

# GEOMETRIJSKO OBLIKOVANJE TRASE KAO PARAMETAR PROSTORNE USKLAĐENOSTI PUTA SA NJEGOVOM NEPOSREDNOM OKOLINOM

**Doc. dr Sanja Fric<sup>1</sup>, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**V. prof. dr Dejan Gavran, dipl. građ. inž.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [gavran@grf.bg.ac.rs](mailto:gavran@grf.bg.ac.rs)

**Doc. dr Vladan Ilić, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Filip Trpčevski, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [frpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:frpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Stefan Vranjevac, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Miloš Lukić, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [mlukic@grf.bg.ac.rs](mailto:mlukic@grf.bg.ac.rs)

**Nikola Milovanović, mast. inž. građ.**

Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/I, [milovanovic\\_nikola@outlook.com](mailto:milovanovic_nikola@outlook.com)

**Rezime:** Pojam geometrijskog oblikovanja podrazumeva proces skladnog komponovanja projektnih elemenata sa osnovnim ciljem da se ostvari prostorna slika puta koja u vizuelnom smislu ostavlja pozitivan utisak i vozačima uliva osećaj sigurnosti i predvidljivosti. S obzirom da se u vidnom polju vozača istovremeno nalazi više geometrijskih oblika koji zajedno definišu trasu puta u prostoru, neophodno je voditi računa o optičkim svojstvima svakog elementa. Harmonični odnosi se postižu samo kod usklađenih elemenata trase puta kroz sve projekcije puta (situacioni plan, podužni profil i poprečni profil). U radu će biti prikazane osnovne zahtevi i preporuke koji mogu pomoći da se još u početnim fazama projektovanja postignu optimalni odnosi koji značajno doprinose skladnom uklapanju puta u postojeću okolinu.

**Ključne reči:** geometrijsko oblikovanje, predvidljivost, usklađenost elemenata, okolina puta

## GEOMETRICAL ROAD ALIGNMENT SHAPING AS A PARAMETER OF ITS SPATIAL HARMONIZATION WITH THE CLOSE ENVIRONMENT

**Abstract:** The concept of geometric design implies the process of harmonious composition of design elements with the main goal of creating a spatial image of the road that visually leaves a positive impression and gives drivers a sense of security and predictability. Given that the driver's vision field contains several geometric shapes that together define the route of the road in space, it is necessary to take into account the optical properties of each element. Harmonic relationships are achieved only with coordinated elements of the road route through all road projections (horizontal and vertical alignment and transverse profile). The paper will present the basic requirements and recommendations that can help to achieve optimal relationships in the initial stages of design, which significantly contribute to the harmonious road fit into the existing environment.

**Key words:** geometrical shaping, predictability, road parameters harmonization, road environment

### 1. UVOD

Savremeni pristup projektovanju puteva, pored poštovanja tehničkih standarda, propisa i pravila struke, mora uzeti u obzir i estetske kriterijume koji proističu iz jedinstva puta i okoline i koji nesporno utiču na doživljaj puta od strane njegovih neposrednih korisnika. Jedinstvo puta i okoline se pre svega ogleda u dostizanju prostorne usklađenosti sve tri putne projekcije – normalnog poprečnog profila, situacionog plana i podužnog profila.

Istorijski gledano, prvi začeci prostornog trasiranja i oblikovanja puteva potiču od početka tridesetih godina prošlog veka, gde se mora izdvojiti doprinos H.Lorenza kroz njegovo, za inženjere delo od izuzetnog značaja, "Trasiranje i oblikovanje puteva i autoputeva". Opravdano se smatra da je upravo Lorenz postavio začetke principa "projektovanja puteva po meri čoveka", odnosno stavljanje neposrednih korisnika puta u fokus definisanja projektantskih standarda. Naime, tada je, sagledavajući

uzroke dešavanja saobraćajnih nezgoda, prepoznat značaj doživljaja puta i njegove okoline sa pozicije oka vozača a potom i njegovih reakcija na sve nadražaje koje tokom vožnje prima od puta i njegovog neposrednog okruženja [1].

