

Упоредна анализа традиционалних и хибридних опораца за мостове применом вишекритеријумског одлучивања

Comparative Analysis of Traditional and Hybrid Bridge Abutments Using Multi-Criteria Decision-Making Methods

Јована Тепавчевић, Факултет техничких наука, Нови Сад

**Студијски програм – ТЕХНОЛОГИЈА И
ОРГАНИЗАЦИЈА ГРАЂЕЊА**

Кратак садржај – У раду је приказана упоредна анализа традиционалних армиранобетонских и хибридних опораца типа армираног тла применом метода вишекритеријумског одлучивања. Анализа је спроведена на примеру моста у Триполију кроз вредновање техничких, економских и геотехничких критеријума. Резултати TOPSIS и LCC анализа показали су да хибридни систем остварује боље укупне перформансе у односу на традиционални систем опораца.

Кључне речи: мостови, опорци, вишекритеријумска анализа, армирано тло

Abstract– This paper presents a comparative analysis of traditional reinforced concrete abutments and hybrid Reinforced Earth bridge abutments using multi-criteria decision-making methods. The analysis was conducted through a case study of a bridge project in Tripoli, considering technical, economic and geotechnical criteria. The results of TOPSIS and Life-Cycle Cost analyses show that the hybrid system provides better overall performance than the traditional solution.

Keywords: bridges, bridge abutments, multi-criteria analysis, reinforced earth

НАПОМЕНА: Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Милан Тривунић, ред.проф.

1. УВОД

Избор оптималног типа опораца представља један од значајних задатака у процесу пројектовања мостова, јер директно утиче на стабилност конструкције, начин преноса оптерећења, трошкове изградње и понашање објекта током експлоатације. Опорци имају кључну улогу у обезбеђивању сигурног преноса вертикалних и хоризонталних оптерећења са мостовске конструкције на темељно тло, па њихов избор значајно утиче на укупне перформансе и трајност моста.

Поред традиционалних армиранобетонских опораца, који су дуго представљали стандардно решење у

мостоградњи захваљујући својој крутости и поузданости, у савременој пракси све већу примену налазе хибридни системи засновани на технологији армираног тла. Ови системи омогућавају ефикасније коришћење материјала, бржу изградњу и боље прилагођавање неповољним геотехничким условима, што их чини атрактивном алтернативом конвенционалним решењима.

С обзиром на различите конструктивне, економске и функционалне карактеристике ових система, њихово вредновање не може се заснивати само на једном критеријуму. Због тога је неопходно применити методе вишекритеријумског одлучивања које омогућавају истовремено разматрање више фактора и објективније доношење одлука.

Циљ рада је упоредна анализа традиционалних и хибридних опораца применом Life-Cycle Cost (LCC) и TOPSIS метода на примеру изградње моста у Триполију. Кроз анализу техничких, економских и геотехничких критеријума извршено је рангирање разматраних алтернатива и утврђено које решење показује најповољније укупне перформансе за посматране услове изградње.

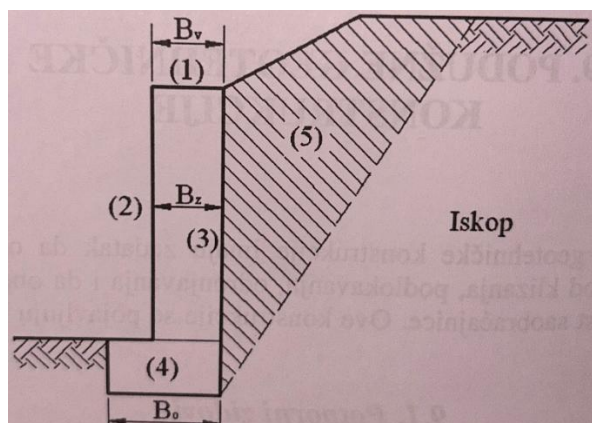
2. УПОРЕДНА АНАЛИЗА ОПОРАЦА МОСТОВА

2.1. Анализирана конструктивна решења

У раду су разматрана два конструктивна решења мостовских опораца. Прву алтернативу представља класични армиранобетонски опорац изведен методом бетонирања на лицу места, док другу алтернативу представља хибридни опорац, заснован на технологији армираног тла.

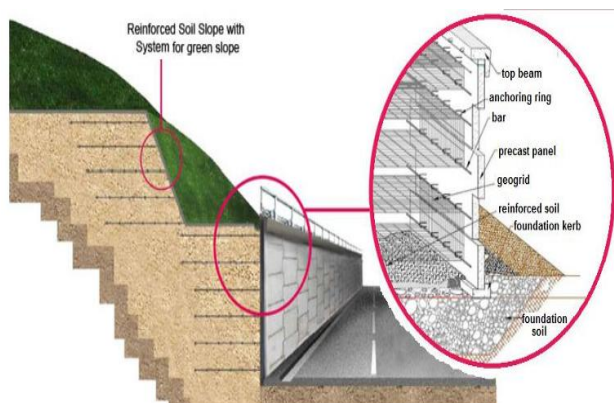
Традиционални армиранобетонски опорци представљају једно од најчешће примењиваних решења у мостоградњи због дугогодишњег искуства у пројектовању и експлоатацији. Њихова основна предност огледа се у високој носивости и добро познатом конструктивном понашању, што омогућава једноставнију контролу прорачуна и извођења. Међутим, велики сопствени терет конструкције доводи до повећаних притисака на темељно тло, што може представљати ограничење код објеката који се граде на слабијим геотехничким подлогама [1,4]. На

приказаној слици 1 можемо видети основне геометријске елементе овог система.



