

REPUBLIKA SRBIJA
PROJEKAT REHABILITACIJE TRANSPORTA

**PRIRUČNIK ZA PROJEKTOVANJE
PUTEVA U REPUBLICI SRBIJI**

4. PROJEKTNII ELEMENTI PUTA

4.0 PROJEKTNII ELEMENTI PUTA

BEOGRAD, 2012.

Izdavač: Javno preduzeće Putevi Srbije, Bulevar kralja Aleksandra 282, Beograd

Izdanja:

Br.	Datum	Opis dopuna i promena
1	30.04.2012	Početno izdanje

SADRŽAJ

4.1	OPŠTE	1
4.1.1	AKTUELNOST PRAVNE I TEHNIČKE REGULATIVE ZA PUTEVE.....	1
4.1.2	EU DIREKTIVE I OGLEDNI STRANI TEHNIČKI PROPISI.....	1
4.1.3	UTICAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA BEZBEDNOST U SAOBRAĆAJU.....	1
4.1.4	UTICAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA ŽIVOTNU SREDINU.....	3
4.1.5	TERMINOLOGIJA.....	4
4.2	OSNOVE ZA ODREĐIVANJE DIMENZIJA PROJEKTNIH ELEMENATA PUTA	6
4.2.1	ELEMENTI PUTA.....	6
4.2.1.1	Vrste projektnih elemenata puta.....	6
4.2.1.2	Obavezna pravna i tehnička regulativa.....	7
4.2.2	ULAZNI PARAMETRI ZA IZBOR I DIMENZIONISANJE ELEMENATA PUTEVA.....	7
4.2.2.1	Klasifikacija puteva.....	7
4.2.2.2	Saobraćajno opterećenje.....	9
4.2.2.3	Parametri vozača, vozila i kolovoza.....	16
4.2.2.4	Merodavne brzine i ubrzanja/usporenja te dužina usporavanja.....	23
4.2.2.5	Programski i tehnički uslovi.....	26
4.2.2.6	Koraci prilikom izbora i korekcije elemenata puta.....	31
4.3	POPREČNI PROFIL PUTA	32
4.3.1	VRSTE POPREČNOG PROFILA NA PUTEVIMA.....	32
4.3.1.2	Vrste poprečnih profila u putnim projektima.....	33
4.3.2	SAOBRAĆAJNI I SLOBODNI PROFIL PUTA.....	33
4.3.2.1	Saobraćajni profil za motorna vozila.....	34
4.3.2.2	Saobraćajni profili za pešake i bicikliste.....	34
4.3.2.3	Slobodni profili za motorna vozila.....	34
4.3.2.4	Slobodni profil za pešake i bicikliste.....	37
4.3.2.5	Spajanje slobodnih profila.....	38
4.3.2.6	Slobodni profil iznad železničke pruge.....	38
4.3.2.7	Slobodni profil iznad vodotokova.....	39
4.3.3	ELEMENTI POPREČNOG PROFILA PUTA.....	39
4.3.3.1	Saobraćajne i prateće površine u poprečnom profilu.....	39
4.3.3.2	Kolovozne trake u poprečnom profilu.....	40
4.3.3.3	Prateće uzdužne površine u poprečnom profilu.....	47
4.3.4	STANDARDNI GEOMETRIJSKI POPREČNI PROFILI.....	52
4.4	PROJEKTANTSKI ELEMENTI KOLOVOZA	56
4.4.1	OSNOVE ZA IZBOR I USKLAĐENOST ELEMENATA KOLOVOZA.....	56
4.4.1.1	Vozno-dinamičko dimenzionisanje elemenata kolovoza.....	56
4.4.1.2	Rezultujući nagib kolovoza.....	57
4.4.1.3	Minimalni nagibi za oticanje vode.....	58
4.4.1.4	Osovina puta i niveleta.....	58
4.4.2	PREGLEDNOST.....	63
4.4.2.1	Definicija i vrste preglednosti.....	63
4.4.2.2	Uticaji preglednosti.....	65
4.4.3	PROJEKTANTSKI ELEMENTI SITUACIONOG PLANA.....	68
4.4.3.1	Vrste elemenata osovine puta i oblici sastava redosleda krivina.....	68
4.4.3.2	Pravac.....	69
4.4.3.3	Kružna krivina.....	70
4.4.3.4	Klotoida (prelazna krivina).....	72
4.4.3.5	Izbor radijusa uzastopnih kružnih krivina.....	77
4.4.3.6	Specijalni oblici putnih krivina.....	78
4.4.4	PROJEKTANTSKI ELEMENTI PODUŽNOG PROFILA.....	79
4.4.4.1	Vrste elemenata nivelete.....	79
4.4.4.2	Nagibi nivelete (tangente).....	80
4.4.4.3	Vertikalne krivine.....	81

4.4.4.4	Izbor radijusa uzastopnih vertikalnih krivina	86
4.4.5	PROJEKTANTSKI ELEMENTI POPREČNOG PROFILA	88
4.4.5.1	Vrste poprečnih nagiba kolovoza	88
4.4.5.2	Granične vrednosti poprečnih nagiba kolovoza	89
4.4.5.3	Poprečni nagib u krivinama	90
4.4.5.4	Promena nagiba kolovoza – vitoperenje	91
4.4.6	USKLAĐIVANJE ELEMENATA PUTEVA	102
4.4.6.1	Usklađivanje radijusa horizontalnih krivina u pogledu obezbeđivanja manjih promena vozne brzine	102
4.4.6.2	Usklađivanje horizontalnih elemenata osovine puta u pogledu izbegavanja opasnih mesta	104
4.4.6.3	Usklađivanje horizontalnih i vertikalnih elemenata osovine puta u pogledu izbegavanja akvaplaninga	107
4.4.6.4	Prostorno usklađivanje elemenata osovine puta	108

4.1 OPŠTE

4.1.1 AKTUELNOST PRAVNE I TEHNIČKE REGULATIVE ZA PUTEVE

Pravna i tehnička regulativa na području projektovanja puteva (geometrija puta) u Republici Srbiji je sistematski uređena (zakoni, pravilnici i standardi). Na osnovu toga je u zadovoljavajućoj meri objavljena stručna literatura koja omogućuje projektovanje puteva u Republici Srbiji prema poznatim uslovima, merilima i standardima istovetno na području cele države.

Zakoni koji određuju osnovne normative i uslove za planiranje i projektovanje puteva su

- Zakon o planiranju i izgradnji (Sl.Glasnik RS, br.72/09, 81/09 – ispr., 64/10 – odluka US i 24/2011)
- Zakon o javnim putevima (Sl.Glasnik RS, br.101/05 i 123/07)
- Zakon o bezbednosti saobraćaja na putevima (Sl.Glasnik RS, br.41/09 i 53/10)
- Zakon o vodama (Sl.Glasnik RS, br, 30/10)
- Zakon o zaštiti životne sredine (Sl.list SCG, 135/04)

Usvojeni su i važeći i drugi zakoni iz oblasti gradnje, zaštite i očuvanja životne sredine, te načina upravljanja putevima koji ovde nisu navedeni, a koje je prilikom projektovanja puteva potrebno uzeti u obzir kod specifičnih mera ako se pojave u projektu.

U Republici Srbiji je na osnovu prethodno navedenih zakona usvojeno više pravilnika od kojih je najvažniji pravilnik kojim se uređuje projektovanje puteva.

- Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta (Sl. glasnik RS, 50/11), koji sadrži četiri (4) priloga koji se odnose na:
 - funkcionalnu klasifikaciju vangradskih puteva (Prilog 1),
 - trase vangradskih puteva (Prilog 2),
 - površinske raskrsnice vangradskih puteva (Prilog 3) i
 - denivelisane raskrsnice vangradskih puteva (Prilog 4).

Za većinu pojedinačnih detalja koji se primenjuju u projektovanju puteva u Republici Srbiji usvojeni su i standardi koji su za ovo područje označeni šifrom SRPS U.Cx.xxx.

4.1.2 EU DIREKTIVE I OGLEDNI STRANI TEHNIČKI PROPISI

Na području projektovanja puteva (geometrija puta) važi samo direktiva EU – 96/53-ES, dopunjena direktivom EU – 2002/7-ES, koja određuje gabarite i mase vozila na javnim putevima, te sprovodi zahtev po kome prilikom određivanja visine prostog profila puta čija visina odgovara visini zaustavljenog teretnog vozila (statička visina) treba uzeti u obzir i nadvišenje koje potiče od oscilacija tokom vožnje (dinamička visina). Odredbe ove direktive su na odgovarajući način već unete u tehničku regulativu Republike Srbije.

Kod određivanja i načina određivanja pojedinih elemenata i njihovih dimenzija koje važe u projektovanju puteva (geometrija puta), kao važan uzor poslužila je tehnička regulativa država koje u oblasti saobraćaja imaju dužu tradiciju. Srpskoj tehničkoj regulativi za projektovanje puteva kao uzor je poslužila pre svega švajcarska regulativa (SVN).

U ovom dokumentu je zato kod opisivanja pojedinih detalja osim odredbi iz srpskih pravilnika dodato i nekoliko preporuka konkretno za rad projektanta koje potiču iz drugih regulativa, i to pre svega iz nemačke koja je najzastupljenija (RAS-L, RAS-Q). Nekoliko preporuka je izabrano i na osnovu američkih iskustava te preporuka koje potiču iz izveštaja međunarodne stručne organizacije PIARC. Preporuke ni u jednom slučaju nisu u suprotnosti sa odredbama važeće srpske regulative.

4.1.3 UTICAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA BEZBEDNOST U SAOBRAĆAJU

Prilikom projektovanja puteva projektant mora da uspostavi vezu između strateško postavljenih programskih uslova, saobraćajnog opterećenja i dimenzija projektnih elemenata puta. Osim obezbeđivanja funkcionalnosti, put mora da bude projektovan tako da obezbeđuje saobraćajnu bezbednost vozačima koji put koriste u skladu sa važećim propisima. To znači da elementi puta moraju međusobno da budu usklađeni i sastavljeni tako da, iako mu je na čitavoj dužini puta obezbeđena zahtevana preglednost, vozač u toku normalne vožnje nije prisiljen da intenzivno koči na pojedinim mestima.

Najvažnije greške koje se mogu dogoditi kod neusklađenog planiranja i lošeg projektovanja puta i ugrožavaju bezbednu vožnju su

- (pre)bogati elementi puta (prevelike) brzine vožnje,
- nedostatak zaustavne preglednosti,
- pojava akvaplaninga (za brzine iznad 80 km/h),
- neusklađenost horizontalnih geometrijskih elemenata duž ose puta,
- neusklađenost geometrijskih elemenata ose puta i nivelete,
- prekratke dužine zona za izvođenje saobraćajnih manevara,
- učestalost priključaka (izlaza/ulaza),
- nepravilno izvedeni prelazi smanjenja broja saobraćajnih traka na kolovozu,
- nezaštićene strme kosine (odron kamenja) i
- nestručno osmišljeni detalji na kolovozu (netačno vođena oznaka vozne linije).

Da bismo projektovali bezbedan put, treba izbegavati

- prevazilaženje gornjih vrednosti računskih brzina za pojedinačnu vrstu puta,
- povećanje širine saobraćajnih traka u odnosu na širinu koja je prihvaćena kao standardizovana za pojedinačnu računsku brzinu (problem: povećanje širine → veći alternativni poluprečnici kružnih krivina → povećanje brzine),
- korišćenje neusklađenog redosleda kružnih i njime pripadajućih prelaznih krivina,
- umeštanje manje između dve istosmerne kružne krivine u obliku O-krivine na niveletski nižem položaju (važno za brzine > 70 km/h),
- projektovanje tehničkih elemenata kolovoza (poprečni nagib, preglednost i sl) za predviđenu računsku brzinu, ako se na trasi minimalnog poluprečnika uopšte ne primenjuje,
- menjanje profila puta na prekratkim rastojanjima (izabrati saobraćajno logične početke i završetke),
- koincidenciju prevojnih tačaka na osi puta sa zonama nivelete čiji je podužni nagib manji nego što je potrebno za izvođenje odvodnjavanja,
- izostavljanje određenja polja preglednosti (u raskrsnicama – trougla preglednosti),
- postavljanje elemenata koji onemogućuju ili smanjuju preglednost na putu (saobraćajna oprema – table i sl), ili umetanje uređenja duž puta u zoni polja preglednosti (stajališta, parkirališta, deponije, zidovi),
- umetanje veoma kratkih vertikalnih zaobljenja (informativno: kraćih od dvostruke dužine zaustavne preglednosti),

- neuvažavanje svih polaznih osnova kako su definisana u poglavlju Procena uticaja na životnu sredinu,
- neuvažavanje mogućnosti dograđivanja pojedinačnih uređenja na putu i po isteku planiranog veka (primer: buka – prilikom osmišljavanja trase potrebno je predvideti dovoljan prostor za postavljanje barijera takvim izvođenjem koje omogućuje potrebno nadvišenje po isteku planiranog veka),
- izostavljanje uređivanja objekata, uređaja i uređenja za prelazak divljih životinja (ekodukti, podzemni prolazi) i vodozemaca (ograđivanje puta, premeštanje habitata),
- izostavljanje prirodnih uređenja regulacija vodotokova (ugrožavanje stabilnosti trupa puta),
- izostavljanje procene uticaja snažnog vetra i snežnih nanosa (pregrade za zaštitu od vetra, pregrade protiv snežnih nanosa [palisade]),
- priključenja sekundarnih puteva sa unutrašnje strane horizontalnih kružnih krivina kod kojih je poprečni nagib kolovoza manji od 3-4% (vozač nema pregled – fizičko ograničenje),
- projektovanje prelaza u nivou za pešake na nepreglednim deonicama puta, iako su zadovoljavajuće opremljeni,
- umeštanje i projektovanje građevinskih objekata u trasi unutar slobodnog profila puta ili na ivici ovog profila bez zaštitnih uređenja (ograda),
- izostavljanje uređenja proširenja nasipa (proširena bankina) kod puteva smanjene širine kolovoza (omogućavanje mimoilaženja),
- izostavljanje uređenja zadovoljavajuće dimenzionisanih elemenata za odvodnjavanje (akvaplaning) i
- slično.

Kod projektovanja puteva za velike brzine vožnje sa aspekta bezbednosti je veoma važna usklađenost linije puta sa okolinom puta unutar putnog pojasa u kome je potrebno izvesti (dizajn kosina) ili u njega uneti elemente (pejzažno uređenje) koji omogućuju dobru vidljivost puta na dužoj deonici (psihološki povoljan utisak).

Ograničavanje brzine vožnje je važna mera za povećanje saobraćajne bezbednosti na putevima. Razlozi za uvođenje ograničenja brzine pre svega mogu da budu

- vozno-dinamički (velika verovatnoća proklizavanja na mokrom putu),
- ekološki (smanjenje brzine zbog uticaja na životnu sredinu),

- sistemski (smanjenje brzine u odnosu na specifične potrebe – raskrsnice, ulazi, deca i sl), te
- bezbednosni (mogućnost naletanja ili sudara, prevrtanja vozila i sl).

Kada se brzina ograničava na datoj tački i iz potpuno određenog razloga, saobraćajni znak za ograničenje treba da prati dodatna tabla sa objašnjenjem ograničenja ili vremenski ili prostorno ograničenom važnošću ograničenja. Treba izbegavati česta ograničenja brzine na istom putu.

4.1.4 UTICAJ PROJEKTNIH ELEMENATA NA ŽIVOTNU SREDINU

Usklađenost trase puta sa prostorom je od izuzetnog značaja kako za put tako i za saobraćaj koji se njime odvija. Zbog toga projektant o tome mora da razmišlja od početnog traženja koridora trase do iscrtaavanja detalja koji moraju da budu usklađeni sa datostima i iskorišćenošću prostora i izvedeni tako da se u najvećoj mogućoj meri prilagode prostoru (prirodno rešenje). Put u prostoru ne sme da izgleda kao strano telo, već kao jedna od komponenti tog prostora. Treba uzeti u obzir i budući razvoj prostora (planski akti opština) kroz koji se put sprovodi, kako ga put u tome ne bi ometao (održivi razvoj).

Dimenzije elemenata puta treba odrediti tako da se postigne njegova maksimalna funkcionalnost. Kada je prostor kroz koji put prolazi posebno osetljiv na uticaje puta i saobraćaja koji se njime odvija, potrebno je primeniti sva sredstva za njegovo očuvanje i zaštitu. U ovakvom slučaju se za obezbeđivanje funkcionalnosti mogu izabrati i niži kriterijumi za dimenzionisanje elemenata puta, mada ne niži od onih koji su za određenu vrstu puta određeni kao najniži u programskim uslovima.

U najranijoj fazi projektovanja novog puta treba izvršiti analizu i grubu proračun ili procenu opterećenja životne sredine usled projektovanog puta. Naime, u ovoj fazi nastanka projekta puta je uz primereno vođenje trase (odstojanja, useci) još uvek moguće izbeći većinu očekivanih uticaja. To pre svega važi za uticaje na vodni režim i za prekomernu buku. Određivanje mera za zaštitu životne sredine pored puta tek u kasnijim fazama projektovanja treba izbegavati. Pošto nije bilo blagovremeno predviđeno, često u poprečnom profilu nema dovoljno prostora za primenu ovih mera. Posledice ovakvog pristupa su višestruke: od naknadne intervencije na dodatnim zemljištima do

smanjenja bezbednosti saobraćaja, a naravno i povećanja troškova ulaganja.

Elemente koji sprečavaju širenje prekomerne buke treba u najvećoj mogućoj meri projektovati usaglašeno sa pejzažnim izgledom okoline, pre svega na otvorenom prostoru. Ako to nije tako, umesto uticaja buke u prostor se „ugrađuje“ preoblikovanje pejzažnog izgleda. Zbog toga se u projektu kod definisanja mera za zaštitu od prekomerne buke mora postići usklađenost između obima zaštite i njenog uključivanja u prostor kroz koji put prolazi (više u poglavlju Uređenje putnog pojasa).

Odvodnjavanje putnih površina treba izvoditi prema uslovima i merilima koji su zvanično propisani ili/ dobijeni od zainteresovanih strana u postupku dobijanja dozvole za gradnju. Uvek treba voditi računa da projektom neće biti ugroženi izvori pitke vode, a tehničke mere za odvodnjavanje moraju da budu osmišljene tako da prostor oko puta ne bude ugrožen (na nekim mestima će biti suša, na drugim poplava).

Novi put u prostoru predstavlja prepreku koja sprečava redovne migracione puteve divljih životinja, ali i vodozemaca. Iz razloga racionalnosti i pravilne procene troškova ulaganja i prostorne usklađenosti puta, koncepciju očuvanja migracionih puteva divljih životinja u prostoru (životinjske staze) treba napraviti u najranijim fazama pripreme projektne dokumentacije. Najjednostavniji način omogućavanja prelaska divljači sa jedne strane puta na drugu su građevinski objekti na trasi (mostovi, vijadukti). Zahtevniji način je izgradnja posebnih podzemnih ili nadzemnih prolaza za divljač, ali je ekonomski isplativa samo kod puteva za velike brzine. Ako prelazak divljači nije moguće obezbediti denivelisanim ukrštajem, potrebno ga je odgovarajućim sredstvima (ograda opremljena katadiopterima ili električni pastir) preusmeriti na deonicu puta gde je obezbeđena zadovoljavajuća zaustavna pregledna dužina i tamo pored puta postaviti odgovarajuću signalizaciju.

Na području sa izrazito naglašenom gustom životnih staništa vodozemaca treba uzeti u obzir i njihove migracione puteve. Problem prelaska vodozemaca preko puta, što je istovremeno i problem obezbeđivanja bezbednosti vožnje, u projektu puta je moguće rešiti na dva načina: ili postavljanjem posebnih ≥ 30 cm visokih ograda za usmeravanja koje će sprečiti pristup vodozemaca na put i usmeriti ih ka odvodnim kanalima ili građevinskim objektima kao što su most,

vijadukt ali i podvožnjak, ili predviđanjem premeštanja određenih životnih staništa vodozemaca kako ne bi dolazilo do prelaženja puta.

Usklađivanje toka puta sa pejzažom kroz koji put prolazi ima pozitivan estetski učinak, a utiče i na psihičko stanje vozača. Pri tom koncepciju rešenja treba izvesti sa dve tačke gledišta: pogled sa puta („view from the road“) i pogled na put („view on the road“).

