

Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode

Vlašić, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:303524>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





Završni rad br. 252/GR/2016

Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode

Goran Vlašić, 0427/336

Varaždin, rujan 2018. godine

Sveučilište
SjeverSVEUČILIŠTE
SIEVERIZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Goran Vlašić (*ime i prezime*) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode (*upisati naslov*) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

Goran Vlašić

(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Goran Vlašić (*ime i prezime*) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode (*upisati naslov*) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(*upisati ime i prezime*)

Goran Vlašić

(vlastoručni potpis)



**Sveučilište
Sjever**

Odjel za Graditeljstvo

Završni rad br. 252/GR/2016

Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode

Student

Goran Vlašić, 0427/336

Mentor

doc. dr. sc. Lovorka Gotal Dmitrović, dipl.ing.kem.tehn.

Varaždin, rujan 2018. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

PRISTUPNIK Goran Vlašić

MATIČNI BROJ 0427/336

DATUM 5.04.2016.

KOLEGIJ Gospodarenje otpadom

NASLOV RADA Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Choosing the right road surface with the AHP method

MENTOR dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović

ZVANJE predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. izv.prof.dr.sc. Božo Soldo
2. Nikola Hrnčić, pred.
3. dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović
4. mr.sc. Ivica Mustać, v.pred. - rezervni član
5. _____

Zadatak završnog rada

BROJ 252/GR/2016

OPIS

Na početku rada potrebno je opisati metodu analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP metodu). Navesti cilj, te kriterije i alternative. Opisati kriterije kao i podkriterije koji se ocjenjuju. Kao kriterije koristiti: ekološki, ekonomski, sociološki i organizacijski kriterij. Pod alternative odabrati barem četiri različitih alternativa od kojih jedna mora biti korištenje otpadnog građevinskog otpada. U nastavku provesti ocjenjivanje sukladno Saaty-jevoj skali za kriterije te za alternative. Objasniti proceduru donošenja odluke pomoću AHP metode na primjeru izgradnje gornjeg stroja ceste. Donijeti zaključak koji je kriterij dominantan kod donošenja odluke, kao i koja alternativa je najprihvatljivija prema navedenim kriterijima.

1. U radu je potrebno opisati metodu analitičkog hijerarhijskog procesa (AHP metodu)
2. Definirati cilj te navesti kriterije i alternative
3. Opisati kriterije (ekološki, ekonomski, sociološki i organizacijski) i podkriterije
4. Opisati alternative, od kojih je jedna korištenje otpadnog građevinskog otpada
5. Provesti ocjenjivanje kriterija i alternativa pomoću Saaty-jeve skale
6. Donijeti zaključak o dominantnosti kriterija te o prihvatljivosti alternativa za korištenje kod izgradnje gornjeg ustroja ceste.

ZADATAK URUČEN

31.4.2016



Sažetak

DONOŠENJE ODLUKE O MATERIJALU GORNJEG USTROJA CESTE POMOĆU AHP METODE

AUTOR RADA: GORAN VLAŠIĆ

MENTOR: doc. dr. sc. LOVORKA GOTAL DMITROVIĆ, dipl.ing.kem.tehn.

Sažetak: Koristimo AHP metodu za odabir najpovoljnijeg materijala gornjeg ustroja ceste. Odabrani kriteriji koje uzimamo u obzir su ekološki, ekonomski, sociološki i organizacijski kriterij. Asfalt, beton, kamen i reciklirani materijal odabrane su alternative. Opisujemo AHP metodu, kriterije i alternative. Provodimo analizu sa danim kriterijima i alternativama koristeći se Saaty-evom skalom relativne važnosti. Uspoređivanjem rezultata dolazimo do zaključka da je reciklirani materijal najpovoljniji materijal za gornji ustroj ceste.

Ključne riječi: AHP, metoda, ekološki, ekonomski, sociološki, organizacijski, kriterij, asfalt, beton, kamen, recikliran, prometnica, kolnička konstrukcija, Satty

Summary: We use the AHP method to select the best material of the upper road structure. Selected criteria that we take into account are the ecological, economic, sociological and organizational criteria. Asphalt, concrete, stone and recycled materials have chosen alternatives. We describe the AHP method, criteria and alternatives. We conduct an analysis with given criteria and alternatives using Saaty's scale of relative importance. By comparing the results we come to the conclusion that recycled material is the most advantageous material for the upper structure of the road.

Keywords: AHP, method, ecological, economical, sociological, organizational, criterion, asphalt, concrete, stone, recycled, roads, pavement construction, Satty

Sadržaj

| | |
|--|--------|
| 1.Uvod | - 8 - |
| 2. Opis AHP metode | - 10 - |
| 3. Opis kriterija | - 13 - |
| 3.1. Ekološki kriterij | - 13 - |
| 3.2. Ekonomski kriterij | - 13 - |
| 3.3. Sociološki kriterij | - 14 - |
| 3.4. Organizacijski kriterij | - 14 - |
| 4. Opis alternativa | - 15 - |
| 4.1. Asfaltni kolnici | - 15 - |
| 4.2. Betonski kolnici | - 22 - |
| 4.3. Kameni kolnici | - 25 - |
| 4.4. Kolnici od recikliranog materijala | - 28 - |
| 5. Ocjenjivanje kriterija i alternativa pomoću Saaty-jeve skale | - 32 - |
| 5.1. Ocjenjivanje kriterija | - 32 - |
| 5.2. Ocjenjivanje alternativa | - 33 - |
| 5.2.1. Ocjenjivanje alternativa po ekološkom kriteriju | - 33 - |
| 5.2.2. Ocjenjivanje alternativa po ekonomskom kriteriju | - 34 - |
| 5.2.3. Ocjenjivanje alternativa po organizacijskom kriteriju | - 35 - |
| 5.2.4. Ocjenjivanje alternativa po sociološkom kriteriju | - 36 - |
| 5.3. Analiza rezultata | - 37 - |
| 6. Zaključak | - 39 - |
| 7. Popis izvora | - 41 - |
| 8. Popis slika i tabela | - 42 - |

1.Uvod

Ceste odnosno kolničke konstrukcije jedan su od temelja prometa među ljudima već od samih početaka civilizacije. Razmjenom dobara, razvitakom sela i gradova te samom pojavom kotača i zaprežnih vozila uvjetovano je poboljšanje prometnica kao i tehnologija izgradnje istih. Pretečom moderne izgradnje prometnica možemo smatrati Rimljane koji su tokom svoje vladavine izgradili oko 80.000 kilometara cesta na području koje danas pokriva 30 država. Iako je njihova namjena bila prvenstveno u vojne svrhe tehnologija gradnje kolnika sa čvrstom podlogom održana je do danas.

Takozvane „rimске ceste“ bile su prvenstveno od kamenog materijala, odnosno makadamske kolničke konstrukcije. Početkom 20. stoljeća dolazi do potrebe za kolnicima sa jačom kolničkom konstrukcijom te se počinju graditi ceste od asfalta, betona i sličnih materijala. Samim time se promijenio način projektiranja prometnica ali su os ceste kao i dobra podloga kolničke konstrukcije ostali glavni elementi modernih kolnika.

Betonski i asfaltni kolnici su uvelike poboljšali kvalitetu samih prometnica i povećali njihovu eksploataciju. Stalnim razvojem tehnologije i konstantnim usavršavanjem postavljeni su novi standardi u cestogradnji. Značajne prednosti asfaltnih i betonskih kolnika kao što su dugotrajnost, ekonomičnost i udobnost u vožnji u odnosu na kamene odnosno makadamske kolnike potpuno su izbacili kameni kolnik kao alternativu prilikom izgradnje nove prometnice.

Postupak izgradnje današnjih modernih prometnica nije se uvelike promijenio u odnosu na postupak koji se počeo primjenjivati početkom 20. stoljeća. Najveća promjena u izgradnji modernih kolničkih konstrukcija je u samom odabiru materijala potrebnih za gradnju istih. Sve manja dostupnost prirodnih materijala ali i briga za okoliš primorali su cestograditelje na traženje alternativa.

Reciklirani materijali sve se više koriste ne samo u graditeljstvu nego i u svim ostalim granama gospodarstva. Kolnici od recikliranog asfalta nisu više samo alternativa u modernoj cestogradnji nego standard kojemu se teži. Razvojem modernih tehnika i tehnologija reciklirani materijali lako se implementiraju u proces izgradnje novih ili sanacija postojećih prometnica. Pravilnom tehnikom recikliranja, kamen, beton i asfalt zadovoljavaju sve tražene standarde u pogledu čvrstoće i elastičnosti a daljnim razvojem tehnologije povećavamo i ekonomsku prednost nad ostalim materijalima. Manja štetnost za okoliš i smanjenje korištenja prirodnih resursa još su jedan od razloga uzimanja recikliranog materijala u obzir prilikom izgradnje prometne infrastrukture.

Odabir najpogodnijeg materijala za izgradnju moderne kolničke konstrukcije jedna je od najvažnijih odluka u procesu izgradnje. Iako nema univerzalne metode koja će zadovoljiti sve tražene standarde, pomoću postavljenih kriterija i metode višekriterijskog odlučivanja, možemo izabrati najpovoljniju alternativu odnosno najpovoljniji materijal za izgradnju prometnice. Jedna od metoda koja nam omogućuje provođenje takve analize je AHP metoda odnosno metoda analitičkog hijerarhskog procesa.

Tema diplomskog rada je „**Donošenje odluke o materijalu gornjeg ustroja ceste pomoću AHP metode**“

U ovom radu, koristeći se AHP metodom, potrebno je izabrati najpovoljniji materijal za izgradnju nove prometnice a alternative su nam kamen, asfalt, beton i reciklirani materijal. Odluku donosimo vrednovanjem alternativa pomoću kriterija. Odabrani kriteriji su ekonomski, ekološki, organizacijski i sociološki a ocjenjujemo ih pomoću Saaty-eve skale relativne važnosti.

