

Vrednovanje održivosti mostova kao dijela prometne infrastrukture

Ivana Milić¹, doc.dr.sc. Jelena Bleiziffer²

¹ Zagreb, ivana.milic211@gmail.com

² Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, jbleiziffer@grad.hr

Sažetak

Suočavanje s promjenama na globalnoj razini potreba za izgradnjom naprednih, ekonomski opravdanih, ekološki pogodnih i održivih konstrukcija jest nužnost. Mostovi imaju veliko značenje u prometnoj infrastrukturnoj mreži i snažno utječu na društvo, te su direktno i/ili indirektno povezani sa nizom gospodarskih djelatnosti. Prepoznavanje takve interakcije i njena ispravna valorizacija predstavlja značajan iskorak prema održivom projektiranju. U radu su opisani različiti pristupi održivog projektiranja infrastrukturnih projekata i postupak njihova vrednovanja kao podloga za daljnja istraživanja.

Ključne riječi: prometna infrastruktura, mostovi, održivost, održivo projektiranje, održivi mostovi

Evaluation of sustainability of bridges as a part of transport infrastructure

Abstract

In the light of changes on the global level, the need has arisen to create more advanced, economically justified, environmentally friendly, and sustainable structures. Bridges have a great significance in transport infrastructure: they exert a strong influence on the society, and are directly and/or indirectly linked with a wide range of economic activities. Recognizing that interaction, and its proper assessment, constitute a significant step towards sustainable design. Various approaches to sustainable design of infrastructure projects, and the procedure for their assessment as the basis for further research, are described in the paper.

Key words: transport infrastructure, bridges, sustainability, sustainable design, sustainable bridges

1 Uvod

Početak koncepta održivog razvoja možemo pronaći na Svjetskoj konferenciji o zaštiti čovjekova okoliša (United Nations Conference on the Human Environment) [1] koja je održana u Stockholmu u lipnju 1972. godine. Nastavlja se Komisijom Ujedinjenih naroda za okoliš i razvoj (World Commission on Environment and Development) [2] koja je 1987. godine donijela izvješće "Naša zajednička budućnost" (Our Common Future) iz kojeg je proizašla najkorištenija definicija održivog razvoja prema Brundtlandu, a glasi da je održivi razvoj: "Razvoj koji zadovoljava potrebe današnjice bez ugrožavanja sposobnosti budućih generacija u zadovoljavanju njihovih potreba." Nadalje su bitne konferencija Ujedinjenih naroda o okolišu i razvitku (United Nations Conference on Environment and Development – UNCED) [3] u Rio de Janeiru, Brazil 1992., gdje je usvojena Agenda 21 te Milenijska deklaracija [4], koju je UN donio u rujnu 2000. godine usvojivši 8 ključnih razvojnih ciljeva za novi milenij i aktivnosti nužne za njihovo uspješno realiziranje do 2015. godine. Prema [5], održivi razvoj potom dobiva veliku političku podršku na Svjetskom sastanku na vrhu o održivom razvitku (World Summit on Sustainable Development – WSSD) [6], poznatom kao i "Rio+10" održanom 2002. godine u Johannesburgu. Prema [7], na konferenciji Ujedinjenih naroda o održivom razvoju [8] u rujnu 2015. godine usvojen je Program globalnog razvoja za 2030. pod nazivom Agenda 2030 koji sadrži 17 ciljeva održivog razvoja, nazvanih i globalnim ciljevima održivog razvoja usvojenih nakon trogodišnjih procesa konzultacija u kojem su bile uključene sve društvene skupine na svim razinama. Unutar 17 globalnih ciljeva održivog razvoja u građevinskom sektoru iznimno je bitan cilj 9, a to je: industrija, inovacije i infrastruktura koji potiče izgradnju prilagodljive infrastrukture, promovira održivu industrijalizaciju i potiče inovativnost [7, 9].

Prema [10], za mostogradnju definicija održivosti znači planiranje, projektiranje, izgradnju i upravljanje mostovima koje održava ravnotežu između 3 osnovna stupa održivosti: socijalnog, ekonomskog i okolišnog. Tako poboljšanje održivosti mostova prema nekim inženjerima i znanstvenicima koji se bave materijalima, može uključivati upotrebu inovativnih materijala za stvaranje otpornijih konstrukcija, dok ga projektanti mogu vidjeti iz perspektive inovativnog projektiranja kako bi se poboljšala mobilnost zajednice [10]. Neki se mogu usredotočiti na korištenje inovativnih tehnika u izgradnji kako bi se smanjila kašnjenja u prometu, dok drugi mogu podržati trajnost radi smanjenja održavanja mostova [10].

Pristup održivosti uvijek je isprepleten s mnogo različitih segmenata društva i gospodarstva. Iako ne postoji univerzalno dogovorena definicija o pojmu održivosti, ispravan smjer bi trebao biti holistički integrirani pristup koji u odgovarajućoj mjeri i stupnju daje na važnosti pojedinim integriranim disciplinama. Ključan iskorak prema održivosti prometne infrastrukture jest osviješteno promišljanje o budućnosti i o tomu da u većini slučajeva podrazumijeva dugoročnu isplativost što njeno promicanje u velikoj mjeri otežava.