U radu će biti dat osvrt na ključne karakteristike optičkog vođenja trase, sa akcentom na sadejstvo sve tri projekcije koje, poštujući bazične preporuke, mogu dovesti do jedinstva konstrukcije, oblika i funkcije puta.

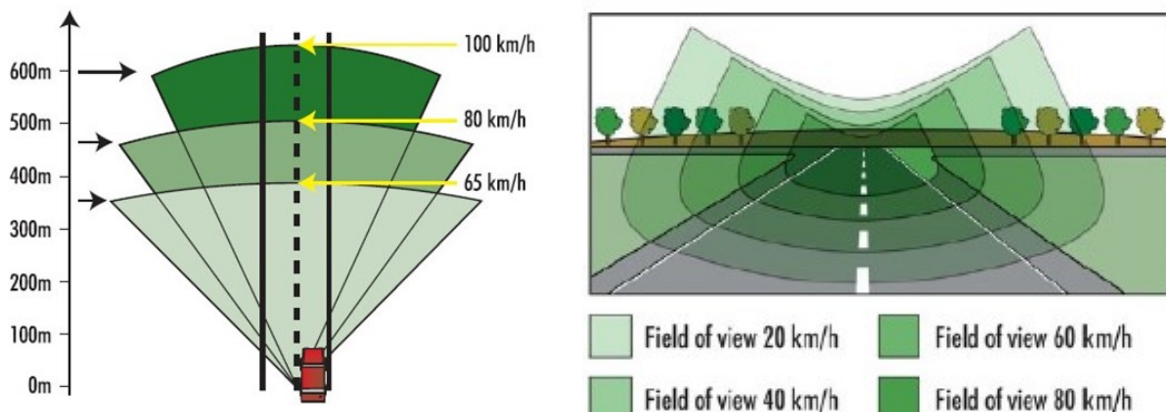
## 2. PSIHOFIZIČKI ČINIOCI VOZAČA

U smislu jedinstva puta i okoline, geometrijsko oblikovanje trase trebalo bi da predstavlja skladnu kompoziciju različitih elemenata situacionog plana i podužnog profila puta, koja bi kao takva vozaču odavala osećaj prepoznatljivosti, sigurnosti i u krajnjoj liniji, udobnosti u vožnji.

Ono što danas zovemo "samoobjašnjavajućim putevima" dobrim delom počiva upravo na principima skladnog geometrijskog oblikovanja. Međutim, opravdano se može postaviti pitanje šta uopšte podrazumeva termin "samoobjašnjavajući put". Može se reći da je to put gde će vozač tokom vožnje sam blagovremeno razumeti šta je to što se od njega tokom procesa vožnje traži i da će nakon prerade te informacije doneti odluku u daljem postupanju koja neće ugroziti njegovu bezbednost ali i bezbednost ostalih učesnika u saobraćaju.

Tokom vožnje, vozač svoj dojam puta stvara na prostornoj osnovi koju formiraju strukturne linije puta – linija kolovoza, kosine useka, elementi zaštitne opreme, inženjerske konstrukcije (npr. potporni zidovi), markacija kolovoza i sl.

Od svih psihofizičkih činioca koji mogu uticati na vozača, vidno polje se svakako izdvaja kao najvažnije. Ono ima svoju širinu i dubinu koja se ne menja ako se vozilo ne kreće. Međutim, njegova širina i dubina, zajedno sa sadržajima u vidnom polju vozača se menjaju zajedno sa kretanjem vozila [1]. Kao važan polazni parameter u optičkom trasiranju tako se izdvaja međuzavisnost između brzine kretanja i širine vidnog polja vozača – što je brzina kretanja veća, širina vidnog polja se smanjuje a promena sadržaja u vidnom polju vozača se prilagođava toj promeni. Takođe, s obzirom da su navedeni paramteri tokom kretanja promenljivi, u konkretnim terenskim ograničenjima treba odrediti koju širinu i dubinu vidnog polja zahtevati kao apsolutni minimum a koju kao optimalnu, kada za to postoje prostorne mogućnosti.



