradărilor și evaluarea acestora prin atribuirea unor coeficienți (denumiți depunctări). Metodologia actuală de determinare a  $I_{ST}$ -ului prezintă o serie de dezavantaje ce ridică dificultăți în aplicarea curentă. Dintre acestea, cel mai important, constă în modul de implementare a evaluărilor (exclusiv vizual), care, de cele mai multe ori, implică un grad mare de subiectivism. Ca urmare, tendința firească a echipelor de cercetare a fost să dezvolte metodologii noi de evaluare a  $I_{ST}$ -ului prin care să se minimizeze sau să se elimine aspectele nefavorabile ale metodologiei curente.

Astfel, prezentul articol își propune prezentarea succintă a avantajelor aplicării unei metodologii moderne de monitorizare a stării tehnice a unui pod cu structură mixtă oțel-beton. De aceea, prezentarea debutează cu o scurtă introducere a stadiului actual al viabilității podurilor din țara noastră, cu aplicare predilectă către rețeaua de drumuri naționale. Urmează trecerea în revistă a celor mai importante date privitoare la metodele moderne de monitorizare automată a podurilor, ultima parte

a articolului fiind dedicat descrierii succinte a sistemului aplicat în cazul unui pod aflat în exploatare, din administrarea DRDP Iași.

## Viabilitatea podurilor din administrarea DRDP Iași

Viabilitatea întregii infrastructuri rutiere este condiționată de lucrările de artă care fac parte din rețea, acestea trebuind să asigure capacitatea portantă necesară preluării, în cele mai bune condiții, a traficului de pe drumul pe care îl deservește. În consecință, administratorii din țara noastră au conștientizat importanța cunoașterii stării tehnice reale a podurilor. Din acest motiv sunt cercetate, dezvoltate și implementate în continuare noi modalități de îmbunătățire a stării structurale, subiect reprezentând o preocupare constantă și extrem de importantă pentru inginerii angrenați în întreținerea rețelelor rutiere.

AND 522 (2002) definește procesul de estimare a stării tehnice a unui pod ca fiind procesul de verificare realizat cu scopul stabilirii lucrărilor de întreținere, reparații sau reabilitări necesare aducerii structurii la condițiile optime ale exploatarei normale corespunzătoare cerințelor traficului, atât actuale cât și de perspectivă.

Pentru verificarea stării tehnice a podurilor, în momentul actual, în România, prin normele tehnice de specialitate, este reglementată realizarea de inspecții vizuale de către personalul calificat din cadrul administratorului sau de către experți în domeniu. Aceste inspecții pot fi completate cu verificări nedistructive realizate de unități special pregătite în acest sens. Pe baza observațiilor vizuale și a metodologiei prezentată în normativul AND 522 (2002) se calculează un indice de stare tehnică ( $I_{ST}$ ) utilizat în clasificarea și prioritizarea podurilor din administrare și a pregătirii proiectelor de întreținere și intervenții asupra structurii.

Din totalul de poduri aflate în exploatare în întreaga țară, 890 de pe teritoriul județelor Moldovei se află în administrarea CNAIR, reprezentată la nivel regional de DRDP Iași. Analizând starea podurilor din administrarea DRDP Iași, pe baza datelor furnizate prin „Viabilitatea Podurilor” disponibil la data de 01.11.2018 și pus



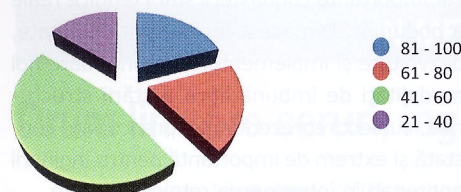
la dispoziție prin bunăvoința personalului tehnic al unității, a fost efectuat un studiu privitor la condițiile de trafic și la starea tehnică a structurilor, rezultând informațiile prezentate în cele ce urmează.

### A. Clasificarea podurilor în funcție de indicele de stare tehnică:

Primul criteriu de clasificare analizat a fost valoarea indicelui de stare tehnică  $I_{ST}$  în care au fost încadrate structurile, rezultând astfel (Tabelul 1 și Figura 1):

$I_{ST}$	Valoare	Procent
81 - 100	173	19,44%
61 - 80	166	18,65%
41 - 60	398	44,72%
21 - 40	126	14,16%
< 20	10	1,12%

**Tabelul 1. Situația podurilor din DRDP Iași în funcție de indicele de stare tehnică**



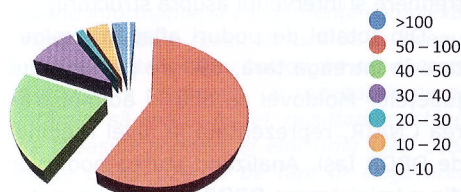
**Figura 1 Situația podurilor din DRDP Iași în funcție de indicele de stare tehnică**