2 Primjer sustava ocjenjivanja održivosti infrastrukture

U većini zemalja je proces prepoznavanja poticanja održivog razvoja u kontekstu projekata infrastrukture u početnoj fazi prihvaćanja. Tako je u Ujedinjenom Kraljevstvu CEEQUAL (Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme) [11] prihvaćen kao standard na temelju kojeg se mogu procjenjivati svojstva održivosti infrastrukture. U Australiji je ISCA (Infrastructure Sustainability Council of Australia) [12] objavila IS (Infrastructure Sustainability) sustav ocjenjivanja [13]. U ovom radu bit će detaljnije razmatran Envision sustav ocjenjivanja infrastrukturnih projekata [14]. Envision je razvijen u zajedničkoj suradnji između Zofnass programa za održivu infrastrukturu na harvardskom sveučilištu [15] i Instituta za održivu infrastrukturu (ISI) [16]. ISI (Institute for Sustainable Infrastructure) [16, 17] je neprofitna obrazovna i istraživačka organizacija koja je osnovana od strane APWA (American Public Works Association), ACEC (American Council of Engineering Companies) i ASCE (American Society of Civil Engineers).

2.1 Envision sustav ocjenjivanja infrastrukture [14, 17]

Envision je nezavisni alat koji se može primijeniti na infrastrukturne projekte različitih veličina, tipova i stupnja složenosti, uključujući ceste, mostove, željeznice, zračne luke, brane, nasipe, cjevovode, parkove, dalekovode, odlagališta čvrstog otpada, postrojenja za pročišćavanje otpadnih voda, telekomunikacijske kule i javne prostore. Usredotočen je na nenaseljenu infrastrukturu na kojoj u svrhu promicanja održivosti ostavlja trag sličan onom koji je LEED sustav ocjenjivanja imao za zgrade [15]. Envision sustav ocjenjivanja [17] ima holistički pristup koji donosi optimizaciju kroz interakciju različitih pristupa projektiranju i nije koncipiran kao skup pravila koja se moraju primijeniti, nego kao smjernica koja predstavlja okvir za ispravno projektiranje i promišljanje o budućnosti. Ovdje će se opisati Envision v2 sustav ocjenjivanja [17] koji je objavljen 2015.godine. U 2018.godini je objavljen i Envision v3 [18] koji za razliku od prethodne verzije ima 64 kriterija i 1000 bodova. Envision v2 sastoji se od 5 kategorija, 14 potkategorija i 60 kriterija, koji pokrivaju različite dimenzije održivosti infrastrukture. Svaki kriterij u sustavu Envision sadrži način bodovanja, opis razina dostignuća, opis kriterija, načine napredovanja do više razine dostignuća, kriterije evaluacije i potrebnu dokumentaciju, izvore i srodne kriterije u Envision sustavu ocjenjivanja. Ocjenjivanje projekta obavlja se pomoću bodovnog sustava u kojem se svaki od kriterija vrednuje s obzirom na razinu dostignuća koja je u tom kriteriju dosegnuta. Svakoj razini dostignuća su dodijeljeni bodovi u skladu s njenim procijenjenim doprinosom na održivost. Prema [17], razine dostignuća određuju razinu i kvalitetu projekta prema svakom kriteriju kako slijedi: standardna (*Conventional*) označava uobičajenu izvedbu i ne boduje se u ovom sustavu. Raza-
na dostignuća poboljšana (*Improved*) označava izvedbu koja je iznad konvencional-

nog (standardnog, uobičajenog) i lagano prelazi propisane zahtjeve. Druga razina dostignuća je usavršen (*Enhanced*) i označava održivu izvedbu koja je na dobrom putu i postoje pokazatelji da je savršena izvedba dostižna. Treća razina dostignuća je izvanredan (*Superior*) i označava održivu izvedbu koja je vrijedna pažnje, ali još nije potpuno održiva. Bodovi su osmišljeni kako bi pružili poticaje za postizanje održivog ili restaurativnog (obnovljivog) učinka. Četvrta razina dostignuća je potpuno očuvan (*Conserving*) i označuje izvedbu koja je postigla nula negativnih utjecaja, odnosno potpuno je održiva. Peta razina dostignuća je obnovljiv (*Restorative*) i označuje izvedbu koja obnavlja prirodne ili društvene sustave. Takva izvedba dobiva najvišu moguću nagradu i vrednuje se kao takva. Razina obnove nije primjenjiva na sve kriterije.

Kategorija 1: Kvaliteta života je kategorija koja se bavi procjenom fizičkih, ekonomskih ili socijalnih aspekata usklađenosti infrastrukturnih projekata s lokalnom zajednicom, od zdravlja i dobrobiti pojedinca do dobrobiti društva kao cjeline. Kategorija je podijeljena na tri potkategorije: svrha, dobrobit i društvo.

- **Svrha** je potkategorija koja ocjenjuje utjecaj infrastrukturnog projekta na funkcionalne aspekte zajednice, koji poboljšavaju kvalitetu života lokalnog stanovništva. Ogleda se kroz opseg u kojem će projekt poboljšati razinu zaposlenosti, utjecati na dodatno obrazovanje i usavršavanje, potaknuti rast i razvoj lokalnog društva.
- **Dobrobit** je potkategorija koja procjenjuje dobrobit lokalnog stanovništva, uzimajući u obzir zdravstvene i sigurnosne posljedice korištenja novih materijala i /ili tehnologija. Ogleda se i opsegom u kojem će se smanjiti buka i vibracije tijekom izgradnje i u fazi uporabe, korištenjem rasvjete koja neće proizvoditi svjetlosno zagađenje noću te pronalaženjem alternativnih načina transporta s naglaskom na pješačenje, nemotorna vozila te korištenje javnog prijevoza. Naglasak se stavlja i na smanjenje zagušenja prometa te poboljšanje mobilnosti, orijentacije i sigurnosti korisnika.
- **Društvo** je potkategorija koja promatra vizualni i funkcionalni utjecaj projekta tijekom projektiranja. Pri projektiranju je vrlo važno da projekt uzima u obzir svoje okruženje, okoliš i održava lokalni karakter. Posebno je bitno identificirati i očuvati povijesna i kulturna mjesta i druge srodne resurse društva te sačuvati i unaprijediti javni prostor.