**Slika 1.** Međuzavisnost širine vidnog polja i brzine kretanja

Bazirajući se na osnovim karakteristikama širine i dubine vidnog polja, slede i zahtevi o minimalnim dužinama zaustavne, zahtevane, raspoložive i preticajne preglednosti. Ipak, treba imati u vidu da npr. čak i kod puteva sa fizički razdvojenim kolovozima (autoputevi i tzv. brze saobraćajnice), pri ostvarenim malim dužinama preglednosti vozaču odaju isti utisak sa aspekta preglednosti kao putevi sa zajedničkim kolovozom po smeru [1,2].

Takođe, treba imati u vidu da prostorni doživlja trase puta nije jednoravanski problem – svaki projektzni element puta koji se sagledava sa pozicije oka vozača je u jednu ruku poremećen, kako zbog

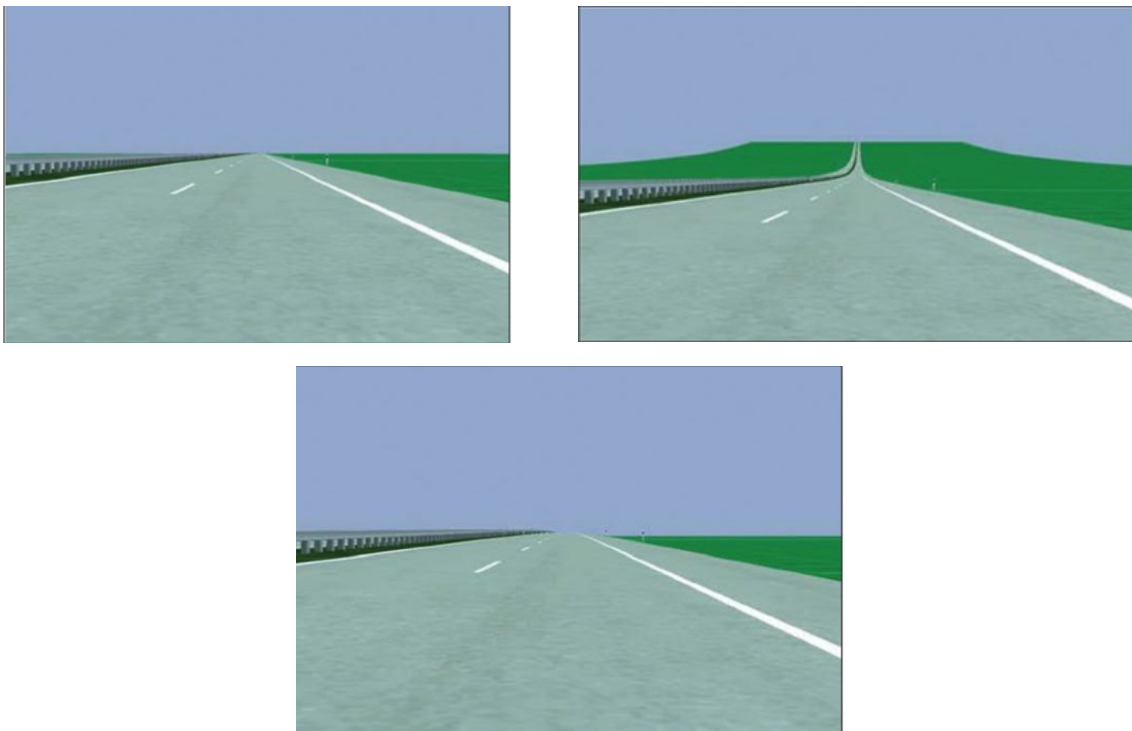
neprekidne promene ugla gledanja (kada se projektna osovina sastoji od niza "S" krivina), tako i zbog dubinskog skraćanja (npr. prilikom upotrebe dugačkih pravaca u definisanju projektne osovine).