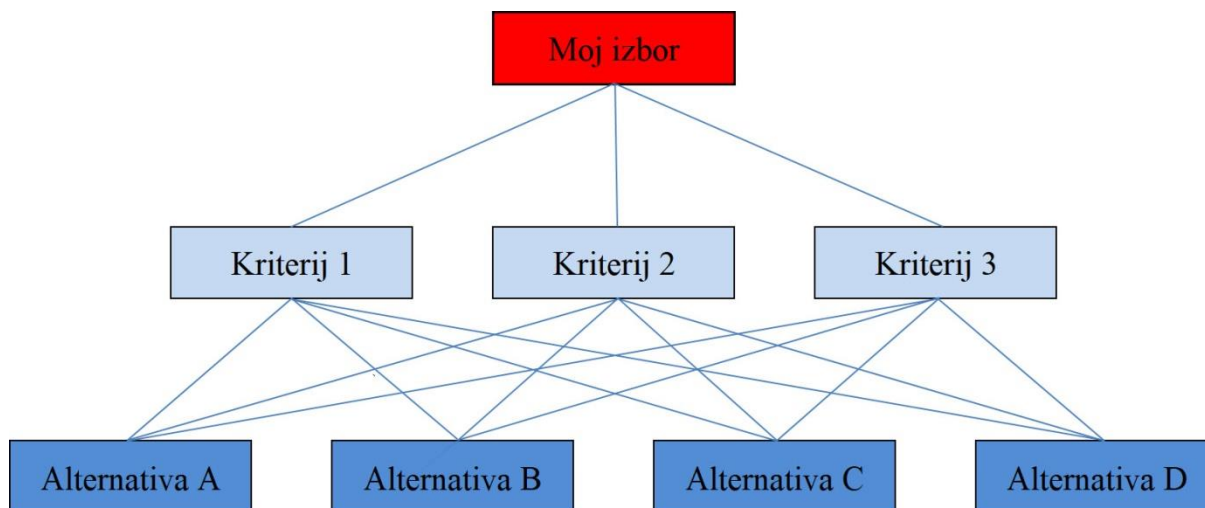
Nakon detaljnog opisa same AHP metode, kao i opisa svih kriterija i alternativa provodimo njihovo ocjenjivanje. Zbog više postavljenih kriterija, koji se čak međusobno suprotstavljaju, ova analiza se naziva višekriterijalnom. Cilj ovog postupka je donošenje pravilnog i kvalitetnog rješenja, odnosno pravilnog odabira materijala za izgradnju gornjeg ustroja ceste među danim alternativama.

2. Opis AHP metode

AHP metoda je metoda analitičkog hijerarhijskog procesa (engl. *The Analytic Hierarchy Process*) te je kao takva najpoznatija i najkorištenija metoda za višekriterijsko odlučivanje. Kreirao ju je Thomas Saaty sedamdesetih godina dvadesetog stoljeća, pa se prema svome tvorcu naziva još i Saaty-eva metoda.

Prilikom procesa odlučivanja, po hijerarhijskoj strukturi, cilj je na samom vrhu, kriteriji se nalaze na razini ispod, podkriteriji na sljedećoj razini, te se na donjoj razini nalaze alternative (Slika 1). Kod odlučivanja AHP metodom koristi setabelarni zapis podataka za uspoređivanje i rangiranje alternativa, tj. odabire se koja nam je od alternativa u prednosti u odnosu na ostale.

Nakon rangiranja alternativa, uzimajući u obzir sve prednosti i nedostatke pojedine alternative, uspoređuju se kriteriji. Prilikom procesa usporedbe pojedinih kriterija, odnosno vrednovanja jednog u odnosu na drugi, koristi se Saaty-eva skala relativne važnosti.



Slika 1. Hijerarhijska struktura AHP metode (preuzeto: <http://mojizbormojaodluka.net>)

Skala se sastoji od **devet numeričkih ocjena** pomoću koje se donosi odluka razlike intenziteta odnosa između dva elementa tj. kriterija (Tablica 1.). Neparnim brojevima vrednuju se svojstva kojima ona odgovaraju, dok parni brojevi opisuju njihove međuvrijednosti. Težine kriterija, odnosno njihova važnost, određuju se **uspoređivanjem kriterija u parovima**, te određivanjem koliko je jedan kriterij važniji od drugog.

Tablica 1. Saaty-eva skala (preuzeto: <http://repositorij.fsb.hr>)

| Intenzitet važnosti | Definicija | Objašnjenje |
|----------------------------|-------------------------------|--|
| 1 | Jednako važno | Dvije aktivnosti jednako doprinose cilju |
| 3 | Umjereno važnije | Na temelju iskustva i procjena daje se umjerena prednost jednoj aktivnosti u odnosu na drugu |
| 5 | Strogo važnije | Na temelju iskustva i procjena strogo se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu |
| 7 | Vrlo strogo, dokazana važnost | Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, njezina dominacija dokazuje se u praksi |
| 9 | Ekstremna važnost | Dokazi na temelju kojih se favorizira jedna aktivnost u odnosu na drugu, potvrđeni su s najvećom uvjerljivošću |
| 2,4,6,8 | Međuvrijednosti | |
| 1.1 - 1.9 | Decimalne vrijednosti | Pri usporedbi aktivnosti koje su po važnosti blizu jedna drugoj, potrebne su decimalne vrijednosti kako bi se preciznije izrazila razlika u njihovoj važnosti. |

Primjena AHP metode može se opisati kroz 4 koraka. U ta 4 koraka implementiranesu alternative i kriterijivezanim uz ovaj rad.

1.Korak Potrebno je razviti hijerarhijski model odlučivanja s ciljem na vrhu, kriterijima na nižim razinama te alternativom na dnu modela (Slika 2).

U ovom radu, cilj je odabrati najpogodniji materijal za izgradnju gornjeg ustroja ceste.

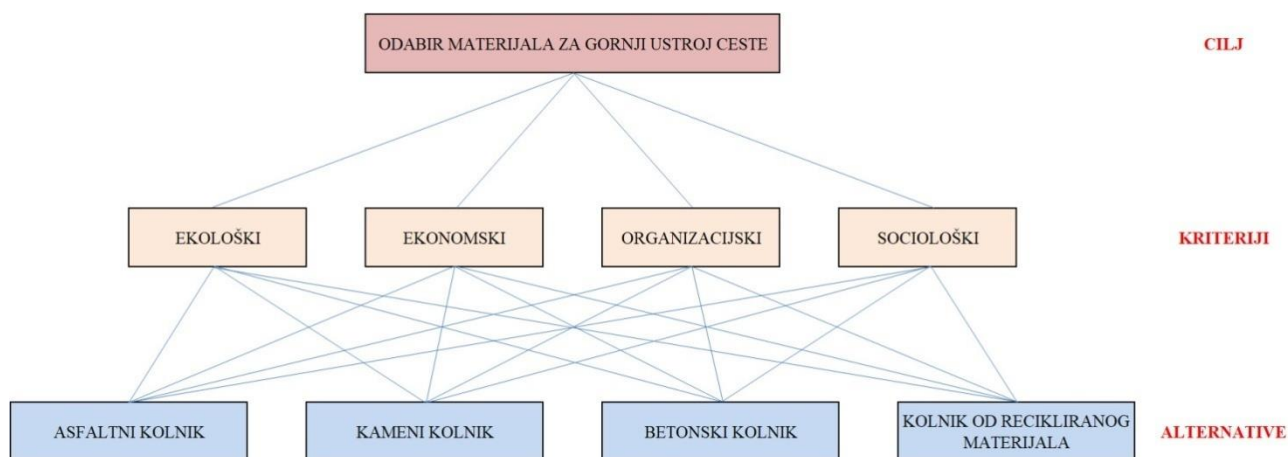
Kriteriji po kojima će biti vrednovane alternative su: ekološki, ekonomski, sociološki, organizacijski

Alternative koje će biti uzimane u obzir su: asfaltni zastor, betonski zastor, kameni zastor, zastor od recikliranog materijala

2.Korak Na svakoj razini hijerarhijske strukture u parovima međusobno se uspoređuju elementi strukture tj. uspoređuju se parovi pomoću Saaty-eve skale relativne vrijednosti u numeričkom rasponu od 1 do 9.

3.Korak Iz procjena relativnih važnosti elemenata odgovarajuće razine hijerarhijske strukture izračunavaju se lokalni prioriteti tj. težine kriterija i alternativa.

4.Korak Provodi se analiza osjetljivosti.



Slika 2.Prikaz hijerarhijske strukture AHP metode prilikom odabira materijala zagornji ustroj ceste

donositelja odluke nakon uspoređivanja kriterija.Zbog svojstava matrice A vrijedi $\lambda_{max} \leq n$. Razlika $\lambda_{max} - n$ se koristi u mjerenju konzistencije procjena. Što je bliža to je prosudba konzistentnija.

3. Opis kriterija

Kriteriji koje ćemo uzimati u obzir su:

ekološki
ekonomski
sociološki
organizacijski

3.1. Ekološki kriterij

Prilikom izgradnje novih prometnica izmjenjuju se postojeća prirodna šumska i travnjačka staništa te dolazi do gubitka manjih površina postojeće vegetacije što predstavlja izravan utjecaj na preostalu vegetaciju kao i na preostale biljne i životinjske vrste

Najpovoljniji materijal, sa ekološkog aspekta je kamen. Njegova najveća prednost od ostalih odabranih materijala (asfalt, beton, reciklirani asfalt) je njegovo prirodno podrijetlo te kao takav najbolje odgovara zahtjevima okoline za koju nije nimalo štetan, odnosno potpuno je inertan.

Uz kamen, **asfalt je najpogodniji materijal za recikliranje** koje se može uspješno obaviti na samom licu mjesta tj. in-situ, što smanjuje potrebu za prijevozom materijala, a u konačnici znatno smanjuje emisiju stakleničkih plinova.

3.2. Ekonomski kriterij

Prilikom uzimanja ekonomskog kriterija u obzir, **kameni i betonski zastori, kao i zastori od recikliranog materijala imaju prednost** nad asfaltnim kolničkim zastorima. Kamen se nalazi u svakom odabranom materijalu za izgradnju gornjeg ustroja ceste.

Proces proizvodnje **odnosno razlika cijene pripreme kamenog materijala**, pogodnog za mješanje asfaltne odnosno betonske smjese ili samostalne ugradnje kao kameni zastor, sa ekonomskog aspekta, **je zanemariva**. Ako se zanemari trošak drobljenja kamena i granuliranja na potrebne veličine zrna koje bi bile pogodne za gornji ustroj ceste, **ugradnja drobljenog kamenog materijala je najekonomičnija**.

Betonski kolnici bez održavanja u prosjeku traju 40, a oni od asfalta 10 godina. Iako je cijena asfaltnih kolnika u početku povoljnija tj. jeftinina prosječno 30%, **asfaltni kolnici zahtijevaju više održavanja** pa konačna isplativost ide u prilog betonskim kolnicima.

Gornji ustroj ceste napravljen od **recikliranog materijala** odnosno recikliranog asfalta je **najpovoljniji odabir**. Sirovina za izradu novog kolnika je dostupna na samom mjestu, a potreba za potrebnom mehanizacijom svedena na minimum (objašnjeno u 3.4. Organizacijski kriterij).

3.3. Sociološki kriterij

Sociološki kriterij prilikom odabira materijala za izgradnju gornjeg ustroja ceste prividno izgleda podjednako istim za sve odabrane materijale. Sama izgradnja prometne infrastrukture nedvojbeno uvelike utječe na poboljšanje životnog standarda ljudi s time da materijali prilikom njihove izrade ovise o vrsti i namjeni same prometnice.

Ulaženjem u dublju analizu sociološkog kriterija, dolazi se do zaključka da su **asfaltni zastori i zastori od recikliranog materijala** povoljniji u odnosu na kamene i betonske zastore jer je njihovo korištenje tj. vožnja po njima ugodnija. S obzirom na to da nas sociologija kao znanost uči da ono što smatramo prirodnim, nužnim, razumljivim samim po sebi ne mora biti takvo. Upozorava nas da trebamo proširiti vidokrug i izdići se iznad svakodnevnog iskustva. Vođeni tom mišlju, **reciklirani materijali su uvelike u prednosti nad ostalima.**

Korištenjem recikiranih materijala, ne samo da zadovoljavamo ekološke i ekonomske kriterije, nego i dodatno probuđujemo svijest ljudi o važnosti recikliranja materijala u svrhu poboljšanja životnog standarda.

