

## НЕКИ АСПЕКТИ ТЕХНИЧКИХ МОДЕЛА У СИСТЕМУ УПРАВЉАЊА МОСТОВИМА

Слободан Грковић<sup>1</sup>  
Данијел Кукарас<sup>2</sup>  
Јелена Ђукић<sup>3</sup>

УДК: 681.5:624.21

DOI: 10.14415/zbornikGFS27.09

**Резиме:** Систем управљања мостовима (енгл. Bridge Management System (BMS)) је рационалан и систематичан приступ организовања и обављања свих активности везаних за одржавање мостова. Главни циљ BMS је помоћ власнику у доношењу оптималне одлуке о додели свог расположивог буџета за потребе одржавања моста, или групе мостова, на основу процене трошкове животног циклуса (енгл. Life-Cycle Cost (LCC)). Структура BMS се заснива на оцени стања и Бази Података о Мостовима (БПоМ), моделу за предвиђање будућег стања моста (енгл. Deterioration model (DM)), моделу трошкова за процену трошкова и моделу оптимализације за избор најрационалније стратегије одржавања. Повезивање оцене стања моста и DM са трошковима одржавања, у оквиру BMS, је веома важно. Предвиђање будућег интезитета и брзине деградације моста зависи од низа фактора и последица је више истовремених и симултаних дејстава и детериорационих процеса (ДП), које треба интегрисати у DMs. DMs се најчешће заснивају на моделирању физикалних и хемијских дејстава и процеса, или на статистичкој обради великог броја података о стању постојећих мостова, затим моделима вештачке интелигенције и др. Стохастички модели засновани на Марковљевим процесима се примењују у оквиру савременијих BMS. Због друштвено економских прилика и недостатка финансијских средстава, последњих двадесетак година у Р Србији (РС) се у одржавање мостова мање улаже, а развој БПоМ је био у застоју. У раду се разматрају неки аспекти техничких модела у BMS, са нагласком на DMs, развој БПоМ и одржавање мостова у Р Србији, и савременији BMS, са упућивањем на литературу.

**Кључне речи:** Мостови, Системи управљања мостовима, Оцена стања, База података, Модели детериорације, Одржавање,

<sup>1</sup> мр Слободан Грковић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: [most@gf.uns.ac.rs](mailto:most@gf.uns.ac.rs)

<sup>2</sup> др Данијел Кукарас, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: [danijel.kukaras@gmail.com](mailto:danijel.kukaras@gmail.com)

<sup>3</sup> Јелена Ђукић, дипл. инж. грађ., е-маил: [djukicjelena.01@gmail.com](mailto:djukicjelena.01@gmail.com)

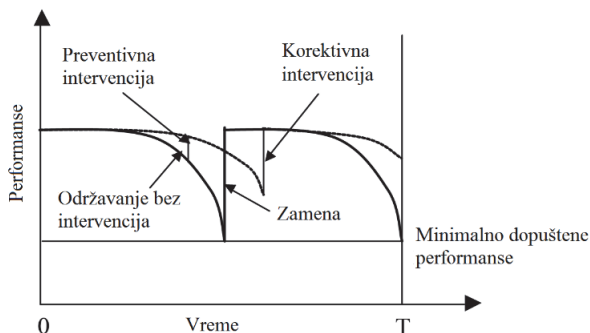
## 1. УВОД

Сматра се да је основе концепта Система Управљања (СУ) Грађевинским Објектима (ГО) поставио француски инжењер L.M.J. Tresquet (крај XVIII века), схватајући потребу континуалног одржавања путева засновану на чињеници да се уместо коловозних конструкција од камена прешло на коришћење нових материјала, ограниченог века трајања. Савремени концепт управљања ГО се заснива на ефикасном и ефективном спровођењу различитих активности укључених у обезбеђивање захтеваног стања ГО за нормалну експлоатацију, уз најмање укупне трошкове. Ове активности садрже планирање радова, планирање финансијских средстава, праћење и оцену стања, истраживање и извођење радова на одржавању, уз неопходну подршку базе података (БП) о тим ГО. Развој СУ ГО се примарно заснива на планирању одржавања уз максималну корист и ограничење расположивих финансијских средстава. Планирање и приоритет извођења радова на одржавању се заснива на познавању и праћењу стања ГО, које се најчешће утврђује прегледима у правилним временским интервалима, што је од посебне важности. Раније, пре успостављања СУ ГО, прегледи су углавном вршени након учачања недостатака у понашању конструкције (оштећења, деформације и сл.), или након отказа. Пример је рушења моста *Silver Bridge*, 1967.г., што посредно, 1971. г. иницира оснивање *National Bridge Inspection Standard (NBIS)* за преглед и оцену стања мостова у САД [16]. Слично, још 1850. године рушење једног висећег моста у Француској био је повод за преглед свих мостова тог система [16]. И данас, „изненадни“ отказ неке конструкције или њене компоненте често је повод провере стања, сличних конструкција. Овај приступ прегледима не даје поуздане информације о стању конструкције, који је неопходан за планирање систематског одржавања, током експлоатационог века (ЕВ) [13]. Посебно је важан BMS, јер мостови имају изузетан значај (нарочито кад се налазе на важним саобраћајницама), па је важно њихово квалитетно и редовно одржавање. Истраживање и унапређење одговарајућих модела (нарочито DMs) у оквиру BMS је актуелна тема, из аспекта процене животног циклуса (енгл. *Life-Cycle Assessment-(LCA)*) и LCC [4, 9, 15, 23, 29] и [30].