Upravo iz sagledavanja ovog višeravanskog problema, mogu se izvesti ključne preporuke za skladno komponovanje projektnih elemenata puta u dve projekcije (situacionom planu i podužnom profilu), odnosno ključne preporuke za **internu harmoniju** putnih elemenata [2].

### 3. INTERNA HARMONIJA PUTNIH ELEMENATA

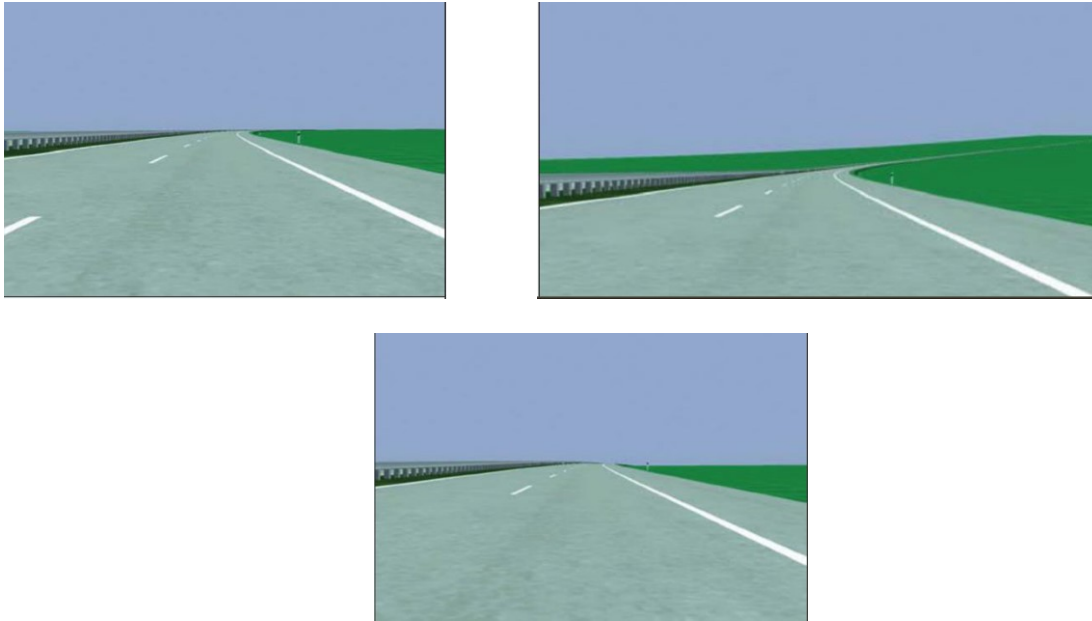
Analizirajući ponašanje vozača kroz set psiho-fizičkih činioca koji se pre svega baziraju na ljudskim čulima, mogu se izvesti sledeće preporuke za dostizanje tzv. interne harmonije:

– Problem dubinskog skraćanja (suženja) trase se može rešiti izbegavanjem pravca prilikom definisanja projektne osovine. Poseban problem predstavlja činjenica da vozač prilikom kretanja po pravom putu, ima problem sa shvatanjem odnosa veličina-odstojanje, odnosno prepoznatim fenomenom Ponzo iluzije. Razlog zbog koga, prilikom kretanja na dugačkim pravcima, rastojanja u daljini doživljavamo kao veća od tih istih rastojanja u neposrednoj blizini je zato što odnose tumačimo po principu linearne perspektive - čini se da što se više udaljavaju od nas paralelne linije se više međusobno približavaju (npr. ivice kolovoza). Ovaj fenomen na dugačkim pravcima za posledicu može imati neodgovarajuću procenu i reakciju vozača. Takođe, uzimajući navedeno u obzir, na pravcu ne možemo na pravi način oceniti odstojanje i brzinu kretanja vozila u daljini. Pored monotonije vožnje, u ovome leži i osnovna preporuka da se pravac koristi samo kao pomoćno sredstvo u trasiranju ili u specifičnim situacijama u cilju poštovanja pojedinih fiksni i prostorni ograničenja [1,2].