Kategorija 2: Rukovodstvo je kategorija koja prepoznaje da uspješni projekti infrastrukture zahtijevaju učinkovitu implementaciju više različitih projektnih timova, kao i holistički pogled na projekt i njegov cjelokupni životni ciklus. Potreban je novi način razmišljanja i što raniji početak suradnje svih timova za projektiranje uspješnog održivog projekta koji će imati pozitivan utjecaj na svoju okolinu. Kategorija je podijeljena u tri potkategorije: suradnja, menadžment i planiranje.

- **Suradnja:** Pri postizanju najviših ciljeva i potpunog ostvarenja sinergije između sudionika projekta potrebna je što bolja komunikacija i razmjena ideja različitih pogleda na projekt kako bi suradnja rezultirala maksimalnim sinergijskim dostignućima po svim relevantnim kriterijima. Bitno je učinkovito vodstvo i predanost projektu kao i organizacijska pravila, poslovni mehanizmi, odgovarajuće metodologije i sustav upravljanja projektom koji ima cilj što uspješnije upravljanje radi sinergijskog napretka poboljšanja održivog učinka.
- **Menadžment:** Široko shvaćanje i implementiranje različitih disciplina, struka i projektnih timova zahtijeva novi oblik upravljanja projektima. U ovom području naglasak je i na integriranju projekta s već postojećom i /ili planiranom infrastrukturom u okolici.
- **Planiranje:** Dugoročni plan i aspekt u kojem će se projekt nalaziti jest gledište o kojem se raspravlja u ovom dijelu. Okruženje u kojem se projekt nalazi, kao i budući trendovi razvijanja na tom području su bitni elementi za projekt koji teži dugovječnosti i učinkovito planira svoj životni vijek. Potiče sveobuhvatnost i detaljnost dugoročnih planova monitoringa te održavanja i eliminiranje pravila, zakona i propisa koji se mogu nenamjerno suprotstaviti ciljevima ili kriterijima održivosti. Također, vrednuje stupanj do kojeg projektni tim uključuje cjelokupni životni ciklus projekta kroz poboljšanje trajnosti, fleksibilnosti i otpornosti projekta.

Kategorija 3: Raspodjela resursa je kategorija koja se bavi raspodjelom resursa u cjelokupnom životnom vijeku projekta i njihovim utjecajima na održivost projekta i cjelokupnog šireg sustava uzevši u obzir da su ti resursi većinom ograničeni. Može se raspodijeliti u tri potkategorije, a to su : materijali, energija i voda.

- **Materijali:** Životni ciklus materijala korištenih za izgradnju projekta od ključne je važnosti. Naglasak se stavlja na pametno upravljanje materijalima, u vidu smanjene ukupne potrebne količine materijala, korištenjem recikliranog materijala ili ponovno korištenje prije upotrebljenog materijala, odnosno sposobnošću ponovne upotrebe korištenog materijala na kraju životnog vijeka projekta. Isto tako, razmatra se i energija korištena za obradu i transport materijala, kao i izvor materijala s obzirom na najbližu lokaciju dostupnosti materijala zadovoljavajućih svojstava, odnosno naglasak se stavlja na minimaliziranje troškova prijevoza i utjecaja te zadržavanje regionalnih pogodnosti korištenjem lokalnih izvora. Nadalje, prihvatljivije je koristiti opremu i materijale od proizvođača i dobavljača koji implementiraju kriterije održivog razvoja.
- **Energija:** Energija iz neobnovljivih izvora fosilnih goriva koja je trenutačno u vrlo velikoj uporabi jest konačna. Smanjenje ukupne razine potrošene energije, kao i zadovoljenje preostalih energetske potreba putem obnovljivih izvora, težnja je ove potkategorije.

- **Voda:** Resursi pitke vode su ograničeni, a rast populacije na Zemlji kao i promjena klime stavlja budućnost pitke vode pod upitnik. Stoga je smanjenje ukupne potrošnje vode i recikliranje vode, kao što je oborinska voda i onečišćena voda koja bi mogla biti korištena za mnoge funkcije bez smanjenja ukupnog vodenog resursa jest ključan aspekt ove potkategorije.

Kategorija 4: Prirodni svijet - Projekti infrastrukture utječu na prirodni svijet oko sebe. Kroz ovu kategoriju pokušavaju se minimalizirati negativni učinci projekta infrastrukture na prirodni svijet, kroz sinergijski pozitivan pristup projekta na prirodni svijet u svom okruženju. Sastoji se od tri potkategorije: smještaj, zemlja i voda, biološka raznolikost.

