

Пројектовање мостова према захтевима животне средине

Стефан Ж. Митровић^а, Снежана Машовић^а

^а Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар Краља Александра 73, Београд, Србија

ПОДАЦИ О РАДУ	РЕЗИМЕ
<p>DOI: 10.31075/PIS.69.02.02 Стручни рад Примљен: 28.04.2023. Прихваћен: 11.05.2023 Кореспондент аутор: smitrovic@imk.grf.bg.ac.rs</p> <p><i>Кључне речи:</i> животна средина интегрални мостови оцена животног циклуса загађење</p>	<p>Заштита животне средине несумњиво постаје примарни задатак човечанства у 21. веку. Развој технологије и технике донео је многе лагодности људима, али истовремено је негативно утицао на њихову околину. У оквиру овога рада представљен је утицај мостовских конструкција на животну средину. Прегледом литературе, утврђени су одређени негативни ефекти кроз различите фазе пројекта, од извођења до санација конструкција мостова. Показани су резултати примене концепта Оцене животног циклуса (Life Cycle Assessment - LCA) у пројектовању мостова на одређеним примерима. Студијом случаја је приказана могућност употребе интегралних мостова у смањењу загађења животне средине. У закључним разматрањима, представљен је модел увођења захтева животне средине у процес пројектовања и извођења.</p>

1. Увод

Свеобухватни развој технологије и технике нарочито последњих пар деценија донео је много позитивних ствари. Људима на планети Земљи омогућен је лакши живот кроз многобројне иновације. Примера ради, развој информационих технологија је омогућио да се одређене привредне активности брже и једноставније извршавају. Употреба савремених машина и робота је у великом делу заменила људски рад и донела већу сигурност и продуктивност.

Поменути развој је несумњиво настао искоришћавањем разних природних богатстава. Такође, оваква технологија често подразумева индустрију која загађује животну средину. У овом контексту потребно је објаснити основне појмове о животној средини које су дефинисане према важећем Закону [1], а то су:

- 1) животна средина – скуп природних и створених вредности чији комплексни међусобни односи чине окружење, односно простор и услове за живот;
- 2) квалитет животне средине – стање које је исказано физичким, хемијским, биолошким, естетским и другим индикаторима;
- 3) природне вредности – природна богатства која чине ваздух, шуме, геолошки ресурси, биљни и животињски свет;

- 4) одрживи развој – усклађени систем техничко-технолошких, економских и друштвених активности у укупном развоју у којем се на принципима економичности и разумности користе природне и створене вредности са циљем да се сачува и унапреди квалитет животне средине за садашње и будуће генерације.

Дакле, човечанство је годинама уназад користило природне вредности за сопствени развој, притом кварећи квалитет животне средине без посебног обзирања на одрживи развој. Последњих година, са наглим климатским промена, лошим квалитетом ваздуха и сличним проблемима, подиже се свест о заштити животне средине, оптималној употреби ресурса и примени концепта одрживог развоја.

Грађевинска индустрија на коју је фокус у овом раду, представља један од значајнијих загађивача животне средине. То се огледа кроз процес производње грађевинских материјала у контексту емисије CO₂, као и директног загађивања околине у процесу изградње објекта кроз велику количину грађевинског отпада. Примера ради, цементна индустрија учествује са 10% у укупној емисији CO₂ у атмосфери, док читаво грађевинарство репродукује 50% емисије CO₂ годишње [2].

Научноистраживачке активности у претходном периоду су допринеле умањењу загађења животне средине бетонским конструкцијама на различите начине. Цемент у бетонској мешавини се одређеним делом може заменити алтернативним материјалима као што су згура, летећи пепео, био маса и слично. Такође, природни агрегат се може заменити материјалима попут рециклираног стакла, агрегата добијеног рециклирањем бетона, рециклираном опеком, пиринчаном комином и друго [2]. Други приступ је побољшање ефикасности кроз смањење потребне количине материјала користећи нове технологије градње попут 3D штампе и материјала високих перформанси [3].

Производ грађевинске индустрије су објекти и конструкције које се користе за различиту намену. Могу бити лоцирани у градским или ван градским подручјима. Без обзира на локацију, грађевински објекти постају део животне средине подручја и имају утицај на функционисање исте. Поред тога што се за њихову изградњу користе велике количине различитих природних ресурса, објекти се пројектују и изводе да имају дуг животни односно употребни век. Према савременим европским прописима Еврокодovima, стамбене и пословне зграде се пројектују за употребни век од 50 година, док је код мостова тај период 100 година [4].