Слика 1. Геометријски елементи традиционалног армиранобетонског опорца [1]

Са друге стране, код хибридног система носивост се остварује кроз интеракцију насипа и армирајућих елемената, док бетонски панели имају претежно заштитну и архитектонску функцију. Овај приступ доводи до значајно мањих притисака на темељно тло и повољније расподеле напона у конструкцији [2,3]. Са слике 2, можемо видети принцип функционисања оваквог типа система.



Слика 2. Принцип функционисања хибридних система [2]

2.2. Критеријуми вредновања

За потребе анализе дефинисани су критеријуми који обухватају конструктивне, технолошке и економске аспекте. Усвојени су критеријуми приказани у Табели 1.

Табела 1. Критеријуми коришћени у TOPSIS анализи

Ознака	Критеријум	Тип
K1	Потрошња материјала	минимизација

K2	Стабилност	максимизација
K3	Брзина извођења	максимизација
K4	Сложеност извођења	минимизација
K5	Деформације и слегања	оптимизациони
K6	Инспекција и контрола	максимизација
K7	Life-Cycle Cost (LCC)	минимизација

Анализирани критеријуми омогућавају свеобухватно вредновање конструктивних решења, јер обухватају не само почетне трошкове изградње већ и понашање система током читавог животног века конструкције.

2.3. Студија случаја – мост у Триполију

Практична анализа спроведена је на примеру изградње моста у урбаном подручју Триполија. Пројекат карактеришу ограничени просторни услови, значајна саобраћајна оптерећења и сложени геотехнички услови, што избор типа опорца чини једним од кључних проблема пројектовања.

Код традиционалног система утврђена је укупна количина бетона од приближно 37,4 m³, док хибридни систем захтева око 9,2 m³ бетона. На овај начин остварено је смањење потрошње бетона од приближно 75 %, што представља значајну предност у погледу економичности и одрживости.

Са аспекта технологије грађења, традиционални систем захтева израду оплуте, армирање, бетонирање и време неопходно за очвршћавање бетона. Хибридни систем омогућава континуирано извођење кроз слојевито насипање, уградњу арматуре и монтажу панела, услед чега је извођење радова значајно брже [3].

Анализа деформација и слегања показала је да хибридни систем боље подноси неравномерна слегања захваљујући својој флексибилности, док су традиционални системи осетљивији на диференцијална слегања због своје крутости. Ово представља значајну предност при изградњи на слабијим и хетерогеним темељним тлима [5].

Табела 2. Сумарно поређење анализираних система

Критеријум	A1	A2	Предност
Потрошња материјала	Висока	Ниска	A2

Стабилност	Веома висока	Висока	A1
Брзина извођења	Спора	Врло брза	A2
Деформације и слегања	Неповољније	Повољније	A2
Контрола квалитета	Једноставнија	Сложенија	A1
LCC	Виши	Нижи	A2

Из приказаних резултата види се да хибридни систем остварује предност у већини анализираних критеријума, док традиционални систем задржава предност у погледу стабилности и контроле квалитета.

Посматрани пројекат представља типичан пример урбаног инфраструктурног објекта код кога се истовремено јављају високи захтеви у погледу носивости, ограничен простор за изградњу и потреба за скраћивањем рокова реализације. У таквим условима избор опорца не утиче само на цену конструкције већ и на организацију градилишта, употребу механизације и динамику извођења радова [4].

Поред техничких карактеристика, код савремених инфраструктурних пројеката све већи значај имају критеријуми одрживости и утицаја на животну средину. С обзиром да хибридни систем користи знатно мању количину бетона и већи удео локалног насипног материјала, његова примена може допринети смањењу емисије угљен-диоксида током изградње и транспортних трошкова материјала [3,5].

2.4. Резултати LCC и TOPSIS анализе

У циљу економског вредновања конструктивних решења спроведена је Life-Cycle Cost анализа. У обзир су узети почетни трошкови изградње, трошкови одржавања, санација, ризика отказа и краја животног циклуса конструкције. Добијени резултати приказани су у Табели 3.

Табела 3. Резултати LCC анализе

Систем	Укупни LCC (€)
A1	≈ 30.400
A2	≈ 20.900

Хибридни систем остварује приближно 31 % ниже трошкове током животног циклуса конструкције, пре свега захваљујући нижим трошковима одржавања и једноставнијим санационим интервенцијама.