- **Smještaj:** Ova potkategorija upućuje na adekvatne načine smještaja samog projekta kojemu je cilj izbjeći zemljište koje je identificirano kao zemljište visoke ekološke vrijednosti. Naglasak se također stavlja na očuvanje područja geološke ili hidrološke vrijednosti i izbjegavanje prekida prirodnih ciklusa, kao što je hidrološki ciklus. Ako je nemoguće izbjeći osjetljiva mjesta, preporučeno je učiniti ih blažima za očuvanje prirodnog svijeta. Preporučeno je upotrebljavati već korišteno zemljište radi sprječavanja daljnjeg oštećenja tog okoliša, identificirati i zaštititi vrijedna poljoprivredna područja, postavljanje tamponskih zona oko močvarnih staništa, obala i vodenih objekata.
- **Zemlja i voda:** Ova potkategorija posvećuje dodatnu pažnju sprječavanju onečišćenja izbjegavanjem zagađivača i pesticida kao i poremećajima hidroloških i hranidbenih ciklusa. Svaki projekt i mjesto dijele odgovornost za zaštitu kvalitete većeg sustava. Naglasak je na smanjenju negativnog utjecaja infrastrukturnog projekta na količinu i kakvoću oborinskih voda, te očuvanje slatkovodnih resursa kroz izvedbe, planove i programe za sprječavanje i monitoring površinskih i podzemnih voda od onečišćenja.
- **Biološka raznolikost:** Projektiranje infrastrukturnih projekata trebalo bi promicati očuvanje biološke raznolikosti zaštitom ugroženih biljnih i životinjskih vrsta i staništa, povezivanje staništa, izbjegavanje invazivnih vrsta i pažljivo odabiranje novih vrsta vegetacija na lokaciji. Infrastrukturni projekt ne bi smio nepovoljno utjecati na močvare, koje vrlo često osiguravaju ekosustave koji podržavaju visok stupanj prirodne biološke raznolikosti. Ova potkategorija potiče obnavljanje tla koja su narušena tijekom gradnje kako bi se uravnotežile ekološke i hidrološke funkcije kao i održavanje ekosustava potoka, močvarnih područja, vodenih površina i njihovih obalnih područja.

Kategorija 5: Klima i rizici je kategorija koja je podijeljena u dvije potkategorije: emisije i otpornost.

- **Emisije:** Cilj potkategorije emisije je promicanje razumijevanja za smanjenje emisija stakleničkih plinova i onečišćujućih tvari u zrak kao što su ugljični monoksid, sumporov oksid, dušikov oksid i drugi, za vrijeme životnog ciklusa projekta.
- **Otpornost:** Potkategorija otpornost podrazumijeva sposobnost prilagodbe na promjenjive dugoročne uvjete, kao porast razine mora ili klimatske promjene, te sposobnost izdržavanja kratkoročnih rizika, kao što su poplave ili požari. Prepoznavanje potencijalnih vrsta rizika i njihove pripadne vjerojatnosti događanja potencira njihovu uključenost u izradu projekata manje osjetljivih na promjene. Unutar svake od 5 ključnih kategorija može se pribrojiti dodatni kriterij koji nagrađuje izuzetne izvedbe koje su iznad očekivanja u toj kategoriji. Time se ocjenjuju inovativna rješenja ili primjene inovativnih metoda koje unaprjeđuju trenutno stanje područja održive infrastrukture. Tako se u kategoriji kvaliteta života može dobiti dodatnih 8 bodova, rukovodstvu 6 bodova, raspodjeli resursa 8 bodova, prirodnom svijetu 9 bodova, a kategoriji klima i rizici dodatnih 5 bodova. Ukupno u svim kategorijama, ocjenjivanjem 60 kriterija prema 5 razina dostignuća maksimalno je moguće dobiti 809 bodova. Kriteriji iznimne izvedbe donose dodatne bonus bodove koji mogu biti dodani kategoriji ili ukupnom broju bodova. U većini kriterija, niže razine moraju biti postignute kako bi se zadovoljile više razine. Bodovi se zbrajaju kako bi se dobio ukupan broj bodova i valorizirao projekt koji je prijavljen za Envision nagradu. Tako 20 % bodova donosi brončanu, 30 % srebrnu, 40 % zlatnu, i 50 % bodova platinastu Envision nagradu za održivost infrastrukturnog projekta. Za projekte koji idu na provjeru za dobivanje Envision nagrade treba biti dostavljena odgovarajuća dokumentacija opisana u kriterijima ocjenjivanja koja podržava razinu dostignuća koja je odabrana. Kriteriji se mogu izostaviti ako nisu primjenjivi na projekt, ali to zahtijeva objašnjenje zašto kriterij nije primjenjiv na projekt. ENV SP (eng. *Envision Sustainability Professional*) ovlašteni su inženjeri za korištenje Envision-a koji rade u projektnom timu i pomažu pri postizanju viših razina održivosti i dokumentiranju održivosti projekta. Svatko može koristiti Envision za svoj projekt, ali ENV SP mora biti uključen u projekt kako bi projekt bio potvrđen i prihvatljiv za dobivanje Envision nagrade za održivost. Nakon prijave projekta za dobivanje Envision nagrade, kvalificirani ISI-ov stručnjak provjerava i potvrđuje razine dostignuća, potrebnu dokumentaciju i prihvaća ili ne prihvaća rezultate ocjenjivanja koje je poslao projektni tim.