Објекти путне инфраструктуре имају далеко већи утицај на животну средину у односу на стамбене и резиденцијалне објекте. Путеве, мостове и тунели често се граде у ван градским подручјима, где својим присуством негативно утичу на биљни и животињски свет тог предела, односно читав био диверзитет у целости. Тај утицај се манифестује подједнако кроз процесе изградње и експлоатације. Према Кинеском билтену о животној средини из 2015. године, 15% еколошких инцидената је узроковано саобраћајним несрећама. У периоду између Јануара 2004. и Децембра 2011. догодило се 886 саобраћајних несрећа које су везане за транспорт опасних материја, од чега се 7% догодило на мостовима и у тунелима. Иако проценат није изражен, ефекат ових несрећа на околину може бити веома деструктиван [5].

Досадашња грађевинска пракса подразумева да се приликом изградње грађевинских објеката, решења и одлуке базирају на конструктивном, сигурносном и економском аспекту. Још увек није у већој мери у процес пројектовања и извођења објеката ушла процена утицаја изградње и експлоатације објекта на животну средину, иако у већини земаља постоје прописи који регулишу то. Последњих година, веома успешно се користи концепт Оцене животног циклуса (Life Cycle Assessment LCA) за квантификацију еколошког оптерећења од грађевинских објеката и конструкција. У великој мери ова метода је коришћена за поређење потенцијалних решења при изградњи новог моста или реконструкцији постојећег моста [6].

У оквиру овога рада анализиран је утицај мостовских конструкција на животну средину. Прегледом литературе уочени су различити ефекти мостовских конструкција на елементе животне средине кроз различите фазе пројекта, од извођења до санационих интервенција које наступају током употребног века. Дат је приказ методологије рада концепта LCA у грађевинарству. На пар карактеристичних примера показана је примена у избору решења моста са циљем минимизирања ефеката на животну средину. Студијом случаја је приказана могућност употребе интегралних мостова у смањењу загађења животне средине. У закључним разматрањима, представљен је модел увођења захтева животне средине у процес пројектовања и извођења.

2. Утицај моста на животну средину

Најзначајнији елемент путне инфраструктуре сваке земље је мост. Грађевина која омогућава савлађивање различитих препрека било природних или вештачких, вековима уназад омогућава лакше кретање људи и добара. Када говоримо о мостовима ван градског језгра, дакле на магистралним и аутопутевима који пролазе кроз ненасељена или ретко насељена подручја, мост несумњиво постаје део животне средине тог краја. Самим тим мост као грађевинска конструкција има одређени утицај на животну средину краја у коме је саграђен, односно утиче на квалитет живота у том подручју. Први део овога поглавља има за циљ да прикаже утицај који мост има на животну средину у својој околини, како утиче на биљни и животињски свет, као и његов глобални утицај. Други део овога поглавља показаће примере из праксе у којима се анализирао утицај моста на животну средину, са освртом на избор пројектантског решења према параметрима животне средине. Такође показаће се примена LCA концепта у пројектовању мостовских конструкција са циљем умањења негативног утицаја на животну средину.

2.1. Негативни ефекти мостовских конструкција на животну средину

Животна средина представља битан параметар када одлучујемо о месту изградње моста. На избор градилишта битно утичу географски, хидролошки, хидраулички и геотехничке услови. Међутим, оно чему није дат значај свих ових година је како мост утиче на поменуте услове. Мостовска конструкција саграђена у неком природном окружењу постаје део истог и практично живи са осталим биљним и животињским светом. Под утицајима се мисли на одређене негативне ефекте које мостовске конструкције у различитим временским периодима производе на животну средину. С тим у вези, укупни животни век моста се може поделити на следеће карактеристичне фазе:

1. Фаза пројектовања и извођења конструкције моста,
2. Фаза експлоатације, односно употребе моста, што се често назива и фаза одржавања,
3. Фаза елиминације, што би подразумевало крај употребе моста.

Живот моста је обухваћен различитим фазама од пројектовања, извођења па до експлоатације. Управо ће та подела послужити да за приказивање поменутих ефеката. Прегледом литературе и досадашњих истраживања [3], [5], [7]–[9], уочени су следећи ефекти који су сходно поменутој подели приказани у наставку текста.

2.1.1. Фаза пројектовања и извођења конструкције моста

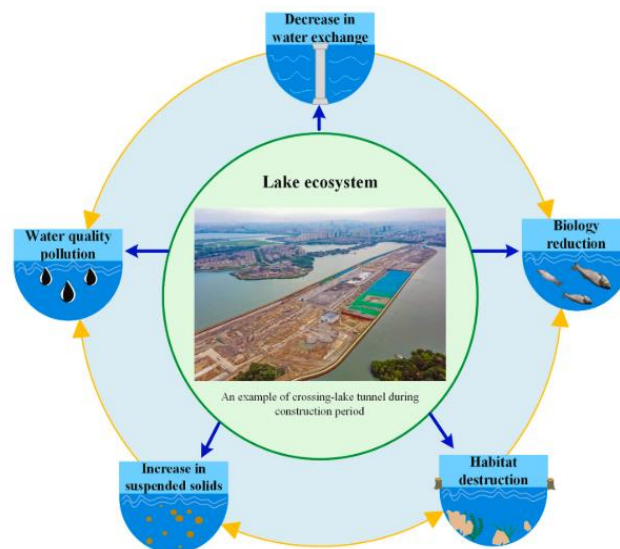
Избором материјала у фази пројектовања који нису еколошки прихватљиви директно се повећава негативан утицај на животну средину, јер производња тих материјала има за последицу емисију угљен-диоксида (CO₂) у атмосферу.