**Slika 2.** Primena pravca kao projektnog elementa puta (podužni nagib const., konkavna i konveksna vertikalna krivina) [4]

– Kružne krivine pružaju daleko veće mogućnosti za pravilni prostorni doživljaj trase, uz neophodan uslov da njihova dužina bude dovoljna za shvatanje njihove zakrivljenosti, prilikom kretanja pretpostavljenom računskom brzinom. Iz ovog uslova sledi ograničenje o minimalnoj dužini kružnog luka za 2 sekunde vožnje, odnosno maksimalnoj u zavisnosti od shvatljive vizure preglednosti.

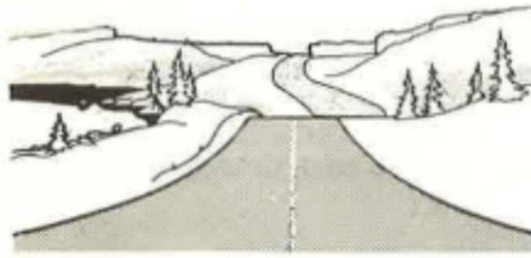


**Slika 3.** Primena kružne krivine kao projektnog elementa puta (podužni nagib const., konkavna i konveksna vertikalna krivina) [4]

- Klotoida kao ravnopravan element u trasiranju svakako stvara najpovoljnije optičke efekte i zato se u njenoj primeni mora težiti estetskom kriterijumu pri definisanju njenog parametra, odnosno njene dužine. U tom smislu, najpovoljnija likovna rešenja postižu se pri odnosu  $L_p : D_k : L_p = 1 : 1 : 1$ , sa  $R/3 \leq A \leq R$ .
- Ljudski organizam praktično ne detektuje nagibe nivelete ispod vrednosti  $i_n = 3\%$ . Tek nakon ove vrednosti organizam doživljava pad ili uspon i zato na dugačkim pravcima treba izbegavati veće uspone, kako ne bi došlo do tzv. "efekta zida" i opet do pojave Ponzovih iluzija. Jedan od načina da se ovo izbegne je primena "S" krive na usponima većim od 3%.
- Vertikalne krivine, kao i horizontalne, deluju prirodno samo ako imaju adekvatnu dužinu. Zaobljenja koja su zbog malih radijusa ( $R_v$ ) ili male oštrote ugla ( $\Delta i_n$ ) izvedena na kratkom potezu, vizuelno se doživljavaju kao nasilni, odnosno nagli prelomi u vertikalnom smislu. Najčešći optički promašaji u ovom smislu se dešavaju kod primene čestih preloma nivelete i neadekvatnih dužina vertikalnih krivina. Sa druge strane, konveksni prelomi nivelete u pravcu, mogu u potpunosti da sakriju zakrivljenost trase koja sledi [2].