### B. Clasificarea podurilor în funcție de vârsta structurii

Analizând statistic vârsta structurilor aflate în exploatare în administrarea DRDP Iași, au fost constatate următoarele (Tabelul 2., Figura 2.):

Vârsta	Valoare	Procent
>100	9	1,01%
50 - 100	507	56,96%
40 - 50	193	21,69%
30 - 40	85	9,55%
20 - 30	13	1,46%
10 - 20	39	4,38%
0 -10	28	3,15%

**Tabelul 2. Situația podurilor din DRDP Iași în funcție de vârsta acestora**



**Figura 2. Situația podurilor din DRDP Iași în funcție de vârsta acestora**

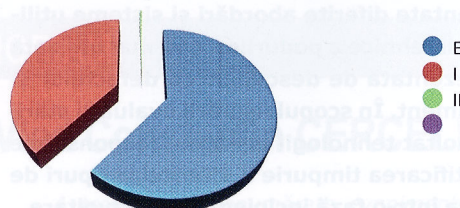
Din totalul de structuri prezentate, pentru 16 nu sunt disponibile date privitoare la anul construcției. Se poate remarca numărul semnificativ de poduri cu vârsta mai mare de 50 ani, traficul de pe mai bine de jumătate de rețea desfășurându-se pe aceste structuri.

### C. Clasificarea podurilor în funcție de clasa de încărcare

Pe teritoriul administrat de către DRDP Iași, din totalul podurilor, în funcție de clasa de încărcare se poate realiza următoarea clasificare, conform Tabelului 3. și a Figurii 3.

Clasa de încărcare	Valoare	Procent
E	543	60,90%
I	342	38,43%
II	3	0,34%

**Tabelul 3. Situația podurilor din DRDP Iași în funcție de clasa de încărcare**



**Figura 3. Situația podurilor din DRDP Iași în funcție de clasa de încărcare**

Această clasificare oferă câteva informații importante în ceea ce privește capacitatea rețelei rutiere de a prelua traficul corespunzător drumurilor naționale. Se poate observa că aproximativ 61% din structuri au fost dimensionate pentru clasa E de încărcare (autovehicule A30 și vehicule speciale V80), unele dintre acestea beneficiind de lucrări de reparații capitale, respectiv de îmbunătățiri semnificative pentru a putea prelua aceste convoaie. Din restul de 39%, mare majoritate nu s-a bucurat de beneficiile lucrărilor de reabilitare, unele dintre structuri având chiar perioada normată de exploatare depășită. Acest lucru conduce la sublinierea, încă o dată, a necesității execuției acestor tipuri de lucrări.

### Metodologia modernă de monitorizare a stării structurale a podurilor

După cum am specificat, în zilele noastre, procesul de urmărire a comportării în exploatare a podurilor este realizat, aproape în exclusivitate, prin intermediul inspecțiilor vizuale. Această abordare nu

oferă un grad suficient de înalt de siguranță și încredere în ceea ce privește evaluarea rezistenței structurii, de aceea, administratorii din diferite țări au implementat sisteme de monitorizare permanentă a comportării podurilor numite Structural Health Monitoring.

De-a lungul timpului, noțiunea de SHM a cunoscut diferite etape de evoluție. Cea mai utilizată definiție afirmă că SHM reprezintă *metoda utilizată in-situ, nedistructivă, responsabilă cu analizarea caracteristicilor structurale, și care oferă datele pentru identificarea modificărilor parametrilor structurali*.

Aceste sisteme asigură informații reale, actualizate, despre starea tehnică a structurii și despre apariția și extinderea degradărilor. Etapele de realizare ale monitorizării sunt divizate pe mai multe nivele, printre ele numărându-se:

- **Detectarea** – asigură informații calitative privitoare la prezența degradărilor în cadrul elementelor de construcții;
- **Localizarea** – asigură informații privitoare la elementele afectate de degradare și la locul de apariție a respectivelor degradări;
- **Evaluarea** – asigură o estimare a gradului de extindere a degradării;
- **Predicția** – oferă informații privitoare la nivelul de siguranță actual al structurii, alături de o estimare a evoluției acestui nivel în funcție de măsurile luate de către administrator pentru remedierea degradărilor sau a defectelor.