2.1.1. Ohio River Bridges – East End Crossing [19]

Prvi most koji je dobio Envision Platinum nagradu je Ohio River Bridges – East End Crossing. ORB-EEC [19, 20] je dobio tu nagradu kao prvi u mnogočemu, uključujući prvi projekt koji uključuje autocestu, prvi riječni most, prvi projekt između dvije države i prvi cestovni tunel koji je dobio nagradu Envision. Prema [19], značajna dostignuća ovaj projekt je postigao u 3 kategorije. U kategoriji kvalitete života predviđa se značajno stvaranje novih radnih mjesta tijekom gradnje i nakon završetka projekta. Učinkovitija prometna povezanost i smanjenje zagušenja prometa u središtu Louisvillaea trebalo bi poboljšati mobilnost poslovnog okruženja. Projekt će proširiti kapacitet regije za rješavanje predviđenog povećanja broja stanovnika te su uvedene i inovativne mjere za zaštitu zdravlja i sigurnosti kako bi zaštitili građevinske radnike tijekom izgradnje. Projektni tim održao je niz javnih sastanaka kako bi upoznao javnost s projektom. U kategoriji rukovodstvo, budući da projekt prelazi preko granice dviju država, projektni tim morao je proučiti razlike u zakonima i propisima o zaštiti okoliša, kao i pravila za promet s obje strane rijeke Ohio. Tijekom trajanja projekta održavani su javni sastanci, projektantskih timova s različitim grupama sudionika i organizacijama iz obje države koje su pomogle oblikovati projekt. Projektni tim uključio je izmjene u projekt na temelju povratnih informacija sudionika, uključujući ugrađivanje barijera buke i estetska poboljšanja poput ukrasnih ograda, rasvjete i pješačkih ograda kako bi se sačuvali povijesni elementi područja. U kategoriji klima i rizik projektni tim je uzeo u obzir procjene klimatskih promjena za identifikaciju potencijalnog rizika u životnom vijeku projekta. Provedene su mnoge mjere kako bi se zaštitio od tih rizika, uključujući minimalnu niveletu za koridor na 100-godišnji povratni period poplava za potporne zidove i mostove autoceste i 500-godišnji povratni period poplava za tunel, cestu i ovješeni most. U izradi projekta uzeto je u obzir nekoliko izvanrednih mogućih opasnosti poput požara, potresa i nesreća. Nekoliko je strategija uključeno u projektiranje radi zaštite od tih opasnosti, uključujući tunel za hitne slučajeve i projektiranje projekta izvan postavljenih zahtjeva kako bi mogao izdržati potencijalno moguće potrebe.

2.1.2. New Champlain Bridge Corridor [21]

New Champlain Bridge Corridor je prvi most u Kanadi i drugi most u Sjevernoj Americi koji je dobio Envision nagradu. Uključuje novi 3,4 km dug most koji povezuje gradove Montreal na zapadu i Brossard na istoku, zamjenu postojećeg mosta, kao i rekonstrukciju autoceste duž A-15 i A-10 u Montrealu i Brossardu [21]. Budući da se očekuje životni vijek od 125 godina, sustav za odvodnju otpadnih voda projektiran je da izdrži moguće povećanje kišnice od klimatskih promjena. Više od 40 posto građevinskog otpada od rušenja mosta i cesta, ponovno je korišteno na gradilištu, a reciklirano je 54 posto, pa je samo jedan posto otpada završio na odlagalištu. To je

smanjilo kamionski promet, kao i emisije stakleničkih plinova. Da bi se izbjegao neizbježni gubitak ribljih staništa, močvarnih područja i odmorišta ptica, vlada je uspostavila projekte usporedne kompenzacije za njihovu obnovu na okolnom području. Most potiče održivi razvoj kao jedan od najprometnijih prijelaza u Kanadi koji ima godišnji promet između 40 i 50 milijuna putnika i 20 milijardi dolara u međunarodnoj trgovini. Poboljšanja mobilnosti koju donosi novi most u odnosu na postojeći Champlain Bridge imat će izravan pozitivan utjecaj na gospodarstvo, smanjujući vrijeme putovanja za automobile i kamione te pružajući pouzdane opcije javnog prijevoza. U kategoriji kvaliteta života projekt poboljšava dostupnost nemotornog prijevoza i javnog prijevoza uključivanjem višenamjenskog puta za pješake i bicikliste. Poboljšava mobilnost društva osiguravajući sigurnije putovanje i poboljšavajući učinkovitost prometnog toka te poboljšava puteve za pješake radi boljeg povezivanja sjevernih i južnih dijelova tog područja. U kategoriji rukovodstvo projektni tim je implementirao prošireni sustav upravljanja kvalitetom okoliša (EQMS) koji uključuje društvene aspekte kako bi se poboljšala održiva izvedba projekta kroz široki raspon društvenih, ekoloških, ekonomskih i pokazatelja kvalitete. EQMS je razvijen u skladu s normama ISO 14001 i 9001 za upravljanje okolišem i kvalitetom. Projekt je premašio najvišu razinu dostignuća u sustavu ocjenjivanja u kategoriji kvalitete života, zarađivši bodove za izuzetna postignuća. Nadalje, projekt provodi novi koncept odmrzavanja kako bi ublažio rizik od akumulacije leda na ovišenom dijelu mosta i njegov pad na most ispod. Izgradnja je iznimno složena, a plovni kanal nije dopuštao nikakve privremene konstrukcije ili terete jer nikakva djelatnost nije smjela ometati pomorski promet. Zbog toga je uspostavljen i inovativni pristup gradnje kako bi se mogla izvesti bez ometanja pomorskog prometa.