Postupci i tehnička pomagala za usklađivanje toka puta sa pejzažom su pre svega

- posmatranje i fotografisanje prilikom terenskog obilaska trase i/ili korišćenje digitalnih ortofoto (DOF) snimaka,
- nesmetano vođenje nivelete u vidnom polju (put ne sme „da nestane“),
- pomik linije vođenja nivelete u zoni vijadukata i visokih potpornih zidova ka spoljnoj vidljivoj strani puta („talasanje“ ivice konstrukcije zbog izvođenja vitoperenja – efekat kod view on the road),
- uređenje kosina trupa puta u skladu sa prirodnim nagibima padina i prilikom čega se uzima u obzir tok trase (desna krivina → desna kosina blaža od leve),
- dosledno uvažavanje arhitektonskih odnosa visina i dužina dugih objekata premošćavanja i skraćanja priključnih nasipa koji se protežu uz njih koliko to omogućuje razuđenost reljefa,
- projekat pejzažnog uređenja (prirodnim oblikovanjem reljefa i postavljanjem obodnog prostora vozačima se može obezbediti dobra preglednost i bezbednost – senka/poledica!)
- računarski program za vizualizaciju toka trase i
- slično.

Izbor načina kojim se obezbeđuje usklađenost trase sa pejzažom zavisi od vrste puta, tipologije pejzaža i obima intervencije u okruženju i ne može da bude jednoznačno propisana za sve slučajeve (pogledaj poglavlje Uređenje putnog pojasa). Saradnja projektanta puta sa pejzažnim arhitektom je poželjna naročito kod puteva najviših kategorija (DP i VP).

4.1.5 TERMINOLOGIJA

Dvostepeno vitoperenje (Two-step Rotation of Carriageway) kolovoza podrazumeva izvođenje promene poprečnog nagiba na užem području vitoperenja sa minimalnim nagibom rampe vitoperenja, dok se na susedna dva

područja nagib rampe izvodi lineranim povezivanjem početne i završne visinke tačke rampe.

Etapna izgradnja puta (Road Construction Staging) predstavlja izgradnju puta po kraćim deonicama ili po postepenom dograđivanju elemenata poprečnog profila puta unutar istog projekta.

Funkcionalnost puta (Road Functionality) podrazumeva obezbeđivanje uslova za vršenje pojedinačne saobraćajne funkcije ili kombinacije funkcija saobraćaja na putu prema definisanim uslovima i u definisanim saobraćajnim prilikama.

Gustina saobraćaja (Traffic Density) podrazumeva broj vozila koja se u određenom vremenskom intervalu nalaze na putu unutar područja deonice puta.

Izlivna traka (Diverging Lane) je saobraćajna traka namenjena za smanjenje brzine vožnje saobraćajnog toka koji se odvaja od glavnog saobraćajnog toka (traka za isključivanje).

Jednostepeno vitoperenje (Standard Rotation of Carriageway) kolovoza podrazumeva izvođenje promene poprečnog nagiba s jednim jedinstvenim stepenom promene između početne i završne visinke tačke rampe.

Koeficijent kliznog trenja (Coefficient of Slide Friction) podrazumeva odnos između vučne ili kočione sile, nastale usled trenja točka na kolovozu kod kočenja, i normalne sile.

Linija osovine puta (Road-axis Line) jeste kriva sastavljena od geometrijskih elemenata koji zajedno sa tehničkim elementima kolovoza (pre svega poprečnim nagibom) obezbeđuju vozno-dinamičke uslove za bezbedno odvijanje saobraćaja i estetski izgled puta.

Maksimalni poprečni nagib kolovoza (Maximum Crossfall of Carriageway) podrazumeva odnos između razlike u visini dve ivice kolovoza i razmaka između njih koji i dalje obezbeđuje saobraćajno bezbednu i udobnu vožnju, a istovremeno ne prelazi donju granicu koeficijenta trenja klizanja kod poledice na kolovozu.

Merodavno saobraćajno opterećenje (Design Traffic Volume) znači broj vozila koja u odabranoj jedinici vremena pređu pojedinačni presek na putu, a uzima se u obzir kod saobraćajnog dimenzionisanja.

Minimalni poprečni nagib kolovoza (Minimum Crossfall of Carriageway) predstavlja najmanji odnos između razlike u visini dve ivice kolovoza i razmaka između njih kojim je i dalje obezbeđeno normalno odvodnjavanje kolovoza.

Minimalni radijus horizontalne kružne krivine (Minimum Radius of Horizontal curve) jeste najmanji radijus, koji zavisi od brzine i graničnog stanja kolovoza, pri kojem je obezbeđena saobraćajno bezbedna i udobna vožnja.

Minimalni radijus konkavnog zaobljenja nivelete (Minimum Radius of Sag Vertical curve) jeste najmanji radijus kružne krivine koji zavisi od svetlosnog snopa farova vozila i koji je umetnut između dve vertikalne tangente sa negativnom razlikom između njihovih uzdužnih nagiba.

Minimalni radijus konveksnog zaobljenja nivelete (Minimum Radius of Crest Vertical curve) jeste najmanji radijus kružne krivine koji zavisi od brzine i graničnog stanja kolovoza i koji je umetnut između dve vertikalne tangente sa pozitivnom razlikom između njihovih uzdužnih nagiba.

Niveleta (Vertical Alignment) je uzdužna linija koja definiše visinski tok puta i može biti vođena bilo u osovini puta ili paralelno s njom.

Osovina puta (Road Axis / Centre line) predstavlja u prostoru odabranu uzdužnu prostornu krivu koju čine geometrijski elementi u osnovi i podužnom preseku, a koja se najčešće nalazi na sredini kolovoza puta ili na levoj ivici pojedinačne saobraćajne trake; njom su određeni vozno-dinamičke karakteristike puta i odnos puta prema sredini kroz koju put prolazi.

Osovina vitoperenja (Carriageway-rotation Axis) podrazumeva osovину puta ili u poprečnom profilu kolovoza ili izvan njega s njom paralelnu osovину oko koje se izvodi promena poprečnog nagiba kolovoza.

Pad (Downgrade) predstavlja uzdužno opadanje nadmorske visine puta; po pravilu se pad definiše s obzirom na pozitivni porast stacionaža na osovini puta.

Paralelna osovina (Parallel Axis, Off-set Axis) podrazumeva uzdužnu liniju koja je u poprečnom preseku kolovoza paralelna sa osovinom puta.

Zona vitoperenja (Inmost Zone of Carriageway-rotation) podrazumeva područje promene poprečnog nagiba kolovoza koje je ograničeno minimalnim pozitivnim i negativnim poprečnim nagibom kolovoza.

Preglednost (Sight Distance) je odstojanje na kome vozač jasno vidi i na kome, u slučaju eventualnih prepreka na putu, može bezbedno da zaustavi vozilo.

Preskok nivelete (Jump of Vertical Alignment Displacement) znači tehnički postupak kojim se u određenim uslovima vrši promena visinskog toka puta sa osovine puta na paralelnu osovину.

Preskok osovine (Jump of Road-axis Alignment Displacement) je tehnički postupak kojim se u određenim uslovima vrši promena položaja osovine puta u poprečnom preseku kolovoza; po pravilu se izvodi samo na području geometrijskih elemenata osovine puta s konstantnom zakrivljenošću (kružni luk ili pravac).

Proširenje kolovoza u krivini (Carriageway Widening in Curves) predstavlja veličinu dodatne vozne površine na pojedinačnoj saobraćajnoj traci koja zavisi od vrste tipičnog vozila i veličine radijusa horizontalne kružne krivine.

Relativni uzdužni nagib (Gradient of Optional Line Relative to Gradient of Nivelete) je razlika između uzdužnog nagiba nivelete i uzdužnog nagiba bilo koje linije, koja je u poprečnom preseku kolovoza paralelna sa osovinom puta..

Rezultujući nagib kolovoza (Resulting Slope of Carriageway) je vektorski zbir nagiba kolovoza u uzdužnom i poprečnom pravcu.

Saobraćajna funkcija (Traffic Function) podrazumeva vrstu saobraćaja sa karakterističnim saobraćajnim obeležjima (daljinsko povezivanje, povezivanje, sabiranje tokova, opsluživanje).

Saobraćajno dimenzionisanje (Road Capacity Dimensioning) je određivanje vrste i dimenzija pojedinačnih površina na kolovozu i geometrijskih elemenata osovine puta i nivelete puta s obzirom na predviđena saobraćajna opterećenja.

Saobraćajno opterećenje (Traffic Volume) podrazumeva broj vozila koja u određenom

vremenskom intervalu pređu pojedinačni merni profil na putu.

Skraćena zaustavna dužina (Short Stopping Distance) je zaustavna dužina na kojoj se u obzir uzimaju ili veće vrednosti koeficijenta kliznog trenja, koje su omogućene zbog kvalitetnijih kamenih zrna u habajućem sloju, ili zbog dodatnih uslova i informacija datih vozaču.

Stacionaža (Chaining) je merna skala za obeležavanje dužinskih pozicija na putu s određenim početkom, početnom vrednošću i usmerenjem.

Traka za preplitanje (Weaving Lane) je saobraćajna traka namenjena za promenu dva saobraćajna toka koja se na istoj površini od glavnog saobraćajnog toka odvajaju odnosno u njega uključuju.

Ulivna traka (Merging Lane) je saobraćajna traka namenjena za ubrzanje vožnje i uključivanje saobraćajnog toka koji se uključuje u glavni saobraćajni tok (traka za uključivanje).

Uspion (Upgrade) predstavlja uzdužni porast nadmorske visine puta; po pravilu se uspon definiše s obzirom na pozitivni porast stacionaže na osovini puta.

Vitoperenje (Carrigway-rotation) je promena poprečnog nagiba kolovoza između dva minimalna nagiba suprotnih smerova (preko nultog položaja).

Zaustavna dužina (Brake Stopping Distance) je najmanje odstojanje na kojem vozač na mokrom i čistom kolovozu, uz određene vrednosti koeficijenta trenja klizanja, može bezbedno da zaustavi vozilo.

Zona preglednosti (Clear Zone) je površina uz kolovoz u krivinama koja je ograničena vizurom preglednosti, a na kojoj ne sme da postoji nikakva stalna prepreka.

4.2 OSNOVE ZA ODREĐIVANJE DIMENZIJA PROJEKTNIH ELEMENATA PUTA

4.2.1 ELEMENTI PUTA

Prema odredbama člana 4 Zakona o javnim putevima (Sl. glasnik RS, 105/05) javni put obuhvata:

- trup puta (gornji i donji stroj);
- putne objekte (objekti premošćavanja i tuneli);
- priključke;
- saobraćajne trake za bicikliste i pešake;
- zemljište;
- vazdušni prostor iznad kolovoza u visini od najmanje 7 m, sa slobodnim profilom od najmanje 4,5 m, a za autoput najmanje 4,75 m od najviše tačke kolovoza;
- saobraćajnu opremu (ograde, signalizaciju, kontrolne uređaje);
- objekte za zaštitu puta i okoline (snegobrane, ograde za zaštitu od buke i sl.).

Članom 156 Zakona o bezbednosti saobraćaja na putevima (Sl. glasnik RS, br.41/09 i 53/10) između ostalog je određeno:

- putevi moraju da budu projektovani, izgrađeni, rekonstruisani i održavani tako da saobraćaj na njima može da se odvija nesmetano i bezbedno, a moraju da ispunjavaju i propisane uslove;
- na deonici državnog puta koja prolazi kroz naselje mora da bude izgrađen trotoar.

Elementi puta koji se obrađuju u ovom poglavlju su projektni elementi kolovoza i prateće površine (putni pojas, kosine) paralelne sa kolovozom, kojima se u okviru zakonskih i tehničkih odredbi projektuje kolovozna površina, tako da će se saobraćaj na putu odvijati na način koji je predviđen programskim uslovima za planiranje i projektovanje pojedinačne vrste funkcionalnog tipa javnog puta.

4.2.1.1 Vrste projektnih elemenata puta

U odnosu na vrstu elemenata i način primene, razlikuju se sledeći projektni elementi kojima se definiše sastav površine puta, položaj trase u prostoru i dizajn putnog prostora:

- saobraćajne i nesaobraćajne trake na putnom pojasu (elementi poprečnog profila),
- geometrijske elemente ose puta (elementi v situaciji i podužnom profilu) i
- tehničke elemente saobraćajnih i nesaobraćajnih kolovoznih traka i paralelnih površina (nagib kolovoza, nagibi uređaja za uzdužno odvodnjavanje, nagibi kosina useka i nasipa, nagibi usled vitoperenja).

Projektni elementi puta su tehnički definisani na osnovu:

- gabarita standardizovanog vozila,
- predviđene vozne brzine na određenoj vrsti puta,
- merodavne vrednosti koeficijenta trenja i preglednosti.

4.2.1.2 Obavezna pravna i tehnička regulativa

Elementi puta prilikom projektovanja se sastavljaju i dimenzionišu u skladu sa odredbama Zakona o javnim putevima (Sl. glasnik RS, br.101/05 i 1123/07), Zakona o planiranju i izgradnji (Sl. glasnik RS, br.72/09, 81/09 – ispr., 64/10 – odluka US i 24/2011), Zakona o zaštiti životne sredine (Sl. list SCG, 135/04), Zakona o vodama (Sl. glasnik RS, br.30/10), Zakona o poljoprivrednom zemljištu (Sl. glasnik RS, br.62/06 sa dopunama Sl.Glasnik RS, br.41/09), Pravilnika o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta (Sl. glasnik RS, 50/2011) i pravilnika, koji detaljnije definišu obaveze u vezi sa određenom primenom u prostoru, kao i u skladu sa standardima koji su u RS usvojeni za određene detalje.

Sastavljanje i dimenzionisanje projektnih elemenata puta mora se izvoditi prema opštim i posebnim usvojenim stručnim postupcima.

U slučaju da se put projektuje u posebne specifične svrhe ili uslovi prostora diktiraju odstupanja od usvojenih pravila, odstupanje obavezno treba da bude stručno utemeljeno u projektu. Ako se pri tom primenjuje tehnička regulativa neke druge države, iz nje ne sme da se izvuče samo jedno pravilo, već se moraju obuhvatiti sva pravila koja su povezana sa preuzetom tehničkom regulativom.

4.2.2 ULAZNI PARAMETRI ZA IZBOR I DIMENZIONISANJE ELEMENATA PUTEVA

4.2.2.1 Klasifikacija puteva

Javni i nekategorisani putevi čine mrežu puteva koja predstavlja sistem koji omogućava povezivanje i saobraćajno opsluživanje svih sadržaja u prostoru koji stvaraju veće ili manje centre. Centri koji imaju različit društveni (geopolitička podela – nivo države, regiona i opštine) i ekonomski značaj (obim, intenzivnost), u prostoru su raspoređeni proizvoljno. Svojim društvenim položajem i svojim obimom i intenzivnošću centri stvaraju koncentracije ciljeva i izvora saobraćaja različite veličine - od veoma velikih do malih, koje je potrebno međusobno povezati odgovarajućim putem.

Značaj njihovog međusobnog saobraćajnog povezivanja je različit (administrativna klasifikacija), a različit je i intenzitet tih veza

(funkcionalna klasifikacija). Obe klasifikacije celokupnu putnu mrežu razvrstavaju u sistem putnih mreža različitog značaja, pri čemu se te mreže međusobno razlikuju po različitim uslovima za izgradnju i korišćenje puta, kao i po načinu trasiranja kroz prostor. Uslovi se za različite nivoe puteva razlikuju, pre svega, u prihvatljivom vremenu putovanja (troškovi korisnika), u sastavu i dimenzijama elemenata (brzina, vrste korisnika, tip puta, saobraćajna bezbednost) i po saobraćajnom režimu na njima (vrste korisnika, načini ukrštanja, ograničenja).

Pored administrativne i funkcionalne klasifikacije, koje predstavljaju osnovne klasifikacije za planiranje, dimenzionisanje i održavanje puteva u odnosu na značaj saobraćajnih veza, moguće su i druge posebne klasifikacije koje dodatno regulišu zadate uslove i omogućavaju da se put izgradi racionalno, da putovanje po njemu bude bezbedno i ekonomično, a uticaji na prostor i korišćenje tog prostora budu prihvatljivi. Posebna klasifikacija koja neposredno utiče na izbor elemenata puta je klasifikacija u odnosu na vrstu terena.

Među posebnim klasifikacijama koje omogućavaju privređivanje putevima, najveći uticaj imaju

- klasifikacija u odnosu na vrstu saobraćaja – putevi za motorni saobraćaj (autoputevi i putevi rezervisani za motorna vozila) i putevi za mešoviti saobraćaj i
- klasifikacija u odnosu na karakter saobraćajnih tokova - učestalost korišćenja puta (prigradski - svakodnevna, međugradski - povremena, međugradski turistički - sezonska).

U odnosu na položaj u prostoru i u odnosu na uslove odvijanja saobraćaja na njima, putevi se dele na puteve van naselja i puteve u naseljima. Ovaj dokument obrađuje samo kategorisane javne puteve van naselja. Kada kategorisani javni put (viših kategorija) prolazi kroz naselje, njegova dominantna funkcija je međugradsko povezivanje. Planira se i projektuje po pravilima koji važe za puteve van naselja, pri čemu se moraju na deonici kroz naselje uvažavati, uskladiti i prilagoditi pojedinačna uređenja (raskrsnice, površine za nemotorizovane učesnike u saobraćaju, oprema puta, buka i sl.) sa putnom mrežom naselja. Kroz naselje je put potrebno voditi tako da se omogući dalji razvoj naselja, a da se kvalitet usluge za korisnika tog puta što manje pogorša (promenjen režim saobraćaja). Kod jako povećanog saobraćaja je potrebno planirati obilaznicu koja mora da bude projektovana tako da se budući razvoj naselja

na nju veže isključivo preko uređenih raskrsnica.

4.2.2.1.1 Administrativna klasifikacija

Administrativna klasifikacija određena je u Zakonu o javnim putevima (Sl.I.RS, 105/05), gde je u članu 5 u odnosu na značaj saobraćajnog povezivanja određena sledeća klasifikacija:

- državni putevi I reda koji saobraćajno povezuju teritoriju države sa mrežom evropskih puteva odnosno čine deo te mreže, povezuju teritoriju države sa teritorijom susednih država, međusobno povezuju celokupnu teritoriju države, privredno značajna naselja na teritoriji države.
- državni putevi II reda koji saobraćajno povezuju područje dva ili više okruga ili područje (unutar) okruga,
- opštinski putevi, koji saobraćajno međusobno povezuju teritoriju (unutar) opštine, odnosno gradove sa teritorijom, odnosno gradove sa mrežom državnih puteva,
- ulice koje saobraćajno povezuju delove naselja (međusobno).

Do usvajanja nove kategorizacije državnih puteva upotrebljavaju se postojeći nazivi:

- državni putevi I. reda – magistralni putevi
- državni putevi II. reda – regionalni putevi.

Administrativna klasifikacija ima prostornu dimenziju, koja proizlazi iz geopolitičkog uređenja države koja je podeljena na okruge i opštine. Izuzetak predstavljaju putevi do privredno značajnih naselja na teritoriji države (privredni centri sa izrazitim transportnim potrebama, pristaništa, aerodromi i veliki saobraćajni terminali) koja nisu locirana uz mrežu državnih puteva I reda, pa su ti putevi svrstani među državne puteve I reda.

Na osnovu te klasifikacije je po posebno propisanim kriterijumima za kategorizaciju puteva izrađena kategorizacija puteva. Kategorija puta je programski preduslov, uključen u projektni zadatak za projektovanje puteva, na osnovu kojeg se u vezi sa

funkcionalnom klasifikacijom biraju programski uslovi za projektovanje pojedinačnog puta.

4.2.2.1.2 Funkcionalna klasifikacija

Funkcionalna klasifikacija je klasifikacija sa kojom se administrativno klasifikovanim putevima definiše saobraćajna namena i njome određuje saobraćajna funkcija kategorisanih puteva, sa kojom se obezbeđuje odgovarajuća saobraćajna povezanost unutar države i povezanost teritorije države sa teritorijom susednih država.