Приликом извођења конструкција, коришћење тешких машина и механизације може довести до промене хидролошких карактеристика терена на коме се изводе радови. Такође, разни радови у близини речних површина могу довести до повећања ризика од поплава. Неконтролисано изливање бетона, уља, мазива и других отпадних течности може изазвати контаминацију површинских и подземних вода. Овде спадају и потенцијална изворишта пијаће воде. Постављање средњих стубова у корито реке представља препреку за проток, смањује брзину воде и повећава дубину воде узводно, чиме се повећава ризик од поплава низводно уз ерозију. Поред овога можемо имати смањење количине кисеоника и квалитета воде што за последицу има миграцију дивљих животиња, угрожавања мреста риба и слично.

Извођење мостова у већини случајева подразумева велику количину земљаних радова чиме се мења профил терена. То за последицу има стварање потенцијалних клизишта и ерозија терена услед уклањања природне вегетације (шума). У овом процесу је присутна експлоатација и уништавање стенских маса. Присуство тешких машина и механизације негативно утиче и на квалитет ваздуха услед сагоревања горива. Негативан утицај је свакако приметан и на флору и фауну краја услед грађевинских радова чиме се измешта или уништава станиште разних биљака и животиња (укључујући и оне које су ретке и осетљиве).

Грађевински радови имају утицај и на локално становништво кроз оптерећивање локалних путева тешким машинама и механизацијама, стварање велике количине буке, прашине, блата и муља.

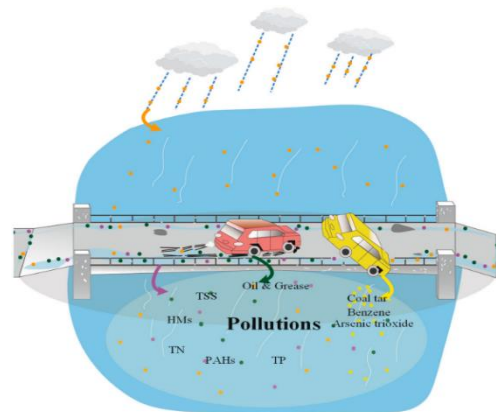
Може бити присутно и оштећење или уништавање неистражених археолошких налазишта.



Слика 1. Утицај моста на екосистем језера
Извор: Environmental impacts and risks of bridges and tunnels across lakes: An overview, Journal of Environmental Management, 2022.

2.1.2. Фаза експлоатације (употребе) моста

У току свог употребног века мост се користи за кретање возила различитих намена и профила. Кретање возила може реметити биљни и животињски свет претераном буком. Такође, услед квара или саобраћајних незгода из возила се испуштају уља, горива и друге отпадне материје које могу да контаминирају средину и тиме загаде површинске и подземне воде. Мост може утицати негативно на локално становништво у смислу да се на месту градње моста губи простор за рекреацију људи, купање, лов и риболов. У одређеним ситуацијама присуство моста може покварити естетику краја, погледа и слично. Током употребног века присутни су одређени грађевински радови на санацији моста који такође могу имати негативан утицај као што је описано у тексту изнад.



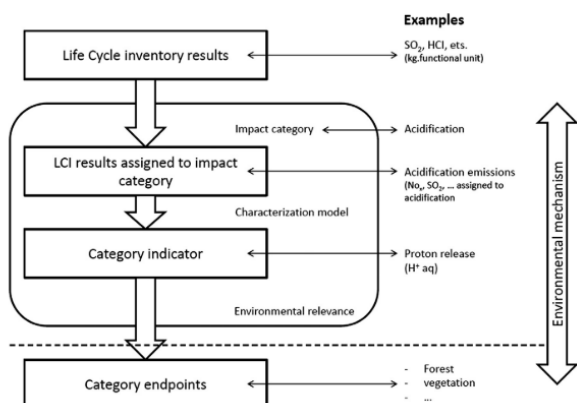
Слика 2. Утицај моста на животну средину током употребног века
Извор: Environmental impacts and risks of bridges and tunnels across lakes: An overview, Journal of Environmental Management, 2022.

2.1.3. Фаза елиминације

У току фазе елиминације што подразумева крај употребног века, након кога конструкција не може више да сигурно и безбедно обављају своју функцију. Потребно је извршити делимично или потпуно рушење моста чиме се ствара велика количина грађевинског отпада која може да контаминира животну средину.