3 Primjer valorizacije održivosti spregnutih mostova

3.1 SBRI + : Valorizacija spoznaja o održivosti spregnutih mostova u izgrađenom okolišu [22, 23]

Projekt SBRI Održivi spregnuti mostovi u izgrađenom okolišu trajao je od 2009. do 2012. godine, analizirani su spregnuti cestovni mostovi holističkim pristupom. Projekt (SBRI+) ima za cilj valorizaciju, diseminaciju i proširenje metode razvijene u SBRI projektu za napredne primjene[22]. Prema [22], tri su glavne analize: kvaliteta okoliša koja predstavlja analizu emisija u životnom ciklusu (LCA), ekonomska kvaliteta analize troškova životnog ciklusa (LCC), te socijalna i funkcionalna kvaliteta analize životnog ciklusa sa socijalnog aspekta (LCS). Mostovi se projektiraju za uporabni životni vijek od više od 100 godina, i zbog toga posebnu pozornost treba obratiti na ponašanje u životnom ciklusu u odnosu na različite procese. Cilj je projekta bio uspostaviti okvire za procjenu i usporedbu održivosti različitih tipova mostova u ra-

nim fazama projektiranja. Procjena održivosti provedena je u skladu s najnovijim europskim normama CEN TC 350 i ISO normama 14040 [24] i 14044 [25]. Ponašanje u životnom ciklusu analizira se kroz moguće različite tipove degradacije kao što su karbonatizacija (inicijacija korozije armature), korozija čeličnih nosača i umor te odgovarajuće intervale i metode pregleda i održavanja. Tijekom faze korištenja sastavljen je popis strategija održavanja [26] za različite europske zemlje. U ovom su istraživanju razmotrene 3 vrste scenarija održavanja: standardni scenarij, scenarij nedostatka novca i scenarij produženog životnog vijeka. Za pojedine elemente mosta je dan prosječni vijek trajanja (godine), kao i prosječne učestalosti aktivnosti održavanja ili popravaka za sva 3 moguća scenarija održavanja te se pretpostavlja da je prosječni vijek trajanja svakog konstrukcijskog i/ili nekonstrukcijskog elementa mosta isti za sve scenarije. Dakle, prosječni vijek trajanja je isti za sve scenarije, dok je pretpostavljena učestalost radova održavanja/popravaka drugačija, odnosno za scenarij nedostatka novca prolongirana je, a za scenarij produženog životnog vijeka dogovara se tijekom 80. godine životnog vijeka za dodatnih 30 godina, odnosno 130 godina trajanja. U analizi okoliša u životnom ciklusu uključene su sve faze životnog ciklusa mostova, od nabave sirovina, proizvodnje materijala i izgradnje konstrukcije, faze korištenja mosta do kraja životnog vijeka (uklanjanja konstrukcije i recikliranja materijala). Prijevoz materijala i opreme je uključen. Metodologija za procjenu utjecaja koristi sljedećih 7 indikatora okoliša: potencijal globalnog zatopljanja (eng. *Global Warming Potential* – GWP), potencijal zakiseljavanja (Acidification Potential – AP), potencijal eutrofikacije (eng. *Eutrophication Potential* – EP), fotokemijski potencijal stvaranja ozona (eng. *Photo Ozone Creation Potential* – POCP), potencijal razgradnje ozonskog omotača (eng. *Ozone Depletion Potential* – ODP) i potencijal abiotičkog iscrpljivanja (eng. *Abiotic Depletion Potential* – ADP).

Prema [22], u trošak cijelog životnog vijeka (WLC) ubraja se nekonstrukcijski trošak, trošak životnog ciklusa (LCC), zarada i indirektni troškovi. Dalje se trošak životnog ciklusa (LCC) dijeli na izgradnju, održavanje, korištenje, posjedovanje i kraj životnog vijeka.

Faza izgradnje uključuje troškove vezane uz izgradnju čelično-betonskog spregnutog mosta i uglavnom uključuje troškove za temelje, donji ustroj s upornjacima, pilote i ležajeve, gornji ustroj s čeličnim nosačem/sandukom (za spregnuti most), betonsku ploču i opremu. Troškovi trebaju uključivati sve materijale i troškove rada koji su potrebni za svaku komponentu. Većina građevinskih materijala troši energiju za proizvodnju i transport. Ovaj se aspekt uzima u obzir u [27] množenjem svih troškova materijala za gradnju i popravke s koeficijentom zbog potrošnje energije za proizvodnju i transport. Korištenje neobnovljivih materijala uzima se u obzir uključivanjem troškova reprodukcije ili ponovne upotrebe materijala kada je konstrukcija uklonjena. U **fazi korištenja** pregledi mostova su bitni za utvrđivanje intervencijskih strategija. Strategije pregleda (intenziteti i učestalosti pregleda) mogu se razlikovati