Saobraćajna namena definisana je sa 4 osnovne funkcije (daljinsko povezivanje, povezivanje, sabiranje, opsluživanje) koje se međusobno razlikuju prvenstveno po prostornoj udaljenosti vršenja funkcije i udelu tranzitnog saobraćaja. Iz funkcionalnih, prostornih i saobraćajno-bezbednosnih razloga pojedinačni funkcionalni tip puta, pored glavne funkcije kojoj je namenjen, vrši i paralelnu funkciju, a druge susedne funkcije samo u izuzetnim slučajevima.

U odnosu na osnovne funkcije, putevi se dele na četiri vrste puteva:

- daljinski putevi (DP)
- vezni putevi (VP)
- sabirni putevi (SP)
- pristupni putevi (PP)

U zavisnosti od prostornog nivoa na kojem se odvija saobraćajna funkcija puta, četiri navedene vrste puteva formiraju osam funkcionalnih tipova puteva:

- daljinski putevi
državni i međudržavni nivo (DP-d)
- daljinski putevi
međuregionalni nivo (DP-m)
- vezni putevi
međuregionalni nivo (VP-m)
- vezni putevi
regionalni nivo (VP-r)
- sabirni putevi
regionalni nivo (SP-r)
- sabirni putevi
područni nivo (SP-p)
- pristupni putevi
područni nivo (PP-p)
- pristupni putevi
lokalni nivo (PP-l)

VRSTA PUTA	TIP PUTA	FUNKCIJA			
		opsluživanje	sabiranje tokova	povezivanje	daljinsko povezivanje
Pristupni put	PP - l	●	○	○	○
	PP - p	●	○	○	○
Sabirni put	SP - p	○	●	○	○
	SP - r	○	●	○	○
Vezni put	VP - r	○	○	●	○
	VP - m	○	○	●	○
Daljinski put	DP - m	○	○	○	●
	DP - d	○	○	○	●

● glavna funkcija ○ sporedna funkcija ○ samo izuzetno

Opštinski putevi (PP-l, PP-p, SP-p, SP-r)
 Drž. putevi II. reda (VP-r, VP-m)
 Drž. putevi I. reda (DP-m, DP-d)

slika 1: Generalna veza kategorija puteva prema administrativnoj i funkcionalnoj klasifikaciji

Funkcionalna klasifikacija pojedinačnog puta u putnoj mreži nije trajna. Menjaju se uslovi u privređivanju u prostoru i uslovi upravljanja prostorom. Pošto je razvoj putne mreže sastavni deo državnog, regionalnog i opštinskih prostornih planova, u skladu sa ovim promenama (može) da se menja i funkcionalni nivo pojedinačnog puta.

Na osnovu tako izvedene klasifikacije moguće je za svaki funkcionalni tip puta u putnoj mreži odrediti programske uslove sa kojima se kod projektovanja postiže očekivani nivo kvaliteta usluga na ovom putu. Osnovne planerske karakteristike pojedinačne funkcionalne vrste puteva su:

- dužina putovanja (koja se smanjuje od DP-d prema PP-l)
- obim saobraćajnog protoka (koji se smanjuje od DP-d prema PP-l)
- brzina putovanja (koja se smanjuje od DP-d prema PP-l)

- kontrolisani pristupi (koji se smanjuju od DP-d prema PP-l)
- nivo usluge (koji se smanjuje od DP-d prema PP-l)
- površina zemljišta za put (koja se smanjuje od DP-d prema PP-l)
- gustina priključaka i raskrsnica (koja se povećava od DP-d prema PP-l)
- dužina pojedinačne vrste puteva u ukupnoj dužini putne mreže (koja se povećava od DP-d prema PP-l)
- različitost vrsta korisnika na putu (koja se povećava od DP-d prema PP-l)

4.2.2.1.3 Klasifikacija prema vrsti terena

Vangradski putevi se klasifikuju i u odnosu na oblik i visinske razlike terena po kojem se vode (reljef). Za preliminarnu ocenu vrste terena pokazatelji se nalaze u tabeli 1.

Tabela 4.2.1: Pokazatelji karaktera terena

Vrsta terena	ravničarski	brdovit	planinski
Relativna visinska razlika na dužini 1000 m	≤ 50 m	50 – 150 m	≥ 150 m
Nagib padina	≤ 1:10	1:10 – 1:2	≥ 1:2

4.2.2.2 Saobraćajno opterećenje

4.2.2.2.1 PGDS i struktura saobraćajnog toka

4.2.2.2.1.1 Prosečni odišnji dnevni saobraćaj

Obim, karakter i struktura saobraćaja su ulazni programski parametri za projektovanje novih i

rekonstrukciju i rehabilitaciju postojećih javnih puteva.

Obim saobraćaja utvrđuje se prosečnim godišnjim dnevnim saobraćajem (u daljem tekstu PGDS [vozila/dan]). PGDS je zbir brojanja svih vozila u jednoj godini, podeljen sa 365 dana. Podatak o veličini PGDS za novogradnje dobija se kao rezultat istraživanja saobraćajnih činilaca na širem ili užem području uticaja budućeg puta (saobraćajne

analize i prognoze, računarska simulacija), a za rekonstrukciju ili rehabilitaciju puteva je potrebno stalno praćenje intenziteta i strukture saobraćajnih tokova na postojećoj putnoj mreži, koje se vrši stalnim ili povremenim brojanjem na unapred određenim mestima. Brojanje se vrši automatskim brojačima ili povremenim ručnim brojanjem, koje je aktuelno samo za puteve sa nižom saobraćajnom funkcijom (VP-r, SP-r, SP-p, PP-p, PP-l).

Za potrebe projektovanja puta potrebno je iz podataka o PGDS, izvedenih za početnu godinu, izraditi prognozu porasta obima saobraćaja za pojedinačnu godinu u okviru planskih perioda određenih za pojedinačnu vrstu mere (novogradnja, rekonstrukcija, rehabilitacija). Puteve je potrebno projektovati prema prognoziranom podacima u konačnoj (poslednjoj) godini planskog perioda. Podaci po pojedinačnim godinama mogu se upotrebiti za proveru stanja u pojedinačnoj godini i za pojedinačne proračune, kada se put gradi u fazama (fazna gradnja).

Prognoza saobraćajnih podataka izvodi se priznatim stručnim postupcima. Buduće saobraćajno opterećenje predstavlja rezultat saobraćajne studije (prognoza saobraćaja) koju je po pravilu potrebno izraditi za svaku novogradnju. Za rekonstrukcije i rehabilitacije, te za puteve sa nižom saobraćajnom funkcijom, porast saobraćajnog opterećenja do kraja planskog perioda može, umesto putem saobraćajne studije, da se izračuna i na osnovu statistički utvrđenih godišnjih stepena porasta saobraćaja na posmatranom putu.

Za puteve sa najnižom saobraćajnom funkcijom (SP-p, PP-p, PP-l) saobraćajno opterećenje nije odlučujući programski pokazatelj. Za njih se PGDS na kraju planskog perioda može dovoljno tačno predvideti stručnom ocenom.

4.2.2.2.1.2 Struktura saobraćajnog toka

Podatak o strukturi saobraćajnog toka je (praktično) nužan pri saobraćajnom dimenzionisanju i pri dimenzionisanju geometrijskih (krivine), tehničkih (širine traka) i konstruktivnih (kolovozna konstrukcija) elemenata puta. Pri saobraćajnom dimenzionisanju, različita vozila različito utiču kako na zauzetost putnog prostora i propusnost puta, tako na saobraćajna događanja na putu.

Za potrebe saobraćajnog dimenzionisanja puta motorna vozila delimo na: putnička vozila (PA), laka teretna vozila (LTV), teretna vozila (TV), teška teretna vozila (TTV) i međugradske autobuse (BUS), a na područjima sa intenzivnim turističkim saobraćajem i rekreaciona vozila (RV), jer tip vozača u njima ima drugačiji pristup putovanju nego vozači ostalih putničkih vozila. Pojedinačna vrsta vozila stvara različite uticaje na prohodnost puta, pre svega na usponima. Ako pri brojanju ili nekom drugačijem dobijanju podataka o strukturi saobraćaja u saobraćajnom toku, teretna vozila svih vrsta i autobusi nisu odvojeno obrađivani, koristi se njihov celokupni zbir zajedno i to pod nazivom „teška vozila“. Slično važi i za putnička vozila i laka teretna vozila, koje u takvom slučaju možemo posmatrati zajedno kao putnička vozila.

4.2.2.2.2 Planski period

Koncept geometrije i poprečnog profila puteva zasniva se na procenjenom saobraćajnom opterećenju u budućem vremenskom preseku po završetku izgradnje puta. Planski period se definiše u zavisnosti od funkcije puta i vrste, te obima građevinskih mera. Pojedinačni periodi navedeni su u tabeli 4.2.2.

Tabela 4.2.2: Planski periodi

Funkcionalni tip puta	Novogradnja		Rekonstrukcija	Rehabilitacija
	završno	etapa		
DP-d, DP-m, VP-m	20 (30)	10 (15)	15 (20)	10 (15)
VP-r, SP-r	15 (20)	8 (10)	10 (15)	8 (10)
SP-p, PP-p, PP-l	10 (15)	-	8 (10)	5 (8)

Navedene vrednosti u zagradama koriste se pri novogradnjama sa važnim inženjerskim konstrukcijama (mostovi, tuneli i slično), a pri rekonstrukcijama ako se predviđaju veće građevinske intervencije u situacionom i/ili niveletnom trasiranju. Planski period kod

rehabilitacija zavisi od obima radova (duži planski period kod većih radova).

Direktiva EU 2004/54/ES za planiranje građenja puteva sa tunelima određuje:

1. Kada saobraćaj prema petnaestogodišnjoj saobraćajnoj prognozi prelazi 10.000 vozila dnevno po svakoj saobraćajnoj traci, treba planirati dvocevni tunel.
2. Prvom fazom se smatra kompletna izgradnja jedne cevi predviđenog dvocevnog tunela, izvedena tako, da omogućava dogradnju u dvocevni tunel, a saobraćajno je uređena za privremeni dvosmerni saobraćaj. Kada se gradi fazno, projektna rešenja za prethodne faze moraju da budu izvedena iz koncepta projekta za završnu fazu. Taj koncept mora da bude priložen uz građevinsko-tehničku dokumentaciju za pojedinačnu fazu gradnje.
3. Prva faza – jedna tunelska cev za dvosmerni saobraćaj na putu sa dve trake - se planira najviše za ono razdoblje, u kojem predviđeni dnevni intenzitet saobraćajnog toka po pojedinačnoj saobraćajnoj traci neće preći 10.000 vozila.

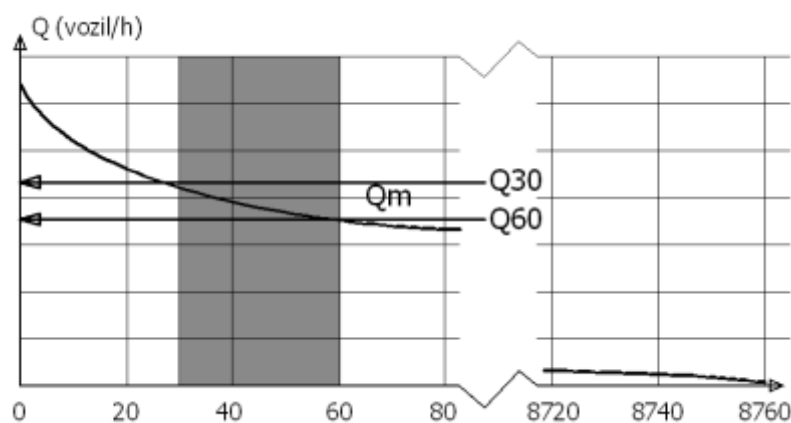
Očekivani period trajanja pojedinačne faze određuje se proračunom propusnosti puta u pojedinačnoj fazi u odnosu na porast obima saobraćaja po godinama.

U slučaju građenja puta po fazama, potrebno je u projektu puta predvideti mere koje će obezbediti da u vreme trajanja izgradnje sledeće faze ne bude oštećeno funkcionisanje naprava za odvodnjavanje i u poprečnom profilu puta ne bude izvođenja radova koji bi smanjili sposobnost odvodnjavanja puta i bezbednost saobraćaja na putu.

4.2.2.2.3 Merodavno vreme za saobraćajno dimenzionisanje

Prognozirani podaci o PGDS i strukturnim udelima saobraćajnog toka na kraju planskog perioda za potrebe saobraćajnog dimenzionisanja, nisu dovoljan ulazni podatak, jer saobraćajni tok u toku godine i dana varira (variranje saobraćajnog opterećenja), a razlike nastaju i po smerovima vožnje (neravnomernost saobraćajnog opterećenja po smerovima). Razlike koje pri tom nastaju su znatne. Uticaji tih razlika se kod saobraćajnih proračuna značajno smanjuju ako u proračune uključimo podatke o saobraćajnom opterećenju svih časova (aktuelni su časovi između 6 i 22 č) u toku godine i između njih biramo najrepresentativniji.

Saobraćajno opterećenje u izabranom času naziva se merodavni čas za dimenzionisanje ili skraćeno merodavni čas (Q_m). Izražava se u broju vozila na čas (voz/h).



Slika 4.2.2: Statistička raspodela opterećenja časa i merodavni čas

Merodavno saobraćajno opterećenje se određuje analizom saobraćajnih opterećenja svih časova u godini (slika 2). Za kategorije puteva DP-d, DP-m, VP-m se po ustaljenim pravilima uzima u obzir saobraćajno opterećenje u 30. času (Q_{30}), a za druge puteve saobraćajno opterećenje u 60. uzastopnom času (Q_{60}).

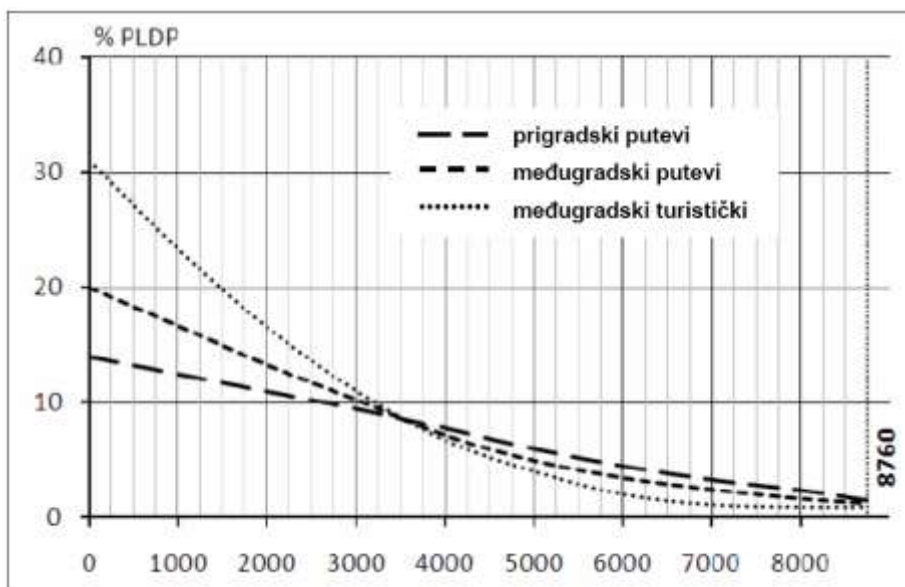
Na osnovu izabranog merodavnog opterećenja časa se u uslovima slobodnog saobraćajnog toka korisnicima osim u 30, odnosno 60

časova, koji su jače saobraćajno opterećeni nego izabrani čas, tokom cele godine nudi očekivano visok nivo usluge koji se iskazuje srednjom prostornom brzinom vožnje i/ili gustinom saobraćajnog toka.

Odnos između merodavnog opterećenja časa i PGDS naziva se faktor n-tog časa (FNČ) i izražava se u % ($Q_m \cdot 100 / \text{PGDS} = \text{FNČ}$). Taj faktor u najvećoj meri zavisi od karaktera saobraćajnih tokova na pojedinačnoj vrsti

puteva koji se razlikuje kod prigradskih, međugradskih i međugradskih turističkih puteva. U analizi opterećenja časa taj značaj se pokazuje u različitim krivama promene

saobraćajnog opterećenja časa u toku godine (slika 4.2.3).



slika 4.2.3: Promena časovnog protoka u zavisnosti od % PGDS za različite vrste puteva

Za potrebe planiranja razvoja puteva se za saobraćajno dimenzionisanje mogu uzeti iskustvene vrednosti FNČ koje su rezultat analiza saobraćajnih opterećenja na postojećim putevima od istog značaja. Te vrednosti mogu da se upotrebe i pri projektovanju novogradnji, rekonstrukcija i rehabilitacija puteva kada na raspolaganju nema brojanih podataka ili su oni manjkavi. obraćajno opterećenje u merodavnom času dobija se preko jednačine:

$$Q_m = PGDS * FNČ / 100.$$

Iskustvene vrednosti FNČ su:

- prigradski putevi FNČ = 10-14%
- međugradski putevi FNČ = 13-17%
- međugradski turistički putevi FNČ = 15-30%

Na putevima sa posebno izraženim sezonskim saobraćajem (kada sezonsko saobraćajno opterećenje prelazi prosečnu vrednost za više od na primer 50 %), preporučuje se da se saobraćajni podaci za saobraćajno dimenzionisanje puta izvednuju posebno za vansezonske i posebno za sezonske mesece, a merodavno opterećenje časa puteva za vansezonski (Q_{m-van}) i za sezonski period (Q_{m-sez}). Q_{m-van} je namenjen za saobraćajno dimenzionisanje puta u mesecima van sezone, a Q_{m-sez} za izračunavanje nivoa usluge na istom putu u mesecima u sezoni.

Preporuka proizlazi iz razloga racionalnog ulaganja sredstava u putnu infrastrukturu. U mesecima van sezone može se obezbediti postizanje programskih uslova za pojedinačni put, dok se u mesecima u sezoni po pravilu oni ne ostvaruju. U odnosu na strukturu saobraćajnog toka u sezonskim mesecima kada je udeo rekreacionih vozila najveći ili preovlađujući, za jedan stepen niži nivo usluga (niža prosečna brzina putovanja i povećana gustina saobraćaja) nije dovoljan razlog za veća ulaganja u izgradnju puta koji će zatim u mesecima van sezone biti slabo saobraćajno iskorišćen. Ako proračun za period sezone pokaže da je odstupanje u nivou usluga niže od jednog stepena niže od određenih programskih uslova za pojedinačnu vrstu puta, potrebno je proračun ponoviti i Q_{m-van} izabrati tako, da nivo usluga u vreme sezone ne bude za više od jednog stepena niži od predviđenog za put pojedinačne kategorije. Navedena preporuka ne može se upotrebiti kod višetrakčnih puteva sa odvojenim kolovoznim trakama.

4.2.2.2.4 Propusna moć puta i nivou usluge

Račun propusne moći je jednostavan sažet izraz osnovnih faktora koji utiču na saobraćajno dimenzionisanje određenog puta za nesmetan saobraćajni tok. Proračun nivoa usluga je obavezan deo tehničkog izveštaja u projektu puteva visokih kategorija, a za puteve

nižih kategorija po zahtevu u projektnom zadatku ili u odnosu na stvarne potrebe.

Sa proračunom nivoa usluga (nivoi A-E i F), na kraju planskog perioda se ispituje prikladnost sastava i dimenzija elemenata u isplaniranom poprečnom profilu te geometrijskih elemenata osovine puta.

4.2.2.2.4.1 Propusna moć puta

Propusna moć puta je maksimalna količina saobraćaja za koji pojedinačna vrsta puta sa svojim tehničkim karakteristikama na kraju planskog perioda još nudi predviđeni nivo usluge.

Kapacitet puta (na granici između NČ E i F) je maksimalna količina saobraćajnog toka kod kojeg na putu još ne dolazi do zastoja. Za njega je karakteristična veoma niska prosečna brzina putovanja (prostorna brzina) koja je, naročito na putevima sa višom saobraćajnom funkcijom, po pravilu niža od one koja je programskim uslovima predviđena za više kategorije puteva.