## 2. LCA, LCC и BMS

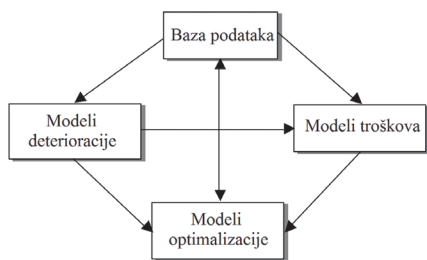
LCA мостова је приступ одлучивању заснован на укупним трошковима насталим током животног века (енгл. *Life Cycle (LC)*) моста, и који обухвата време од његове изградње до његове замене [15, 23, 29] и [30]. Током ЕВ (енгл. *service life (SL)*) моста, власник, корисници и друштвена заједница, имају разне врсте трошкова, који заједно чине LCC моста [15] и [23]. Трошкови власника су трошкови изградње, одржавања (енгл. *Maintenance (M)*), рехабилитације (енгл. *Rehabilitation (R)*) и замене (енгл. *Replacement (R)*), или скраћено, MR&R [15] и [23]. При томе се термин рехабилитација користи, када се оштећеном мосту враћа првобитна функција, на нивоу који је имао пре оштећења [14]. Трошкови корисника могу настати због активности MR&R, могућих обилазница, несрећа, итд. Иако је тачна процена свих трошкова тешка, LCC приступ је ефикасан у анализи дугорочних ефеката разних MR&R алтернатива, и у избору најбоље и најисплативије алтернативе [23]. На слици

1. је приказан профил перформанси два моста током LC, подвргнута различитим MR&P алтернативама. Иако су обе алтернативе технички прихватљиве, јер испуњавају захтев минималних перформанси моста, LCC приступ може разликовати ове алтернативе из економског аспекта или као сугестију у избору оптималне алтернативе.

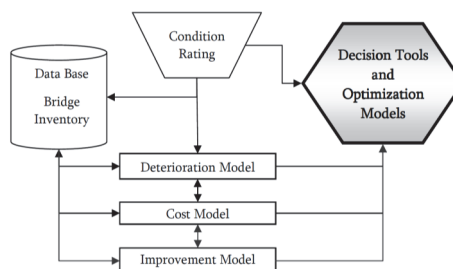


Слика 1. Илустрација перформанси моста, током времена

BMS се најчешће дефинише као рационалан и систематичан приступ организовања и обављања свих активности везаних за одржавање моста, односно мреже мостова. Главни циљ BMS је помоћ власнику у доношењу оптималне одлуке о додели свог расположивог буџета за потребе MR&R моста, или групе мостова, на основу процене њиховог LCC [15] и [23]. Значај BMS је у оптимизацији одлука везаних за улагање, најчешће врло ограничених средстава, на активности MR&R. Анализа се у већини BMS заснива на процени LC мрежа мостова, за различите MR&R алтернативе [23]. Ова процена захтева поуздано предвиђање будућег стања компоненти моста за различите MR&R активности, укључујући и опцију "не урадити ништа". Савремени BMS се заснивају на формираној електронској БПоМ, са припадајућим алгоритмом и софтверима за потребне анализе. BMS садржи БПоМ и „алате“ помоћу којих се на основу расположивих података, уз примену адекватних модела, предвиђа слабљење перформанси моста, дефинише стратегија MR&R и одређују одговарајуће финансијске потребе [3, 9] и [23]. Шема основне структуре BMS, са припадајућим моделима у интеракцији, приказана је на слици 2а.



Слика 2а. Основни модели BMS



Слика 2б. Основни модели BMS (AASHTO, 2001) [3]

Према правилима које су издата од стране „*The Intermodal Surface Transportation Efficiency Act*“ (ISTEA) 1993. г. [1], заједно са смерницама „*Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*“ у САД [1, 2] и [3], за BMS се захтева да садржи најмање четири основна модела (Слика 2б):

1. БПОМ за архивирање података о мостовима;
2. Модел за предвиђање будућег стања компоненти моста (DMs);
3. Модел трошкова за процену трошкова;
4. Модел оптимизације за избор најисплативије MR&R стратегије.

Стрелице на сликама 2а и 2б, описују смер тока информација (података) између модела). У различитим државама примењују се модули BMS који садрже идентичан или већи број модела, у зависности од усвојеног концепта BMS. Једна од могућих даљих класификација модела у оквиру BMS је на техничке моделе (оцена стања моста, БПОМ, и DMs) и економске моделе (модел трошкова за процену трошкова и модели оптимизације за избор најисплативије MR&P стратегије). У овом раду је тежиште на техничком делу модела BMS, са нагласком на DMs.

### 3. ОЦЕНА СТАЊА МОСТА

“Оцена стања моста“ и скраћеница BCR (*енгл. Bridge Condition Rating*) су на међународном нивоу опште прихваћени термини. Повезивање BCR (инжењерски задатак), DM и трошкова одржавања (обавеза власника) у овом BMS је од кључног значаја [23]. Током дугог ЕВ деградација компоненти мостова је различита и пролази кроз више фаза, при чему Детериорациони Процеси (ДП) немају исти интензитет и брзину напредовања, и зависе од низа параметара. Кључни параметри су почетне перформансе компоненти моста, дејства на мост и ниво агресивности окружења, у интеракцији моста и окружења. Последице ДП су оштећења која су најизраженија на „слабијим“ местима компоненти моста. Пошто је чешћа примена испитивања мостова скупа и сложена, визуелни преглед је основ за прикупљање података о стању већине мостова. Оцена стања моста или његове компоненте дефинише показатеље стања на основу прегледа и величина измерених параметара у том тренутку. Код оцењивања моста могућа су одступања оцењеног од стварног стања, јер многи ДП у иницијалној фази видно се не манифестују, постоје одступања мерених величина од стварних и визуелни преглед има субјективни карактер. Резултати прегледа највише зависе од искуства, вештине и знања вршиоца прегледа и због тога се ови послови поверавају специјалистима за ову област. Поступци за оцену стања моста се примарно заснивају на визуелној регистрацији и идентификацији оштећења, која се затим класификују, категоришу, и квантификују уз коришћење приручника, упутстава, смерница, прорачунских поступака итд. Класификована оштећења се повезују са типским категоријама, које су у корелацији са трошковима поступака одржавања. Пожељно је да свака категорија буде дефинисана са аспекта ДП и функционалних перформанси компоненте моста која се оцењује. Оцењивање стања се најчешће квантификује бројем (степеном) у дискретним скалама, чија се вредност креће од три до десет (најчешће пет до седам) [9]. Пошто се ниво одражавања повезује са неким ДП, у инжењерској пракси се често користи термин степен детериорације („*пропадања*“) [21]. Рејтинг се