Nevoia administratorilor de a cunoaște răspunsul structural a dus la dezvoltarea și implementarea tot mai pronunțată a sistemelor SHM. Prin analiza datelor se poate determina momentul oportun de realizare a lucrărilor de întreținere și se evaluează, în timp scurt, capacitatea podului de susținere a traficului.

Principalele avantaje ale utilizării sistemelor SHM includ *identificarea globală și locală a parametrilor structurali, obținerea datelor necesare identificării structurale, execuția eficientă a lucrărilor de întreținere, asigurarea unei exploatare optime a construcției și oferirea rapidă de date*. Datele înregistrate, alături de constatările realizate pe baza acestora pot fi, de asemenea, utilizate în scopul îmbunătățirii condițiilor de proiectare și a diagnozei structurii pre- și post-hazard, în ultimul caz evaluarea fiind mult mai rapidă decât în cazul actual (Ayyildiz et al., 2019, Catbas et al., 2008).



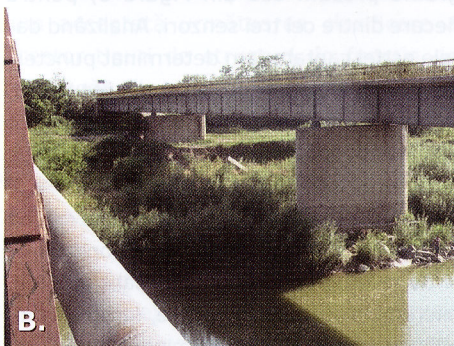
Din punctul de vedere al etapelor de implementare a sistemelor SHM, au fost identificate 4 etape, și anume:

1. Evaluarea Operațională, etapă ce stabilește tipul, procesele de monitorizare și instrumentele necesare;
2. Urmează Achiziția datelor, normalizarea și eliminarea perturbațiilor, etapă în care se instalează sistemul SHM și începe captarea datelor, acestea fiind transmise serverului central;
3. În a treia etapă se extrag caracteristicile și sunt condensate informațiile, comparându-se setul de date nou cu cel inițial și identificându-se degradările;
4. Ultima etapă este reprezentată de dezvoltarea modelului statistic, extrem de necesar pentru evaluarea posibilităților viitoare ale structurii de preluare a traficului.

Obiectivul principal al aplicării SHM în cazul structurilor noi o reprezintă nevoia de acumulare a datelor privind forțele intrinseci și distorsiunile datorate tensiunilor din această fază. Astfel, se demonstrează eficiența în cazul prevenirii degradărilor din greșeli de montaj și a celor datorate mediului înconjurător. În cazul structurilor aflate deja în exploatare, sistemele SHM sunt utilizate în principal pentru identificarea degradărilor, estimarea evoluției și descoperirea cauzelor apariției lor. Astfel, ajută la luarea deciziilor optime privind siguranța structurală, a programării fondurilor și a execuției lucrărilor de întreținere.

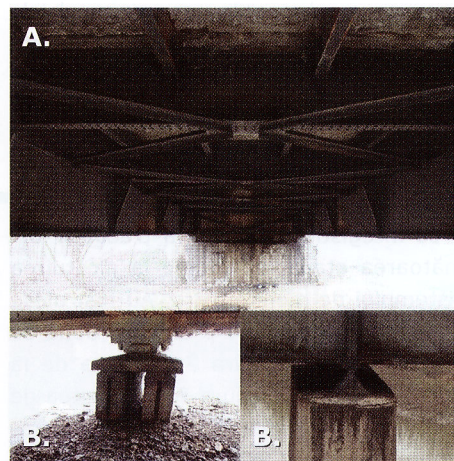
### Aplicarea metodelor moderne de monitorizare a podurilor în cazul unei structuri aflate în exploatare

Datorită beneficiilor acestor sisteme, în urma studiilor de cercetare realizate în cadrul Facultății de Construcții și Instalații din Iași, a fost analizată implementarea unui sistem SHM pentru o structură aflată în exploatare. Aceasta a fost aleasă în colaborare cu DRDP Iași. Podul vizat se află amplasat în localitatea Șcheia, jud Iași, asigurând continuitatea drumului național DN 28 în dreptul râului Siret, la kilometrul 6+957. Structura a fost construită în anul 1958, beneficiind de ultimele lucrări de întreținere periodică în anul 2015. Datorită specificului drumului național a cărui continuitate trebuie să i-o asigure, podul prezintă două benzi de circulație (Figura 4a). Lățimea părții carosabile a structurii este de 7,44 m, având dispuse și două trotuare cu lățimea de 0,85 m, iar lățimea totală, măsurată între fețele interioare ale mâinii curente este de 9,52 m.