2.2. Примена концепта Life Cycle Assessment у пројектовању мостова

Life Cycle Assessment (LCA) представља процену утицаја производа или процеса на животну средину током целог животног века, од колевке па до гроба. У обзир се узимају сви аспекти који се односе на природно окружење, здравље људи и искоришћавање ресурса. Прве студије утицаја на животну средину појавиле су се још 60-тих и 70-тих година прошлог века. Светска организација за стандард (ISO) 1997. године доноси сет стандарда и процедура које уређују методологију рада LCA. Шематски методологија рада LCA је приказана у наставку текста на Слици 3. Упоредо са ISO стандардима, Европска комисија за стандардизацију (CEN) објављује стандарде и процедуре на ову тему [6].



Слика 3. Шема функционисања LCA концепта [6]

Извор: Life cycle assessment in the construction sector: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013.

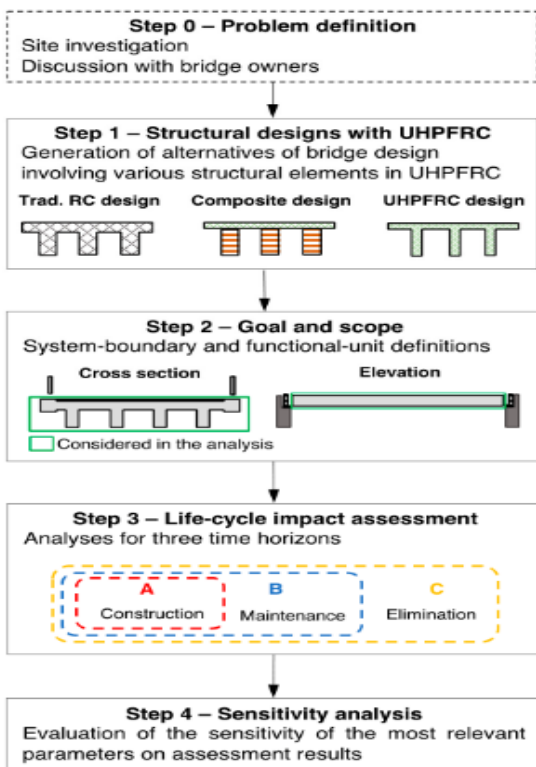
LCA концепт је широко распрострањен и често се користи за процену различитих производа и процеса на животну средину. Када говоримо о грађевинским конструкцијама или објектима, постоји одређена разлика у односу на углавном контролисане процесе. Пре свега, грађевинске конструкције и објекти се истичу дужим животним (употребним) веком у трајању од 50 или 100 година. Због великог броја различитих елемената и опреме који могу престати са функцијом неком тренутку, тешко је у потпуности прецизно одредити утицај на животну средину [6].

До сада је на примерима многих стамбених и резиденцијалних зграда примењен концепт LCA у процени утицаја на животну средину. Већина ових студија, посебно оне ране су се односиле на процену количине енергије, односно кумулативне потражње за енергијом током различитих фаза животног (употребног) века. Нису све студије истог нивоа детаљности, што директно одређује време потребно за израду исте. Сходно томе може се направити разлика између детаљних и прегледних LCA студија. Упркос неким ограничењима LCA технике, она је и даље моћно и научно засновано средство за процену утицаја на животну средину. [6]

У наставку овога поглавља представљени су примери примене LCA концепта у случају мостова. Чокић и остали су се у свом раду [10] бавили анализом утрошка енергије и емисије CO₂ различитим пројектним решењима и начинима извођења конструкције моста. За исту препреку разматрана су три различита концепта моста: низ простих греда, континуални носач и рамовски систем. Поменута анализа се односила само на фазу пројектовања и извођења. Фаза експлоатације и елиминације није узета у обзир. Показано је да потребне количине бетона за сваку од три конструкције су сличне док је утрошак арматуре највећи за случај рамовског система. Количина утрошка енергије по тони произведеног бетона је вишеструко мања него у случају арматуре и асфалта. Енергетски утрошак механизације је прилично мали у поређењу са утрошком за бетон, челик и асфалт. Разлике у количине везане енергије по кубном метру бетона се између варијантних решења је свега неколико процената. Најмања количина везане енергије по m³ бетона јесте за низ простих греда, али то не резултује и најмањом укупном количином везане енергије за низ простих греда, него за континуални носач, што је последица различите количине утрошеног материјала, у зависности од конструкције. Највећа емисија CO₂ је везана за бетон, и самим тим она конструкција која има потребу за најмању количином бетона има и најмању укупну емисију CO₂, што одговара решењу са низом простих греда.