најчешће квантификује путем образаца, при чему се у анализу укључује оцена стања компоненти моста, њихов значај, итд. [6, 7, 8, 12] и [21].

#### 4. МОДЕЛИ ДЕТЕРИРАЦИЈЕ (DMs)

DM има кључну улогу у LCA мостова и врло је важна компонента BMS за предвиђање будућег стања моста [15] и [23]. Овај модел, заједно са моделом трошкова се користи за процену LCC и одређивање оптималних стратегија одржавања [15, 23] и [30]. У случају неблаговремених интервенција, током времена ДП и дејства слабе перформансе моста, што угрожава сигурност и безбедност корисника и поузданост конструкције. Правилна прогноза интезитета и брзине напредовања деградације моста је нужна ако се желе избећи наведени ризици. У мери у којој нам је позната ова прогноза, може се проценити преостали век објекта, одредити одговарајућа стратегија одржавања, кључни приоритет и процена неопходних финансијских средства за одржавање у наредном периоду.

Деградација материјала је сложен процес који примарно укључује различита физичка дејства и хемијска дејства и процесе. Од свих мостова на путевима, најбројнији су бетонски мостови (БМ). За напредовање деградације бетонске конструкције (БК) моста, кључни фактор је брзина пенетрације и транспорта агресивних материја у и кроз структуру бетона. Тип и распоред пора, и њихова међусобна повезаност уз присуство прелина, утиче на пенетрацију и транспортне механизме материја из окружења у и кроз бетон, односно на механизме детериорације бетона са неповољним утицајем на понашање БК, током времена. Материје из окружења које пенетрирају у бетон најчешће иницирају ДП и механизме који оштећују бетон и/или челик у њему. Оштећења бетона се везују за физикална дејства, и хемијска (интерна и екстерна) дејства и реакције, која узрокују оштећења. Оштећење челика (арматура и каблови за преднапрезање) у бетону, најчешће је последица корозије узроковане хлоридима и карбонизацијом заштитног слоја бетона. Ово је најизраженији вид деградације БМ, нарочито корозија челика иницирана хлоридима који у бетон доспевају од соли коришћених зими против смрзавања и/или из морске воде. Поред корозије челика, постоји низ узрока оштећења БК мостова (нпр. утицај циклуса смрзавања и одмрзавања, алкално агрегатна реакција, дејства сулфата, итд.). Током времена, на мостове неповољне последице остављају и свакодневна саобраћајна оптерећења, повремена саобраћајна преоптерећења, перманентна дејства из окружења (падавине, сезонске и дневне промене температуре, и др.), могућа изузетна дејства (земљотреси, поплаве, итд.), инцидентни догађаји, итд.

Кључни проблем у предвиђању будућег стања моста је прогноза будућег интезитета и брзине деградације која се може разликовати, јер поред ДП, брзина деградације зависи од почетних перформанси моста, старости моста, климе, оптерећења, агресивности окружења (нарочито учесталост и количина употребе соли за одмрзавање), итд. При томе, детериорација материјала је последица више истовремених и симултаних ДП, које би у процени требало интегрисати. Постоје, и развијају се различити теоријски DMs који се примењују за предвиђање будућег стања појединих компоненти моста, уз могућност даље анализе ефеката интервенција, и варијацију и оптимализацију финансијских средстава, са

прихватљивом тачношћу. Подела теоријских модела је могућа на оне који се заснивају на моделирању физикалних и хемијских дејстава и процеса, математичко-статистичке моделе (детерминистички и стохастички) засновани на статистичкој обради великог броја података о стању мостова и моделе вештачке интелигенције који су новијег датума. Може се разматрати и емпиријски модел, заснован на стеченим искуствима. Важно својство DMs је могућност накнадног ажурирања модела на основу резултата праћења стања моста, током времена.

Моделирање физикалних дејстава и хемијских дејстава и процеса, који узрокују деградацију конструкције моста, заснивају се на природним законима (нпр. *I. и II. Fick-ov* закон, код дифузије) из којих се могу извести математички модели (ММ) детериорације за потребне анализе. Ови модели могу имати детерминистички и пробалилистички карактер. Модели, заснованим на пробалилистичкој основи, могли би дати најтачнију прогнозу напредовања деградације конструкције моста током времена. Међутим, због сложености или недовољно развијених модела и подмодела деградације, многих непознаница, итд., практична примена ових модела, на све објекте у оквиру BMS, за сада није могућа.