**Figura 4. Vederi pod Șcheia**  
a. Vedere asupra părții carosabile a podului Șcheia  
b. Vedere asupra a trei deschideri ale podului Șcheia

În secțiune longitudinală, structura prezintă patru deschideri (50,35 m + 60,00 m + 60,00 m + 50,35 m), rezultând o lungime totală a suprastructurii de 220,70 m și o lungime totală a podului de 236,90 m (Figura 4b). Tablierul este construit din două grinzi metalice tip I și o placă de beton, neexistând dispus niciun fel de element de conlucrare între cele două tipuri de elemente și patru lonjeroni. Schema statică a podului este de grinză continuă, fiind pre-



**Figura 5. Imagini ale structurii de rezistență și ale aparatelor de reazem ale structurii**  
a. Structura de rezistență a podului Șcheia

b. Aparat de reazem fixe și mobile

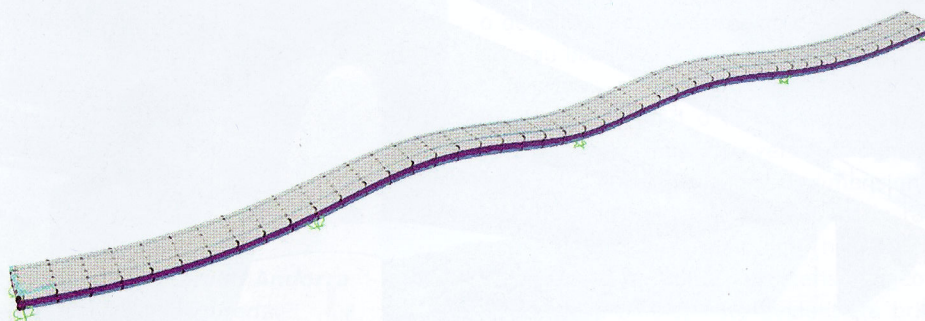
zentate două rosturi de dilatație la capetele structurii și 21 de rosturi intermediare ale plăcii de beton din cadrul structurii mixte.

Grinzile principale au înălțimea constantă de 2,40 m, distanța între ele fiind de 7,00 m, solidarizate cu anretoaze scurte cu înălțimea de 1,00 m, iar la partea inferioară fiind dispuse contravântuiri orizontale (Figura 5a).

Fundațiile sunt directe, de adâncime, realizate din chesoane cu aer comprimat. Rezemarea grinzilor se face prin intermediul aparatelor de reazem mobile pe culei și pilele P1 și P3 și fixe pe pila P2 (Figura 5b).

Din punct de vedere al stării tehnice, în momentul actual, în viabilitatea Direcției Regionale de Drumuri și Poduri Iași, indicele  $I_{ST}$  al structurii este 73, fiind clasată în clasa tehnică II. În ceea ce privește clasa de încărcare, datorită specificului drumului național, aceasta este E.

În prima fază a programului experimental, autorii au dorit să determine caracteristicile dinamice ale structurii metalice a podului aflat în faza ideală, nedegradată, considerată din momentul dării structurii în exploatare. În această privință, datorită preciziei datelor

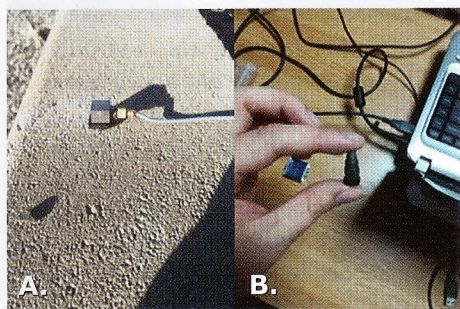


**Figura 6. Exemplu de deformată înregistrată în cadrul modelărilor numerice**



necesare, s-a decis utilizarea programului de calcul SAP 2000. Astfel, au fost determinate primele patru moduri de vibrație, alături de deformatele corespunzătoare, figura 6 oferind un exemplu asupra acestora.