3.4. Organizacijski kriterij

Organizacijski kriterij je najpovoljniji u korist **recikliranog materijala**. S obzirom da postoji mehanizacija koja odjednom skida stari sloj asfaltnog zastora, melje, grije i pri tome automatiziranim procesom dodaje bitumen kao vezivo u tu istu asfaltnu mješavinu, ugrađuje nazad na kolničku konstrukciju, možemo reći da je to najpovoljnije rješenje pošto je sam postupak dobave, pripreme, obrade za ponovnu ugradnju sveden na **svega jedan proces.**

Taj proces uvelike smanjuje potrebu za dodatnim transportom kao i dodatnom potrebnom mehanizacijom. Potrebno je naglasiti da je **takav postupak** moguć samo **prilikom rekonstrukcije postojećeg asfaltnog kolnika** iz razloga jer nam je na licu mjesta dostupan materijal odnosno asfalt koji je pogodan za recikliranje.

4. Opis alternativa

4.1. Asfaltni kolnici

Asfalt predstavlja **ugradenu i zbijenu asfaltnu mješavinu**. Asfaltna mješavina je **mješavina mineralnog agregata definirane granulacije i bitumena** kao vezivnog sredstva. Zbog različitog postotka bitumena u asfaltnoj mješavini, ovisno o traženim osobinama asfalta, sam sastav asfaltna mješavine je moguće **individualizirati** i tako ga prilagoditi različitim zahtjevima kao što su različita prometna opterećenja ili različiti klimatski uvjeti.

Sastav asfaltna mješavine je od izuzetnog značaja za kvalitetu i stabilnost kolničke konstrukcije, stoga se za proizvodnju asfaltnih mješavina koriste se izuzetno kvalitetni materijali. To su najčešće **mineralni agregati i veziva organskog podrijetla** koji imaju dobru adhezijsku prionjivost na agregat, a za vezivo se koristi **bitumen**.

Za samo **vezivo** asfaltnih mješavina se najčešće koriste organski **ugljikovodični materijali** zbog svoje dobre adhezijske prionjivosti s kamenom. Prednost asfaltna mase je **plastičnost i hidrofobnost** odnosno otpornost na djelovanje različitih atmosferilija i raznih kemikalija.

Prosječan sastav asfaltna mješavine sastoji se od (Tablica 2):

- **kamene sitneži veličine zrna 2 - 32 mm** koja čini oko 75% asfaltna mješavine
- **kamenog brašna iz mljevene kamene sitneži** veličine čestica do 0,72 mm pri čemu je 60 – 80 % punilo od mineralnih čestica manjima od 0,09 mm
- **pijesak** prirodni ili drobljeni, veličine zrna 0,09 – 2,00 mm
- **ugljikovodično vezivo** kao bitumen, katran, bitumenska emulzija

Tablica 2. Prosječan sastav asfaltna mješavine (preuzeto: <https://www.academia.edu>)

| PROSJEČAN SASTAV ASFALTNE MJEŠAVINE | | |
|-------------------------------------|--|-----------|
| MINERALNA MJEŠAVINA | kameno brašno kao punilo pijesak kamena sitnež | 90 - 97 % |
| VEZIVO | bitumen bitumenska emulzija katran | 3 - 10 % |

Asfaltna kolničke konstrukcije su najčešće primjenjiviji tip kolničkih konstrukcija u Republici Hrvatskoj. Najvažnija im je karakteristika da su to fleksibilne

(savitljive) kolničke konstrukcije koje se pod opterećenjem vladaju pretežno elastično, savijaju se, a po prestanku opterećenja vraćaju približno u svoj prvobitni položaj.

To su najčešće konstrukcije sa asfaltnim zastorima i podlogom od granuliranog nevezanog kamenog materijala (**MNS**), znatog kamenog materijala stabiliziranog cementom ili nekim drugim hidrauličnim vezivom (**CNS**), bitumeniziranih nosivih slojeva (**BNS**) i s podlogom od prijašnjeg položenog asfalta (Slika 3). Kod ovih tipova kolničkih konstrukcija asfaltni zastori se sastoje od jednog ili dva sloja, a to su:

- habajući sloj (**HS**)
- vezni sloj (**VS**)

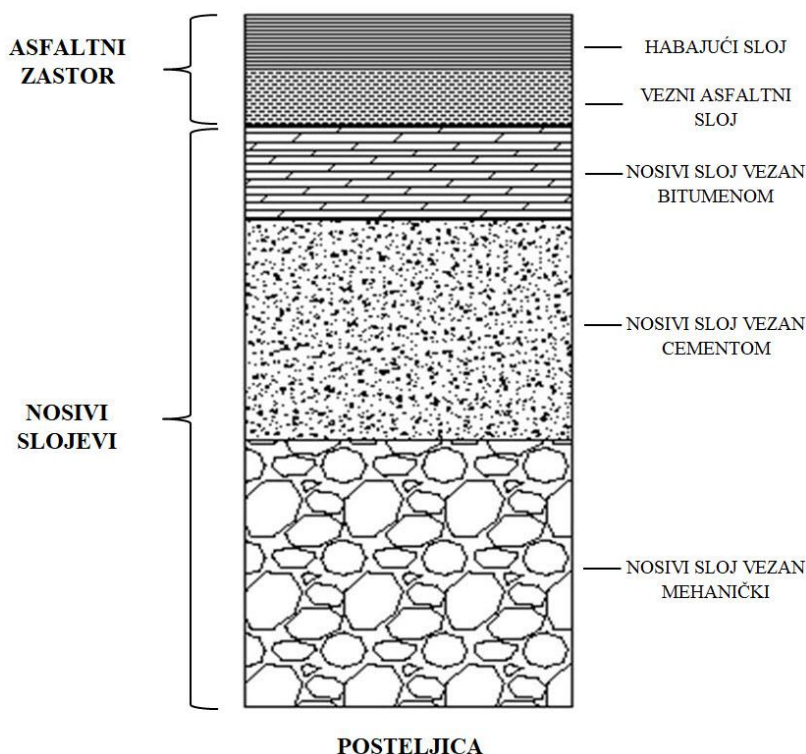
Asfaltni slojevi su dio kolničke konstrukcije, a sastoji se od nosivog sloja (**BNS**), veznog (**VS**), od nosivo-habajućeg (**BNHS**) i habajućeg asfaltnog sloja (**HS**), odnosno habajućeg sloja od splitmastiks asfalta (**HS-SMA**). Asfaltni slojevi kolničke konstrukcije dijele se na:

- slojeve asfaltnog zastora –završni dijelovi kolničke konstrukcije
- bitumenizirane slojeve -nosivi dijelovi kolničke konstrukcije
- bitumenske međuslojeve za sljepljivanje

Vrste slojeva prema položaju u kolničkoj konstrukciji dijele se na:

- Asfaltni zastori:
 - habajući slojevi (HS, HS SMA) – 0/4; 0/8; 0/11; 0/16 mm
 - vezni slojevi (VS) – 0/16; 0/22 mm
- Nosivi asfaltni slojevi:
 - nosivi slojevi (BNS i BNHS) – 0/16; 0/22; 0/32 mm
- Habajući slojevi rade se iz različitih tipova mješavina:
 - asfaltbetona (HS-AB)
 - splitmastiksasfalta (HS-SMA)
 - mikroasfalta (MA)
 - lijevani asfalt (LA)
 - površinske obrade (PO)

Za vrlo težak i gust promet primjenjuje se i vezni sloj, a za promet manjeg opterećenja (osobna vozila) i vrlo male gustoće vezni sloj nije obavezan. U habajućem sloju za promet velikog opterećenja mora se upotrijebiti samo plemenita kamena sitnež eruptivnog porijekla (ceste 1 i 2 razreda). Habajući sloj se ugrađuje na vezni sloj ili izravno na gornji nosivi sloj od kamenog materijala s i bez veznog sredstva (MNS ili CNS). Asfalt betoni danas se izrađuju u pravilu po vrućem postupku (vezno sredstvo je bitumen).



Slika 3. Presjek asfaltne kolničke konstrukcije (izvor: <https://www.scribd.com>)

Sadržaj samog veznog sredstva u mješavinama za asfalt betone zavisi o dozvoljenom sadržaju šupljina o traženom modulu ukočenosti i o traženoj stabilnosti ugrađene asfaltne mase. Udio bitumen kao veziva u asfaltnoj mješavini iznosi od 3,5 do 9%. Projektne debljine uvaljanih slojeva asfalta zavise o vrsti asfaltnje mješavine i o namjeni kolničke konstrukcije (Tablica 3).

Tablica 3. Projektne debljine uvaljanih slojeva asfalta (preuzeto: Hrvatske ceste – Hrvatske autoceste, Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Zagreb, 2001. godina)

| ASFALJNI SLOJEVI | VELIČINA ZRNA (mm) | PROJEKTNE DEBLJINE UVALJANIH ASFALJNIH SLOJEVA (cm) |
|-----------------------------------|--------------------|---|
| HABAJUĆI SLOJEVI (HS) | 0/4 | 2,0 do 3,0 |
| | 0/8 | 3,0 do 4,0 |
| | 0/11 | 3,5 do 5,0 |
| | 0/16 | 4,5 do 6,5 |
| (SMA) | 0/8 | 2,5 do 3,5 |
| | 0/11 | 3,0 do 4,0 |
| | 0/16 | 4,0 do 5,0 |
| VEZNI SLOJEVI (VS) | 0/16 | 4,5 do 6,5 |
| | 0/22 | 5,5 do 8,0 |
| NOSIVI SLOJEVI (BNS) | 0/16 | 4,5 do 6,0 |
| | 0/22 | 5,5 do 8,0 |
| | 0/32 | 7,5 do 12,0 |
| NOSIVO-HABAJUĆI SLOJEVI (BNHS) | 0/16 | 4,5 do 6,0 |
| | 0/22 | 6,0 do 8,0 |

Standardima su određeni uvjeti u pogledu kvalitete, sastava, porijekla, primjesa te načini i vrste ispitivanja pojedinih materijala, asfaltnih mješavina i ugrađenog asfalta (Tablica 4).