Детерминистички модели засновани на статистичкој обради података се базирају на јединственој формулацији и односу између улазних и излазних података. Постоји неколико врста модела. Најједноставнији начин је линеарна екстраполација која захтева само два реализована мерења (два периода) и на основу тога се предвиђа будућа линеарна зависност деградације моста и/или његове компоненте. Практична корист поступка је једноставност али прецизност је ограничена само за краткорочне прогнозе. Регресијски модели се заснивају на статистичкој обради и анализи расположивих података из БПоМ са великог броја објеката, и на тим резултатима предвиђање будуће деградације моста. Регресијска анализа испитује однос између две или више варијабила, односно између зависне и једне, или више независних променљивих. Регресијски модели се класификују према броју варијабала, типу зависне варијабле и зависно од функције (линеарна, квадратна, експоненцијална итд.). У моделу се претпоставља облик регресијске функције (линеарна или нелинеарна) и у следећем кораку се тражи облик регресијске функције. Пример је САД где су осамдесетих година прошлог века развијени „Регресијски модели“ засновани на статистичкој обради и анализи података о оцени стања моста из *National Bridge Inventory (NBI)* који су реализовани сваке друге године. За мостове сличних перформанси, применом једнодимензионалног регресијског модела анализирана је веза старости и оцене општег стања, при чему је оцена стања третирана као временски зависна, случајна варијабила. У моделу је претпостављен експоненцијални облик регресијске функције у коју је укључена једна интервенција у виду „скока“, код регресијске криве [28].

Код савременијих BMS, велика неизвесност код прогнозе будућег стања мостова је иницирала коришћење стохастичких модела. Теорија Марковљевих ланаца (посебан случај Марковљева процеса са дискретним параметром и коначним бројем стања [32]) међу првима је примењена за прорачун вероватноћа да се мост и/или компонента моста, у одређеном тренутку времена, нађе у одређеном стању. Марковљевим процесима се описује физичка стварност где су промене током времена случајне, при чему вероватноћа стања процеса у будућности зависи само од стања процеса у садашњости, и не зависи од тока процеса у прошлости [32]. Практична примена овог модела изискује познавање матрице прелаза из једног у

друго дискретно стање. За одређивање вероватноће да се процес у неком дискретном тренутку времена нађе у неком стању, потребно је познавати почетне вероватноће стања и прелазне вероватноће, засниване на претходно установљеним стањима мостова (подаци из БПоМ). Највећи изазов код примене Марковљевих ланаца представља управо матрица вероватноће прелаза компоненти из једног нивоа у наредни ниво оштећења [9, 21, 23] и [28]. Да би се прецизније одредиле ове вероватноће, потребан је редован преглед мостова, у правилним и краћим временским интервалима, и објективне информације (подаци) о деградацији појединих компоненти моста. При томе је потребно имати на располагању и анализирати велики број података, на основу којих се прецизније одређују матрице вероватноће прелаза. Из тог разлога, примена Марковљевих ланаца код анализа великих мрежа мостова је сложена [24]. Без обзира на све тешкоће примене Марковљевих ланаца, он се примењују код савременх BMS (нпр. PONTIS у САД). У раду [28] је описан интересантан поступак за моделирање детериорације у коме се комбинују емпиријски подаци и подацима добијени физикалним моделирањем. Моделирање процеса служи за оцену преосталог ЕВ и за приказ могућности поправаки уз грубу процену трошкова. При разради овог модела примењена је теорија хомогених Марковљевих процеса са коначним скупом стања и континуалним параметром, за разлику од модела који користи теорију коначних Марковљевих ланаца.

У области вештачке интелигенције, у литератури се најчешће помиње и истражује примена неуронске мреже, разни аутоматски експертски системи програмирања управљањем, итд. [22] и [31]. Потенцијална корист за практичну примену ових система се истражује у теоријским системима различитих аутора [22] и [31].

## 5. ОДРЖАВАЊЕ МОСТОВА I БПоМ У РС

Саставни део путне мреже РС су мостови од којих је око 10% на аутопутевима, око 40% на путевима првог реда и остали на путевима другог реда (Ј.П. "Путеви Србије", 2013.г.). Посебна, бројна група мостова је на локалним путевима и градским улицама. Мостови су различите старости, разних система и начина градње, различитих распона и дужина, од различитих материјала и изложени различитом саобраћајном оптерећењу.

Између 1903. и 1906.г. изграђени су први БМ у Србији [16]. Ратови између 1912. и 1918.г. успорили су градњу мостова, постојећи су срушени и/или оштећени, од којих су неки после ратова санирани [16]. Након Првог светског рата интезивира изградња нових мостова, посебно оних од челика у односу на армирани бетон (АБ) који је мање коришћен. Пројектовање БМ се тада заснивало на француским прописима за саобраћајна оптерећења мостова из 1915. г., и немачким прописима за бетон из 1914. г. и 1917. г., допуњени 1925. г. [13] и [16]. Протекли период, од скоро 100 година, карактерише убрзан развој друског саобраћаја, промене техничких прописа за нормне шеме саобраћајног оптерећења и примењене материјале (бетон и челик). Прописи за саобраћајна оптерећења из 1932.г., замењени су 1949. г. са ПТП-5, који су 1953. г. допуњени возилом М-25, и важили су до 1991. г.. Ово је дуг период, са аспекта увећања тежина и осовинских притисака тачкова саобраћајних оптерећења у односу на она третирана у ПТП-5. Од 1965. г., повремено је коришћен DIN-1072



код пројектовања мостова на аутопутевима, и надпутњака код петљи аутопутева. Понекад су код пројектовања коришћена још нека инострана, нормна саобраћајна оптерећења. Данас у експлатацији је мањи број мостова пројектован према прописима из 1932. г., они изграђени од 1949. г. до 1991. г. пројектовани су према ПТП-5, а после 1991. г., према прописима из 1991. г. [13]. За неке мостове се не зна тачно, за које су саобраћајно оптерећење пројектовани [16]. У РС највећи број мостова на путевима је изграђен у периоду од 1946 до 1980. г. [16]. Највише има БМ, међу којима су најбројнији гредни системи [16].