**Slika 4.** Primena neadekvatnog radijusa vertikalne krivine [4]

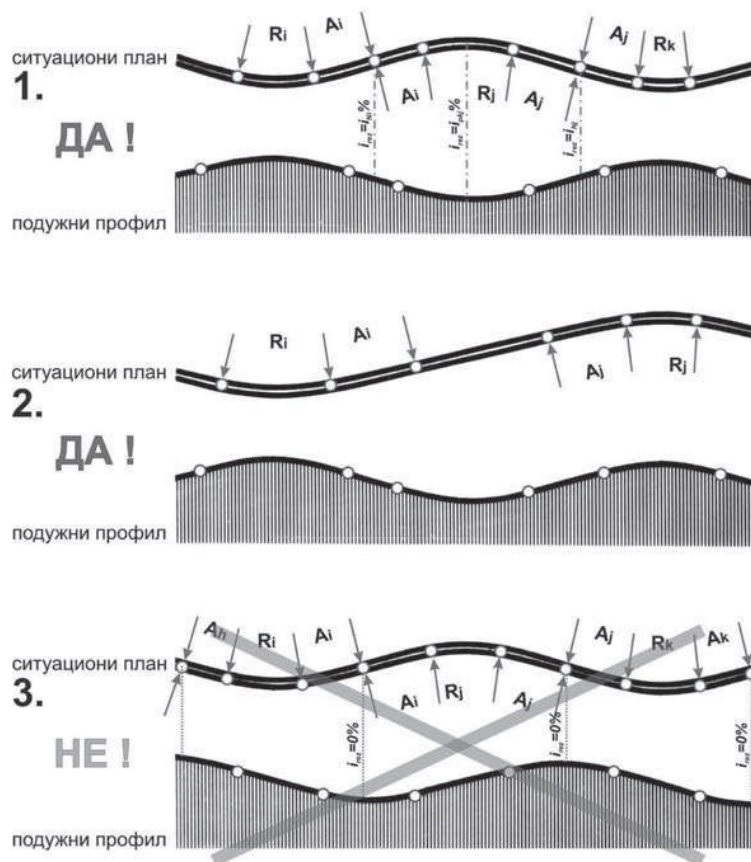


**Slika 5.** Sakrivena zakrivljenost trase konveksnim prelomom u pravcu [5]

– Usklađivanje elemenata horizontalne i vertikalne geometrije puta: Da bi ukupna predstava projektovanog puta bila harmonična, nije dovoljno da unutar svake projekcije postoji skladan odnos primenjenih projektnih elemenata. Da bi se došlo do konačnog cilja, a to je jedinstvo puta i okoline, neophodno je da budu usaglašeni i međusobni odnosi putnih projekcija. To znači da se interna koordinacija elemenata situacionog plana mora vršiti uz jednovremeno sagledanje uticaja vertikalne projekcije i obrnuto.

U skladu sa preporukama iz važećih standarda, povoljan prostorni tok trase puta se postiže uz primenu radijusa vertikalnih krivina koje su 8-10 puta veće od primenjenih radijusa horizontalnih krivina [3].

Samo u slučajevima ravničarskih opruženih trasa daljinskih puteva (npr. autoputevi) prostorna slika puta zavisi pre svega od elemenata situacionog plana puta, oblikovanja eventualnih objekata i oblikovanja putnog pojasa. Razlog tome leži pre svega u blagim podužnim nagibima i malim oštrinama preloma nivelete. U svim drugim okolnostima presudan činilac su položaj preloma nivelete u odnosu na situacioni plan puta kao i primenjene vertikalne krivine. Zato se može smatrati da su upravo ti parametri presudni za skladno definisanje prostorne slike puta.