Tablica 4. Orijentacijske ukupne debljine asfaltnih zastora (preuzeto:Hrvatske ceste – Hrvatske autoceste, Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Zagreb, 2001. godina)

| Razred ceste | Razred prometnog opterećenja | Debljina asfaltnog zastora (cm) | Obavezan sastav |
|--------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 1. | Ceste za vrlo gust promet | 10 do 12 | Dva vezna i habajući sloj |
| 2. | Ceste za gusti promet | 7 do 10 | Vezni i habajući sloj |
| 3. | Ceste za promet srednje gustoće | 5,5 do 7,0 | Vezni i habajući sloj |
| 4. | Ceste za promet male gustoće | 2,5 do 5,5 | Habajući sloj (vezni neobavezan) |
| 5. | Ceste za promet vrlo male gustoće | 2,0 do 3,0 | Habajući sloj |

Prema definiciji navedenoj u Općim tehničkim uvjetima iz 2001. godine (OTU), BNS je nosivi sloj izrađen od mješavine kamenogbrašna, kamenog materijala do najveće nominalne veličine zrna 32 mm i bitumena kao veziva, proizveden i ugrađen po vrućem postupku (Slika 4). BNS se dijeli prema:

- nazivnoj veličini najvećeg zrna kamenog materijala
- vrsti kamenog materijala
- granulometrijskom sastavu kamene smjese asfaltne mješavine

BNS prema nazivnoj veličini najvećeg zrna kamenog materijala:

- BNS 16 (AC 16-N)
- BNS 22 (AC 22-N)
- BNS 32 (AC 32-N)
- BNS 45 (AC 45-N)

Označavanje:

AC 16-N, AC 22-N, AC 32-N, AC 45-N su nove oznake bitumenske mješavine prema normi HRN EN 13108-1 koje označavaju slijedeće:

AC – eng. Asphalt Concrete

16, 22, 32, 45 – veličina najvećeg zrna

N – eng. base ili nosivi sloj

Asfaltna mješavina vrste BNS 45 može se samo primjeniti pod uvjetom da se koristi modificirana metoda za ispitivanje laboratorijskih uzoraka iz asfaltne mješavine i uzorka iz izgrađene prometnice, kojom se može dokazati njegova upotrebljivost, jer Marshallova metoda nije primjenjiva za ocjenu kvalitete krupnozrnatih mješavina. BNS prema vrsti kamenog materijala dijele se na:

- BNS A – izrađen na bazi drobljene kamene sitneži uz dodatak kamenog brašna

- BNS B – izrađen na bazi separiranog ili djelomično separiranog drobljenog kamenog materijala, uz korekciju sastava dodatkom pijeska i/ili kamenog brašna (prema potrebi), ili separiranog prirodnog nevezanog kamenog materijala uz dodatak najmanje 30% (m/m) kamene smjese drobljenog zrna iznad 4 mm i/ili kamenog brašna (prema potrebi)
- BNS C – izrađenog na bazi separiranog prirodnog nevezanog kamenog materijala, uz korekciju sastava dodatkom pijeska i/ili kamenog brašna (prema potrebi).



Slika 4. Strojna ugradnjaasfaltne mješavine BNS 22 (AC 22-N) – Zagreb
Žitnjak(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

Bitumenizirano nosivi-habajući sloj (BNHS) jest nosivo bitumenizirani slojkoji prema trajnoj namjeni služi kao habajući sloj, a izrađen je od mješavine kamenog brašna, kamenog materijala do najveće nazivne veličine zrna 22 mm i bitumena kao veziva, proizveden i ugrađen po vrućem postupku, a ugrađuje se isključivo na cestama namijenjenim za lako ili vrlo lako prometno opterećenje (Slika 5).

BNHS se dijeli prema:

- nazivnoj veličini najvećeg zrna kamenog materijala
- vrsti kamenog materijala

BNHS prema nazivnoj veličini najvećeg zrna kamenog materijala:

- BNHS 16 (AC 16-NH)
- BNHS 22 (AC 22-NH)

Označavanje:

AC 16-NH, AC 22-NH su nove oznake bitumenskih mješavina premanormi HRN EN 13108-1 koje označavaju slijedeće:

AC - eng. Asphalt Concrete

16, 22 – veličina najvećeg zrna

NH – eng. *base/surf* ili nosivo-habajući sloj



Slika 5. Strojna ugradnja BNHS 16 (AC 16-NH) – Zagreb Borovje (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

Bitumenski međusloj za međusobno sljepljivanje asfaltnih slojeva jest tanki sloj bitumena dobiven od bitumenske emulzije vrućeg bitumena prskanjem. Izvodi se u okviru pripreme podloga za izvedbu asfaltnih slojeva kolničke konstrukcije (Slika 6).

Prethodno izvedeni asfaltni sloj prska se polustabilnom anionskom ili kationskom bitumenskom emulzijom, zavisno od vrste kamenog materijala s kojim je sloj izveden, te zavisno od vremenskih uvjeta. Ukoliko se asfaltni slojevi izvode od asfaltne mješavine spravljene na bazi polimerom modificiranog bitumena, asfaltna podloga prska se polustabilnom ili nestabilnom kationskom polimernom emulzijom.

Sloj izrađen na bazi bitumenskih veziva treba poprskati bitumenskom emulzijom ukoličini od 0,15 do 0,35 kg/m², što ovisi o onečišćenosti i istrošenosti podloge. Podloga se umjesto bitumenskom emulzijom može prskati i vrućim bitumenom u količini od 0,1 do 0,2 kg/m².

Prskanje bitumenskom emulzijom ili vrućim bitumenom provodi se isključivo motornim prskalicama, koje omogućavaju jednoliku raspodjelu bitumenske emulzije po površini. Ručno prskanje nije dopušteno, izuzev na mjestima koja nisu dostupna motornoj prskalici uz suglasnost nadzornog inženjera.

Prije početka prskanja bitumenskom emulzijom, površina mora biti čista i suha. Prskanje bitumenskom emulzijom sloja izrađenog na bazi bitumenskih veziva nijedopušteno za vrijeme kiše, odnosno pri relativnoj vlažnosti zraka većoj od 75 % i pri temperaturi zraka i podloge nižoj od 5 °C.



Slika 6. Poprskan bitumenski sloj za sljepljivanje asfaltnih slojeva – Zagreb Žitnjak (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)



Slika 7. Ugradnja veznog sloja asfalta VS 22 – Zagreb Žitnjak (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)



Slika 8. Strojna ugradnja asfalt betona (AC-16) – Zagreb Žitnjak(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

4.2. Betonski kolnici

Beton je **umjetni građevinski materijal** dobiven miješanjem nekog veziva (najčešće cementa), agregata (krupnog i sitnog agregata) i vode, s ili bez kemijskih i mineralnih dodataka. Kao građevinski materijal, beton ima najrašireniju primjenu od ostalih konstrukcijskih materijala pa tako pokriva oko 70 % potreba u građenju.

Osnovni tipovi betonskih kolnika su:

- Klasični betonski kolnici bez armature
- Armirani betonski kolnici
- Besprekidno armirani betonski kolnici
- Porozni betonski kolnik
- Kolnici od uvaljanog betona
- Kolnici sa ultra tankim slojem betona
- Prednapregnuti betonski kolnici
- Predgotovljeni betonski kolnici
- Kolnici od prefabriciranih betonskih blokova

Klasični betonski kolnik bez armature najčešće je korišten tip betonskog kolnika ponajviše zbog svoje niske cijene u odnosu na ostale tipove (Slika 9). Karakteriziraju ga poprečne i uzdužne razdjelnice koje ne sadrže čeličnu armaturu već se izvodi ugradnjom moždanika (promjer 22 – 25 mm i duljine 50 cm od glatkog čelika) u poprečne razdjelnice i ugradnjom sidara (promjer 16 – 19 mm i duljine 70 cm od rebrastog čelika) u uzdužne razdjelnice.



Slika 9. Klasični betonski kolnik (izvor: <http://rccpavementcouncil.org>)

Razmak između razdjelnica odnosno dužina jedne betonske ploče iznosi od 3,50 do 6,00 m. Minimalna preporučena debljina betonske ploče klasičnog betonskog kolnika je od 12 cm. koja ovisi o prometnom opterećenju, nosivosti podloge te može biti i 16, 18, 20 i više cm.

Kod izvedbe klasičnih betonskih kolnika potrebno je izvesti poprečne i uzdužne razdjelnice na pravilnim razmacima koje se izvode kako bi smanjilo nepravilno pucanje betonskih ploča prilikom skupljanja betona i temperaturnih promjena. Ako je širina betonskog kolnika veća od 7,50 m, kolnik se onda do te veličine mora podijeliti uzdužnim razdjelnicama.

Armirani betonski kolnik razlikuje od običnog betonskog kolnika u tome što armirani betonski kolnik ima **duže betonske ploče** (uobičajeno od 7,50 do 9,00 m, a može i 10 m i više) i **mrežastu armaturu** u ploči koja se postavlja na rasponu između razdjelnica.



Slika 10. Armirani betonski kolnik (izvor: <https://civilatwork.blogspot.com>)

Porozni betonski kolnik se dosta razlikuje od ostalih konvencionalnih tipova betonskog kolnika jer je kod njega **omogućeno brzo propuštanje vode** u i kroz strukturu kolnika čime se smanjuje potreba za izgradnjom sustava za odvodnju, olakšava se

pročišćavanje vode te pozitivno utječe na vegetaciju. To je rezultat izostanka ili male prisutnosti čestica agregata u sastavu ali je i time je smanjena njegova čvrstoća što je jedan od glavnih nedostataka. Upravo zbog toga se uglavnom primjenjuje kod parkirališta, nogostupa, biciklističkih staza te kod manje opterećenih cesta.

Kolnici s ultra tankim slojem betona uglavnom se koriste u primjeni kao brzi oblik **sanacije dotrajalih asfaltnih kolnika**. Obično se radi o sloju od mikroarmiranog betona, brzog prirasta čvrstoće koji zbog toga omogućava u kratkom roku puštanje kolnika ponovo u promet te kao takav pruža efikasno rješenje kod sanacije asfaltnog kolnika. Debljina sloja betona je od 5 – 10 cm te ovakav kompozitni kolnik osiguravatrajniju prometnu površinu, podnosi velika prometna opterećenja bez pojava oštećenja i kolotruga. Kolnik s ultra tankim slojem betona predstavlja najisplativije rješenje za rekonstrukciju cesta jer zahtijeva minimalno održavanje i tako donosi značajne uštede tijekom životnog vijeka kolnika, i time pruža mnoge prednosti kao i popularniji klasični betonski kolnik.

Krute kolničke konstrukcije zbog različitih tipova i svojih navedenih prednosti naposve izvrsne nosivosti, trajnosti i niskih troškova održavanja, svoje prilagodljivosti i estetike, predstavljaju najbolji izbor za određene zahtjevne uvjete. **U pogledu obnove kolnika, beton se lako može integrirati u postojeću mrežu asfaltnih cesta.** Tako, svoju prednost nalaze na voznim površinama s teškim prometnim opterećenjima te na dijelovima kolnika namjenjeni za zaustavljanje i stajanje vozila. Odlike betonskih kolnika su **duži vijek trajanja i veća izdržljivost.**

Betonski kolnici mogu se osmisliti da traju i do 50 godina, pored toga, potrebno im je tri puta više vremena do prvog većeg obnavljanja nego što je to slučaj s asfaltnim kolnicima tako da može trajati i nekoliko desetljeća uz relativno malo popravaka. Minimalnim održavanjem betonske ceste nudi značajno produžene cikluse održavanja te manji trošak po svakom ciklusu održavanja, cesta se rjeđe zatvara što dovodi do manjih zastoja i gubitka vremena za društvo.