Од 1930. г. је постојао Закон о путевима, а од 1935. г., Одлука о катастру путева и мостова, у који су уношени подаци о путевима и мостовима са детаљним скицама и подацима о уоченим недостацима. Након Другог светског рата, већа пажња је посвећена санацији и реконструкцији у рату оштећених мостова и изградњи нових мостова него одржавању постојећих мостова [16]. Овај приступ се релативно дуго одржао што се неповољно одразило на стање постојећих мостова. ИМС је 1957. г. израдио Елаборат "Технички прописи за катастар и периодичне прегледе конструкција мостова" који је у измењеном облику објављен 1962. г. под називом "Технички прописи за надгледање и испитивање друмских мостова" [16]. Као основа за њих коришћени су немачки, мађарски и чешки прописи који су прилагођени нашим условима. Повод је било стање мостова, као последица нередовног одржавања и које је окарактерисано „незавидним“, посебно старијих челичних и дрвених мостова [16].

Почетком осамдесетих година прошлог века су учестали „проблеми“ у експлоатацији постојећих мостова. Типичан пример је извршени детаљан преглед, 20-так већих мостова у АП Војводини, просечне старости 20 до 25 година [16]. Неки од прегледаних објеката су хитно санирани током 1982. и 1983. г. [16]. Прва опсежнија истраживањима стања мостова код нас, у бившој СФРЈ, обављена су у периоду 1985. г. до 1987. г. [16], када су Институт за путеве из Београда, Институт Саобраћајног факултета из Београда и Грађевински институт из Загреба израдили "Студију о одржавању путева и санацији мостова на путној мрежи СФРЈ" [16]. На основу дефинисаних критеријума за оцењивање и након извршених прегледа мостови су оцењени. На магистралним путевима од 2361 прегледана моста, стање задовољава код 46%, код 37% је прихватљиво и код 17% не задовољава. На регионалним путевима од 2271 прегледана моста, стање задовољава код 34%, код 40% је стање прихватљиво и код 26%, не задовољава [16]. Описана, и још нека, истраживања су указала на потребу систематског приступа планирању редовног одржавања мостова,

БПоМ (база) у Р Србији је заснована 1986. г. [6]. Током 1986/87 .г., обрађен је део података за Београд [6]. Током 1988. г. је урађен пројекат за базу у Војводини [6]. Почетком 1989. г. почео је рад и током 1990. г. су реализовани основни сегменти базе за подручје централне Србије [6]. Електронска БПоМ је заснована 1990.г. [8]. Применом Закона о путевима РС из 1991. г., мења се приступ управљању путевима који су „прешли“ у државну својину, а послови управљања поверени Дирекцији за путеве, у чијем се оквиру формирао Информациони центар. Дирекција за путеве је током 1991/92. г. преузела обавезу даљег развоја БПоМ, у оквиру интегрисаног информациониог система за путеве [8].

Генерално, структура БПоМ је била организована на следећи начин:



1. Инвентарски подаци (Идентификациони подаци, историјат и подаци о конструкцији).
2. Подаци о прегледу мостова (Стање, рејтинг, категорија стања елемента и подаци о носивости)
3. Подаци о ванредним превозима.
4. Планирани и извршени радови.

Структура је тада била савремена, слична оној коју то време препоручује ААШАТО [1]. Закључно са 1994. г., БПоМ је урађена за већи број мостова на магистралним и регионалним путевима [6]. У овој фази су биле обрађене два (инвентар и стање елемената мостова) од три основна сегмента [6]. Трећи сегмент (информације које се односи на носивост) се није урадио јер се требао установити Правилник којим се дефинише методологија утврђивања носивости, обим, приоритет као и мере које ће се предузети код мостова који немају одговарајућу носивост [6]. Посао је започет али је привремено прекинут и дошло је до дужег застоја због друштвено економских околности у РС у протеклих двадестак година [13, 14] и [21]. Потешкоће у развоју БПоМ се везују за акутни недостатак финансијских средстава [14] и [21].

Актуелна БПоМ у Р Србији је у надлежности ЈП "Путеви Србије", где је током 2013. г. започет и трећи сегмент БПоМ који се односи на носивост [21]. Код оцене стања моста, он се одређује његовим рејтингом који се рачуна као сума производа фактора значаја и оцена свих компоненти моста [7]. Одређени рејтинг анализираног моста одређује његово место у тзв. листи приоритета за одржавање [7].

За потребе одржавања мостова у Р Србији је актуелан Правилник о техничким нормативима за експлоатацију и редовно одржавање мостова (у даљем тексту Правилник) [27]. У време када је ступио на снагу Правилник се сматрао модерним и остваривим, у практичној примени. Правилником се, између осталог, дефинишу подаци о мосту који се евидентирају и прате, сврстани су две групе (основни подаци и подаци промене стања моста). Правилник дефинише и врсте прегледа (контролни, редовни, главни и ванредни преглед), њихову учесталост, активности које се током прегледа обављају и врсту записника који се том приликом води. Активности које се спроводе у оквиру редовног одржавања, према Правилнику, се деле у више група и предвиђа се њихово обављање, независно од вредности појединих индикатора стања, интензитета саобраћајног оптерећења, ранга и значаја пута, током ЕВ моста, у складу са годишњим планом и програмом за извршење тих радова. Нажалост, неке активности предвиђене овим Правилником показале су се неизводљивим, примарно због недостатка финансијских средстава. Ово се нарочито односи на прописану динамику редовних прегледа мостова и њихово систематско одржавање.