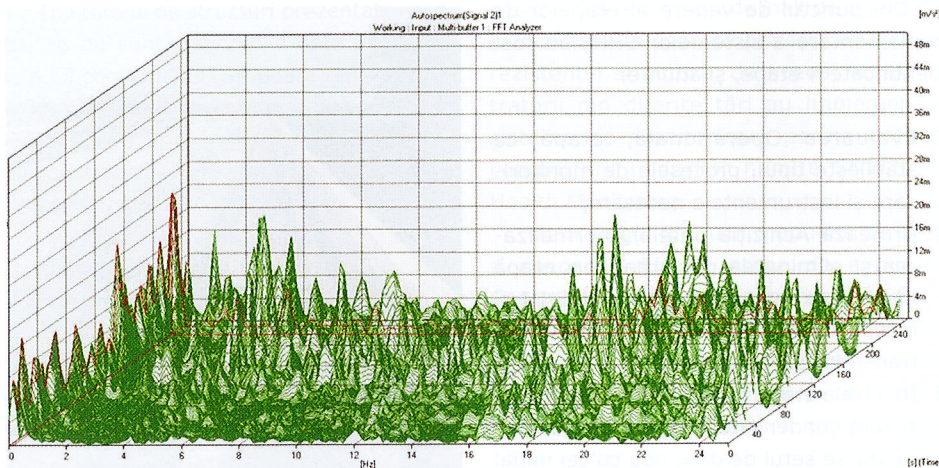
Analizând datele astfel determinate, având o idee asupra valorilor așteptate a se înregistra in-situ, s-a trecut la următoarea etapă, și anume la alcătuirea sistemului de monitorizare. Au fost alese trei unități de captare a datelor, două de la Bruel&Kajer (Figura 7a) și una de la PCB Piezotronics (Figura 7b) și puntea de achiziție de la aceeași firmă producătoare.



**Figura 7. Exemplu de deformată înregistrată în cadrul modelărilor numerice**

- a. Structura de rezistență a podului Șcheia**
- b. Aparat de reazem fixe și mobile**

Apoi, pe data de 6 octombrie a anului trecut a fost realizată prima captare de date utilizând un sistem modern de tip SHM pentru podul Șcheia. Constatându-se degradări însemnate în deschiderea 2 s-a decis monitorizarea ei. Astfel, cei trei senzori au fost dispuși în trei secțiuni caracteristice, 1 în secțiunea centrală și ceilalți doi la 1/3 din deschidere, de o parte și de alta a respectivei secțiuni.



**Figura 8. Exemplu de date captate în cadrul determinărilor experimentale**

În timpul măsurătorilor am captat frecvențe până la 25 Hz, rezultând diagrame precum cea din Figura 8, pentru fiecare dintre cei trei senzori. Analizând datele astfel captate, am determinat punctele de maxim ale acestor diagrame, rezultând, în final, o analiză comparată a rezultatelor din cadrul modelării cu cele determinate pe structura reală.

Valorile înregistrate sunt apropiate de cele determinate pe cale analitică, apropiindu-se și de cele de rezonanță. Cu toate acestea, diferențele sunt semnificative, structura neaflându-se într-un pericol iminent.

## Concluzii

Merită subliniat faptul că sistemele SHM se bazează, în principal, pe interpretarea parametrilor modali.

Principalele componente ale unui sistem de înaltă performanță sunt senzorii, circuitul de comunicare, unitatea centrală

de captare și procesare a datelor și unitatea de stocare a lor. Opțional, sistemele SHM performante conțin și un sistem de alarmare utilizat în momentul în care parametrii monitorizați depășesc valorile stabilite inițial, denumite și valori prag.

Senzorii sunt dispuși pe structură în punctele indicate în cadrul proiectului tehnic de realizare a sistemului de urmărire a comportării în timp a podului. Imediat după captarea informațiilor, acestea sunt transmise direct către un spațiu comun de stocare, unde vor fi procesate și comparate cu un set de date standard (de obicei de la prima înregistrare a sistemului), identificându-se în acest fel apariția sau extinderea degradărilor. Transmiterea informațiilor se realizează prin intermediul unei rețele special dedicate acestei operațiuni.

Analizând situația podurilor din țara noastră, se recomandă elaborarea unei metodologii moderne de evaluare a structurilor, metodologie care să țină seama și de comportarea dinamică și de impactul degradărilor asupra acestui comportament.

## Bibliografie

1. \*\*\* AND 522-2002 – Instrucțiuni tehnice pentru stabilirea stării tehnice a unui pod, *Buletin Tehnic Rutier anul II, vol. 15, 2002.*
2. Ayyildiz C., Emre Erdem H., Dirikgil T., Dugenci O., Kocak T., Altun F., Cagri Gungor V., *Structure health monitoring using wireless sensor networks on structural elements, Journal Ad Hoc Networks, vol. 82, pp. 68 – 76, 2019.*
3. Catbas F. N., Susoy M., Frangopol D. M., *Structural health monitoring and reliability estimation: Long span truss bridge application with environmental monitoring data, Engineering Structures, vol. 30, pp. 2347 – 2359, 2008.*