Beton ima **svjetliju površinu od asfalta**, a svjetlija površina umanjuje tzv. „efekt toplinskog udara“ koji je značajan posebice u gradovima jer oni su topliji od okoline što dovodi ljeti do visokih vrućina, zdravstvenih problema te veće potrošnje električnih uređaja za klima uređaje. Beton **reflektira do tri puta više sunčeve svjetlosti od asfalta** čime se smanjuje površinska temperatura kolnika ljeti za čak 15 °C. Pored toga, na betonskim cestama je zbog toga potrebno 30 % manje rasvjete i bolja je vidljivost tijekom noćne vožnje.

Recikliranjem betona mogu se stvoriti dodatne uštede nakon održavanja i time sačuvati prirodni resursi. Prilikom uklanjanja betonskog kolnika, **beton se reciklira** i može se iskoristiti kao materijal za izvedbu novog kolnika. Beton je **negoriv materijal** i samim time što ne gori ne stvara toksične plinove što znači da je pogodniji u slučaju požara posebice u tunelima.

4.3. Kameni kolnici

Kamen, odnosno kamene kocke su jedan od **najstarijih materijala** korištenih za popločavanje kolničke konstrukcije. Njime se popločavaju **pješačke i vozne** površine, te je stoga kvaliteta kamena vrlo bitna kako bi zadovoljio tražena svojstva. Kamen od kojega se najčešće izrađuju kamene kocke je eruptivnog podrijetla, a to su: **granit, diorit i bazalt** (Slika 11).

Granit je tip kiselih magmatskih stijena, njegova kristalna rešetka je srednje do krupno zrnata, uvijek je masivan, čvrst i tvrd što ga čini idealnim za upotrebu kao građevinskog i arhitektonskog kamena.

Diorit je dubinska eruptivna stijena tamne boje i zrnate strukture, po sastavu je između bazičnih i kiselih svojstava, također vrlo masivan i čvrst, pogodan za uporabu u građevinarstvu.

Bazalt je siva do crna eruptivna magmatska stijena, finozrnate strukture koja nastaje brzim hlađenjem lave, krupne kristalne rešetke što ga čini čvrstim i postojanim materijalom.



Slika 11. Granit, Diorit, Bazalt (izvor:<https://geologictimepics.com>)

Kamene kocke koje se primjenjuju u izradi kolničkih zastora, s obzirom na njihovu ugradnju, raznih su dimenzija i debljina ali najviše prevladavaju **dva tipa** kamene kocke:

- zastor od **male kocke**
- zastor od **velike kocke**

Mala kocka (Slika 12.) se izrađuje od eruptivnog kamena granita, diorita ili bazalta, dimenzija 8 x 8 x 8 cm ili 10 x 10 x 10 cm. Primjenjuje se za ceste sa teškim prometnim opterećenjem kao i za pješačke zone.

Velika kocka se također izrađuje od eruptivnog kamena granita, bazalta ili diorita, dimenzija 16 x 16 x 16 cm ili 18 x 18 x 18 cm, primjenjuje se za teško prometno opterećenje, estetski je manje efektna od male kocke, ali je također vrlo rasprostranjena i zastupljena.

Neovisno o tipu kamene kocke **proces ugradnje je isti** za sve. Kocke je potrebno postaviti na čvrstu podlogu kako bi podnijele opterećenje te da nebi došlo do deformacija kolnika, ispadanja ili nabora kocki, pa se stoga postavljaju na podlogu od tučenca, betona ili lomljenog kamena. Na pripremljenu posteljicu se postavlja sloj pijeska koji mora biti čvrst i

nabijen, debljina sloja oko 3-5 cm, te se na njega slažu kocke određenom shemom, zasipaju pijeskom i zaljevaju vodom kako bi se zapunile praznine između kocki. Zbog dodatnog postizanja čvrstoće kamenog kolnika, reške između kocki u dubini u 5-12 cm sezapunjavaju pijeskom, cementnim mortom ili asfaltnom smjesom za zalijevanje (Slika 12).



Slika 12. Postavljanje male kamene kocke (izvor: <http://m.sibenik.in>)

Kamena kocka se **postavlja isključivo ručno** što uvelike dodatno usporava radove i povećava troškove radne snage ali zbog mogućnosti shematskog postavljanja različitih vrsta kamena možemo dobiti razne estetske efekte (Slika 13).



Slika 13. Shematsko postavljanje kocke u svrhu dobivanja vizualnog efekta (izvor: <https://www.bajeonline.net>)

Makadamski kolnici su još jedan primjer upotrebe kamena prilikom gradnje gornjeg ustroja ceste. Takav tip kolnika uveden je početkom XIX. st., a osmislio ga je škotski izumitelj John MacAdam po kojem je i dobio ime. MacAdam je gradio ceste s kolnikom uzdignutim od okolnoga terena, nižući slojeve kamenoga materijala počevši s onim najvećega zrna.

Makadamska kolnička konstrukcija je načinjena od **nekoliko slojeva drobljenoga kamena i kamene sitneži** različitih veličina zrna bez upotrebe veznoga sredstva. Povrh svega dolazila je kamena sitnež kojom se kolnik poravnavao, dok su se slojevi međusobno zbijali tijekom korištenja ceste. Takav se način gradnje u osnovi održao do danas. Iako se makadamski kolnici u **današnje vrijeme ne koriste** prilikom gradnje modernih cestovnih pravaca, njihova primjena je i dalje prisutna prilikom izgradnje ili sanacija raznih pomoćnih puteva (Slika 14).



Slika 14. Strojni iskop dotrajalog makadamskog kolnika
(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

Sanacija i održavanje makadamskih puteva vrši se strojno pomoću specijalnog vozila naziva grejder. Grejder je specijalni stroj sa specifičnim, prostorno vrlo pokretljivim nožem za fine radove sa sipkijim materijalima. Može obavljati niz različitih operacija, čiji se broj još povećava montiranjem različitih dodatnih alata kao naprimjer rijači sa stražnje strane. Nakon risanja i ravnjanja, makadamski kolnicise nasipavaju novim kamenim materijalom (dovoz kamena u kamionima kiperima) te se ponovno ravnaju te valjaju teškim čeličnim valjcima.



Slika 15. Ravnanje makadamskog kolnika grejderom
(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

4.4. Kolnici od recikliranog materijala

Recikliranje asfaltnih kolnika omogućuje **ponovnu upotrebu** materijala iz kolničke konstrukcije koja je uvjetovana ekonomskim i ekološkim razlozima. Ograničene količine prirodnih agregata i visoka cijena sirove nafte ekonomski su razlozi koji su doveli do razvoja novih tehnologija i tehnika izvođenja radova na recikliranju. Prema podrijetlu reciklirani asfalt može biti **endogen** (dolazi od istog kolnika koji se reciklira) ili **egzogen** (dovozi sa nekog drugog mjesta recikliranja).

Metode samog recikliranja asfaltnih kolničkih konstrukcija dijele se na dvije osnovne kategorije: metodu koja se koristi stacionarnim pogonima - in plant
metodu koja se izvodi na licu mjesta - in situ
Svaka od te dvije metode ima svoje prednosti i nedostatke.

Prednosti metode recikliranja na **samom licu mjesta** su:

- visoka kvaliteta reciklirane mješavine
- mogućnost kontrole granulacije
- vrlo homogena mješavina
- moguće poboljšanje mješavine
- korištenje starog bitumena
- ponovno korištenje u novom habajućem asfaltnom sloju
- velika fleksibilnost upotrebe

Nedostaci metode recikliranja na **samom licu mjesta** su:

- potencijalno skupa opcija
- visoka potrošnja energije
- visoko učešće transporta materijala
- skladištenje RAP materijala
- zagađivanje okoliša/emisije

Prednosti metode recikliranja u stacionarnom pogonu su:

- potpuna iskoristivost RAP materijala
- velika ekonomičnost i učinkovitost
- brzo puštanje prometnice u pogon
- pogodno i za male i za velike projekte
- smanjeni troškovi transporta
- mogućnost izvođenja reciklaže za samo jedan prometni trak

Nedostaci metode recikliranja u stacionarnom pogonu su:

- potreban novi površinski sloj
- javlja se problem heterogenosti postojećeg asfalta
- duge reciklaže nisu pogodne za manje i/ili ruralne prometnice
- jednostavna oprema za recikliranje pogodna samo za manje volumene i ruralne prometnice

U novijoj primjeni materijala za izradu nosivog sloja koristi se i **reciklirani kameni materijal (RAP- Reclaimed Asphalt Pavement)** koji se dobiva drobljenem betona i asfalta na drobilicima. RAP se može ugrađivati u nosive djelove kolničke konstrukcije gdje je moguće i miješanje sa kamenim materijalom iz kamenoloma za dobivanje potrebne zbijenosti, te kao sirovina koja se dodaje prilikom proizvodnje asfaltne mješavine (iskoristivost do 60%). Debljina recikliranog kamenog sloja može biti od 20 do 40,0 cm.

Sam **proces obnove** prometnice **recikliranim asfaltnim materijalom** počinje sastoji se od nekoliko segmenata a to su:

- glodanje starog asfaltnog zastora
- čišćenje i priprema kolnika
- postavljenje novog asfaltnog zastora od recikliranog asfalta

Glodanje i rušenje obuhvaća rezanje asfalta, rušenje i odstranjivanje postojećeg kolnika od asfaltnih slojeva koji se izvode specijalnim strojevima takozvanim glodalicama ili frezama (Slika 16).



Slika 16. Glodanje starog asfaltnog sloja
(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

Nakon skidanja starog asfaltnog sloja, podlogu je potrebno očistiti od preostalih frakcija i kao takva je pogodna za daljnje odvijanje prometa. Čišćenje se vrši strojno specijalnim vozilima koja sa prednje strane imaju ugrađenu strojnu četku dok sa stražnje strane vozila se nalaze špricaljke te spremnik s bitumenskom emulzijom koja se odmah nanosi na preostali sloj asfaltnog zastora (Slika 17).



Slika 17. Strojno čišćenje asfaltnog kolnika sa strojnim četkama (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

Neovisno o tome radi li se o ugradnji recikliranog asfaltnog materijala koji je pripremljen u stacionarnom pogonu ili se reciklaža obavlja in situ, postupak ugradnje je isti kao i kod konvencionalne asfaltno mješavine. Ugradnja je strojna, obavlja se specijalnim strojevima takozvanim finišerima, po vrućem postupku te nakon toga valja valjcima na glatkim kotačima ili kombinacijom glatkih kotača i pneumatika (Slika 18 i 19). Ručna ugradnja se koristi samo prilikom asfaltiranja manjih površina gdje zbog svojih velikih gabarita specijalni strojevi za ugradnju asfaltno mješavine nemogu pristupiti ili kod manjih površina.



Slika 18. Strojna ugradnja reciklirane asfaltno mase finišerom (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)



Slika 19. Ugradnja i valjanje reciklirane asfaltne mase
(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)

Stalnim usavršavanjem i napretkom modernih strojeva, danas postoje strojevi koji **cjelokupni proces reciklaže postojećeg asfaltnog kolnika te izradu novog obavljaju u jednom postupku** (Slika 20). Iako ima brojne prednosti kao što su automatizirani proces samog glodanja starog asfaltnog sloja, njegovog sušenja odnosno grijanja, dodavanja bitumena ovisno o traženom sastavu reciklirane mješavije te ponovne ugradnje, zbog svoje vrlo visoke cijene još uvijek nisu široko dostupni.