Актуелно стање указује да BMS у РС није развијен у форми савременијих BMS, примарно због претходно поменутих околности. У радовима [13], [14] и [21] се указује на ову проблематику. Коришћење искуства и модела савременијих BMS, за неке анализе и/или планирања одржавања мостова у РС је могуће, што је приказано у радовима [20] и [21], али уз одговарајућа ограничења и претпоставке. Могућа примена савременијих модела BMS код нас, подразумева претходно комплетирање и ажурирање података о стању мостова у БПоМ, заснована на редовијим прегледима, а затим формирање и развој DM, модела трошкова за процену трошкова и модела оптимизације за избор стратегије одржавања. Наведене активности су технички оствариве али и захтевне са аспекта потребног времена и финансијских

средстава. Из више разлога је пожељно да се ове активности убрзају, у мери колико је то могуће.

Ово је важно и са аспекта интеграције наше мреже путева у мрежу путева Европске уније (ЕУ) којима саобраћају све тежа возила и са израженијим осовинским притисцима точкова. Кретање оваквих возила на путевима широм Европе је реалност, и доводи се у везу са тржишним приликама. Редукција трошкова транспорта и повећање обима промета роба подразумева коришћење транспортних возила са све тежим теретима и чији се број на путевима, стално повећава. Са друге стране, највећи број мостова на путевима код нас и већине чланица ЕУ, просечне је старости преко 40 година и пројектовани су за лакша нормирана саобраћајна оптерећења, у односу она која сада прелазе преко мостова. При томе, у већини држава ЕУ улагања у редовно одржавање, рехабилитацију и/или појачавање конструкција постојећих мостова су знатно већа, у односу на она у РС, посебно у оне на стратешким путевима.

Врло је важна и оцена поузданости постојећих мостова и повезани будући трошкови одржавања, што је савремена и актуелна тема истраживања са више аспеката. Пример је, примена нивоа поузданости из техничких прописа (нпр. Еврокод) код пројектовања нових конструкција мостова, на *пројектовање интервенција на конструкцијама („редизајн“)* постојећих мостова и повезних трошкова одржавања у преосталом ЕВ, који је знатно краћи у односу на нове конструкције, итд.

## 6. САВРЕМЕНИЈИ БМС

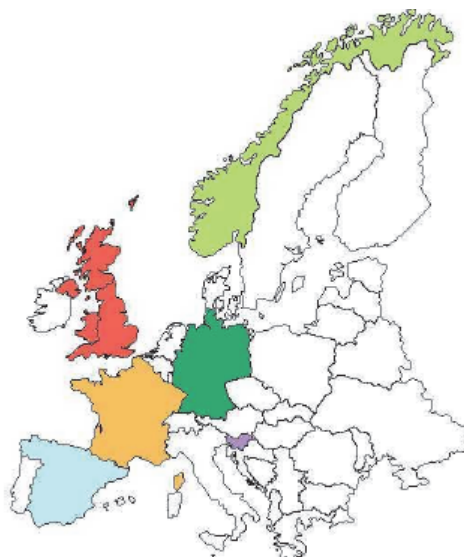
САД је међу првим државама која је покренула систематски приступ управљању мостовима [16]. Током 1962. г. покренут је програм испитивања и одржавања мостова [16]. За преглед и оцену стања мостова током 1971. г. успостављен је NBIS, којим се уводи обавеза прегледа мостова, једном у две године [16]. Током 1978. г. завршен је попис мостова са оценом њиховог стања. Испоставило се да 40% мостова треба санирати или заменити [16]. Средином 1980-тих година, поједине савезне државе развијају сопствене програме за управљање мостовима [16]. Током 1991. г. се издаје ISTEА, чиме је развој BMS постао једна од основних активности државних институција надлежних за транспорт и саобраћај [1].

Важећи NBIS дефинише неколико нивоа прегледа. Редовни прегледи се обављају сваке 2 године (по потреби и чешће), и обухватају визуелни преглед и мерења којима се утврђује стање и промене, у односу на почетно или претходно стање, са аспекта захтева коришћења. Оцена стања путем градиране скале није била погодна за анализу слабљења перформанси и преосталог века трајања мостова и због тога су временом развијани новији поступци којима се у оквиру скале коригују уочени недостаци [12]. Свака од компоненти моста се оцењује рејтингом од 0 до 9, при чему „0“ значи забрану коришћења моста а „9“ се односи на нов(и)је мостове [12]. Податке са оценом стања мостова води *Federal Highway Administration (FHWA)*, путем NBI [12]. За реализацију прегледа мостова одговорни су власници (држава, округ или град). Надзор над извршењем спроводи *Department of Transportation (DOT)*. Управљање мостовима је обавеза државне, окружне или градске управе. Сваке године, за све мостове чија је дужина већа од 6,1м и који се налазе на јавним путевима ажурирају се подаци у NBI, на основу података из обавезних прегледа,

извештаја надзорне службе и података из свих државних и савезних агенција саобраћаја [12]. FHWA сваке две године подноси извештај америчком Конгресу о стању националних мостова. У програму FHWA за мостове, иницирано је увођење дугорочног праћења перформанси мостова (*Long-Term Bridge Performance (LTBP)*) што је погодно за боље разумевање утицаја ДП на конструкције мостова [18]. Софистициранији BMS у САД се развијају као део LTBP програма што омогућава комплекснију анализу прикупљених података, као основ за развој DMs и предвиђање промена перформанси моста, током времена [18].