**Slika 6.** Principi usklađivanja horizontalne i vertikalne projekcije puta [2]

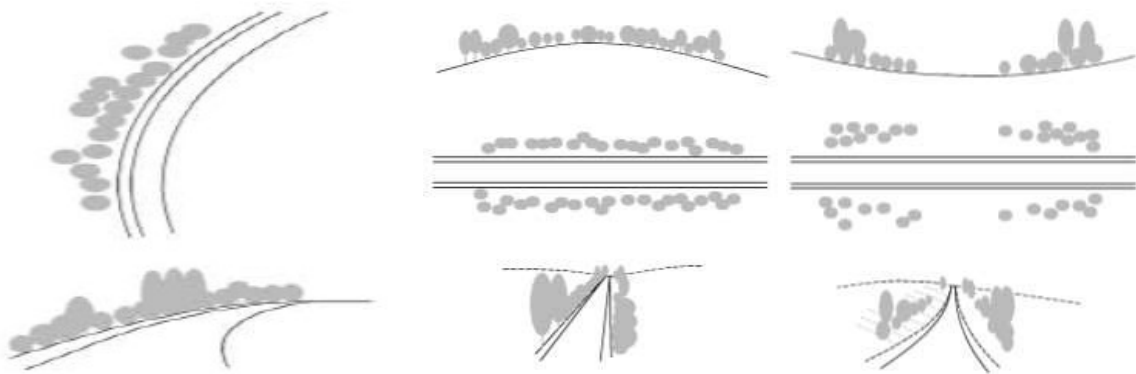


#### 4. EKSTERNA HARMONIJA PUTA I NJEGOVE OKOLINE

Čak i pri velikim brzinama kretanja, čovek je u mogućnosti da, nekad u manjoj, nekad u većoj meri, registruje različite sadržaje u okolini puta, ubrajajući u to i prateće elemente kolovoza, zaštitnu opremu puta, elemente saobraćajne signalizacije i opreme. Oblikovanje ovih objekata i sadržaja, a naročito njihovo uklapanje u okolinu puta, prevashodno utiču na na lični doživljaj vozača i konsekventno, njegovo ponašanje tokom vožnje [2].

Upravo ta činjenica sama po sebi nameće neophodnost ozbiljnog pristupa oblikovanju svih objekata unutar putnog pojasa, sa ciljem da se stvori osećaj prirodnog uklapanja puta u njegovu neposrednu okolinu. Ovaj zadatak je svakako složen kako zbog različitih uticaja i uslova koji se javljaju istovremeno, tako i zbog odgovornosti koju prati proces redefinisanja i izmena postojećeg prirodnog okruženja.

Tako projektantski zadatak, uporedo sa poštovanjem principa interne harmonije putnih elemenata, podrazumeva i poštovanje principa eksterne harmonije, odnosno primenu najprikladnijih rešenja za uklapanje puta i putnih objekata u okolni pejzaž. Za uspešno uklapanje puta u pejzaž potrebno je da se pored geometrijskog oblikovanja konturnih linija putnog pojasa, primene i adekvatna rešenja njegovog oplemenjivanja zelenilom, u skladu sa neposrednom okolinom ali poštujući i osnovne principe koji proističu iz zahteva optike puta (preglednost pre svega).



**Slika 7.** Pejzažno oblikovanje konturnih linija puta (krivina, konveksna vertikalna krivina i konkavna vertikalna krivina) [6]

Sa stanovišta eksterne harmonije od izuzetnog značaja je i prilagođavanje puta morfološkim oblicima i karakteristikama terena u kojem se put gradi, kako se ne bi javili ožiljci terena i uopšteno utisak o nasilnom polaganju trase kroz nasleđene morfološke oblike.



**Slika 8.** Primeri neuspešnog uklapanja puta u postojeći teren [privatna arhiva]



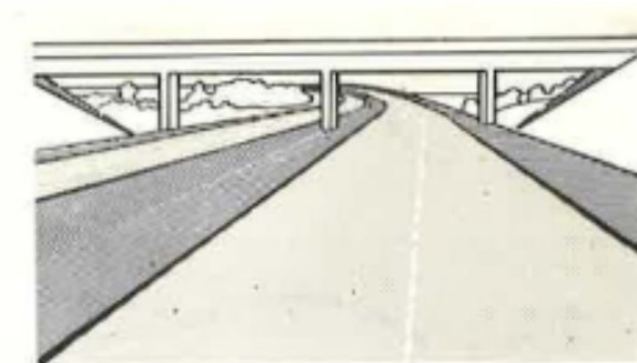
**Slika 9.** Primeri neuspešnog uklapanja puta u postojeći teren [7]

Različitim zasadima se, kada je to neophodno, donekle mogu ublažiti posledice narušavanja likovne ravnoteže prirodne sredine koja nastaje nasilnim intervencijama u terenu (duboki useci, visoki nasipi, pozajmišta materijala, kamenolomi i sl.), što može jednim delom doprineti i geotehničkoj stabilizaciji terena.

Zelenilo se može iskoristiti i kao dragoceno pomoćno sredstvo optičkog vođenja trase, čime se direktno utiče na percepciju vozača. Takođe, zeleni zasadi mogu doprineti i smanjenju zasenjivanja farovima, smanjenju nivoa buke, ublaženju dejstva mraza i vetra itd.