Idealni kapacitet puta je maksimalan broj jedinica putničkih vozila (PAJ) koji u realnim uslovima reljefa bez zastoja pređu deonicu puta. PAJ (*eng.: PCU – personal cars unit*) je jedinica ekvivalentna putničkom vozilu na koju se preračunavaju sva vozila sa različitim i od različitih faktora zavisnim indikatorima.

U idealnim terenskim (ravničarski teren) i saobraćajnim (samo putnička vozila) uslovima je po HCM na putevima sa razdvojenim kolovozima idealni kapacitet pojedinačne

saobraćajne trake 2.000 PAJ/h*traka. Na dvosmernim dvotračnim putevima putevima idealan kapacitet puta (saobraćajnih traka oba smera) iznosi 3.200 PAJ/h, a kapacitet trake u pojedinačnom smeru 1.700 PAJ/h.

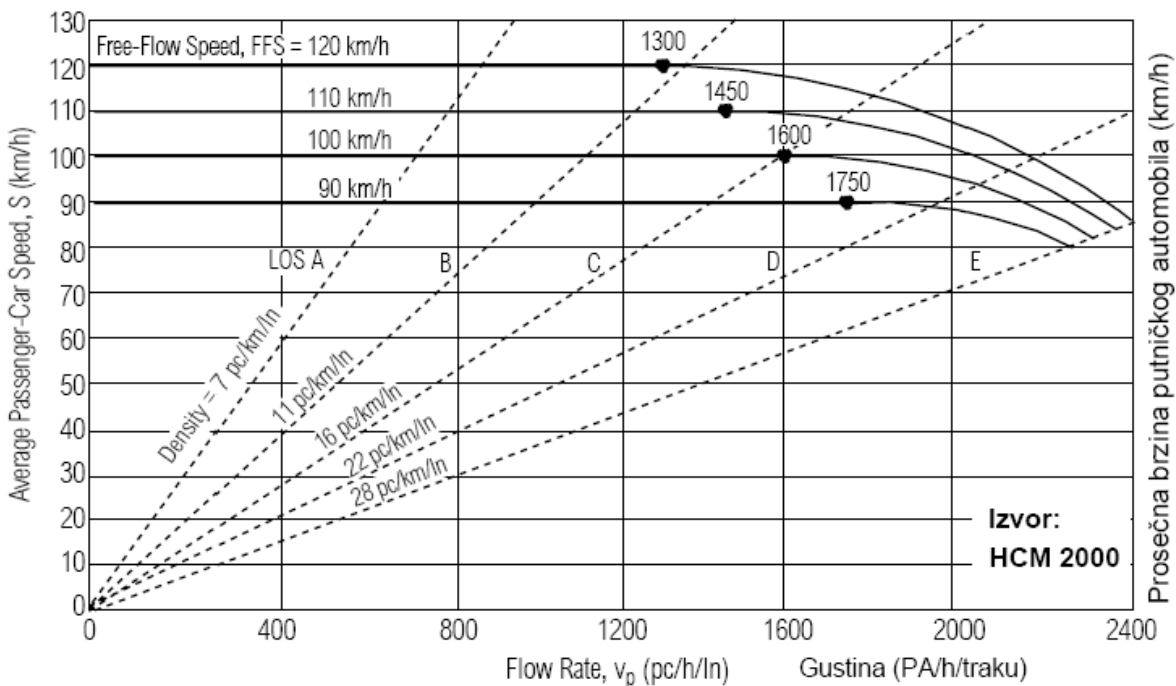
Za proračun se koristi metodologija (Highway Capacity Manual) i softer HCS (Highway Capacity Softver), izrađen po HCM metodologiji. Postupci za proračun propusne moći po HCM su za jednosmerne (slika 4.2.4) i dvosmerne (slika 4.2.5) kolovoze slični, ali se razlikuju u odnosu na uključene parametre koji smanjuju idealni kapacitet puta.

Propusna moć puta zavisi od:

- broja saobraćajnih traka,
- načina korišćenja puta od strane vozila (jednosmerno, dvosmerno)
- projektne brzine ($V_{85\%}$ odnosno V_{dozv}),
- faktora uticaja puta (širina saobraćajnih traka i udaljenost bočnih fiksnih prepreka),
- faktora uticaja saobraćaja (teška vozila, autobusi, rekreaciona vozila),
- neravnomernosti saobraćajnog opterećenja po smerovima vožnje (samo kod dvotračnih puteva, ako faktor neravnomernosti k_s još nije primenjen pri određivanju Q_m),
- učestalost pristupnih mesta,
- udela dužine na kojoj je moguće preticanje (samo kod dvosmernih kolovoza), te
- uticaja načina upravljanja i vođenja saobraćaja i tehnologije (nije parametar u softveru HCS, ali predstavlja mogućnost za poboljšanje uslova za korišćenje puta).

Tabela 4.2.3: Mere uspešnosti kao osnov za određivanje nivoa usluge

Vrsta puta odnosno saobraćaja	Osnovne mere uspešnosti
autoput, osnovni odsek	gustina [PAJ/km*traka]
autoput, područja preplitanja	prosečna brzina putovanja [km/h]
autoput, priključci	protok [PAJ/h]
put sa više traka	gustina [PAJ/km*traka]
put sa dve trake	procenat kašnjenja [%] prosečna brzina putovanja [km/h] protok [PAJ/h]



Slika 4.2.4 Odnos »gustina – prosečna brzina« i nivo usluga za jednosmerni kolovoz (autoput)

DIRECTIONAL TWO-LANE HIGHWAY SEGMENT WORKSHEET			
General Information		Site Information	
Analyst _____	Agency or Company _____	Highway/Direction of Travel _____	From/To _____
Date Performed _____	Analysis Time Period _____	Jurisdiction _____	Analysis Year _____
<input type="checkbox"/> Operational (LOS)	<input type="checkbox"/> Design (v_p)	<input type="checkbox"/> Planning (LOS)	<input type="checkbox"/> Planning (v_p)
Input Data			
		<input type="checkbox"/> Class I highway <input type="checkbox"/> Class II highway Terrain <input type="checkbox"/> Level <input type="checkbox"/> Rolling Grade Length _____ km Up/down _____ % Peak-hour factor, PHF _____ % Trucks and buses, P_T _____ % % Recreational vehicles, P_R _____ % % No-passing zone _____ % Access points/km _____ /km	
Analysis direction volume, V_d _____ veh/h		Opposing direction volume, V_o _____ veh/h	

Slika 4.2.5 Ulazni podaci za proračun kapaciteta i nivoa usluga za dvotračnom putu (prikaz originala u HCM 2000)

Propusna moć se može izračunati:

- ili za celu deonicu puta (sa različitim terenskim uslovima),
- ili za pojedinačni smer (putevi sa razdvojenim kolovoznim trakama),
- ili za pojedinačne uspone (strmina uspona i njegova dužina),
- ili za pojedinačne veće padove (adaptacija upotrebe parametara za izračunavanje na usponu).

Propusna moć za deonice puta sa dodatnom trakom za spori saobraćaj izračunava se tako, da se broj teških vozila koja će koristiti dodatnu

traku oduzme od saobraćajnog opterećenja u tom smeru, a kod proračuna se zadrži osnovni poprečni profil (GPP) i uzme u obzir promenjena neravnomernost saobraćajnih tokova u oba smera. Pri uvođenju dodatnih traka potrebno je saobraćajno proveriti i područje završetka tih traka (suženje na prvobitan broj saobraćajnih traka) i po potrebi produžiti dodatne trake iznad minimalne određene dužine.

4.2.2.2.4.2 Nivoi usluge

Meru saobraćajne dovoljnosti dimenzija puta pri ispunjavanju programskih uslova za taj put predstavljaju nivoi usluga (NU) koji su u softveru HCS definisani u odnosu na ometanost vozila u saobraćajnom toku (gustina saobraćajnog toka) i u odnosu na prosečnu brzinu putovanja (srednja prostorna brzina). Razvrstani su u 6 nivoa: od A do F. Nivo F predstavlja neprihvatljiv nivo usluge, jer tada saobraćajni tok više nije kontinualan (slika 4.2.4 in 4.2.5).

Izračunavanjem nivoa usluga utvrđuje se uspešnost sastava i dimenzija puta u odnosu

na karakteristike reljefa (usponi) po kojem se vodi put i u odnosu na stvarne karakteristike saobraćajnog toka (udeo pojedinačnih vrsta vozila) koji bi na kraju planskog perioda trebalo da omoguće i odvijanje saobraćaja u predviđenim uslovima. Nivo usluga za pojedinačnu vrstu puta određen je u tabeli 4.2.4. U njoj je naveden i zahtevani najmanji udeo dužine puta na kojem je potrebno, na dvosmernim dvotračnim putevima, obezbediti mogućnost preticanja (obezbeđena preticajna preglednost) i najmanja odstojanja između raskrsnica.

Tabela 4.2.4: Osnovni programski uslovi za obezbeđivanje uspešnosti saobraćajnog toka

	Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
	PP-l	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
Uslovi saobraćajnog toka vozila	nije važno		diskontinuiran (isprekidan) tok			poželjan ^(a) kontinuiran (neprekidan) tok		
Merodavni nivo ^(b) usluga	ne koristi se		E (D)		D (E)		D (C)	
Osnovna brzina V_0 , zavisno od terena u km/h	ravničarski 60 brdovit 40 planinski 30		ravničarski 80 brdovit 60 planinski 40		ravničarski 90 brdovit 70 planinski 50		ravničarski 100 brdovit 80 planinski 60	
Preticanje u % dužine, u odnosu na teren	ravničarski 40% brdovit 20% planinski 10%		ravničarski 60% brdovit 40% planinski 20%		ravničarski 70% brdovit 50% planinski 30%		ravničarski 80% brdovit 60% planinski 40%	
Najmanja odstojanja ^(c) između raskrsnica	400 m (200 m)		1.000 m (500 m)		3.000 m (1.500 m)		5.000 m (3.000 m)	

(a) zavisi od karakteristika saobraćajnog opterećenja, obavezno kod autoputeva

(b) u zgradama su dozvoljeni nivoi u posebnim prostornim uslovima

(c) vrednosti u zgradama samo u izuzetnim slučajevima

Proračun nivoa usluga izrađuje se za:

- otvorenu trasu (generalno vođenje trase na izabranoj deonici),
- za pojedinačne uspone (strmina uspona i njegova dužina),
- priključke (na odvajanju, na priključenju, na traci za prestrojavanje) i
- raskrsnice.

Proračun nivoa usluga je obavezno potrebno izraditi za puteve sa tri trake i jednim kolovozom. Pošto su takvi putevi po pravilu fizički razdvojeni po smeru vožnje, potrebno je merodavni saobraćajni obim odrediti za svaki smer vožnje posebno (distribucija po smerovima: 70:30, 60:40 i sl.), zaključno sa proračunom dužine za uključivanje na području završetka preticajne trake na pojedinačnom smeru.

Postupak određivanja nivoa usluga na jednosmernim kolovozima, po pravilu se izvodi za svaki smer vožnje posebno i obuhvata sledeće:

1. Proračun brzine vozila u slobodnom saobraćajnom toku [VPT] sa parametrima: Vid – brzina u idealnim uslovima, fLS – uticaj faktora širine vozne trake i udaljenosti bočnih prepreka, fA – uticaj faktora učestalosti pristupnih mesta (raskrsnice, priključci) i uticaj srednje razdelne trake (smanjenje brzine do 7km/h, ako te trake nema).
2. Proračun ekvivalentnoga protoka qP [PAJ/h*traja] sa parametrima: merodavno opterećenje časa (Q_m), FVČ - faktor vršnog časa (eng.: peak hour factor ili PHF) - 0,88 za međugradske i 0,92 za prigradske puteve, fHV – faktor teških rekreacionih vozila i fG – faktor podužnog nagiba kolovoza.
3. Gustina saobraćajnog toka koji predstavlja koeficijent između ekvivalentnog protoka i brzine u slobodnom saobraćajnom toku.

Postupak određivanja nivoa usluge na dvotračnim putevima obuhvata:

1. Proračun brzine vozila u slobodnom saobraćajnom toku [V_{PT}] sa parametrima: V_{id} – brzina u idealnim uslovima, f_{LS} – uticaj faktora širine vozne trake i udaljenosti bočnih prepreka i f_A – uticaj faktora učestalosti pristupnih mesta (raskrsnice, priključci).
2. Proračun ekvivalentnoga protoka [PAJ/h] sa parametrima: merodavno opterećenje časa (Q_m), FVČ - faktor vršnog časa - 0,88 za međugradske i 0,92 za prigradske puteve, f_{HV} – faktor teških rekreacionih vozila i f_G – faktor podužnog nagiba kolovoza.
3. Nivo usluga se izračunava sa 2 alternativna postupka:
 - 3.1 sa prosečnom brzinom putovanja (V_{pros}), koja je jednaka brzini u slobodnom saobraćajnom toku (V_{PT}), umanjenoj zbog uticaja ekvivalentnog protoka (q_p) i uticaja % udela dužine gde preticanje nije moguće, ili
 - 3.2 sa procentualnim udelom produženja vremena putovanja zbog vožnje u koloni (percent time-spent-following), u odnosu na vreme ostvareno u slobodnom saobraćajnom toku sa mogućnošću preticanja na celoj dužini puta, koje je odlučujuće za puteve na kojima je brzina od sekundarnog značaja (prema HCM - razred 2).

Kod puteva sa dve trake na kojima vozači očekuju veće brzine vožnje (prema HCM - razred 2), kao nivo usluge bira se onaj nivo koji je prema odredbama u odeljcima 3.1 i 3.2 niži.

4.2.2.4.3 Izostavljanje proračuna nivoa usluge

Nivo usluga (NU) nije potrebno proračunavati kod projekata za puteve funkcionalnog tipa PP.

Na osnovu stručnih iskustava predlaže se, da proračuna nivoa usluga na otvorenom putu takođe nije potrebno izraditi

- na putevima sa dva kolovoza sa saobraćajnim protokom PGDS < 10.000 vozila/dan i
- na dvotračnim putevima sa saobraćajnim protokom PGDS < 3.500 vozila/dan.

4.2.2.2.5 Uticaj saobraćajnog opterećenja na elemente puta

Kada proračun propusne moći na posmatranoj deonici pokaže vrednost NU koja je samo malo niža od određene za pojedinačnu kategoriju puta, povećava se na sledeći način:

- povećanjem rastojanja bočnih prepreka duž cele trase,
- sa dodatnim trakama za spora vozila na usponima,

- sa dodatnim trakama na nizbrdicama,
- povećanjem veličine geometrijskih i tehničkih elemenata osovine puta i
- kombinovanjem ovih mera.

Kada proračun propusne moći pokaže vrednost nivoa usluge (NU) koja je mnogo niža od određene za pojedinačnu kategoriju puta, potrebno je u NPP predvideti dodatne vozne trake na celoj posmatranoj deonici.

Provera nivoa usluga na deonici puta gde se predviđa izgradnja dodatne trake za spora vozila, izračunava se ili saobraćajnim podacima za pojedinačni pravac ako je put sa dva kolovoza, ili podacima za oba smera ako je put sa jednim kolovozom.

Proračun karakteristika propusne moći su u ovim slučajevima izvodi za osnovni profil puta, ali bez broja teretnih vozila na usponima (teška vozila su na dodatnoj traci).

4.2.2.3 Parametri vozača, vozila i kolovoza

Učesnici u saobraćaju na putu su:

- vozači motornih vozila i (sa)putnici u vozilima,
- biciklisti,
- pešaci i
- drugi učesnici (traktori i nemotorizovana vozila).

Pojedinačni učesnici mogu koristiti iste ili odvojene saobraćajne površine. Korišćenje istih ili odvojenih saobraćajnih površina definisano je programskim uslovima (atributima) karakterističnim za pojedinačni funkcionalni tip puta proizišlog iz svoje primarne saobraćajne funkcije.

Kada je put izgrađen sa određenim saobraćajnim površinama za različite učesnike, ukrštanja tih površina moraju se naročito pažljivo planirati, a kod paralelnog vođenja uzeti u obzir dovoljna rastojanja koja zavise od brzine vozila na kolovozu (zaštitna/bezbednosna širina).

Da bi se obezbedilo postizanje ciljeva pri planiranju puteva, potrebno je uzeti u obzir karakteristične osobine tri osnovna činioca:

- psihofizičke osobine vozača motornih vozila,
- vrste i dimenzije motornih vozila i
- kvalitet kontakta između točkova vozila i zastora kolovoza.

Karakteristične vrednosti osobine pojedinačnog činioca koriste se za dimenzionisanje geometrijskih i tehničkih elemenata kolovoza i za izbor i postavljanje odgovarajuće saobraćajne signalizacije i opreme.

4.2.2.3.1 Psihofizičke karakteristike vozača

Kod različitih funkcionalnih tipova puteva na kolovozu su prisutni vozači motornih vozila koji imaju:

- različite psihofizičke osobine (umor, vreme reagovanja),
- različito poznavanje puta i uslova na putu u odnosu na učestalost upotrebe (povremeno ili stalno - vidi pog. 4.2.2.1.0) i

- različit odnos do korišćenja puta (stranci, domaći).

Karakteristike vozača su: vidno polje, vreme reagovanja vozača i fiziološka ograničenja.

Da bi se obezbedio racionalni izbor elemenata puta, potrebno je puteve različitih funkcionalnih tipova dimenzionisati na osnovu međusobno različitih karakteristika korisnika. Karakteristike su navedene u tabeli 4.2.5.

Tabela 4.2.5: Psihofizički činioci i fiziološka ograničenja vozača, te uticaji na elemente puta i saobraćajne manevre

Vrsta činioca	Projektni elementi puta
vidno polje	dužina prave, signalizacija
vreme reagovanja	zaustavna dužina, preglednost,
bočno ubrzanje	minimalni poluprečnik vertikalne krivine
bočni trzaj	minimalni poluprečnik kružnog luka
podužno ubrzanje	minimalna dužina prelazne krivine
podužni trzaj*	dužina kočenja ili ubrzanja
	slobodno kočenje

*Kod obračuna zaustavnih dužina, podužni trzaj se ne uzima u obzir (intenzivno kočenje).

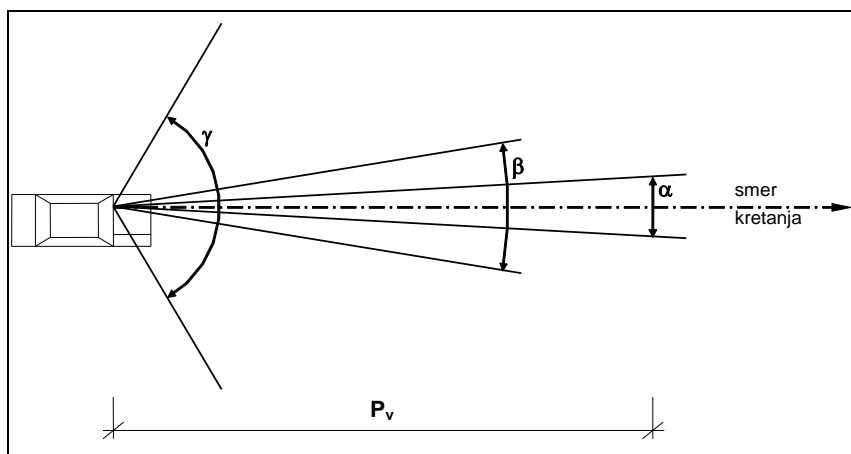
4.2.2.3.1.1 Vidno polje

Vidno polje je prostor koji vozač obuhvata jednim pogledom. Granice tog prostora su

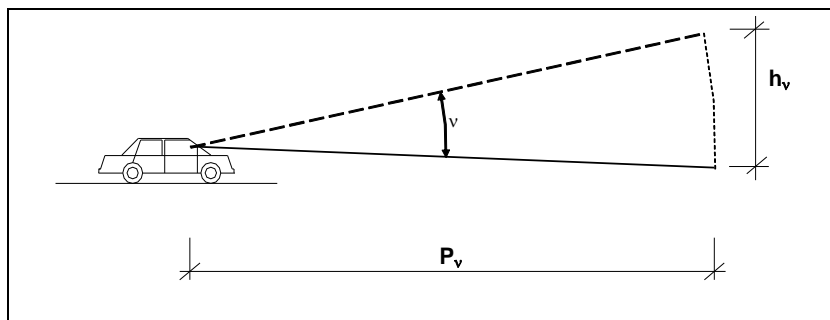
određene širinom (uglom) i dubinom pogleda (dužina) koji se u toku kretanja menjaju.