У САД су актуелне три врсте BMS, PONTIS, BRIDGIT (сличан PONTIS-у) и остали специфични BMS, у различитим савезним државама. PONTIS се сматра најсавременијим BMS у свету и користи се у тридесет девет савезних држава, док се BRIDGIT користи у три. Алабама, Индијана, Њујорк, Северна Каролина и Пенсилванија развили своје BMS. PONTIS је развио AASHTO [1]. Уз неке потешкоће прилагођавања, од 1995 .г. се користи у Мађарској. Овај BMS је комплексан и даје комплетнију подршку целом процесу управљања мостовима почев од прегледа мостова, прикупљања и анализе података, све до анализе оптималне стратегије одржавања и предвиђања потреба за даљи план рада управа. Препоручује мере одржавања за сваку конструкцију посебно, истичући разлике у цени коштања санација, уколико се изврше одмах или ако се одлаже за једну или више година. Софтвер употребљава једноставан облик Марковљевих ланаца, као модел за прорачун вероватноће да се мост или елемент моста у одређеном тренутку нађе у одређеном стању. Под надзором FHWA у оквиру истраживачког пројекта *National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)* развијен је *Software AASHTOWare™ Bridge management (BRM)*, за управљање мостовима. Најновија верзија BRM је 5.2.1 Service Pack 1-SP1, чија је примена почела маја 2014. године. Тренутно се развија нова генерација *Software AASHTOWare™*, верзија 5.2.2.

У различитим државама Европе, BMS су оформљени и развијани у различитим временским периодима [9]. Сматра се да Шведска има најдужу традицију, где се подаци о стању саобраћајне мреже архивирају још од 1944. г. У овом раду се не разматарају појединачни BMS различитих држава, који имају своје особености и сличности. Тренд у ЕУ је да се многи аспекти експлоатације и одржавања саобраћајница анализирају на јединственији начин, што је у протеклих 20-так година иницирало многе пројекте који обрађују ову проблематику. Један од значајних је BRIME (*Bridge Menagment in Europe*) започет у јануару 1998. г. и завршен у децембру 1999. г. и у коме су



Слика 3. Учеснице пројекта BRIME-а [9]

учествовали истраживачки центри В. Британије, Француске, Немачке, Норвешке, Словеније и Шпаније (слика 3) [9].

Циљ пројекта је био развијање модела у оквиру BMS за оптимизацију трошкова одржавања појединачних мостова и мрежа мостова на аутопутевима [9]. Пројекат је реализован у две фазе путем „Радних пакета“, при чему је сваки координисан од стране једне од учесница овог пројекта. Финални Извештај овог пројекта објављен 2001. године садржи резултате истраживања у више поглавља са закључком да је успешан модул BMS требао садржити минимум 10 модела и са предлогом алгоритма поступака у оквиру BMS [9].

## 7. ЗАВРШНЕ НАПОМЕНЕ

Мостови као компоненте саобраћајних система имају изузетан значај, нарочито кад се налазе на важним саобраћајницама. Веома је важно њихово квалитетно и правовремено одржавање. Истраживање везано за објективну оцену постојећег стања мостова, и даљи развој модела за прогнозу будућег стања мостова и унапређење планирања радова одржавања мостова је актуелна тема. Истраживања и развој модела за прогнозу будућег стања мостова (DMs), заснован на бољем разумевању и моделирању ДП и деградације конструкција мостова је изазов. Комплетирање и ажурирање података у БПоМ, прописани редовни прегледи и одржавање мостова су у РС били у застоју, због друштвено економских прилика и акутног недостатка финансијских средстава. Будуће прикључења наше државе у ЕУ подразумева инкорпорирање наше мреже путева у европску мрежу путева, сходно стандардима који важе у ЕУ. Због тога је пожељно оживљавање активности на комплетирању и ажурирању података у БПоМ, и развоју модела у оквиру будућег BMS у РС. Важан сегмент је оцена поузданости постојећих мостова, из аспекта стања, актуелних саобраћајних оптерећења, поузданости коришћења и будућих трошкова одржавања, за преостали ЕВ. Савремени BMS су у процесу перманентног усавршавања, са циљем даљег унапређења планирања и оптимизације трошкова одржавања.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] AASHTO: Guidelines For Bridge Management Systems, Washington, D.C., 1993.
- [2] AASHTO: Pontis: The Complete Bridge Management System, accessed on October 1999, <http://aashtoware.camsys.com/html/PontisReport.html>.
- [3] AASHTO: Guidelines for Bridge Management System. Washington, D.C. American Association of State Highway and Transportation Officials: pp.40, 2001.
- [4] Adey, B.T., Klatter, L., Kong, J.S.: Overview of Existing Bridge Management Systems. The Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. IABMAS 2010. pp.99, 11.-15, juli, 2010.
- [5] Бебић, Д.: Основе система управљања мостовима, Југословенско саветовање „Стање и санације мостова на путевима у СР Југославији“, Нови Сад, Зборник радова, стр.29-41, 04-06. јун, 1997.