За коначно рангирање алтернатива примењена је TOPSIS метода. Након нормализације критеријума и примене тежинских коефицијената добијени су коефицијенти блискости идеалном решењу приказани у Табели 4.

Табела 4. Резултати TOPSIS анализе

Алтернатива	Коефицијент блискости С	Ранг
A2	0,742	1
A1	0,258	2

Резултати показују да алтернатива A2 има значајно већу блискост идеалном решењу. Предност је остварена пре свега захваљујући мањој потрошњи материјала, бржем извођењу, повољнијем понашању при слегањима и нижим трошковима током животног циклуса објекта.

TOPSIS метода омогућила је истовремено разматрање више критеријума различите природе и њихово обједињавање у јединствени модел одлучивања. За разлику од избора заснованог на само једном критеријуму, као што је цена изградње или стабилност, оваквим приступом је могуће сагледати укупан квалитет сваког решења и донети објективнију инжењерску одлуку [4].

Добијени резултати потврђују да хибридни систем остварује предности у већини анализираних критеријума, док традиционални армиранобетонски опорац остаје конкурентно решење у случајевима када су крутост конструкције, могућност инспекције и висок степен контроле квалитета доминантни захтеви пројекта [1,4].

3. ЗАКЉУЧАК

Спроведена анализа показала је да хибридни опорци типа армирано тло представљају веома конкурентно решење у савременој мостоградњи. У односу на традиционалне армиранобетонске опорце остварују значајно мању потрошњу материјала, бржу изградњу, повољније понашање при слегањима и ниже трошкове током животног циклуса конструкције.

Са друге стране, традиционални системи задржавају предности у погледу крутости, робусности и једноставније контроле квалитета. Због тога избор оптималног решења мора бити прилагођен конкретним пројектним условима, геотехничким карактеристикама локације и захтевима инвеститора. Резултати TOPSIS анализе показали су да хибридни систем остварује коефицијент блискости идеалном решењу од 0,742, док традиционални систем има вредност 0,258.

На основу тога може се закључити да је за анализирани случај моста у Триполију хибридни систем оптимално решење. Примена метода вишекритеријумског одлучивања показала се као ефикасан инструмент за доношење објективних и технички оправданих инжењерских одлука.

Посебан значај спроведеног истраживања огледа се у примени реалних пројектних података и истовременом разматрању већег броја критеријума који утичу на избор конструктивног решења. Комбиновањем техничких, економских и геотехничких показатеља омогућено је свеобухватније сагледавање предности и ограничења анализираних система, што представља поузданију основу за доношење инжењерских одлука у односу на приступе засноване на једном критеријуму.

Добијени резултати потврђују да системи од армираног тла имају значајан потенцијал за ширу примену у савременој мостоградњи, посебно у условима слабих темељних тла, потребе за убрзаном изградњом и захтева за смањењем трошкова током експлоатације објекта. Захваљујући својој флексибилности и способности прилагођавања слегањима, ови системи могу представљати економично и технички оправдано решење у бројним инфраструктурним пројектима. Иако хибридни систем у анализи показује боље укупне резултате, традиционални армиранобетонски опорци и даље имају значајну улогу у пракси, нарочито код објеката са високим захтевима у погледу крутости конструкције, контроле квалитета и дугорочне предвидивости понашања. Стога се избор оптималног система не може посматрати универзално, већ мора бити условљен специфичностима сваког појединачног пројекта.

На крају, може се закључити да примена метода вишекритеријумског одлучивања омогућава рационалнији и објективнији избор мостовских опораца, уз истовремено уважавање техничких, економских и експлоатационих захтева. Овакви приступи могу значајно допринети оптимизацији пројектантских решења и унапређењу процеса доношења одлука у савременој мостоградњи.

4. ЛИТЕРАТУРА

[1] Dragan Č. Lukić, Petar V. Anagnosti. *Geotehnika saobraćajnica*. Beograd : s.n., 2010.

[2] Bonić, Prof. dr Zoran. Potporne konstrukcije. (pristupljeno u julu 2026.)

https://project.gaf.ni.ac.rs/ecivil/sites/default/files/2020-03/Potporne%20konstrukcije%201_prof.%20Zoran%20%20Bonic.pdf.

[3] Reinforced Earth Company Ltd. Bridge Abutments. Reinforced Earth Company Ltd., Mississauga, Ontario, Canada. Dostupno u tehničkom priručniku „Bridge Abutments“

[4] AASHTO. *LRFD Bridge Design Specifications*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C., USA.

[5] Schlosser, F., Guilloux, A., Long, N.T., Vegaey, J. Reinforced Earth Bridge Abutments. Terre Armée Internationale, Paris, France. Technical Paper No. 5.01, Reinforced Earth Bridge Abutments.

Кратка биографија:



Јована Тепавчевић
рођена је у Новом Саду
2001. год. Мастер рад на
тему „Упоредна анализа
традиционалних и
хибридних опораца за
мостове применом
вишекритеријумског
одлучивања“ на Факултету
техничких наука из
области Грађевинарства
одбранила је 2026. године.
Контакт:
tepavcevicj01@gmail.com