U vidnom polju razlikujemo područja:

- izoštrene vidljivosti (ugao $\alpha=3-5^\circ$),
- relativne vidljivosti (ugao $\beta=10-15^\circ$),
- periferne vidljivosti (ugao $\gamma=120-180^\circ$).



Slika 4.2.6: Vidno polje u horizontalnoj ravni



Slika 4.2.7: Vidno polje u vertikalnoj ravni

Izoštrena vizura preglednosti predstavlja dužinu koja omogućava da vozač može u vremenskom intervalu 10-12 sekundi da donese odluku o sledećem manevru i bezbedno ga izvede.

Izoštrena vizura preglednosti izračunava se preko obrasca

$$P_v = 3V \text{ [m]}, \text{ gde je } V \text{ [km/h]}$$

a normalna vizura preko obrasca

$$P_v = 6V \text{ [m]}, \text{ gde je } V \text{ [km/h]}.$$

Izoštrena vizura preglednosti, kada je značajno duža od zaustavne preglednosti, koristi se za analizu manevara u slobodnom saobraćajnom toku, uspostavljanju skladnih prostornih odnosa i u trasiranju puta i raskrsnica.

Normalna vizura se koristi kod optičkih analiza trasa i denivelisanih raskrsnica.

Najveća dubina vidnog polja kod koje je u uslovima normalne vidljivosti moguće primetiti konture vozila na putu iznosi 1,5-2,0km.

Merodavna pozicija očiju vozača u putničkom automobilu nalazi se na visini $h_v = 1,10$ m iznad kolovoza i na rastojanju $b_v = 1,50$ od desne ivice saobraćajne trake po kojoj vozi. Za veću saobraćajnu bezbednost na putu koji vozač koristi samo povremeno (državni putevi I reda) preporučuje se da se visinska pozicija očiju spusti na $h_v = 1,00$ m.

4.2.2.3.1.2 Vreme reagovanja

Proces reagovanja vozača na trenutne situacije na putu zavisi od fizioloških sposobnosti vozača. Vreme reagovanja (t_r) je kod različitih vozača različito i iznosi od 0,7 do 2,5 sekundi. Da bi se obezbedila bezbednost na putu, potrebno je za merodavno vreme uzeti vreme reagovanja koje može da postigne veoma slab ili već umoran vozač.

Pri planiranju puteva se u odnosu na vrstu tipičnih korisnika uzimaju u obzir sledeće vrednosti:

- normalna 2,0 sec,

- prihvatljiva 1,5 sec,
- izuzetna 1,0 sec.

Normalna vrednost vremena reagovanja koristi se pri dimenzionisanju pojedinačnih elemenata puta, pre svega pri proračunavanju zaustavne preglednosti. Za vreme od 2 sekunde vozilo pređe put $L_r = 0,556 V$ [m].

Prihvatljiva vrednost može da se upotrebi na putevima nižih kategorija gde su vozači stalni korisnici (racionalnost), a izuzetna kod analiza saobraćajne bezbednosti.

4.2.2.3.1.3 Fiziološka ograničenja

Saobraćajna bezbednost na putu, koju je moguće obezbediti projektnim rešenjima, u najvećoj meri zavisi od veličine promene brzine po pravcu koji deluje sa ubrzanjima, te intenziteta (promena ubrzanja) koji deluje sa trzajima na vozača, saputnike i vozilo u podužnom i/ili bočnom pravcu. Da bi se kod standardnih manevara na putu sprečile negativne posledice po vozača i putnike, za dimenzionisanje određenih elemenata puta, za brzine između 40 i 130km/h, vrednosti ubrzanja i trzaja postavljene su u granicama od udobnih do još prihvatljivih.

- **bočno ubrzanje u_N**
 - za udobnu vožnju 1,0 ms^{-2}
 - za prihvatljivu vožnju 2,2 ms^{-2}
 - gornja granična vrednost 3,5 ms^{-2}
 - za dimenzionisanje minimalnog poluprečnika horizontalne krivine sa nagibom $i = -2,5\%$ 0,5 ms^{-2}
- **bočni trzaj s_N**
 - za brzinu 40 km/h 0,8 ms^{-3}
 - za brzinu 130 km/h 0,3 ms^{-3}
- **podužno ubrzanje u_T**
 - za udobnu vožnju 2,7 ms^{-2}
 - za prihvatljivu vožnju 3,5 ms^{-2}
 - gornja granična vrednost 4,5 ms^{-2}
- **podužni trzaj s_T**
 - za slobodno kočenje ($maxs_T$) 2,5 ms^{-3}

4.2.2.3.2 Merodavne dimenzije vozila

Motorna vozila su zbog namene korišćenja i voznodinamičkih zahteva merodavna za određivanje dimenzija puta i njegovih dodatnih uređenja.

Glavne karakteristike motornih vozila su:

- dimenzije vozila koje određuju širine saobraćajnih traka i proširenja u krivinama,
- okretnost, koja određuje spoljašnji krug okretanja (serpentine i raskrsnice),
- snaga motora koja uslovljava obezbeđivanje odgovarajuće brzine na uzbrdicama (dodatne trake),
- brzina vožnje koja uslovljava protočnost puta, te

- sistem za promenu brzine vozila – motorno ubrzanje, kao i motorno i zaustavno usporavanje.

4.2.2.3.2.1 Motorna vozila

Motorna vozila i njihove dimenzije, koji su dozvoljeni na putevima na području Evropske unije, određuju Direktive EU 96/53-ES i 2002/7-ES i u skladu sa njima izveden Pravilnik o podeli motornih i priključnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima (Sl.glasnik RS, br.64/10, 69/10 i 81/11).

Dimenzije motornih vozila i veličina spoljašnjeg kruga okretanja date su u tabeli 4.2.6.

Tabela 4.2.6: Dimenzije vozila i njihova okretnost

Prevozno sredstvo	Dimenzije vozila [m]			Spoljašnji krug okretanja (radijus) R_{SP} [m]
	dužina	širina	visina	
bicikl sa motorom	1,80	0,60	1,00 ¹	3,00
motocikl	2,25	0,70	1,00 ¹	3,00
tipično putničko vozilo	4,70	1,75	1,50	5,80
malo putničko vozilo	3,80	1,60	1,40	5,30
veliko putničko vozilo	5,15	1,90	1,60	6,00
jednostorono putničko vozilo	4,70	2,10	1,70	5,80
kombinovano vozilo	5,00	2,10	2,30	6,20
teretno vozilo				
manje teretno vozilo	6,00	2,10	2,30 ²	6,20
tipično dvoosovinsko	8,50	2,50 ³	3,00 ²	9,60
tipično troosovinsko	10,00	2,50 ³	3,00 ²	9,80
teretno sa prikolicom	16,00	2,50 ³	4,00	12,50
poluprikolica, tegljač	16,50	2,50 ³	4,00	12,00
vozilo za odnošenje smeća				
tipično dvoosovinsko	7,70	2,50	3,30 ²	
tipično troosovinsko	10,50	2,50	3,30 ²	
vatrogasno vozilo	6,80	2,50	2,80 ²	9,25
vatrogasno vozilo sa merdevinama	12,0	2,50	3,50	10,50
tipični autobus I	11,00	2,50 ³	2,95	10,25
tipični autobus II	11,50	2,50 ³	2,95	11,00
tipični međugradski autobus	12,00	2,50 ³	3,10/3,45 ⁴	11,40
tipični zglobni autobus	18,00	2,50 ³	2,95	12,00
traktor sa prikolicom	9,20	1,80	3,50	4,50

¹ zajedno sa vozačem odnosno pratiocem 2,0

m

² visina kabine vozača

³ sa spoljašnjim retrovizorom 2,95 m

⁴ autobus na sprat

4.2.2.3.2.2 Merodavno vozilo

Merodavno vozilo za određivanje standardnih dimenzija širine saobraćajnih traka i visine saobraćajnog profila na javnim putevima je teretno vozilo širine 2,50m i visine 4,00m.

Na putevima sa niskim saobraćajnim intenzitetom (Low traffic roads) i na putevima za posebne namene (nestandardni putevi)

može se uzeti u obzir najveće vozilo koje je tipično za taj put.

4.2.2.3.2.3 Nemotorizovana vozila

Na pojedinim putevima gde su prisutni i nemotorizovani učesnici u putnom saobraćaju potrebno je pri projektovanju uzeti u obzir minimalne dimenzije koje su date u tabeli 4.2.7.

Tabela 4.2.7: Dimenzije nemotorizovanih prevoznih sredstava i njihova okretnost

Prevozno sredstvo	Dimenzije vozila [m]			Spoljašnji krug okretanja (radijus) R_{SP} [m]
	dužina	širina	visina	
dečja kolica	1,10	0,55	1,00 ¹	1,00
invalidska kolica	1,25	0,85	1,10 ¹	
bicikl	1,85	0,60	1,00 ¹	3,00

¹ zajedno sa vozačem odnosno pratiocem 2,0 m

4.2.2.3.3 Teretna vozila na usponu

Teretna motorna vozila (teretnjaci, teški teretnjaci i tegljači) zbog dimenzija gabarita i mase, te svojih dinamičkih osobina predstavljaju na putevima fizičku prepreku, koja značajno utiče na protočnost puta, i u zavisnosti od njihovog udela u saobraćajnom toku snažno smanjuju nivo usluge na uzbrdicama i na većim nizbrdicama.

Najveća brzina teških vozila je generalno ograničena na najviše 100km/h. Na uzbrdicama se brzina tih vozila veoma smanjuje u zavisnosti od:

- veličine nagiba i dužine uspona ($i\%$, L)
- početne (ulazne) brzine
- odnosa između mase vozila i snage motora (u kg/kW)
- odnosa između mase vozila i čeone površine vozila (u kg/m^2);

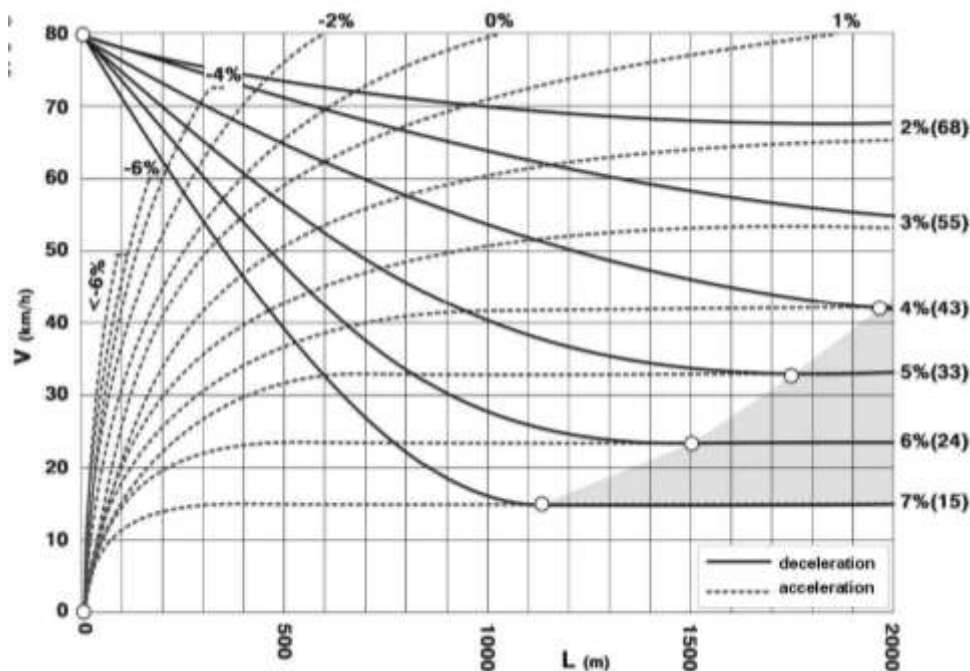
Na nizbrdicama je potrebno proveriti temperaturu kočnica koja kod pojedinačne vrste teretnog vozila (može da) prelazi dozvoljenu vrednost.

Za izračunavanje profila brzine i profila porasta temperature kočnica koristi se računarski program u Road Safety Manual (PIARC, 2003-verzija 1).

Pravilnik o podeli motornih i priključnih vozila i tehničkim uslovima za vozila u saobraćaju na putevima (Sl.glasnik RS, br.64/10, 69/10 i 81/11) određuje maksimalni odnos između snage i mase vozila 5 kW/kg odnosno 200 kg/kW.

Za približnu ocenu početka i kraja dodatne trake za spori saobraćaj i za ocenu potrebe za dodatnom trakom, u početnim fazama projektovanja može se upotrebiti dijagram u slici 4.2.8, gde je opadanje i povećanje brzine na uzbrdicama vrednovano za prosečno teretno vozilo.

Zbog skromnih ubrzanja koja su za polovinu manja od onih kod putničkih vozila, stvaraju se smetnje kod prestrojavanja (uključivanje, preplitanje), što je potrebno uzeti u obzir pri saobraćajnom dimenzionisanju dužina puta za te manevre.



Slika 4.2.8: Dijagram promene brzine u zavisnosti od veličine i dužine uzbrdice

4.2.2.3.4 Vrste kolovozne površine i koeficijent kliznog trenja

Karakteristike površine kolovoza su dominantne pri dimenzionisanju pojedinačnih projektnih elemenata puta. Najvažnija karakteristika površine kolovoza je hrapavost, koja definiše brzinu oticanja vode sa kolovoza i stvaranje trenja između površine kolovoza i pneumatika točka vozila. Standardnim stanjem smatra se ravno, čisto i vlažno stanje površine kolovoza pri normalnoj hrapavosti.

Trenje je različito za točak koji se obrće i točak koji koči. Pokazatelj intenzivnosti trenja je koeficijent trenja, koji predstavlja odnos između sile trenja i normalne sile teže ispod točkova vozila. Za dimenzionisanje se koriste vrednosti za točak koji koči (koeficijent kliznog trenja – KKT).

Kombinacijom veličine gabarita vozila, vrednosti prihvatljivih psihofizičkih osobina vozača i koeficijenta kliznog trenja, za izabranu računsku brzinu definišu se oblik, veličina i prostorni tok puta.

4.2.2.3.4.1 Vrste površina kolovoza

Površina kolovoza je gornja završna površina gornjeg stroja puta (kolovozna konstrukcije). Kolovozi su izgrađeni od različitih materijala ili smeša materijala. Osnovne vrste kolovoznih zastora su:

- makadamski
- popločani
- asfaltni

- cementno-betonski

Makadamski i popločani zastori se kod novogradnji koriste samo izuzetno; prikladni su samo za manje brzine vožnje (<50 km/h). Za velike brzine se koriste asfaltni, a za posebno teška saobraćajna opterećenja cementno-betonski zastori.

Koeficijent kliznog trenja je kod makadamskih i popločanih kolovoza zbog sastava i materijala površine veoma heterogen i relativno mali u poređenju sa KKT kod asfaltnih i cementno-betonskih zastora, gde zavisi od brzine vožnje i pohabanosti (uglačanosti). Pohabanost se kod cementno-betonskih zastora, ako su pravilno izgrađeni, odvija sporije.

4.2.2.3.4.2 Koeficijent kliznog trenja

Na vrednost koeficijenta trenja (f_t) utiču pre svega:

- brzina kretanja vozila,
- vlažnost i temperatura kolovoza,
- habajući završni sloj kolovozne konstrukcije (tekstura površine, vrsta kamenih zrna, količina veziva),
- profili i materijal pneumatika vozila.

Koeficijent kliznog trenja odnosno sposobnost prijanjanja (KKT ili μ_g) određena je eksperimentalno standardizovanim pneumatikom i po postupku koji je odobrila međunarodna stručna organizacija PIARC. Pri projektovanju puteva koriste se vrednosti izmerene na 95% svih izmerenih kolovoza, što je donja granica prihvatljivosti KKT, koja se koristi za dimenzionisanje elemenata puta.

Vrednosti KKT opadaju sa povećanjem brzine vožnje. Izraz za to opadanje ima sledeći oblik:

$$f_{t \text{ dop}} = \mu_g = a \cdot \left(\frac{V}{100}\right)^2 - b \cdot \left(\frac{V}{100}\right) + c$$

KKT je vektorska veličina koja se pri upotrebi za različite namene dimenzionisanja elemenata puta rastavlja na podužnu (transverzalnu - f_T) i poprečnu (radijalnu - f_R) komponentu. Za maksimalnu veličinu KKT u oba upravna pravca važe sledeći odnosi:

$$f_{T \text{ max}} = f_{t \text{ max}} \quad \text{i} \quad f_{R \text{ max}} = n \cdot f_{t \text{ max}}$$

gde faktor „n“ zavisi od brzine i za njega važi jednačina

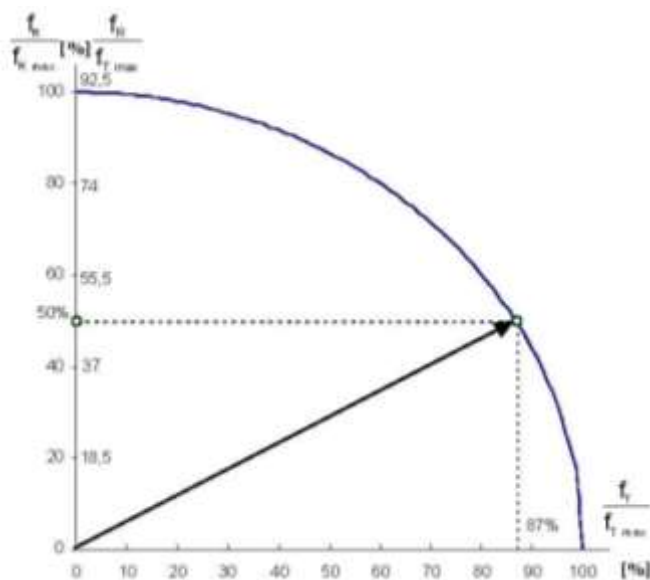
$$n = 0,873 + 10,3 \cdot 10^{-4} \cdot V$$

Za posebne slučajeve (analize) se odgovarajućom procenom može utvrditi i drugačija vrednost $f_{R \text{ max}}$. U načelu je dopušteno da se za određivanje $f_{R \text{ max}}$ upotrebi faktor $n = 0,925$, koji odgovara brzini vožnje 50 km/h.

Za rezultantu obe komponente KKT, prikazanu na slici 4.2.9, važe izrazi

$$f_t^2 = f_T^2 + f_R^2 \quad \text{odnosno}$$

$$1 = \sqrt{\left(\frac{f_{T \text{ max}}}{f_{t \text{ max}}}\right)^2 + \left(\frac{f_{R \text{ max}}}{f_{t \text{ max}}}\right)^2}$$



Slika 4.2.9: Međuzavisnost iskorišćenja KKT po normalnim komponentama

4.2.2.3.4.3 Merodavne vrednosti koeficijenta kliznog trenja

Za izračunavanje zaustavnih dužina, KKT (f_T) se može iskoristiti u punoj meri. Iskorišćenje KKT u poprečnom pravcu (f_R) je dozvoljeno samo u meri u kojoj njegov ostatak ne ugrožava bezbednost saobraćaja pri kočenju na istom geometrijskom elementu puta.

Merodavne vrednosti KKT su određene za asfaltna kolovoze kod kojih je u habajućem sloju upotrebljen agregat karbonatnog porekla (krečnjak). Za praktičnu upotrebu su za projektovanje puteva određene merodavne vrednosti koje su navedene u tabeli 4.2.8. Merodavne vrednosti f_T indirektno obuhvaćaju i uticaje, koji proizlaze iz načina vožnje i otpor vazduha, dok su merodavne vrednosti f_R već

reducirane na vrednost, koja ne ugrožava bezbednost saobraćaja pri kočenju na istom geometrijskom elementu puta.

Za sanaciju kritičnih mesta na postojećim putevima, u habajućem sloju (može da) se upotrebljava agregat silikatnog porekla (eruptivac). Njegova otpornost na habanje je mnogo veća od otpornosti agregata karbonatnog porekla i zato je KKT (f_S) kod ovog izvođenja znatno veći. Informativne vrednosti za f_S (uticaji na smanjenje nisu uključeni) su dodate u tabeli 4.2.8.