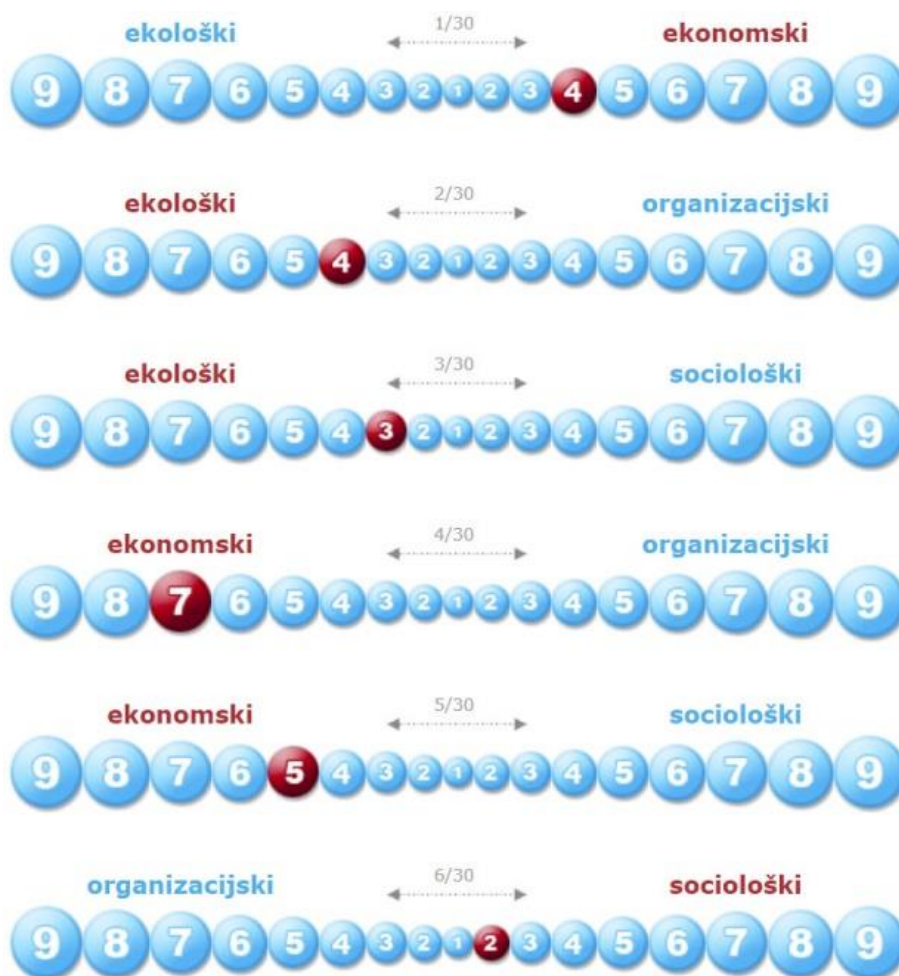
Slika 20. Kombinirani stroj za izmjenu i ugradnju asfaltne mješavine
(izvor: <https://www.equipmentworld.com>)

5. Ocjenjivanje kriterija i alternativa pomoću Saaty-jeve skale

Razvojem hijerarhijskog modela sa ciljem odabira materijala za gornji ustroj ceste, kriteriji kojima vrednujemo alternative su ekološki, ekonomski, sociološki i organizacijski. Alternative uzete u obzir su asfaltni kolnik, betonski kolnik, kameni kolnik i kolnik od recikliranog materijala (Slika 2. Prikaz hijerarhijske strukture AHP metode prilikom odabira materijala za gornji ustroj ceste). Ocjenjivanje kriterija i alternativa AHP metodom provodi se pomoću Saaty-jeve skale relativne važnosti (

5.1. Ocjenjivanje kriterija

Budući da se ekologija poštuje samo do propisanih granica, a nakon toga se izbor određuje temeljem cijene, ekonomski kriterij je ocjenjen umjereno do strogo važniji od ekološkog, dok je ekološki kriterij dominantniji od organizacijskog i sociološkog kriterija u istoj odnosno manjoj mjeri. Ekonomski kriterij ima dokazanu važnost naspram organizacijskog kao i sociološkog kriterija, dok su organizacijski i sociološki kriteriji skoro podjednaki (Slika 21).

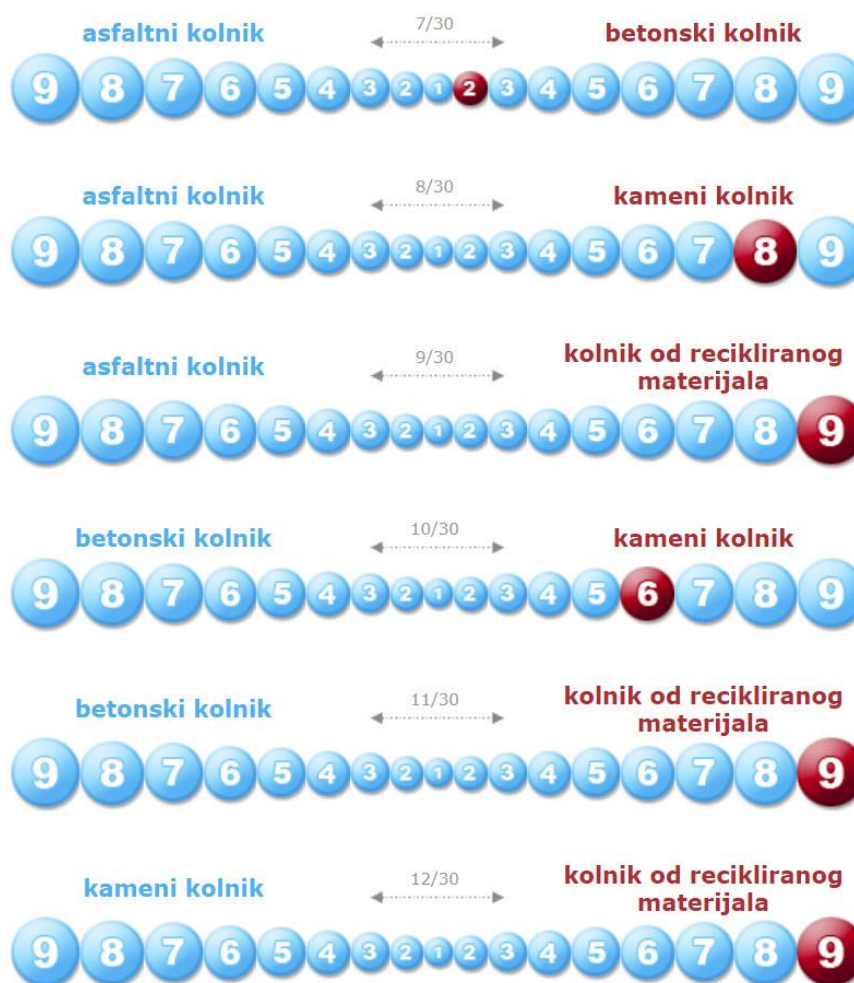


Slika 21. Odnosi kriterija (izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

5.2. Ocjenjivanje alternativa

5.2.1. Ocjenjivanje alternativa po ekološkom kriteriju

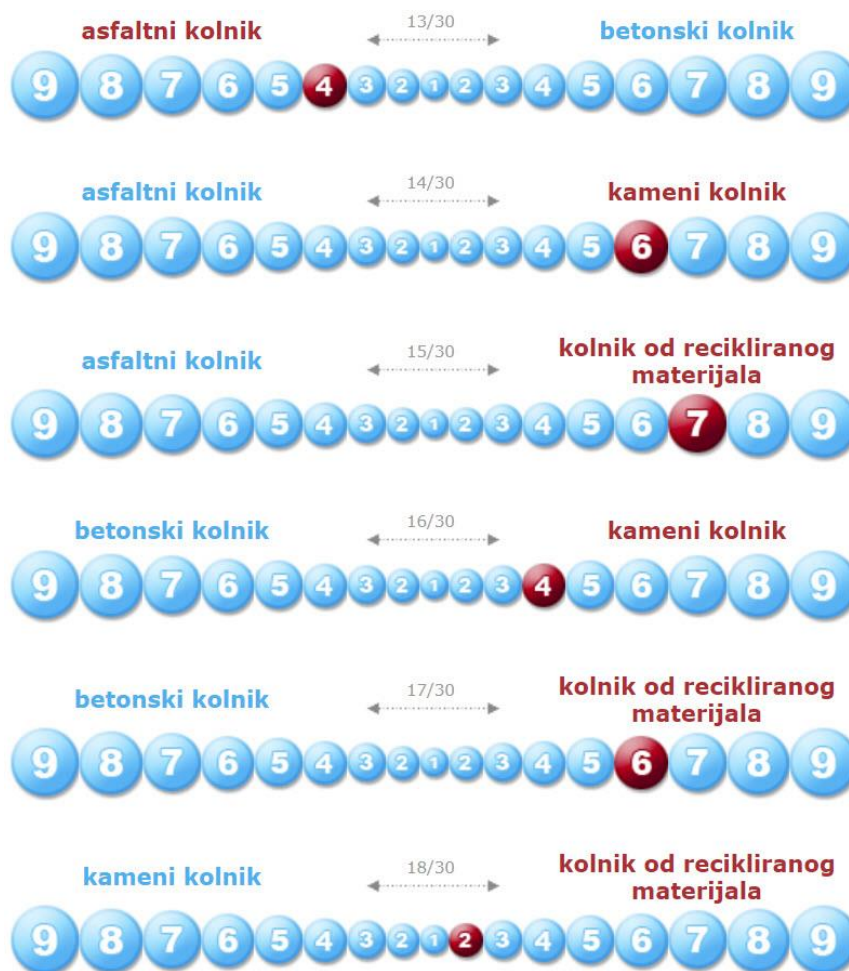
Ekološki kriterij najbolje ide u prilog kolniku od recikliranog materijala koji ima ekstremnu važnost odnosno najveću dominantnost naspram svih ostalih zastora. Kameni kolnik se favorizira nad asfaltnim i betonskim kolnikom dok je njihov međusobni omjer, po ekološkom kriteriju, skoro podjednak (Slika 22).