Kada su u pitanju putni objekti (mostovi, tuneli, potporni zidovi i sl.), pored svoje primarne uloge koja proističe iz građevinskog rešenja putnog objekta, imaju i izraženu estetsku dimenziju koja ravnopravno učestvuje u formiranju celokupne prostorne slike puta. Samim tim, svaki primenjeni inženjerski objekat i inženjerska konstrukcija mora da se dodatno proveriti i sa stanovišta doživljaja prostorne slike puta i njegove okoline u celini [2].

Kada su u pitanju mostovi, neophodno je da most pre svega bude u potpunosti prilagođen toku trase u sve tri projekcije. Vozači ne bi trebalo da doživljavaju mostovske konstrukcije kao prepreku ili veštački objekat na trasi, već pre svega kao logičan nastavak trase puta u kome dominiraju skladni likovni odnosi. Jedna od preporuka je da se nadvožnjaci, kad god to konstruktivni uslovi dozvoljavaju, izvode sa maksimalnim svetlim otvorom, dok se kod mostova mora voditi računa o komponovanju elemenata situacionog plana i podužnog profila koji dozvoljavaju punu preglednost na trasi.



**Slika 10.** Primer neuspešnog rešenja uklapanja nadvožnjaka u postojeći teren [5]

Sa druge strane, potporni zidovi mogu se prilagoditi prirodnoj sredini ako prilikom njihovog oblikovanja izbegavamo oštre linije, neprihvatljivo veliku visinu i primenjujemo delikatnu obradu njihovih vidnih površina. Potporni zidovi u kombinaciji sa zelenilom, mogu biti iskorišćeni i za poboljšanje uslova optičkog vođenja trase.



*Slika 11. Neadekvatno uklapanje potpornog zida u postojeći teren [7]*

Oblikovanju tunelskih portala se nažalost ne pridaje dovoljno pažnje, što je verovatno jednim delom zaostalo iz prakse oblikovanja železničkih tunela. Primenjuju se uglavnom izrazito gruba rešenja, koja i po obliku i po završnoj obradi izrazito odskaču od estetskih karakteristika prirodne sredine u kojoj se nalaze.



*Slika 12. Uspešno uklapanje portala tunela u okolni pejzaž – tunel Engelberg [8]*

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu prethodno iznetih stavova i primera, može se svakako konstatovati da prostorno trasiranje i oblikovanje puteva predstavlja jedan od najvažnijih koraka u procesu projektovanja, imajući u vidu pre svega da se upravo u tim aktivnostima objedinjavaju sadejstvo funkcije puta, njegove konstrukcije i oblika.



U radu je opisan metodološki pristup koji u početnim fazama projektovanja može doprineti poboljšanju likovnih i estetskih karakteristika trase, koje posledično mogu imati i bitan značaj na bezbednost i udobnost vožnje u toku eksploatacije novoprojektovanog puta.

## LITERATURA

1. H.Lorenz: "Trasiranje i oblikovanje puteva i autoputeva", Građevinska knjiga, Beograd, 1980.
2. V.Andjus: "Prostorno oblikovanje puteva i sigurnost vožnje", IV Jugoslovenski simpozijum sa međunarodnim učešćem "prevencija saobraćajnih nezgoda na putevima 98", Univerzitet u Novom Sadu – Fakultet tehničkih nauka, Institut za saobraćaj, Novi Sad, 1998.
3. "Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja treba da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta" (Sl.glasnik 50/2011)
4. Richtlinien für die Anlage von Autobahnen, RAA, Ausgabe 2008.
5. E.H.Geissler: "A Three-Dimensional Approach to Highway Alignment Design", Department of Highways, Ontario, Canada
6. "Priručnik za projektovanje puteva u Republici Srbiji". Poglavlje 7. Put i životna sredina, Beograd 2012.
7. Preuzeto sa interneta: <https://koridorisrbije.rs/sr-lat/foto-galerija>
8. Preuzeto sa interneta: <https://de.wikipedia.org/wiki/Engelbergtunnel>