Upotreba vrednosti KKT za eruptivni materijal pri projektovanju novih puteva u načelu nije dozvoljena. Dozvoljena je samo u slučajevima kada se upravljač puta saglasi da se u planu korišćenja predvidi obnavljanje kolovozne

površine isključivo sa materijalom silikatnog porekla.

Tabela 4.2.8: Merodavne vrednosti koeficijenta trenja u zavisnosti od računске brzine

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
$merod f_T$ [-]	0,44	0,41	0,38	0,36	0,34	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,41
$merod f_R$ [-]	0,22	0,19	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	0,19
f_s [-]	0,51	0,480	0,460	0,430	0,410	0,390	0,370	0,353	0,338	0,325	0,313

Za posebne analize i proračune koriste se i vrednosti KKT na suvom kolovozu te na zaleđenom kolovozu. Na suvom asfaltnom kolovozu informativna donja vrednost f_t iznosi 0,75 [-], a na zaleđenom kolovozu između 0,08 ($V = 40$ km/h) i 0,11 ($V = 80$ km/h).

4.2.2.4 Merodavne brzine i ubrzanja/usporenja te dužina usporavanja

4.2.2.4.1 Merodavne brzine

Brzina je, pored obima saobraćajnog toka, osnovni parametar pomoću koga se pri projektovanju puta definišu i dimenzionišu elementi u situaciji, podužnom profilu i poprečnom profilu. Predstavlja i bazni kriterijum u vrednovanju varijanti.

Brzine koje je potrebno pri projektovanju i održavanju puteva uzeti u obzir su sledeće:

- **brzina putovanja odn. srednja prostorna brzina (V_s)** koja je programski parametar za saobraćajno dimenzionisanje profila i geometrijskih elemenata puta,
- **dozvoljena brzina vožnje (V_d)** koja je zakonom ili upravnim ograničenjem (ograničenjem brzine) određena na putu ili njegovoj deonici kao najveća dozvoljena brzina i
- **brzina vožnje (V_v)** je trenutna brzina kojom se vozilo kreće po kolovozu.

Brzine koje se koriste kod saobraćajnog i vozno-dinamičkog dimenzionisanja elemenata puta su:

- **osnovna brzina (V_o)** koja je početni programski parametar za izbor nivoa usluge

na određenom putnom pravcu pri merodavnom saobraćajnom opterećenju (Q_{mer}) i karakterističnom terenu, pomoću koje se biraju sastav i dimenzije elemenata u poprečnom profilu,

- **računska brzina (V_r)** koja proizlazi iz programirane osnovne brzine i u odnosu na uslove terena predstavlja izabranu teorijsku vrednost za izračunavanje graničnih geometrijskih elemenata osovine puta i poprečnih nagiba u horizontalnim krivinama sa $R_g > R_i > R_{min}$,
- **maksimalna računска brzina ($maxV_r$)** predstavlja brzinu koju vozilo može ostvariti na dužoj pravoj i koristi se kao krajnja granica za povećanje geometrijskih elemenata puta, kada je to pri merodavnom saobraćajnom opterećenju (Q_{mer}) potrebno za postizanje predviđenog nivoa usluge na određenom putu,
- **projektna brzina (V_p)** predstavlja brzinu vozila u slobodnom saobraćajnom toku na čistom i mokrom kolovozu, koja se naziva i $V_{85\%}$, koju omogućavaju pojedinačni geometrijski i tehnički elementi projektovanog ili postojećeg puta i koristi se kao računска brzina za analize bezbednosti saobraćaja, te korekciju pojedinačnih tehničkih elemenata puta i
- **brzina u bočnom pravcu (V_b)** koja predstavlja brzinu kretanja vozila u bočnom pravcu pri promeni saobraćajnih traka na kolovozu.

Tabela 4.2.9: Vrednosti osnovne brzine (V_o)

Vrsta puta	Karakteristike terena		
	ravničarski	brdovit	planinski
daljinski	100	80	60
vezni	90	70	50
sabirni	70	60	40
pristupni	50	40	30

Tabela 4.2.10: Vrednosti računске brzine (V_r)

Vrsta puta	Karakteristike terena			max V_r
	ravničarski	brdovit	planinski	
daljinski	130*	100	80	140 (120)**
vezni	100	80	70	120 (100)**
sabirni	90	70	50	100-80
pristupni	60	50	40	80-60

*) za dvotračne i višetračne puteve $V_r \leq 100$ km/h

***) vrednosti za dvotračne odnosno višetračne (fazna gradnja) puteve

Minimalna dužina deonice sa konstantnom računskom brzinom je 20-30 km, a u izuzetnim slučajevima 5 km.

4.2.2.4.2 Određivanje projektne brzine

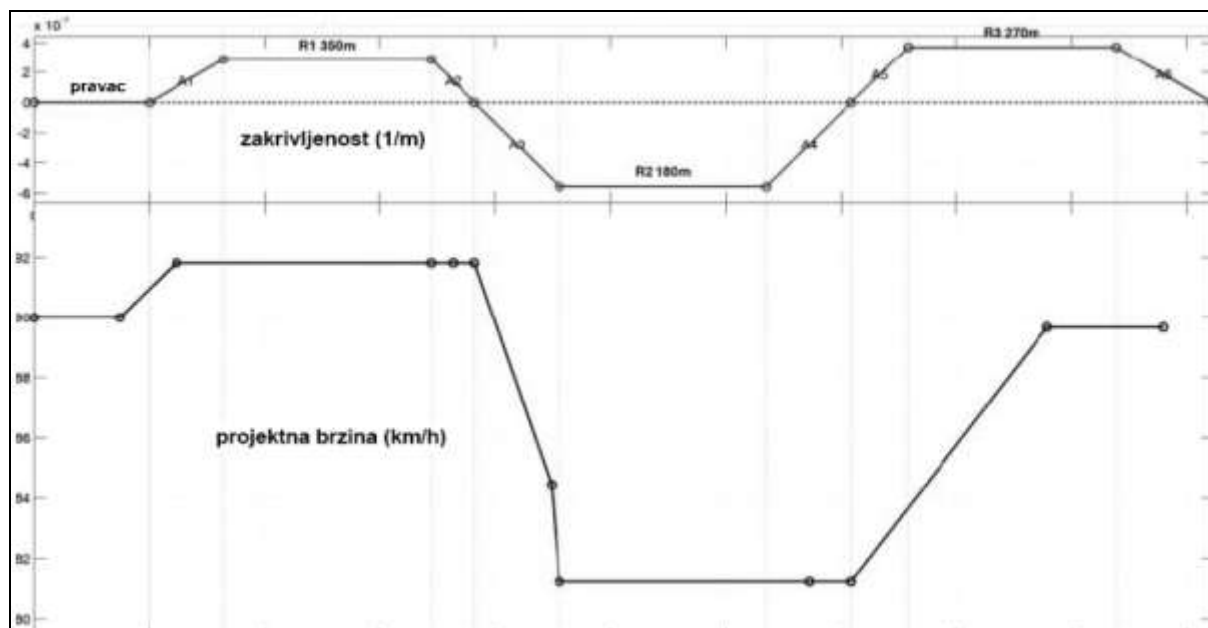
Projektna brzina je merodavna vrednost za dimenzionisanje određenih elemenata puta, saobraćajne i građevinske opreme na putu, kao i za vrednovanje varijanti u uslovima pouzdane i udobne vožnje u slobodnom saobraćajnom toku.

Projektna brzina se utvrđuje za elemente izabrane u projektu za put (za analizu prikladnosti izabranih elemenata) ili merenjem brzine na postojećem putu (za postavljanje ograničenja brzine na putu i sanaciju opasnih mesta). Nalazi se u rasponu $V_{ri} \leq V_p \leq \max V_r$. Koristi se u fazama idejnog i glavnog projekta puta.

Grafički prikaz projektne brzine je profil brzine koji je potrebno izraditi za oba smera vožnje. Konstrukcija profila brzine izrađuje se na osnovu definisanih zakonitosti:

- projektna brzina – poluprečnik horizontalne krivine (V_p-R),
- projektna brzina – podužni nagib (V_p-i_N) i
- modela vožnje, pomoću koga se postiže aproksimacija variranja brzine u slobodnom saobraćajnom toku (ubrzanje/usporenje) u funkciji elemenata osovine i nivelete puta.

Profil brzine izrađuje se po strukovno priznatim postupcima (slika 4.2.10) ili računarskim programima. Ako zbog značaja puta nije drugačije određeno projektom zadatkom, analiza se izrađuje za puteve projektovane računskom brzinom $V_r \geq 70$ km/h.



Slika 4.2.10: Primer profila brzine

Za pojednostavljenu procenu brzine na projektovanom putu i za usklađivanje veličine elemenata na putevima sa računskom brzinom $V_r < 70 \text{ km/h}$, te na postojećim putevima, mogu se upotrebiti sledeće relacije:

- za puteve sa odvojenim kolovoznim trakama i $V_r < V_d$:

$V_{\text{proj}} = V_{\text{zasn}} + 10 \text{ km/h}$	(izrazita zakrivljenost trase)
$V_{\text{proj}} = V_{\text{zasn}} + 20 \text{ km/h}$	(za izdužene trase),
- za dvosmerne puteve i $V_r < V_d$:

$\max V_p = V_d$	(u odnosu na kategoriju puta)
------------------	-------------------------------

4.2.2.4.3 Brzina u bočnom pravcu

Brzina u bočnom pravcu je računska količina kojom se izračunava dužina prelaznog područja pri promeni vožnje između saobraćajnih traka. Zavisi od širine između traka i brzine vožnje te od smernog toka trase puta (u ravnoj liniji, u krivini).

Ako za pojedinačne slučajeve nije posebno određeno, koriste se sledeće vrednosti:

- blaga 0,7 m/s
(za brzine $> 70 \text{ km/h}$, za teška vozila ili put u krivini)
- prihvatljiva 1,0 m/s
(za brzine $\leq 70 \text{ km/h}$, za putnička vozila, put u ravnoj liniji).

Izračunata dužina je najkraća dužina potrebna za promenu saobraćajne trake, ali ne može biti kraća od dužine koja se u datim saobraćajnim i terenskim uslovima izračunava saobraćajnim dimenzionisanjem (uključivanje, preplitanje).

4.2.2.4.4 Ubrzanje i usporenje motornih vozila

Pri promeni brzine na put, pored psihofizičkih karakteristika vozača, dolaze do izražaja i usporjenja i ubrzanja vozila. Vozila menjaju brzinu ili motorom (motorno ubrzanje/pasivno usporjenje) ili kočnicama (zaustavno usporjenje/kočenje).

Usporjenja i ubrzanja vozila na putu, koja se koriste kod izračunavanja pojedinačnih elemenata, ne smeju prekoračivati vrednosti koje su određene kao karakteristične za vozača.

Za analizu bezbednosti saobraćaja pri saobraćajnim manevrima na putevima, mogu se uzeti u obzir sledeće vrednosti:

- **za ubrzanje (ap)**
 - putnička vozila 0,50 - 1,50 ms^{-2}
 - teretna vozila 0,30 - 0,75 ms^{-2}
- **za pasivno usporjenje (am)**
 - putnička vozila

za $V_{\text{voz}} = 60-100 \text{ km/h}$	0,50 - 0,82 ms^{-2}
---	------------------------------
 - putnička vozila

za $V_{\text{voz}} = 80 \text{ km/h}$	0,66 ms^{-2}
---------------------------------------	-----------------------
- **za aktivno usporjenje - kočenje (ak)**

- putnička vozila

za $V_{\text{voz}} = 60-100 \text{ km/h}$	3,75 - 2,94 ms^{-2}
---	------------------------------
- putnička vozila

za $V_{\text{voz}} = 80 \text{ km/h}$	3,31 ms^{-2}
---------------------------------------	-----------------------
- teretna vozila 1,50 ms^{-2}

Za pojedinačne analize (npr. profil projektne brzine) za ubrzanje i usporjenje može da se upotrebi $a = d = 0,80 \text{ ms}^{-2}$.

4.2.2.4.5 Dužina za promenu brzine vožnje

Dužina puta za promenu brzine vožnje izračunava se iz vrednosti ubrzanja/usporenja, navedenih u prethodnoj tački, sledećim izrazom:

$$\Delta L = (V_0^2 - V_1^2) / 26 \cdot (a_i + 0,1 \cdot i_N)$$

gde je:

ΔL [m]	dužina za promenu brzine,
V_0 [km/h]	početna brzina vožnje,
V_1 [km/h]	konačna brzina vožnje,
a_j [m/s^2]	ubrzanje/usporenje,
i_N [%]	podužni nagib nivelete.

Pri tom za gornju granicu ovih vrednosti sme da se upotrebi ona vrednost ubrzanja/usporenja (a) koja proizlazi iz sposobnosti trenja između kolovoza i pneumatika (KKT - koeficijent kliznog trenja) pri početnoj brzini vožnje, ili iz vrednosti KKT izmerene na kolovozu, kada se utvrđuju stvarni uslovi na kolovozu. Gornja granica usporjenja/ubrzanja određena je izrazom:

$$a_{\text{dej}} \leq f_{\text{t dop}} \cdot g$$

gde je:

a_{dej} [m/s^2]	stvarni odnosno upotrebljeni deo ubrzanja,
$f_{\text{t dop}}$ [-]	maksimalna dopuštena vrednost KKT u odnosu na brzinu,
g [m/s^2]	gravitaciono ubrzanje (9,81 ms^{-2}).

Pri izračunavanju pojedinačnih manevara promene brzine na putu, za udobnu vožnju preporučuje se upotreba vrednosti usporjenja/ubrzanja $a_j = 1,00 \text{ ms}^{-2}$.

4.2.2.5 Programski i tehnički uslovi

Ulazni parametri vozača i vozila su u principu jednaki za sve vrste puteva. Izuzetak predstavlja samo parametar gabarita vozila koji je za sve državne puteve standardizovan, a u lokalnom području se za dimenzionisanje puteva i objekata na njemu može izabrati i gabarit vozila koji je reprezentativan za taj put. U takvom slučaju se saobraćajnom signalizacijom označava za koje vrste vozila je put uređen.

Parametri koji proizlaze iz funkcionalne klasifikacije, saobraćajnog opterećenja i merodavne brzine na putu su za svaki funkcionalni tip puta različiti. Da bi se pri projektovanju ostvarili predviđeni ili zahtevani programski ciljevi, potrebno je pored ulaznih parametara koji daju karakteristike vozača, vozila i vozne površine, uzeti u obzir i

- opšte programske uslove,
- prateće uređenje na putu i pored puta, i
- hijerarhiju uređivanja putne mreže,

da bi gradnja bila racionalna, vožnja po projektovanom putu prikladno brza, udobna i saobraćajno bezbedna, a put usklađen sa namenom prostora kroz koji prolazi, te sposoban za vođenje i kontrolu saobraćaja po njemu.

4.2.2.5.1 Opšti programski uslovi

Opšti programski uslovi su osnova za upravljanje putevima. Određuju obaveze i norme koje je potrebno uzeti u obzir pri projektovanju puteva, kako bi put funkcionisao na određenom funkcionalnom nivou i bio saobraćajno što bezbedniji, a negativni uticaji iz okruženja puta i uticaji puta i saobraćaja na njemu na to okruženje eliminisani ili smanjeni na prihvatljivu meru. Opšti programski uslovi određuju šta je potrebno uraditi, a tehnički propisi ih prate i određuju kako će se to izvesti.

Programski uslovi se tiču međumestnih puteva (vangradskih puteva) i onih deonica tih puteva kroz naselja koje nisu prvenstveno prilagođene potrebama naselja. Ako te deonice prolaze kroz naselje i prilagođene su potrebama naselja, potrebno je uzeti u obzir programske uslove za putnu mrežu unutar naselja.

Opšti programski uslovi po sistemu »dozvoljeno – zabranjeno – izuzeci« određuju za pojedinačni funkcionalni tip puta:

- odnose između puta i izgrađenog okruženja,

- ograničenja prisustva pojedinačne vrste vozila te zaustavljanja i parkiranja na putu, kao i
- ograničenja prisustva i načina kretanja za javni linijski prevoz, bicikliste i pešake.

Opšti programski uslovi navedeni su u tabelama 4.2.11, 4.2.12 in 4.2.13.

Tabela 4.2.11: Opšti programski uslovi – odnos između puta i izgrađenog okruženja

Vrsta puta		Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
Tip puta		PP-I	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
područje	lokalni	ulaz/izlaz/tranzit		da/ne		ne ulazi/izlazine tranzitira			
	područni	ulaz/izlaz/ tranzit			da/ne		ne ulazi/izlazine tranzitira		
	regionalni	ulaz/izlaz/tranzit				da/ne		ne ulazi/izlazi ne tranzitira	
	državni	ulaz/izlaz/tranzit					da/ne		ne
izgradnja duž puta		dozvoljena		dozvoljena u izuzetnim slučajevima		zabranjena			
kontrola pristupa		nema		delimična			potpuna		
direktan pristup vozilima		dozvoljen		dozvoljen u izuzetnim slučajevima		zabranjen			
aktivnost boravka u zoni puta		funkcije prihvatljive		prihvatljivo u izuzetnim slučajevima		ograničenje prema vrsti i lokaciji (prateći objekti za korisnike)			
mere za zaštitu okoline		u načelu nisu potrebne		po potrebi		obavezne			

Tabela 4.2.12: Opšti programski uslovi - ograničenja prisustva pojedinačne vrste vozila te zaustavljanja i parkiranja na putu

Vrsta puta		Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
Tip puta		PP-I	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
putnička vozila i motocikli		dozvoljeno							
turistički (međumetni) autobusi		regulisano		dozvoljeno					
teretna vozila		regulisano		dozvoljeno					
autovozovi		regulisano			dozvoljeno				
traktori i poljoprivredna vozila		dozvoljeno		regulisano			zabranjeno		
zaustavljanje (po želji)		dozvoljeno na kolovozu po pravilima vožnje			regulisano ili van kolovoza			zabranjeno	
zaustavljanje (opravdano)		dozvoljeno na kolovozu u skladu sa opštim pravilima vožnje					dozvoljeno van protočnih traka kolovoza		
parkiranje		regulisano na kolovozu		regulisano na kolovozu ili van njega			isključivo van kolovoza na posebnim površinama		

Tabela 4.2.13: Opšti programski uslovi – javni linijski prevoz, biciklisti, pešaci

Vrsta puta		Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
Tip puta		PP-l	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
javni prevoz	autobus za javni prevoz	da/ne	dozvoljeno			dozvoljeno pod posebnim uslovima		zabranjeno	
	Stajališta	mogu biti na kolovozu		stajališta van protočnih traka kolovoza			nema		
	pristup pešaka do stajališta	u nivou		uređen u nivou		uređen u nivou (ili u dva nivoa)		nema	
biciklisti	podužno kretanje	slobodno		slobodno, preporučuje se regulisanje		regulisano (ili zabranjeno)		zabranjeno	
	zaštita podužnih tokova	nema		zajedno sa pešacima ili odmaknuta staza		odmaknuta staza		vođenje van područja puta	
	prelaženje	slobodno		pešački prelazi i/ili prelazi za bicikliste		regulisano, biciklistički prelazi		denivelisano	
	vođenje poprečnih tokova	u nivou				u nivou ili denivelisano		denivelisano	
pešaci	podužno kretanje	može biti na kolovozu		regulisano, po potrebi jednostrano ili obostrano				zabranjeno	
	zaštita podužnih tokova	nema		ivična razdelna traka sa/bez ivičnjaka				vođenje van područja puta	
	prelaženje	slobodno		po potrebi regulisano, pešački prelazi		regulisano pešački prelazi		denivelisano	
	vođenje poprečnih tokova	u nivou				u nivou ili denivelisano		denivelisano	

Pošto je moguće alternativno uređenje, odluke pri projektovanju puteva se usvajaju u odnosu na količinu pešaka i biciklista, i u odnosu na brzinu vozila, koji se predviđaju na određenom putu.

4.2.2.5.2 Prateći sadržaji pored puta i na putu

Ostvarivanje programskih ciljeva za pojedinačni funkcionalni tip puta ne zavisi samo od karakteristika trase puta i raskrsnice,

već i od sadržaja koji omogućavaju održavanje puta, upravljanje saobraćajem, brze intervencije, snabdevanje gorivom i opsluživanje korisnika puta. Sadržaji se aktiviraju ili kao objekti, ili kao uređenje. Razlikujemo:

- funkcionalne sadržaje i
- sadržaje za potrebe korisnika.