Slika 22. Ocjenjivanje alternativa po ekološkom kriteriju
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

5.2.2. Ocjenjivanje alternativa po ekonomskom kriteriju

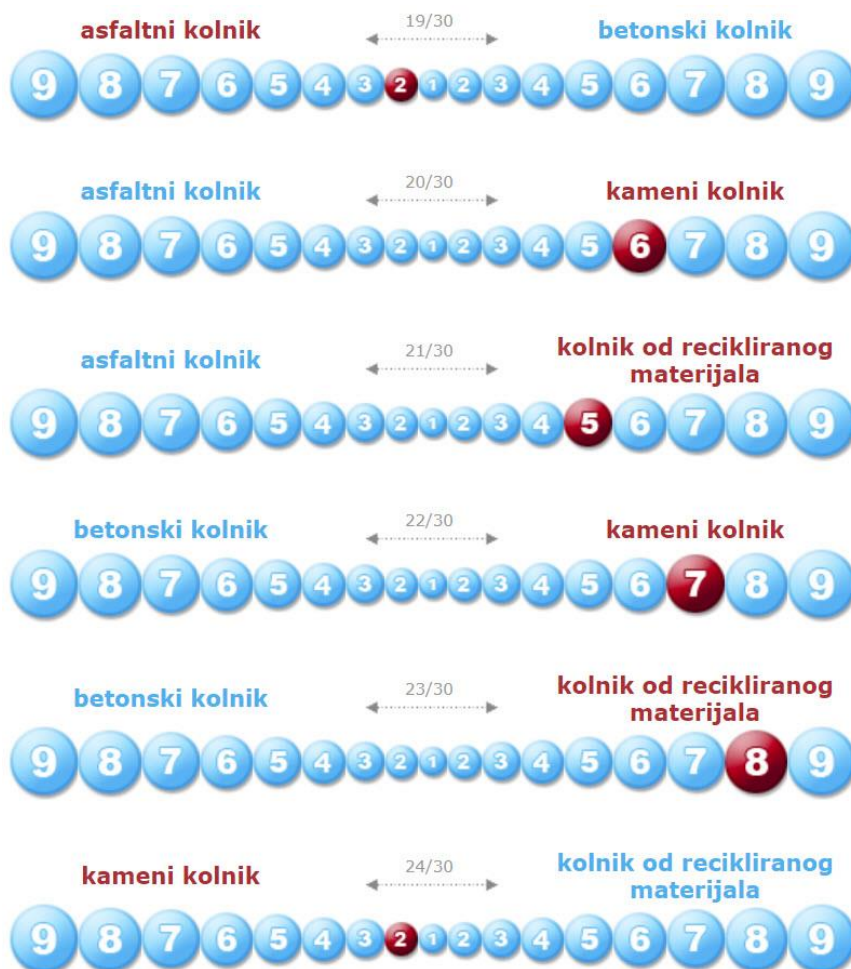
Uzimajući u obzir ekonomski kriterij kolnik od recikliranog materijala ima dokazanu prednost nad asfaltnim i betonskim kolnikom. Razlika između kamenog kolnika i kolnika od recikliranog materijala ide blago u prilog recikliranom materijalu. Asfaltni kolnik naspram betonskog ima umjerenu prednost, ali je zato strogo podređen u odnosu na kameni kolnik (Slika 23).



Slika 23. Ocjenjivanje alternativa po ekonomskom kriteriju
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

5.2.3. Ocjenjivanje alternativa po organizacijskom kriteriju

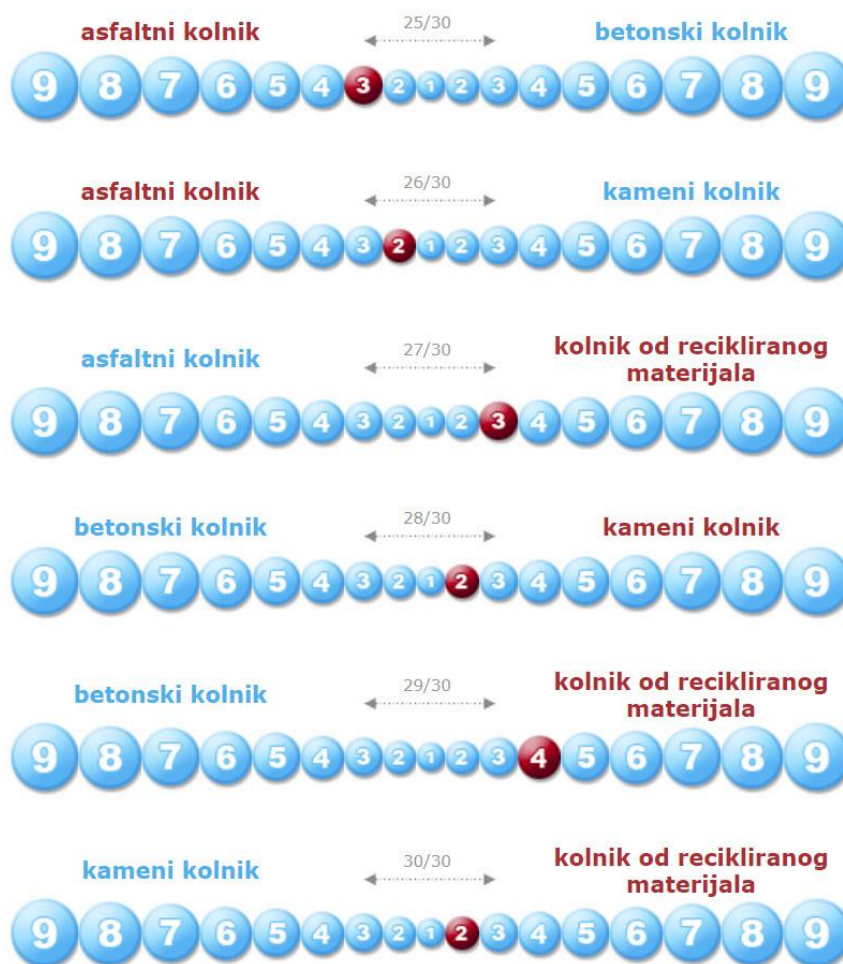
Kolnik od recikliranog materijala kao i kameni kolnik, dominiraju naspram asfaltnog i betonskog kolnika dok je njihova međusobna važnost zanemariva. Isto tako je zanemariva razlika između betonskog i asfaltnog kolnika (Slika24). Dominacija kamenog kolnika kao i kolnika od recikliranog asfalta, po organizacijskom kriteriju, može se pripisati samoj tehnologiji i modernoj mehanizaciji koja izradu istih svodi na svega jedan proces.



Slika 24. Ocjenjivanje alternativa po organizacijskom kriteriju
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

5.2.4. Ocjenjivanje alternativa po sociološkom kriteriju

Sociološki gledano, nema velikih odstupanja u vrednovanju različitih materijala prilikom izgradnje kolnika (Slika 25). Umjerena prednost asfaltnog kolnika kao i kolnika od recikliranog materijala, naspram betonskog i kamenog kolnika, može se pripisati udobnijoj i ugodnijoj vožnji po njima samima.

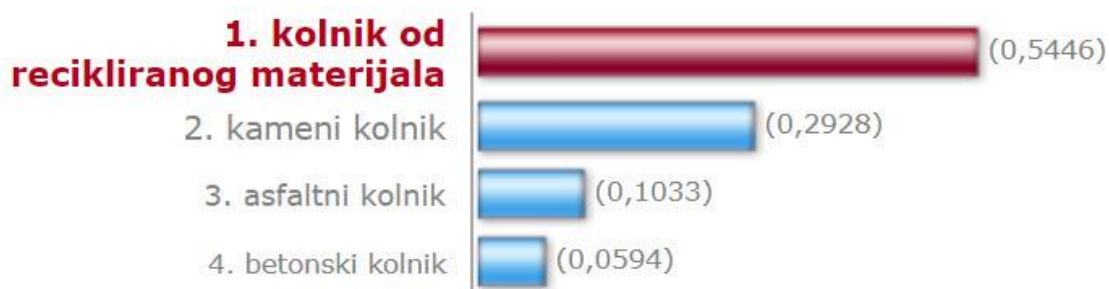


Slika 25. Ocjenjivanje alternativa po sociološkom kriteriju
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

5.3. Analiza rezultata

Analiziranjem podataka odnosno parametara prilikom korištenja AHP metode pri odabiru materijala za gornji ustroj ceste došli smo do rezultata da je kolnik od recikliranog materijala, kao jedna od alternativa, najbolji odabir. Rezultati provedene analize dali su sljedeće rezultate izražene u postocima (Slika 26):

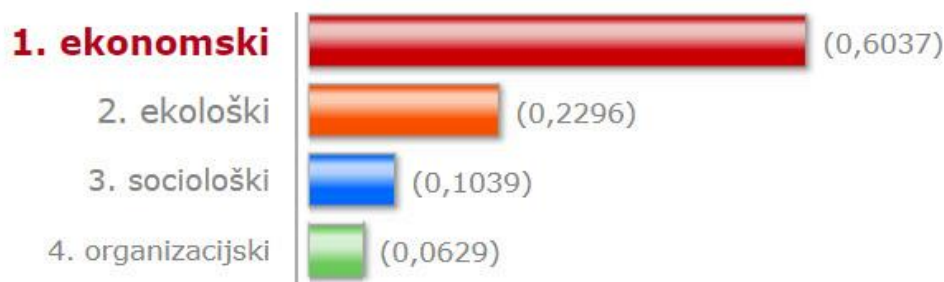
- **kolnik od recikliranog materijala 54,5 %**
- **kameni kolnik 29,5%**
- **asfaltni kolnik 10 %**
- **betonski kolnik 6 %**



Slika 26. Rezultati analize važnosti alternativa
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

Rezultati važnosti kriterija pokazali su ekonomski kriterij kao najvažniji kriterij u odnosu na ekološki, sociološki i organizacijski kriterij. Vrijednosti dane u postocima su sljedeće (Slika 27):

- **ekonomski kriterij 60 %**
- **ekološki kriterij 23 %**
- **sociološki kriterij 10 %**
- **organizacijski kriterij 7 %**



Slika 27. Rezultati analize važnosti kriterija
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

Iako smo kolnik od recikliranog materijala odabrali kao najbolji odabir prilikom izgradnje gornjeg ustroja ceste, rezultati strukture alternativa, odnosno njihovo analiziranje, pokazuju da je ekološka komponenta manje zastupljena od ekonomske. Ekonomska komponenta zauzima većinski udio u svim odabranim alternativama.