ovisno o klimatskim uvjetima i strategijama prioriteta koji odgovaraju svakoj zemlji (Woodward 1997). Za **kraj životnog vijeka** pretpostavlja se da će čelična konstrukcija biti ponovno korištena, dok se betonski i bitumenski ostali dijelovi spregnutog mosta odvoze na područja za odlaganje otpada. Troškovi u ovom slučaju trebaju uzeti u obzir troškove demontaže mosta (rad, oprema, signalizacija na cesti), trošak prijevoza i trošak odlaganja materijala i/ili prihoda zbog recikliranja materijala. Budući da su troškovi u LCC analizi nastali u različitim vremenskim točkama, potrebno je pretvoriti sve vrijednosti troškova u vrijednost u zajedničkoj vremenskoj točki. Postoji nekoliko metoda od kojih su neke: metoda povrata (eng. *The payback method*), ekvivalentni godišnji troškovi (eng. *The equivalent annual costs*), interna stopa povrata (eng. *The internal rate of return*), pristup neto sadašnje vrijednosti (eng. *The net present value*). Za analizu socijalnih komponenata životnog ciklusa razmatraju se obvezni i dodatni indikatori. U obvezne indikatore ulaze troškovi kašnjenja vozača, troškovi rada vozila i troškovi prometnih nesreća. Mogu se uzeti u obzir i utjecaji zaobilaženja u slučaju da promet mora biti zaustavljen i preusmjeren na alternativnu cestu. Dodatno vrijeme i dodatna duljina ceste također se mogu uzeti u obzir. Prvi dodatni indikator je buka koja može biti važna ako se mjesto radova nalazi blizu osjetljivog područja ili se radovi obavljaju noću, a drugi estetika ako je namjera da most ima estetsku funkciju osim svoje uobičajene funkcije. Ova dva indikatora obično se ne procjenjuju prema pristupu koji se temelji na životnom ciklusu i oba su subjektivna, što podrazumijeva drugi pristup za njihovu kvantifikaciju i interpretaciju. U ovoj analizi potrebno je izračunati i trenutačni ili budući prosječni dnevni promet (eng. *Average daily traffic* – ADT) izražen u vozilima/danu. Zbog čimbenika kao što su rast stanovništva i gospodarski prosperitet, obujam prometa na mostu može se povećati svake godine i procjenjuje se izrazom: $ADT_t = ADT \times (1 + r_{tg})^{year_t - year_o}$, gdje je ADT_t – prosječni dnevni promet koji se koristi u analizi u godini t (vozila/danu), r_{tg} – očekivana rata prirasta prometa, $year_t$ – godina u kojoj se ADT treba izračunati, $year_o$ – godina u kojoj je ADT izmjeren.

Višekriterijska analiza: Pri uspoređivanju prednost imaju metode nadmašivanja (eng. *Outranking based methods*) u odnosu na metode skupljanja (eng. *Aggregating methods*). Metoda usvojena u ovom istraživačkom projektu je metodologija organizacije prioriteta rangiranja procjene obogaćivanja (eng. *Preference Ranking Organization Methodology of Enrichment Evaluation* – PROMETHEE). Pregled metodologije i primjene PROMETHEE može se naći u [28]. Pri korištenju metode PROMETHEE, potrebno je osigurati dodatne informacije između kriterija i unutar svakog kriterija. Informacije između kriterija dane su težinskim faktorima ($w_j = 1, 2, \dots, k$) koji predstavljaju relativnu važnost svakog kriterija. Za analizu se razmatraju različiti scenariji: scenarij 1 uzima u obzir jednaku važnost za tri glavna kriterija: ekološki, ekonomski i troškove korisnika ($1/1/1$), scenarij 2 uzima u obzir veću važnost kri-

terija okoliša u odnosu na ekonomski i troškove korisnika (2/1/1), scenarij 3 uzima u obzir veću važnost ekonomskog kriterija u odnosu na ekološki i troškove korisnika (1/2/1), scenarij 4 uzima u obzir veću važnost za troškove korisnika u odnosu na ekološke i ekonomske kriterije (1/1/2).

Razvijen je i SBRI-TOOL programski alat u operativnom sustavu iOS. U programu će se korisniku dati tri unaprijed definirana scenarija održavanja, ovisno o životnom vijeku različitih komponenti mosta. Isto tako, napravljeni su dostupni scenariji za različite materijale za kraj životnog vijeka. Razmatrani su sljedeći slučajevi: slučaj A – nadvožnjaci na autocestama, slučaj B – veliki cestovni mostovi, slučaj C1 – cestovni mostovi s više raspona, slučaj C2 – mali cestovni mostovi s jednim rasponom. Prema [23] SBRI+, u Priručniku za projektiranje II, glavni cilj su daljnje proširene analize mostova ne samo standardnih situacija pločastih mostova koji su proučavani u prethodnom projektu [22] nego također proučavanje izgrađenih mostova diljem Europe s realnim podacima i postojećim situacijama mostova kao što su uvjeti prometa, pregleda i održavanja. Stoga je analizirano nekoliko tipova mostova i inovacija: slučaj D - integralni nadvožnjak preko autoceste gdje su uzeti u obzir i vruće cinčani nosači, i slučaj E - pre-cobeam most (montažni spregnuti nosač) s inovativnom posmičnom vezom.

4 Zaključak

U kontekstu održivog razvoja koje implicitno sadrži i projektiranje održive infrastrukture, pristup projektiranju nadilazi uobičajene proračune pouzdanosti, otpornosti, stabilnosti kao i kriterij najniže početne cijene projekta. Ispravan način održivog projektiranja mostova se treba promatrati kroz interakciju aspekata okoliša, društva i ekonomije, pri čemu je njihova interakcija nužna jer svi aspekti trebaju biti zadovoljeni u određenoj mjeri, odnosno imati pozitivan utjecaj na sustav. Mostovi su dugotrajne građevine i iznimno je važna ravnoteža između ovih dimenzija implementirana kroz cijeli životni vijek projekta, od projektiranja, izgradnje, korištenja, do uklanjanja i recikliranja. Pri tome treba voditi računa o promjeni uvjeta tijekom životnog vijeka i obratiti pozornost na projektiranje sa što manjom osjetljivošću na faktore koji bi mogli biti kroz dugoročni period promijenjeni, a dosad su prepoznati kao takvi, kao što su klimatski uvjeti, porast broja stanovnika, ograničeni resursi, povećanje prometnog opterećenja na mostove i drugi. Možemo zaključiti da je održivo projektiranje sustav koji teži prema ravnoteži kroz interakciju tri osnovne dimenzije održivosti, i koji se kao takav može kvantitativno vrednovati što je bitan element u daljnjem razvijanju ovakvog pristupa projektiranju. Tehnologija gradnje mostova bi trebala biti takva da što manje ometa već postojeći promet, odnosno njegove korisnike, ne stvara gužve, zagušenja prometa i dodatne troškove za korisnike. Most bi s obzirom na projektirani dugi životni vijek trebalo projektirati na način da svojom konstrukcijom "dopusti" što manje oštećenja i degradacije, kako bi zahtijevao što