Prateći sadržaji su za pojedinačni funkcionalni tip puta navedeni u tabelama 4.2.14 in 4.2.15.

Tabela 4.2.14: Prateći funkcionalni sadržaji

Vrsta puta	Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
Tip puta	PP-I	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
baze za održavanje	mrežni koncept					moguće	DA	DA
upravljanje i kontrola saobraćaja	mrežni koncept				moguće	moguće	DA	DA
putarina	NE	NE	NE	NE	NE	moguće	moguće	DA
autovozovi	regulisano			dozvoljeno				
traktori i poljoprivredna vozila	dozvoljeno		regulisano		zabranjeno			
zaustavljanje (po želji)	dozvoljeno na kolovozu po pravilima vožnje			regulisano ili van kolovoza		zabranjeno		
Zaustavljanje (opravdano)	dozvoljeno na kolovozu u skladu sa opštim pravilima vožnje					dozvoljeno van protočnih traka kolovoza		
parkiranje	regulisano na kolovozu		regulisano na kolovozu ili van njega		isključivo van kolovoza na posebnim površinama			

Baze za održavanje puteva i centri za kontrolu saobraćaja organizuju se na takav način da pokrivaju celu mrežu puteva:

- za puteve DP i VP-m koncept je linijski (po deonicama, sa vezom na centralnu jedinicu)
- za druge puteve koncept je mrežni (prostorni nivo).

Lokacije baza za održavanje je potrebno odrediti uz poštovanje specifičnih uslova u kojima deluju (pristupačnost, vremenski uslovi, komunalno opsluživanje).

Raspored odnosno lokacija pratećih funkcionalnih objekata određuje se u projektu u skladu sa potrebama korišćenja puta i nadzora nad saobraćajem.

Tabela 4.2.15: Prateći sadržaji za potrebe korisnika (obaveza uređenja)

Vrsta puta	Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
Tip puta	PP-I	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
parkirališta	NE	NE	moguće	moguće	DA	DA	DA	DA
odmorišta	NE	NE	NE	NE	moguće	DA	DA	DA
stanice za snabdevanje gorivom	NE	NE	moguće	moguće	DA	DA	DA	DA
servisi	NE	NE	NE	moguće	moguće	DA	DA	DA
moteli	NE	NE	NE	NE	moguće	moguće	DA	DA
zaustavljanje (po želji)	dozvoljeno na kolovozu po pravilima vožnje			regulisano ili van kolovoza		zabranjeno		
zaustavljanje (opravdano)	dozvoljeno na kolovozu u skladu sa opštim pravilima vožnje					dozvoljeno van protočnog kolovoza		
parkiranje	regulisano na kolovozu		regulisano na kolovozu ili van njega		isključivo van kolovoza na posebnim površinama			

Raspored pratećih objekata i uređenja za potrebe korisnika zavise od psihofizičkih osobina vozača (umor), a za potrebe vozila u odnosu na snabdevanje gorivom (rezerva goriva ~ 35 km). Na putevima VP-m, DP-m i DP-d, kako bi se izbeglo stvaranje nehomogenog saobraćajnog toka, potrebno je u celosti ispoštovati rastojanja između pojedinačnih lokacija (tabela 4.2.16).

Parkirališta i odmorišta uređuju se u odnosu na potrebe i potražnju. Kapacitet i sadržaj opremljenosti se za svaki tip uređenja određuje posebnim tehničkim propisom.

Veličina servisnih centara definiše se u odnosu na potražnju. Lociraju se na takvim mestima gde je centar dostupan i preko druge putne mreže (opsluživanje centra). Moraju biti u potpunosti komunalno opremljeni i stalno kontrolisani. Po pravilu rade neprekidno 24 časa dnevno.

Korisnicima puta je potrebno ponuditi vrste usluga na rastojanjima u određenom ritmu, jer bi odstupanje od toga moglo da utiče na kvalitet odvijanja saobraćajnog toka na putu. Vrsta usluga i njihova međusobna rastojanja navedena su u tabeli 4.2.16.

Tabela 4.2.16: Vrste usluga za korisnike i njihovo međusobno rastojanje

Vrsta usluge	Rastojanje
- kraće zadržavanje vozila, poziv u slučaju nužde, sanitarni čvor, pijaća voda	10 – 20 km
- kraći odmor, bife, prodavnice	20 – 40 km
- informacioni punkt, mogućnost rekreacije, restoran, stanice za snabdevanje gorivom	40 – 80 km
- motel, autoservis	80 – 160 km

4.2.2.5.3 Hijerarhija uređivanja putne mreže

Da bi se zadržao isti nivo kvaliteta usluga na pojedinačnom putu, potrebno je na mestima gde se put povezuje sa drugim putevima strogo ispoštovati hijerarhiju povezivanja

(tabela 4.2.17). Svaki funkcionalni tip puta može da se povezuje samo sa putem jednakog ili za jedan stepen višeg ili nižeg funkcionalnog tipa. Odstupanje od ovog pravila je moguće samo zbog prostornih i/ili terenskih ograničenja te pri etapama u razvoju putne mreže.

Tabela 4.2.17 Povezivanje funkcionalnih tipova puteva u hijerarhijski uređenu putnu mrežu

Vrsta puta	Pristupni put		Sabirni put		Vezni put		Daljinski put	
	PP-I	PP-p	SP-p	SP-r	VP-r	VP-m	DP-m	DP-d
PP-I	DA	DA	MO	SI				
PP-p	DA	DA	DA	MO	SI			
SP-p	MO	DA	DA	DA	MO	SI		
SP-r	SI	MO	DA	DA	DA	MO	SI	
VP-r		SI	MO	DA	DA	DA	MO	SI
VP-m			SI	MO	DA	DA	DA	MO
DP-m				SI	MO	DA	DA	DA
DP-d					SI	MO	DA	DA

DA – normalno,

MO – moguće,

SI – samo izuzetno

Da bi se postigao zahtevani nivo usluge na primarnom putu, potrebno je pravilno

rasporediti ukrštanje puta sa drugim putevima duž puta, a raskrsnice urediti u odnosu na

količine saobraćajnih opterećenja u primarnom i sekundarnom pravcu, kao i u odnosu na prisustvo i broj drugih korisnika puta (biciklisti, pešaci). Od celokupnog spektra uslova i intenziteta pojedinačnih saobraćajnih tokova zavisi da li će se ta ukrštanja izvesti u nivou ili denivelisano.

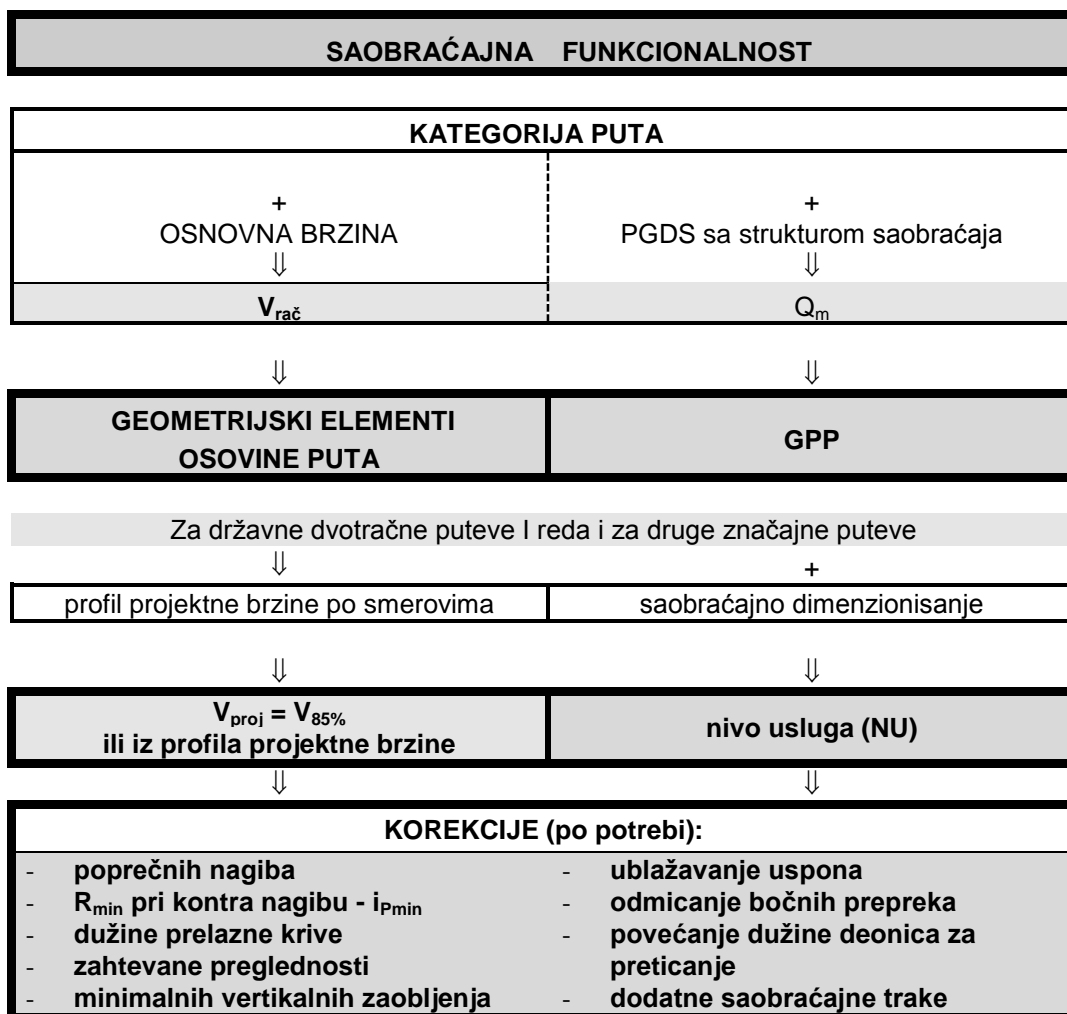
4.2.2.6 Koraci prilikom izbora i korekcije elemenata puta

Polazna tačka za izbor i dimenzionisanje elemenata puteva je vrsta puta, kod koje su ulazni parametri sledeći: saobraćajna funkcija, saobraćajno opterećenje i računaska brzina koja zavisi još od uslova u prostoru (reljef, ograničenja) kroz koji prolazi put.

U slučaju da uslovi u prostoru ograničavaju izbor računaska brzine u takvoj meri da bi time bilo ugroženo ostvarivanje programskih ciljeva (nivo usluga), potrebno je uslove ostvariti dodatnim merama na putu (poboljšanje elemenata puta, da se postiže veću prosečnu brzinu putovanja).

Putevi se, po pravilu, projektuju geometrijskim elementima koji su veći od graničnih određenih za neku računsku brzinu. Na pojedinačnim elementima ili na većoj dužini puta projektna brzina će biti toliko velika da se može očekivati da nakon određenog vremena vožnja postane opasna. Zato je potrebno u projektu za državne puteve I reda (bez autoputeva) i druge važne saobraćajnice sa pretežno povremenim korisnicima, projektne elemente puta dopuniti (korigovati) kao što je prikazano u tabeli 4.2.18.

Tabela 4.2.18: Koraci pri izboru i korekciji elemenata puta za obezbeđivanje saobraćajne funkcionalnosti (svi putevi) i saobraćajne bezbednosti (dvotračni putevi)



4.3 POPREČNI PROFIL PUTA

4.3.1 VRSTE POPREČNOG PROFILA NA PUTEVIMA

Poprečni profil je tehnički prikaz puta pod pravim uglom u odnosu na osu puta. U najširem smislu, to je telo puta prikazano u poprečnom preseku zajedno sa svim pratećim objektima i uređenjima. U njemu su određeni vrsta, sastav i dimenzije, kao i visinski odnosi između pojedinih elemenata koji ga sačinjavaju. Određuje se na osnovu programskih polazišta i uslova za određeni funkcionalni tip puta prilikom prolaska kroz različito iskorišćene prostore (land-use).

U odnosu na iskorišćenost prostora kroz koji prolazi put razlikuju se:

- gradsko područje (gusta izgrađenost),
- prigradsko područje (proređena izgradnja, pojedinačne zgrade, objekti za proizvodnu delatnost i sl.) i
- ruralno područje (pretežno neizgrađen prostor, šuma, poljoprivredno zemljište, parkovi i sl.).

Deonica puta kroz područja sa različitom iskorišćenošću prostora može se izvesti za izmenjenu strukturu korisnika, ako to dopuštaju uslovi kojima se obezbeđuje funkcionalnost. Pri tom se mogu promeniti i njeni tehnički i geometrijski elementi. Naročitu pažnju treba posvetiti tehničkom projektovanju prelaznog dela (ulaz, izlaz) ovakve deonice puta i ako je

potrebno za nju treba da bude predviđena posebna saobraćajna signalizacija i oprema.

Poprečni profil se za različite faze projekta u zavisnosti od tehničke namene sadržajno i grafički izrađuje kao

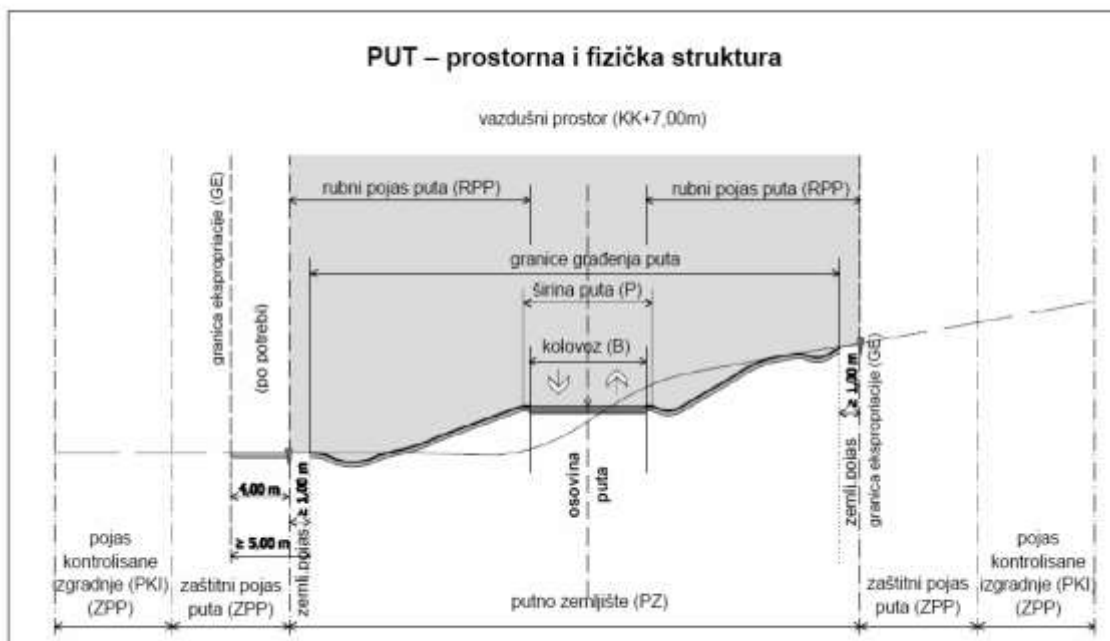
- geometrijski poprečni profil (GPP),
- normalni poprečni profil (NPP) i
- karakteristični poprečni profil (KPP).

4.3.1.1 Prostorna i fizička struktura puta

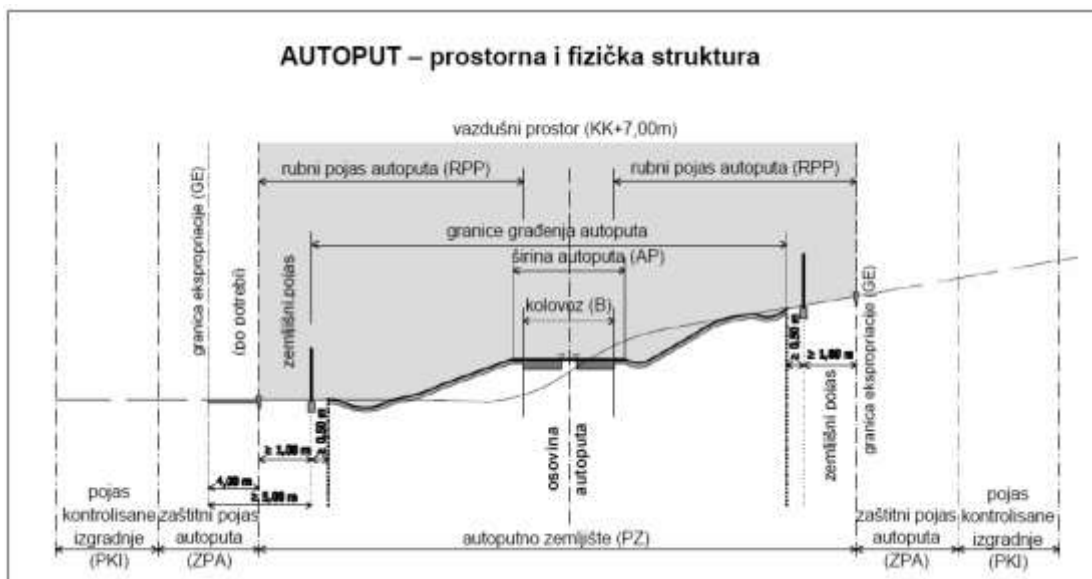
Okolinu puta u poprečnom preseku sačinjavaju saobraćajne i nesaobraćajne površine, površine za zaštitu trupa puta i održavanje puta, putno zemljište, te vazdušni prostor. Duž putnog zemljišta postoji prostor na koji se šire negativni uticaji puta i saobraćaja koji se njime odvija. A istovremeno je to i prostor u kome su aktivnosti ograničene da ne bi uticale na stabilnost trupa puta i saobraćaja na putu. U skladu sa odredbama Zakona o javnim putevima (Sl. glasnik RS, 105/05) širine zaštitnog pojasa za različite funkcionalne tipove puteva i za autoputeve su različite. Širina zaštitnog pojasa (član 29 Zakona o javnim putevima) sa svake strane puta je

- | | |
|---|------|
| • na državnim putevima I reda –
autoputevima | 40 m |
| • na državnim putevima I reda | 20 m |
| • na državnim putevima II reda | 10 m |
| • na opštinskim putevima | 5 m |

Prostorna i fizička struktura poprečnog profila za puteve prikazana je slici 4.2.11 za puteve sa jednostrukim kolovozom i na slici 4.2.12 za puteve sa dvostrukim kolovozom.



Slika 4.2.11: Prostorna i fizička struktura poprečnog profila puta



Slika 4.2.12: Prostorna i fizička struktura poprečnog profila autoputa

4.3.1.2 Vrste poprečnih profila u putnim projektima

Geometrijski poprečni profil (GPP) je prikaz poprečnog profila koji je namenjen planiranju i početnim koracima projektovanja. U njemu su prikazane vrsta, broj i raspored saobraćajnih i funkcionalnih traka na putu, kao i njihove dimenzije. Posebno se u ovoj fazi određuju i sastav i dimenzije funkcionalnih traka na mostovima i vijaduktima, te u podvožnjacima, galerijama i tunelima. Kod puteva koji će se graditi u etapama određuje se GPP za završnu i početnu etapu.

GPP se određuje na osnovu funkcije puta u putnoj mreži, programskih uslova i topografskih karakteristika terena.

Normalni poprečni profil (NPP) je prikaz poprečnog profila koji predstavlja tipično rešenje kod standardnih prirodnih i stvarnih saobraćajnih uslova prilikom čega se uzima u obzir čuvanje i zaštita životne sredine. Obuhvata fizičku strukturu profila definisanu u GPP, konstruktivna rešenja svih elemenata u profilu, relativne visinske odnose elemenata u odnosu na položaj nivelete, saobraćajne i građevinske opreme, kao i tipske konstruktivne detalje donje i gornje konstrukcije. U zavisnosti od uslova terena i odabira uređaja za zaštitu puteva u NPP su uključeni i nagibi kosina i drugih ivičnih elemenata puta, debljina humusiranja, te položaj elemenata odvodnjavanja površinskih, priobalnih i podzemnih voda. U NPP se određuje i jedinstven položaj granice gradnje (građevinski profil), položaj granice putnog zemljišta i

zaštitna traka. Za puteve koji će biti građeni po etapama, u projektu NPP za početnu etapu se određuje NPP za završnu i početnu etapu.