Kolnik od recikliranog materijala, kao najbolja odabrana alternativa, strukturnu analizu kriterija možemo izraziti u postocima (Slika 28):

- ekonomski kriterij 30 %
- ekološki kriterij 16 %
- sociološki kriterij 5 %
- organizacijski kriterij 2 %

Kameni kolnik, je drugi po odabiru, a prema strukturi kriterija, sastoji se od:

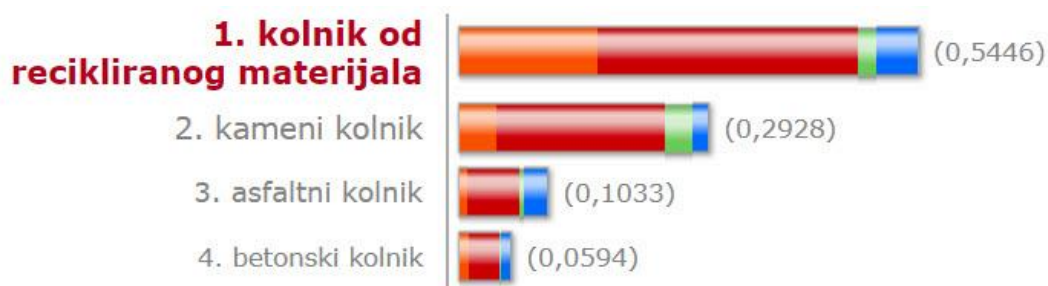
- ekonomski kriterij 20 %
- ekološki kriterij 5 %
- sociološki kriterij 2 %
- organizacijski kriterij 3 %

Asfaltni kolnik, je treći po odabiru, a prema strukturi kriterija, sastoji se od:

- ekonomski kriterij 7 %
- ekološki kriterij 0,1 %
- sociološki kriterij 2 %
- organizacijski kriterij 0,5 %

Betonski kolnik, je zadnji po odabiru, a prema strukturi kriterija, sastoji se od:

- ekonomski kriterij 3 %
- ekološki kriterij 1 %
- sociološki kriterij 1 %
- organizacijski kriterij 0,5 %



Slika 28. Struktura alternativa
(izvor: <http://mojizbormojaodluka.net>)

6. Zaključak

Odabir materijala za izgradnju gornjeg ustroja ceste oduvijek je bio izazov za graditelje cesta. Kameni kolnici, odnosno makadamski kolnici odavno se ne prakticiraju prilikom izgradnje modernih prometnih pravaca. Makadamske kolnike možemo još vidjeti jedino u nekim ruralnim sredinama, manjim prilaznim cestama ili šumskim putevima. Iznimka su kolnički zastori od kamene kocke koji su zbog svoje dugovječnosti još uvijek prisutni u starogradskim jezgrama. Iako je zastor od kamene kocke vizualno možda najljepši, zbog svoje vozne neudobnosti i visoke cijene ne nalazi svoje mjesto među modernim materijalima. Današnja tehnologija i mogućnost proizvodnje umjetnog kamena polako zamjenjuje ovaj tradicionalan materijal.

Moderni materijali poput asfalta ili betona, u cestogradnji, uvelike su dokazali svoje prednosti nad makadamskim kolnicima. Duži vijek trajanja, manje održavanja a time u konačnici manja cijena i veća isplativost predstavljali su odličnu alternativu. Konstantnim napredovanjem tehnologija prilikom izrade i ugradnje, asfaltni i betonski kolnički zastori, korišteni su prilikom gradnje svake nove prometnice.

Asfalt i beton su umjetno napravljeni materijali te dodavanjem raznih kemijskih aditiva njihova tehnička svojstva nerijetko premašuju prirodne materijale. Takvim načinom upravljanja materijalima kao što su beton i asfalt omogućuju nam proizvodnju individualnog materijala koji se može prilagoditi svakoj potrebi, namjeni ili podneblju.

Zbog velikih prednosti asfalta i betona nad kamenom dolazi do velike potražnje a time i velike eksploatacije prorodnih resursa od kojih su napravljeni. Sama proizvodnja istih ima velik negativan utjecaj na okoliš kojem se nije pridodavalo dovoljno pažnje. Takav način proizvodnje dovodi do zagađenja okoliša, pojave stakleničkih plinova, direktnih i indirektnih utjecaja i na ostale prirodne resurse koji nisu usko povezani uz samu proizvodnju asfaltne i betonske kolničke mješavine. Uvidom u novonastali problem, prisiljeni smo i traženju novih alternativa.

U ovom radu predstavili smo reciklirani materijal kao novu alternativu. Reciklirani materijali su novi materijali koji nastaju iz postojećih. Sama proizvodnja recikliranih materijala smanjuje potrebu za prirodnim materijalima čak i do 99 %. Na taj način briga o očuvanju prirodnih resursa dobiva sve veću vrijednost i pažnju.

Današnjim načinom života i življenjem u okolini koja traži sve više korištenja obnovljivih izvora energije i materijala, graditeljstvo, kao vodeća grana gospodarstva, najbolji je primjer mogućnosti korištenja recikliranih materijala. Iako se u cestogradnji još uvijek u velikoj mjeri koriste tradicionalni materijali, današnje tehnologije i sama svijest ljudi o važnosti ponovne upotrebe odnosno reciklaže već ugrađenih materijala polako zauzima sve veći postotni udio.

Korištenjem AHP metode, kao multikriterijske analize, dokazali smo prednost recikliranih materijala u odnosu na ostale tradicionalne materijale. Ovim radom smo opisali i dokazali da je **reciklirani asfalt najbolja alternativa** prilikom sanacije ali i izgradnje novih kolničkih konstrukcija, a kao i najrasprostranjeniji i najdostupniji materijal ima **značajne ekološke** učinke kao i potrebu za **smanjenjem korištenja prirodnog agregata**.

Odabirom i **ponovnom upotrebom reciklirane asfaltne mješavine** također **manjujemo potrebu odlaganja** već iskorištenih materijala pa se samim time, uz **ekološki, financijski** faktor predstavlja još jednu prednost nad konvencionalnim metodama. Tehnologija proizvodnje reciklirane asfaltne mješavine, u odnosu na dosadašnje metode, razlikuje se u minimalnom postotku s time da pri samoj proizvodnji i ugradnji koristimo istu mehanizaciju.

Vođeni **ciljem smanjenja negativnih učinaka na okoliš**, svako povećanje primjene recikliranih materijala je za svaku preporuku te je naša misija težiti takozvanoj **bezdeponijskoj koncepciji**, stalnim odgojem svih sudionika u građenju od same zamisli do krajnje realizacije.

7. Popis izvora

1. Branimir Babić, Projektiranje kolničkih konstrukcija, Zagreb, 1997. godina
2. Equipment World Staff, 2011. godine
3. Hrvatske ceste – Hrvatske autoceste, Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III : Kolnička konstrukcija, Zagreb, 2001. godina
4. <http://mojizbormojaodluka.net>
5. <http://rccpavementcouncil.org>
6. <http://repozitorij.fsb.hr>
7. <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=38223>
8. <http://www.gradimo.hr/asfalt>
9. <https://civilatwork.blogspot.com>
10. <https://geologictimepics.com>
11. <https://www.academia.edu>
12. <https://www.equipmentworld.com>
13. <https://www.scribd.com>
14. Ivica Androjić, Gordana Kaluđer, Mario Komljen, Primjena recikliranog asfalta u bitumeniziranom nosivom sloju, List Građevinar, 64-395-401, 2012. godina
15. Petar Subotić, Priručnik za asfalt, Beograd, 2002. godina
16. Prometnice, Nove tehnologije i materijali, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010. godina
17. Stjepan Bošnjak, Diplomski rad, Osijek, 2015. godine
18. Vjekoslav Bobek, Izgradnja novih i sanacija postojećih prometnica u gradu Zagrebu, Zagreb, 2015. godina
19. ZG Holding, podružnica Zagrebačke ceste, baza podataka
20. Željko Korlaet, Uvod u projektiranje i građenje cesta, Zagreb, 1995. godina

8. Popis slika i tabela

| | |
|---|--------|
| Slika 1. Hijerarhijska struktura AHP metode (preuzeto: http://mojizbormojaodluka.net) . | - 10 - |
| Slika 2. Prikaz hijerarhijske strukture AHP metode prilikom odabira materijala za gornji ustroj ceste..... | - 12 - |
| Slika 3. Presjek asfaltne kolničke konstrukcije (izvor: https://www.scribd.com)..... | - 17 - |
| Slika 4. Strojna ugradnja asfaltne mješavine BNS 22 (AC 22-N) – Zagreb Žitnjak(izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 19 - |
| Slika 5. Strojna ugradnja BNHS 16 (AC 16-NH) – Zagreb Borovje (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 20 - |
| Slika 6. Poprskan bitumenski sloj za sljepljivanje asfaltnih slojeva – Zagreb Žitnjak (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 21 - |
| Slika 7. Ugradnja veznog sloja asfalta VS 22 – Zagreb Žitnjak (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 21 - |
| Slika 8. Strojna ugradnja asfalt betona (AC-16) – Zagreb Žitnjak (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 22 - |
| Slika 9. Klasični betonski kolnik (izvor: http://rccpavementcouncil.org) | - 23 - |
| Slika 10. Armirani betonski kolnik (izvor: https://civilatwork.blogspot.com) | - 23 - |
| Slika 11. Granit, Diorit, Bazalt (izvor: https://geologictimepics.com) | - 25 - |
| Slika 12. Postavljanje male kamene kocke (izvor: http://m.sibenik.in) | - 26 - |
| Slika 13. Shematsko postavljanje kocke u svrhu dobivanja vizualnog efekta (izvor: https://www.bajeonline.net) | - 26 - |
| Slika 14. Strojni iskop dotrajalog makadamskog kolnika..... | - 27 - |
| Slika 15. Ravnanje makadamskog kolnika grejderom (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 28 - |
| Slika 16. Glodanje starog asfaltnog sloja (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste)..... | - 29 - |
| Slika 17. Strojno čišćenje asfaltnog kolnika sa strojnim četkama | - 30 - |
| Slika 18. Strojna ugradnja reciklirane asfaltne mase finišerom (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 30 - |

| | |
|--|--------|
| Slika 19. Ugradnja i valjanje reciklirane asfaltne mase (izvor: baza podataka Zagrebačke ceste) | - 31 - |
| Slika 20. Kombinirani stroj za izmjenu i ugradnju asfaltne mješavine (izvor: https://www.equipmentworld.com)..... | - 31 - |
| Slika 21. Odnosi kriterija (izvor: http://mojizbormojaodluka.net)..... | - 32 - |
| Slika 22. Ocjenjivanje alternativa po ekološkom kriteriju (izvor: http://mojizbormojaodluka.net) | - 33 - |
| Slika 23. Ocjenjivanje alternativa po ekonomskom kriteriju (izvor: http://mojizbormojaodluka.net) | - 34 - |
| Slika 24. Ocjenjivanje alternativa po organizacijskom kriteriju (izvor: http://mojizbormojaodluka.net)..... | - 35 - |
| Slika 25. Ocjenjivanje alternativa po sociološkom kriteriju (izvor: http://mojizbormojaodluka.net) | - 36 - |
| Slika 26. Rezultati analize važnosti alternativa (izvor: http://mojizbormojaodluka.net) | - 37 - |
| Slika 27. Rezultati analize važnosti kriterija (izvor: http://mojizbormojaodluka.net) | - 37 - |
| Slika 28. Struktura alternativa (izvor: http://mojizbormojaodluka.net) | - 38 - |
| | |
| Tabela 1. Saaty-eva skala (preuzeto: http://repositorij.fsb.hr) | - 11 - |
| Tabela 2. Prosječan sastav asfaltne mješavine (preuzeto: https://www.academia.edu)..... | - 15 - |
| Tabela 3. Projektne debljine uvaljanih slojeva asfalta (preuzeto:Hrvatske ceste – Hrvatske autoceste, Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III : Kolnička konstrukcija, Zagreb, 2001. godina) | - 17 - |
| Tabela 4. Orjentacijske ukupne debljine asfaltnih zastora (preuzeto: Hrvatske ceste – Hrvatske autoceste, Opći tehnički uvjeti za radove na cestama, Knjiga III : Kolnička konstrukcija, Zagreb, 2001. godina) | - 18 - |