- [6] Бебић, Д.: Систем управљања мостовима у Р Србији-степен развоја и перспектива, Југословенско саветовање „Стање и санације мостова на путевима у СР Југославији“, Нови Сад, Зборник радова, стр.51-58, 04-06 јун, **1997**.
- [7] Бебић, Д.: Техничко решење базе података о мостовима, Београд, **1998**.
- [8] Бебић, Д.: База података о мостовима, Институт за путеве, Београд, **2001**.
- [9] Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline framework for a European System. BRIME PL97-2220, pp.227, **2001**.
- [10] Brown, M.C.: High Priority Bridge Performance Issues&Data Required, FHWA Long-term Bridge Performance Program, July 30, **2009**.
- [11] Federal Highway Administration Bridge Programs, Additional Guidance on 23 CFR 650 D, <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/0650dsup.cfm>, September 30, **1992**.
- [12] Federal Highway Administration Bridge Programs National Bridge Inventory (NBI) data, <http://www.fhwa.dot.gov/bridge/britab.cfm> (Nov. 16, **2011**).
- [13] Фолић, Р.: Саобраћајна оптерећења и стање постојећих друмских мостова, Пут и саобраћај 3-4, стр.15-28, Београд, **2003**.
- [14] Фолић, Р., Томин, М.: О одржавању и санацији бетонских мостова-Методологија и регулатива, СГИТС, Оцена стања, одржавање и санација грађевинских објеката и насеља, V саветовање, Златибор, Зборник радова, стр. 29-38, 29.мај-01.јун, **2007**.
- [15] Frangopol, D. M.; Kallen, M-J.; van Noortwijk, J.M.: Probabilistic models for life-cycle performance of deteriorating structures: review and future directions. *Progress in Structural Engineering and Material* **2004**. 6 (4), pp. 197-212.
- [16] Грковић, С.: Прилог пројектовању бетонских мостова са аспекта захтеване трајности у агресивном окружењу, Магистарски рад, Суботица, **1999**.
- [17] Југословенско саветовање „Стање и санације мостова на путевима у СР Југославији“, Нови Сад, Зборник радова, 04-06 јун, стр.361, **1997**.
- [18] Larsen,K.P.: New Legislation Focuses on Extending the Life of Highway Bridges, *MP* 47, 8 p.30, **2008**.
- [19] Lee,S.K.,Krauss,P.D.:Long-Term Performance of Epoxy-Coated Reinforcing Steel in Heavy Salt-Contaminated Concrete, FHWA, FHWA-HRT-04-090, June **2004**.
- [20] Машовић, С.,Хајдин Р.: Процена пропадања коловозне плоче бетонских мостова према бази података о мостовима. Симпозијум друштва грађевинских конструктора Србије, Врњачка Бања, Зборник радова стр 223-229, **2012**.
- [21] Машовић, С.,Хајдин Р. Планирање одржавања путних мостова, Грађевински факултет Београд, стр.1-10, **2013**.
- [22] Morcou, G. Comparing the Use of Artificial Neural Networks and Case Based Reasoning in Modeling Bridge Deterioration. Anual Conference of the Canadian Society of Civil Engineering. Montreal, Kanada, pp.1-9, 05-08.juni **2002**.
- [23] Morcou, G., Lounis,Y., Mirza, M. S.: Life-cycle assessment of highway bridges, A version of this paper is published in / Une version de ce document se trouve dans: Proceedings of the 2002 Taiwan-Canada Workshop on Bridges April 8-9, pp. 61-82 (pp.1-22), **2002**.
- [24] Morcou, G.: Performance Prediction of Bridge Deck System Using Markov Chains. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. ASCE, 20(2): pp. 146-155, **2006**.

- [25] Morcoux, G., Lounis, Z.: Management of Bridge Decks Using Stochastic Deterioration Models and Multi-criteria Optimization. 7th International Conference on short and Medium Span Bridges. Montreal, Kanada: pp. 1-10, **2006**.
- [26] Patidar, V., Labi, S., Sinha, K.C., Thompson, P. 2007. Multi-Objective Optimization for Bridge Management Systems. Nacional Cooperative Highway Research Program Report 590, Washington D.C.: p.139, **2007**.
- [27] Правилник о техничким нормативима за експлоатацију и редовно одржавање мостова, Службени лист бр. 20, Београд, **1992**.
- [28] Puž, G., Radić, J., Oslaković Stipanović, I.: Novi model za stohastičku analizu trajnosti mostova, Zagreb, Građevinar 62: str. 287-297, **2010**.
- [29] Safi, M. LCC Application for Bridges and Integration with BMS. Licentiate Thesis in Structural Engineering and Bridges. Stockholm, KTH Architecture and the Build Environment: pp.59, **2012**.
- [30] Safi, M., Sundquist, H., Karoumi, R.: Life-Cycle Costing Integration with Bridge Management Systems, C.Engineering and Architecture 2(1):11-23, **2014** <http://www.hrpub.org/DOI:10.13189/cea.2014.020102>
- [31] Tokdemir, O.B., Ayvalik, C., Mohammadi, J.: Prediction of Highway Bridge Performance by Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms. Proceeding of the 17<sup>th</sup> International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). Taipei, Tajvan: pp.1-8, **2000**.
- [32] Вукадиновић, С.: Збирка решених задатака из Теорије вероватноће (Ланци Маркова), Београд, стр.351, **1983**.

## SOME ASPECTS OF TECHNICAL MODELS WITHIN BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM

**Summary:** *Bridge Management System (BMS) represents a rational and systematic approach to organizing and conducting of all activities related to bridge maintenance. Main goal of BMS is helping the bridge owner to make an optimal decision with respect to bridge maintenance budget, whether it is dedicated to one bridge or to group of bridges, by securing that the decision is made on the basis of Life-Cycle Cost (LCC) estimates. The structure of BMS is based on condition rating and Bridge Database (BD), Deterioration model (DM), Cost Model for evaluation of costs and Optimization Model for choosing the most rational maintenance strategy. Relationship between bridge condition rating and DM with maintenance costs within BMS is very important. Predictions regarding future intensity and rate of bridge deterioration depends on multitude of factors and it is a consequence of several simultaneous actions and deterioration processes (DP) which need to be included into DMs. DMs are mostly based on modeling of physical and chemical actions and processes or they are based on statistical analysis of large number of data regarding the condition of existing bridges, or on artificial intelligence models, etc. Stochastic models based on Markov processes are applied within more advanced contemporary BMS. Due to social and economic circumstances and lack of financial resources over the last two decades in Republic of Serbia bridge maintenance was neglected and creation of BD was discontinued. The paper deliberates some aspects of*

*technical models within BMS, with DMs being pointed out, development of BD within bridge maintenance in Republic of Serbia and it gives an overview of sophisticated BMS and current advances in this field.*

**Keywords:** *Bridges, Bridge management system, Condition rating, Database, Deterioration models, Maintenance*