Vertola и остали су у свом раду [3] су показали утицај примене бетона високих чврстоћа UHPFRC у изградњи моста на животну средину. За потребе експеримента, концептом LCA су разматрана три варијантна решења за исту препреку: мост са главним носачима од армираног бетона, спрегнут мост где су носачи од дрвета спрегнути са армирано бетонском коловозном плочом и мост који је изведен од UHPFRC бетона. Разматран је цео процес у коме се мост може наћи, од фазе извођења, преко фазе употребљивост (фазе одражавања) до фазе елиминације (рушења услед истека животног века).

Ради поређења за сва три варијантна решења одређиване су вредности потенцијала глобалног загревања (Global Warming Potential – GWP) изражену у килограмима од CO₂ и еколошког недостатка израженог преко вредности UBP фактора. Гледајући вредност GWP-а сва три варијантна решења имају исти утицај на животну средину, при чему решење моста изграђеног од UHPFRC бетона има највећи утицај. Према UBP фактору, највећи утицај на животну средину има прво решење, мост од армираног бетона. Узимајући у обзир последње две фазе експлоатације и елиминације које имају доста мањи значај од фазе извођења, анализа је показала да највећи утицај на животну средину има прво решење, мост изведен од армираног бетона. Разлог томе је у чињеници да остала два решења имају дужи животни (употребни) век. LCA концепт примењен у овој студији је приказан на Слици 4. у наставку текста.



Слика 4. Шематски приказ методологије концепта LCA [3]
Извор: Assessment of the environmental impacts of bridge designs involving UHPFRC, Sustainability, 2021.

3. Студија случаја – примена концепта интегралних мостова

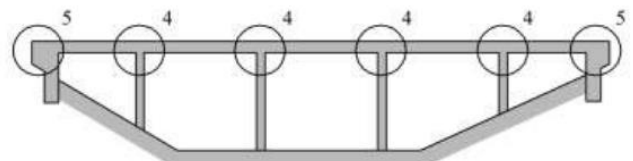
Преглед литературе у претходном поглављу довео је до закључка да узимање у обзир животне средине приликом пројектовања и извођења може довести до умањења негативних ефеката. У оквиру овог поглавља истражиће се могућност примене интегралних мостова у контексту заштите животне средине у односу на класичне мостове на лежиштима.

С тим у вези, први део овога поглавља ће објаснити концепт интегралних мостова и приказати основне особине оваквог решења мостовских конструкција. Други део обухвата студију случаја у којој се детаљно разматра могућност употребе интегралних мостова у циљу смањења наведених негативних ефеката.

3.1. Опште о интегралним мостовима

Интегрални мостови представљају бетонске или спрегнуте мостовске конструкције које су изведене без дилатационих справа и лежишта. Када говоримо о технологији извођења, разликујемо монолитни систем који је резервисан за бетонске мостове и комбинацију монтажано-монолитног система који се може користити и код бетонских и код спрегнутих мостова. Монтажно-монолитан систем је последњих година чест избор за решење мостовских конструкција, а састоји се у томе да готове армирано бетонске (АБ), претходно напрегнуте (ПНБ) или челичне носаче постављамо на изведене стубове, где касније приликом бетонирана коловозне плоче, вршимо монолитизацију на месту споја носача и стубова. На овај начин формира се оквирни или рамовски систем који је статички неодређен носач. Разликујемо следеће статичке системе интегралних мостова [11]:

1. Затворени оквири (АБ распона 2-8 метара),
2. Отворени оквири (АБ распона до 8-25 метара, ПНБ распона 25-60 метара),
3. Отворени оквири са косим стубовима (АБ распона 20-30 метара, ПНБ распона 30-70 метара),
4. Интегрални лучни оквири (АБ распона 35-50 метара, ПНБ распона 35-70 метара),
5. Оквире са два, три или више распона (АБ распона 12-20 метара, ПНБ распона 20-40 метара).



Слика 5. Шема бетонског интегралног надпутњака [12]
Извор: Приручник за пројектовање путева у Републици Србији, део 9.2. Носећи системи мостова

У досадашњој грађевинској пракси најчешће се употребљавају за пропусте затворени оквирни системи, распона до 8 m. За мостове примењују се оквири са једним распонам 5-40 m и оквири са два, три или више распона укупне дужине до 80 m. Треба напоменути да у случају постојања више отвора од четири, тада се користе семи-интегрални мостови, који се од интегралних разликују постојањем дилатација и лежишта само на крајњим стубовима моста (опорцима). У даљем тексту, акценат је стављен искључиво на интегралне мостове [11].



Слика 5. Изглед једно бетонског интегралног моста
Извор: *The Concrete Society*

Попречни пресеци интегралних мостова могу бити: пуна плоча без/са конзолама, плочасти носач, трапезни плочасти носач, ребраста плоча, монтажни Т носачи од бетона спрегнути са монолитном АБ плочом, челични носачи спрегнути са монолитном АБ плочом и разно. Крајњи и средњи стубови моста се изводе у већини случајева као армирано бетонски елементи и то у виду зидних платана, стубова или портала (рамова). Фундирање интегралних мостова може се обезбедити плитким фундирањем у виду тракастог темеља, фундирањем на шиповима (у једном или два реда) изведеним од бетона и челика, преко масивне лежишне (наглавне) греде и слично [11, 12].