manje intervencija za održavanjem i popravcima, a time pridonio smanjenju negativnih utjecaja na okoliš kroz smanjenje emisija štetnih plinova te racionalnijih procesa proizvodnje i potrošnje materijala, ekonomiju kroz smanjenje troškova i društvo kroz neometanje prometa, sigurnost i mobilnost korisnika i dodatnih troškova. U radu su prikazana dva različita pristupa ocjenjivanju održivosti mostova. Oba zahtijevaju dostupnost brojnim podacima o samom infrastrukturnom projektu, ali i šire. Drugi pristup specijaliziran je za različite varijante mostova i koristi holistički pristup analiza životnog ciklusa, te ih rangira po višekriterijskoj analizi. Budući da se prvim pristupom potiču inovativna rješenja pri projektiranju infrastrukturnih projekata koja kao krajnji cilj imaju ne samo smanjivanje negativnih utjecaja projekta na koncept održivosti, već koja po mogućnosti postaju obnovljiva (taj pristup postaje vrlo aktualan). Stoga će se daljnja istraživanja fokusirati upravo na navedeni pristup i njihovu implementaciju u specijalizirani pristup projektiranja mostova kao dijela prometne infrastrukture, koja će se po mogućnosti primijeniti na različite nosive sustave, materijale i/ili elemente mosta.

Literatura

- [1] Declaration of the United Nations Conference on the Human Environment, <http://www.un-documents.net/unchedec.htm>, Stockholm, Sweden, 5-16 June 1972.
- [2] Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- [3] United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), Rio de Janeiro, 3-14 June 1992, The Earth Summit, <http://www.un.org/geninfo/bp/enviro.html>
- [4] United Nations Millennium Declaration, <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.htm>
- [5] RH ministarstvo vanjskih i unutarnjih poslova, <http://www.mvep.hr/hr/vanjska-politika/multilateralni-odnosi0/globalne-teme/odrzivi-razvoj/>
- [6] World Summit on Sustainable Development (WSSD), Johannesburg, <https://www.earthsummit2002.org/>
- [7] Odras.hr, Globalni ciljevi održivog razvoja do 2030., Priredila: Lidija Pavić-Rogošić, Suradnice: Višnja Jelić Mück, Martina Jagnjić, Zagreb, studeni 2015.,
- [8] 2030 Agenda for sustainable development, 17 goals to transform our world, UN, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda/>
- [9] Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
- [10] Primer on The Sustainability Considerations for Bridges; Transportation Association of Canada; October 2015

- [11] Civil Engineering Environmental Quality Assessment and Award Scheme, UK, <http://www.ceequal.com/>
- [12] Infrastructure Sustainability Council of Australia (ISCA), <http://www.isca.org.au/>
- [13] Infrastructure Sustainability Rating tool Materials Calculator Guideline, developed by Edge Environment for the Infrastructure Sustainability Council of Australia, ISCA, 20/02/2015
- [14] Envision rating system, <https://sustainableinfrastructure.org/envision/>
- [15] Zofnass Program for Sustainable Infrastructure at the Harvard University Graduate School of Design, <https://research.gsd.harvard.edu/zofnass/>
- [16] Institute for sustainable infrastructure (ISI), <https://sustainableinfrastructure.org/>
- [17] Envision rating system for sustainable infrastructure v2, 2015. <https://sustainableinfrastructure.org/portal/files/GuidanceManual.pdf>
- [18] Envision sustainable infrastructure framework, version 3, 2018. , <https://sustainableinfrastructure.org/envision-version-3/>
- [19] Ohio River Bridges – East End Crossing Earns the Envision Platinum Award, <https://sustainableinfrastructure.org/envision/project-awards/ohio-river-bridges-east-end-crossing/>
- [20] WVB East End Partners, <http://eastendcrossing.com/>
- [21] New Champlain Bridge Corridor, <https://sustainableinfrastructure.org/envision/project-awards/new-champlain-bridge-corridor/>
- [22] SBRI +: Valorizacija spoznaja o održivosti spregnutih mostova u izgrađenom okolišu - Priručnik za projektiranje I, Opće informacije i riješeni primjeri, urednici hrvatskog izdanja: Dujmović, D., Lukačević, I., 1. izdanje, travanj 2018.,
- [23] SBRI +: Valorizacija spoznaja o održivosti spregnutih mostova u izgrađenom okolišu - Priručnik za projektiranje II, Napredne primjene, urednici hrvatskog izdanja: Dujmović, D., Lukačević, I., 1. izdanje, travanj 2018.,
- [24] ISO 14040 – Environmental management – life cycle assessment – Principles and framework, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006
- [25] ISO 14044 - Environmental management – life cycle assessment – Requirements and guidelines, Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, 2006
- [26] EUR 26322, Sustainable steel-composite bridges in built environment (SBRI), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2013.
- [27] Salokangas, H.: ETSI PROJECT (STAGE II) Bridge Life CYCLE Optimisation., Espoo, Finland.: Helsinki University of Technology Publications in Bridge Engineering, TKK-R-BE3.,2009.
- [28] Behzadian, M., Kazemzadeh, R., Albadvi, A., Aghdasi, M.: PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications, European Journal of Operational Research, 200 (2010), pp. 198-215.