Развој и настанак интегралних мостова се везује за Сједињене Америчке Државе 30-тих година прошлога века. Значајнија примена мостова без дилатација и лежишта почела је средином прошлога века. До сада је изведено и пројектовано више од 13000 интегралних и семи-интегралних мостова у овој земљи. Европско искуство са интегрални мостовима није толико изражено као у случају Сједињених Америчких Држава, али је последњих година примећен тренд пораста употребе оваквог решења [13]. Повод за настанак интегралних мостова је идеја да се елиминишу слаба и осетљива места у конструкцији попут дилатација на крајевима распона. Постојање сваке дилатације представља осетљиво место где уз присуство воде, прљавштине и других штетних агенса долази до развоја детериозационих механизма који проузрокују оштећења елемената која нарушавају употребљивост и носивост конструкције. Изостављање дилатација подиже и квалитет вожње преко моста [14].

Преглед релевантне литературе показао је основне предности и недостатке оваквог решења конструкције моста који су побројани у наставку текста. То ће бити од користи у наредном делу овог поглавља која је посвећена студији случаја.

Позитивне особине интегралних мостова се огледају [9], [13]–[17]:

1. Изостанак дилатационих справа које повезују суперструктуру моста са остатком пута позитивно утиче на више начина. Изостављањем дилатација елиминишу се слаба места у конструкцији што директно продужава употребни век конструкције и смањује обим и цену санационих интервенција. Спречава се продор воде, соли против мрза и других штетних агенса у суперструктуру моста. Већи квалитет вожње се постиже без присуства лежишта и елиминише се њихово оштећење услед преласка тешких возила (вангабаритни транспорт). Такође, смањује се и цена коштања моста,
2. Изостанак лежишта која служе за ослањање носача суперструктуре позитивно утиче на цену коштања моста, с обзиром да се као и за дилатационе справа, ради о опреми моста која није нарочито јефтина, посебно за мостове већих распона,
3. Изградња моста је једноставна и бржа са мањим трошковима,
4. Повећана сеизмичка отпорност у поређењу са обичним мостовима (мостови на лежиштима). Разлог за ово лежи у чињеници да је спој између суперструктуре и субструктуре моста монолитизован, што омогућава њихово заједничко померање,
5. Погодни су за израду пропуста који имају мање распоне због економичности и бржег извођења,
6. Овакво решење се успешно може користи за санацију постојећих мостова услед разних оштећења или истека употребног века,
7. Једноставан и брз статички прорачун конструкције моста,
8. Боља прерасподела оптерећења што директно утиче на смањење потребних димензије елемената конструкције уз остваривање већих распона

Поред многобројних позитивних особина, интегрални мостови имају одређене недостатке као што су [9], [13]–[17]:

1. Померања моста услед температуре прави празнину у насипу иза конструкције моста што може негативно утицати на квалитет и безбедност саобраћаја. С тим у вези код интегралних мостова су обавезне прелазне плоче,
2. Како се ради о рамовским конструкцијама које су статички неодређене јављају се одређени секундарни ефекти попут скупљања, течења, слегања ослонаца и слично,
3. Лимитирани су у случају косих мостова. Препорука је да се користе за углове до 30 степени,
4. Услед цикличних оптерећења као што су температура и сеизмика долази до транслације и ротације ивичних стубова (опораца) моста чиме

се утицај тла значајно повећава у односу на случај када померања нема,

5. Пожељно је имати тло добре носивости и контролисати померања услед температуре што се обезбеђује у фази пројектовања те сходно томе усвајати распоне. У случају превеликог утицаја температуре превасходно на опорце, пожељно је прећи на решење семи-интегралног моста.

3.2. Примена интегралних мостова у заштити животне средине

Прегледом литературе у другом поглављу уочено је да мостовске конструкције имају утицај на животну средину током читавог свог употребног века. Сходно томе, сама студија ће бити подељена на три основна временска периода или фазе кроз које су дефинисане у претходном поглављу овога рада [3]:

1. Фаза пројектовања и извођења конструкције моста,
2. Фаза експлоатације, односно употребе моста, што се често назива и фаза одржавања,
3. Фаза елиминације, што би подразумевало крај употребе моста.

Да би се исказао одређени напредак у току студије ће се користити поређење интегралних мостова са мостовима на лежиштима.

3.2.1. Фаза пројектовања и извођења конструкције моста:

Избором интегралног моста у односу на класичне мостове, имамо потребу за мањим димензијама елемената конструкције што се директно осликава на мању количину употребљених материјала чија производња неминовно загађује животну средину кроз емисију CO₂. Такође, због рамовског дејства омогућена је прерасподела утицаја са којом се остварују већи распони конструкције. На овај начин се смањује број средњих стубова, чиме се смањује обим бетонских и земљаних радова. Ствара се могућност да се средњи стубови не стављају у корита потока, река и језера у случају водених препрека, чиме се не угрожава живот биљних и животињских култура и биодиверзитет у целисти. Коришћењем алтернативних и рециклираних материјала, могуће је остварити и већи допринос.

Прегледом литературе уочено је да се монтажномонолитан систем успешно може користити код интегралних мостова. Готови носачи суперструктуре који су довезени из погона се монтирају на стубове моста. Овим се значајно смањује количина бетонских радова на градилишту, чиме се елиминише добар део грађевинског отпада која настаје при том процесу и смањује ризик од загађења природних ресурса евентуалним хаваријама. Интегрални мостови се често могу

изводити са кратким опорцима који су фундирани на шиповима, чиме се смањује количина насутог материјала иза опорца. Насути материјал у већини случаја је песак или шљунак добијен из речног корита. Истраживања су показала да се у насип у одређеном проценту може користити и рециклирана гума која има позитиван утицај на померања и статичке утицаје у шиповима, јер представља апсорбер за оптерећења. Овим се додатно позитивно утиче на животну средину јер се користе рециклирани материјали, смањује експлоатација природних материјала (песка и шљунка) и чува речно корито.

3.2.2. Фаза експлоатације (употребе) моста

Интегрални мостови имају изразито позитивну особину која се огледа у дужем животном (употребном) веку. Ово представља искорак у односу на мостове на лежиштима. Самим тим не постоји потреба за честим одржавањем и санационим радовима, чиме се смањује количина потребног материјала за те радове.

3.2.3. Фаза елиминације

Ако би се разматрало рушење моста услед истека употребног века, интегрални мостови нису у предности због монолитизације споја који елиминише могућност демонтаже носача, за разлику од класичних мостова чији носачи на лежиштима нису спојени са крајњим и средњим стубовима. Искусствено, може се извести закључак да је разлика у дужини употребног века која је на страни интегралних мостова, довољна да се надомести овај недостатак.

4. Закључна разматрања

На основу прегледа литературе, досадашњих истраживања и студије случаја која је спроведена у оквиру овога рада може се закључити следеће:

- Животна средина постаје важан параметар у свим сферама човечанства. 21. век ће несумњиво бити одлучујући у заштити природних добара и давању могућности да их и наредне генерације користе. Људске навике и активности ће морати да се прилагоде еколошким аспектима и одрживом развоју,

- Прилог претходној констатацији иде у томе да у све већем броју земаља постоје прописи, закони и подзаконски акти који уређују тему животне средине. Активно се ради на подизању свести о очувању, заштити и унапређењу животне средине,

- Грађевинске конструкције међу које спадају и мостови имају одређене негативне ефекте на животну средину. То се огледа у производњи материјала који се користе приликом изградње

моста. Такође постоје и негативни ефекти током употребног века или периода одржавања моста на околину у којој се налази. И даље у великом броју случајева приликом изградње објекта и конструкција се не узимају параметри животне средине. Не постоји систем управљања мостова, тунела и путева у контексту њиховог утицаја на животну средину,

- Применом концепта LCA показано је да је могуће смањити негативан утицај, адекватним пројектним решењем и технологијом извођења која минимизира количину грађевинског отпада. Концепт оцене животног циклуса се веома ефикасно може применити кроз различите фазе пројекта. Постоје многи примери који показују ефикасност методе, не само у смањењу загађења и заштити животне средине, него и у смањењу цене коштања пројекта и продужетка употребног века без превеликог обима санационих интервенција,
- Интегрални мостови захваљујући својим позитивним, пре свега конструктивним особинама имају мањи утицај на животну средину поредећи са класичним мостовима на лежиштима, гледајући све фазе кроз који пролази мост. Мање димензије елемената, већа употреба еколошки прихватљивих материјала, елиминација скупе опреме и осетљивих места са продужетком животног века, представља велику мотивацију за даље истраживање са циљем што већег минимизирања негативних ефеката који један мост прави на животну средину.

Загађење животне средине у грађевинском сектору се не може избећи, али се може контролисати и значајно смањити. Поред истраживања на тему интегралних мостова и његове употребе, препорука за даљи рад је свакако формирање методологије која ће за циљ имати повезивање конструкције и животне средине. Аутори овога рада препоручују развој методологије чији основни принципи би били:

1. Коришћење параметара животне средине у процесу пројектовања. Избор конструкцијског система који ће захтевати мању количину потребног материјала за изградњу, али уз задовољење свих потребних конструктивних захтева. Избор материјала који су више еколошки прихватљиви, односно коришћење алтернативних и рециклираних материјала. Коришћење концепта ЛЦА у избору између више варијантних решења,
2. Током извођења активно користити мере заштите загађења животне средине и на тај начин предупредити ризике од евентуалних еколошких хаварија. Посветити се ефикаснијем избору грађевинске механизације,

3. У току експлоатације развити системе за управљање мостовима у контексту елиминације утицаја на животну средину. Доносити уредбе којима се контролише транспорт опасних материја преко мостова.

Потребно је да улазни параметар у будућности поред оптерећења, линије терена, финансија и слично, буде и животна средина. Тим малим корацима данас могуће је учинити много за генерације које долазе сутра.

Захвалност

Аутори овога рада се захваљују Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије на финансијској подршци (пројекат 200092).

Design of bridges according to environmental requirements

Stefan Ž. Mitrović^a, Snežana Mašović^a

^aUniversity of Belgrade, Faculty of Civil Engineering

Abstract:

Environmental protection undoubtedly becomes the primary task of humanity in the 21st century. The development of technology and technique has brought many conveniences to people, but it has created and negatively affects their environment. This paper presents the impact of bridge construction on the environment. Through the literature review, certain negative effects were determined through different stages of design, from construction to rehabilitation of bridge structures. The results of applying Life Cycle Assessment (LCA) in bridge design are shown on a examples. The case study shows the possibility of using integral abutment bridges on reducing the environmental pollution. In the concluding remarks, a model for the introduction of environmental requirements into the design and construction process are presented.

Keywords: environmental, integral abutment bridges, life cycle assessment, pollution

Литература

- [1] Službeni glasnik Republike Srbije, "Zakon o zaštiti životne sredine," 2018.
- [2] A. Radović, H. Hafez, N. Tošić, S. Marinković, and A. de la Fuente, "ECO2 framework assessment of limestone powder concrete slabs and columns," *J. Build. Eng.*, vol. 57, no. June, 2022, doi: 10.1016/j.jobbe.2022.104928.
- [3] N. Bertola, C. Küpfer, E. Kälin, and E. Brühwiler, "Assessment of the environmental impacts of bridge designs involving UHPFRC," *Sustain.*, vol. 13, no. 22, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/su132212399.
- [4] Европски комитет за стандардизацију, "СТАНДАРД SRPS EN 1990 Еврокод — Основе пројектовања," vol. 2012, 2012.
- [5] Q. Li, R. Qian, J. Gao, and J. Huang, "Environmental impacts and risks of bridges and tunnels across lakes: An overview," *J. Environ. Manage.*, vol. 319, no. January, pp. 1–10, 2022, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.115684.
- [6] M. Buyle, J. Braet, and A. Audenaert, "Life cycle assessment in the construction sector: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 26, pp. 379–388, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.05.001.
- [7] Environment Agency, "J11 Scoping the environmental impacts of bridges and culverts," *Environemtal*, no. May, pp. 1–18, 2002.
- [8] G. of N. and Labrador, "Chapter 4 : Environmental Guidelines for Bridges," in *Water Resources Management Division Water Rights, Investigations, and Modelling Section*, 2018.
- [9] A. Bamnali and P. J. Salunke, "INTEGRAL ABUTMENT BRIDGE- A Review and Comparison of the Integral Bridge and Conventional Bridge," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1076–1081, 2018.
- [10] M. Kocic, P. Petronijevic, M. Todorovic, and N. Pecic, "Analysis of the embodied energy and the CO2 emission in construction process of a bridge structure from the aspect of sustainability," *Gradjevinski Mater. i Konstr.*, vol. 58, no. 2, pp. 3–20, 2015, doi: 10.5937/grmk1502003c.
- [11] JP Putevi Srbije, "Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji - KONCIPIRANJE, PROJEKTOVANJE I KONSTRUISANJE MOSTOVA," 2012,
- [12] JP Putevi Srbije, "Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji - NOSEĆI (STATIČKI) SISTEMI MOSTOVA," 2012,
- [13] H. White, "Integral Abutment Bridges: Comparison of Current Practice Between European Countries and the United States of America, Report FHWA/NY/SR-07/152," *Transp. Res. Dev. Bur.*, p. 30, 2007.
- [14] K. P. R and G. Raveendran, "Seismic Analysis of Integral Bridges," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 8, no. 11, pp. 35–41, 2017.
- [15] S. Mitrović and S. Mašović, "Comparative analysis of concrete integral overpass with variable soil characteristic," *Tehnika*, vol. 77, no. 1, pp. 27–34, 2022, doi: 10.5937/tehnika2201027m.
- [16] B. E. Philip, "IAB : An Exploratory Study on Integral Abutment Bridges," *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 5, no. 08, pp. 312–316, 2017.
- [17] R. M. Barker, D. Ph, J. M. Duncan, and T. C. E. Via, "The behavior of integral abutment bridge," *Environ. Eng.*, 1999.