NPP se iscrta za put u pravoj liniji i u krivoj za različite položaje na terenu (na nasipu, u useku, u zaseku) i na odnosno u putnim objektima (mostu, vijaduktu, nadvožnjaku, podvožnjaku, galeriji, tunelu). NPP treba da bude iscrtan za svaku različitu trasu kroz prostor (izvan naselja, kroz naselje i sl.).

Karakteristični poprečni profil (KPP) je prikaz poprečnog profila na pojedinačnim stacionažama ose puta koje mogu da slede ekvidistantno (po pravilu u glavnom projektu) ili proizvoljno (po pravilu u idejnom projektu). Osim izgleda trupa puta i sadržaja (položaj uređaja za odvodnjavanje, položaj građevinske opreme i sl.) u KPP se za pojedine sastavne delove puta određuju i visinski podaci i odstojanja od ose puta koji su potrebni prilikom gradnje puta. Prilikom projektovanja KPP služi za izradu popisa radova, predmere količina i predračune, te za određivanje granica gradnje i putnog zemljišta.

4.3.2 SAOBRAĆAJNI I SLOBODNI PROFIL PUTA

Normalno funkcionisanje motornih vozila i drugih korisnika puta je moguće samo ako se na kolovozu u poprečnoj vertikalnoj ravni obezbedi dovoljna širina i visina za saobraćaj pojedine vrste vozila prilikom čega se uzima u obzir i brzina kojom se kreće određeni korisnik puta. Ovaj prostor se naziva saobraćajni profil.

Da bi se obezbedila sigurnost, pored brzine i dimenzija (gabarita) korisnika treba uzeti u obzir i sigurnosno rastojanje od drugih korisnika puta kao i od fizičkih prepreka sa strane i odozgo. Saobraćajni profil koji je uvećan za ova sigurnosna rastojanja naziva se slobodni profil.

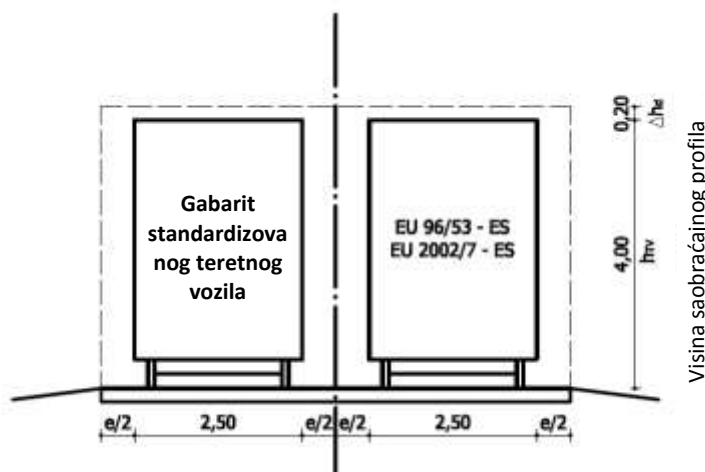
4.3.2.1 Saobraćajni profil za motorna vozila

Na javnim putevima treba obezbediti zadovoljavajući saobraćajni profil na pojedinačnoj saobraćajnoj traci za vožnju svih motornih vozila računskom brzinom (V_r) koja je određena programskim uslovima. A određuje se gabaritom teretnog vozila najvećih dimenzija vozila određenih direktivom EU 96/53-ES koja je dopunjena direktivom EU 2002/7-ES. To je gabarit tipičnog

standardizovanog teretnog vozila širine $b_v=2,50$ m i visine $h_{vTV}=4,00$ m.

Širina saobraćajnog profila sastoji se od širine vozila (2,50 m) i manevarskog prostora na obe strane, a koji zavisi od brzine vožnje (V_r).

Standardna visina saobraćajnog profila sastoji se od visine vozila (4,00 m) i dodatne visine za dinamičke oscilacije prilikom vožnje teretnog vozila koja je određena u vrednosti $\Delta h_v=0,20$ m. Ukupna visina saobraćajnog profila za motorna vozila je 4,20 m a meri se iznad najviše tačke na kolovozu. Ako se na određenom putu kao sredstvo za uzdužno odvodnjavanje koristi segmentni kanal (kanaleta) u koji vozilo može da skrene, preporučuje se, da se i nad tim delom obezbedi standardnu visinu.



Slika 4.2.13: Saobraćajni profil za motorna vozila

Saobraćajni profil kolovoza sačinjavaju saobraćajne trake, ivične trake, te zaustavne trake kada su predviđene. Broj saobraćajnih traka zavisi od vrste i količine saobraćaja u jednom smeru (saobraćajno dimenzionisanje), širina saobraćajnih i ivičnih traka od računске brzine, a širina zaustavnih traka od vrste puta, te strukture saobraćaja koji se na njemu odvija.

4.3.2.2 Saobraćajni profili za pešake i bicikliste

Saobraćajni profil za pojedinačnog pešaka određen je širinom 0,75 m i visinom 2,25 m. Površina za saobraćaj pešaka određuje se na osnovu broja pešaka i može da ima jednu, dve ili više traka. Saobraćajni profil površine za pešake je proizvod širine 0,75 m i broja paralelnih traka.

Saobraćajni profil za biciklistu je određen širinom bicikliste 0,80 m i manevarskim prostorom po 0,10 m sa svake strane, dakle ukupno 1,00 m, te visinom 2,25 m. Površina za biciklistički saobraćaj određuje se na osnovu broja biciklista i može da ima jednu ili dve trake. Saobraćajni profil površine za bicikliste je proizvod širine 1,00 m i broja paralelnih traka.

4.3.2.3 Slobodni profili za motorna vozila

Slobodni profil za motorna vozila je prostor definisan širinom kolovoza, širinom bočnog zaštitnog prostora sa svake strane kolovoza i zaštitnom visinom. Na putevima kod kojih su kolovozi u oba smera međusobno razdvojeni (autoputevi) u slobodan profil se ubraja i širina

središnje razdelne trake. Ako je u toj traci postavljena potporna konstrukcija (stub ili zid), slobodni profil se određuje za svaki kolovoz posebno. U ovom prostoru ne sme bude nikakvih stalnih fizičkih prepreka. Izuzetak je saobraćajna oprema koja pak sme da bude postavljena samo na način koji je određen pravilima za postavljanje saobraćajnih znakova uz puteve (poglavlje 6) i tako da ne ograničava zahtevanu preglednost (Pzp).

Standardna zaštitna visina iznad saobraćajnog profila je 0,30 m, a kod novogradnje treba da bude povećana na 0,55 m (zbog nove odredbe iz direktive EU).

Standardna širina bočnog zaštitnog prostora (d_z) zavisi od vrste puta, od vrste trupa puta (otvorena trasa, na mostu, u tunelu) i od računске brzine. Standardne širine su upisane u tabeli 4.2.19.

Tabela 4.2.19: Standardne dimenzije zaštitne širine

Zaštitna širina	d_z [m]
autoputevi	1,50
$V_{ri} \geq 80$ [km/h]	1,50
$V_{ri} \leq 80$ [km/h]	1,00
do zaštitne ograde	0,50
u tunelu, galeriji, podvožnjaku	1,00

Kada iz opravdanih razloga nije moguće obezbediti dovoljnu širinu bočnog zaštitnog prostora, prepreka treba da bude zaštićena sistemom za zadržavanje vozila (n.pr. zaštitna ograda). Lice elementa sistema za zadržavanje vozila u ovom i u svim drugim

slučajevima mora da bude udaljena od ivice kolovoza najmanje 0,50 m.

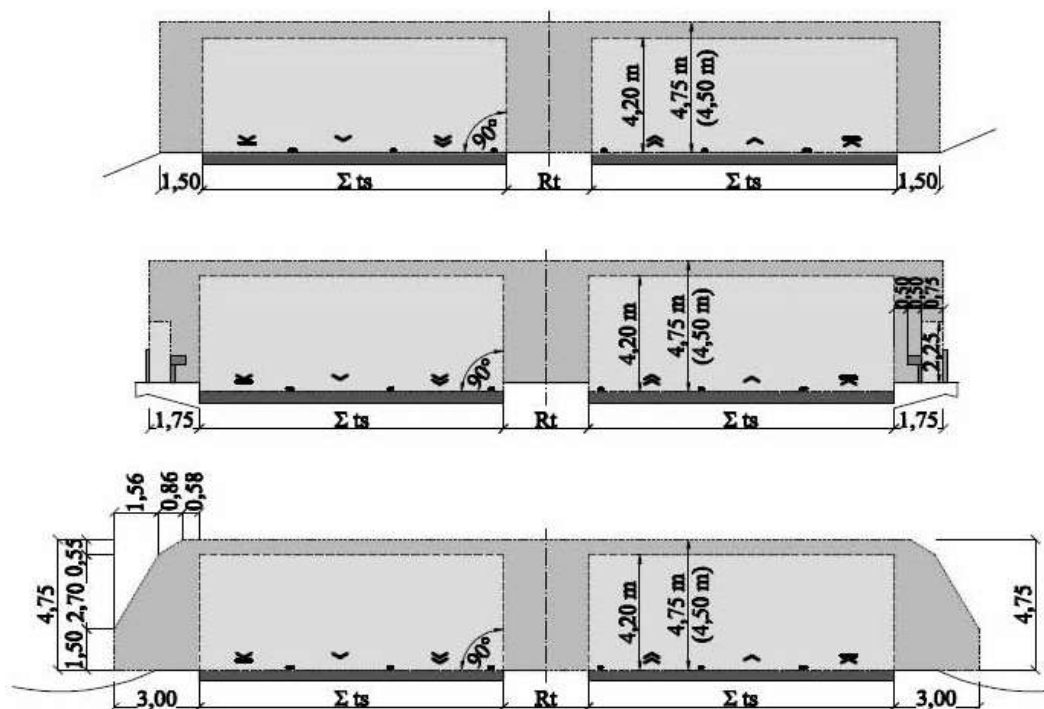
Širina bočnog zaštitnog prostora ispod nadvožnjaka sa obe spoljašnje strane puta je povećana da bi se obezbedio i prostor za postavljanje uređaja za odvodnjavanje i da bi se obezbedilo optički povoljno rešenje (vozač nema osećaj skućenosti), te prihvatljiviji pejzažni izgled objekta u celini.

Minimalna širina bočnog zaštitnog prostora u ovom slučaju je 3,00 m kod puteva sa razdvojenim kolovozima (autoputevi) i 3,25 m kod puteva sa jednim kolovozom. Širina može da se suzi do 1,80 m na putevima koji su saobraćajno manje zahtevni (manja brzina vožnje) i u nepovoljnim terenskim uslovima, te kod primene drugačijeg sistema odvodnjavanja.

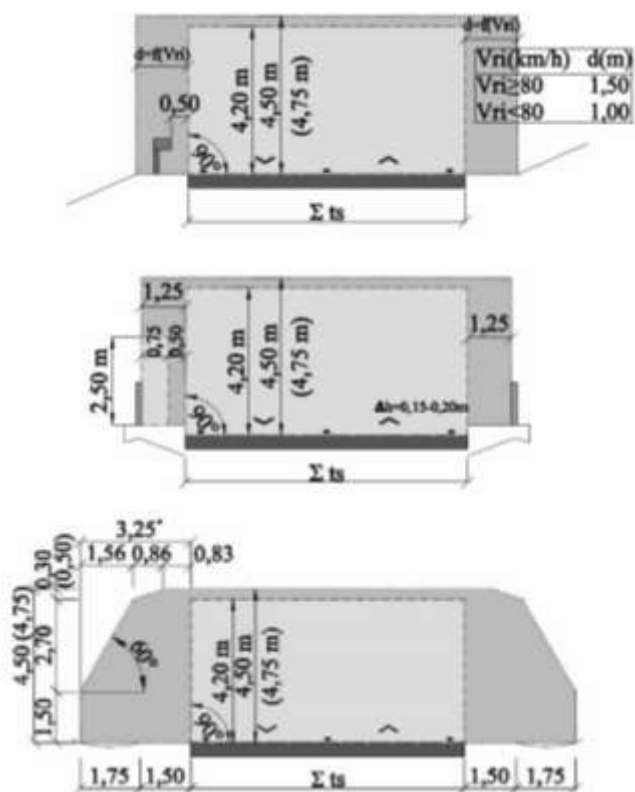
Slobodni profil je pravougaonik položen na kolovoz koji je po pravilu malo nagnut na jednu ili na drugu stranu. Prilikom definisanja položaja donje ivice nadvožnjaka slobodna visina iznad puta se meri od najviše tačke kolovoza do najniže tačke konstrukcije nadvožnjaka.

Kod puteva koji prolaze ispod nadvožnjaka i kroz tunele iz razloga racionalnosti oblik slobodnog profila je u gornjim uglovima adaptiran i izveden u obliku trougla, različito kod nadvožnjaka i tunela.

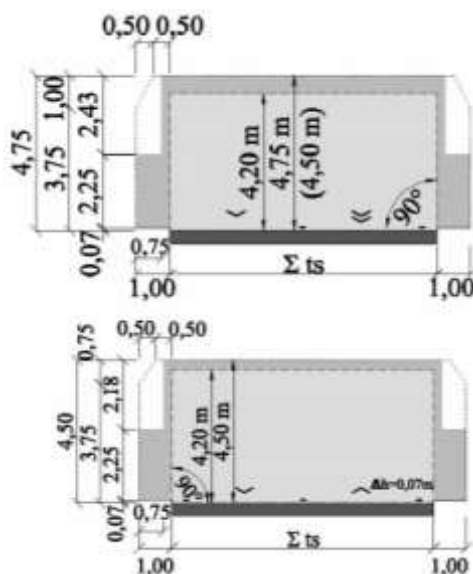
Primeri saobraćajnih i slobodnih profila za različite vrste puteva su za različita izvođenja (na otvorenoj trasi, na mostu, u tunelu) prikazani na slikama 4.2.14, 4.2.15 in 4.2.16. Pri tom su na slikama korišćene sledeće oznake: R_t – središnja razdelna traka, Σ_t – širina kolovoza i d – širina zaštitne trake.



Slika 4.2.14: Slobodni i saobraćajni profil autoputa (otvorena trasa, na mostu, ispod nadvožnjaka)

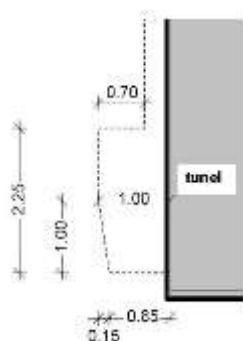


Slika 4.2.15 Slobodni i saobraćajni profil puta sa jednim kolovozom (otvorena trasa, na mostu, ispod nadvožnjaka)



Slika 4.2.16: Slobodni i saobraćajni profil puta u tunelu (polovina autoputa, dvotračni put)

Evropska tehnička regulativa uglavnom preporučuje da se slobodni profil u tunelima preoblikuje i u donjim uglovima. Na delu koji je namenjen kretanju lica odgovornih za održavanje tunela, širina hodnika se do visine 1,00 m sužava u obliku trougla čija je donja stranica 0,15 m (slika 4.2.17). Ovim se uslovi za kretanje radnika održavanja ne menjaju, a iskopni profil tunela u tom slučaju iziskuje znatno manje investicije (kod dvotračnog puta za oko 5%).



Slika 4.2.17: Dodatna redukcija slobodnog profila u tunelu (u donjem uglu)

4.3.2.4 Slobodni profil za pešake i bicikliste

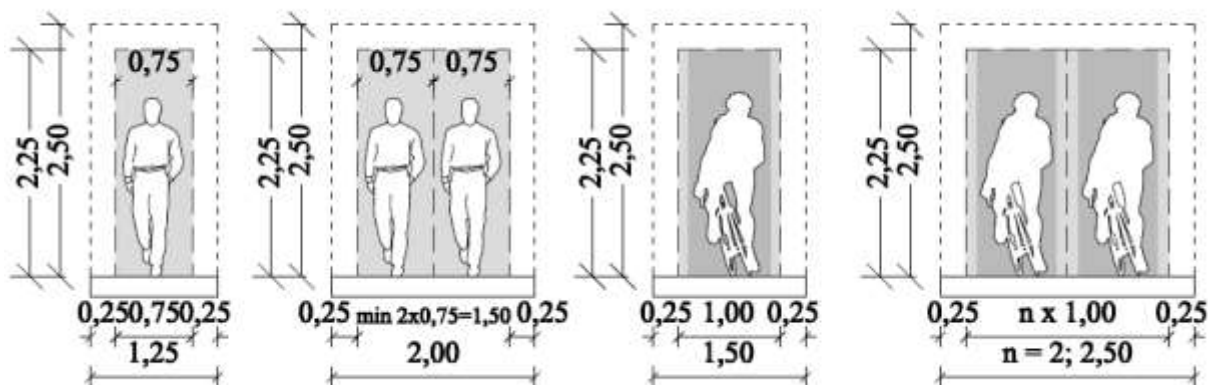
Slobodni profil za saobraćaj pešaka je prostor koji se sastoji od širine površine za pešake i širine bočnog zaštitnog prostora na obe strane. Širina bočnog zaštitnog prostora za saobraćaj pešaka je 0,25 m. Između dve ili više traka koje su namenjene saobraćaju pešaka, ne računa se zaštitni prostor na spoju susednih traka bočnog zaštitnog prostora.

Slobodni profil za biciklistički saobraćaj je prostor koji je sastavljen od širine površine za bicikliste i širine bočnog zaštitnog prostora na obe strane. Širina bočnog zaštitnog prostora za biciklistički saobraćaj je 0,25 m. Između dve ili više traka koje su namenjene saobraćaju pešaka ne računa se zaštitni prostor na spoju susednih traka bočnog zaštitnog prostora.

Slobodni i saobraćajni profil površina za pešake i bicikliste (za jednu i dve paralelne trake) je prikazan na slici 4.2.18.

Površine za saobraćaj pešaka i biciklista mogu da spoje na istoj površini.

Detaljni opisi projektovanja površina za saobraćaj pešaka i biciklista nalaze se u poglavlju 5.



Slika 4.2.18: Prosti profil za pešake i bicikliste (jednotračni, dvotračni)

4.3.2.5 Spajanje slobodnih profila

Kada je na pojedinačnom putu u skladu sa programskim uslovima za projektovanje puteva osim motornog saobraćaja predviđen i saobraćaj pešaka i/ili biciklista, njihovi slobodni profili se smeju spojiti. Pravila za spajanje su:

- slobodni profili puta za saobraćaj pešaka i/ili biciklista spajaju se tako što je slobodni profil za motorni saobraćaj na sredini, pored njega slobodni profil za bicikliste a pored njega i slobodni profil za pešake;
- slobodni profili za saobraćaj biciklista i pešaka mogu da se dodaju sa jedne ili sa obe strane slobodnog profila za motorna vozila;
- ako prema programskim uslovima saobraćaj pešaka i biciklistički saobraćaj nije predviđen na kolovozu, treba da bude sproveden i odvojen od kolovoza bočnom razdelnom trakom (slika 4.2.29, pogl. 4.3.3.3.1.2) ili zaštitnom ogradom;
- ako je u posebnim terenskim ili prostornim uslovima bočna razdelna traka pored puta uža nego što je prethodno navedeno, na spoju oba bočna zaštitna prostora treba da bude postavljena zaštitna ograda;

- ako se saobraćaj na ovim površinama odvija u istom smeru, bočni zaštitni prostori dva različita susedna korisnika puta se preklapaju (ostaje onaj koji je veći);
- ako se po površinama dva susedna korisnika saobraćaj odvija u suprotnim smerovima, potrebno je da se predvidi zaštitni prostor širine 0,50 m između saobraćajnog profila za motorna vozila i/ili za pešake/bicikliste;
- ako se po površinama dva susedna korisnika saobraćaj odvija u suprotnim smerovima, potrebno je da se predvidi zaštitni prostor širine 0,25 m između saobraćajnih profila za bicikliste i pešake;

4.3.2.6 Slobodni profil iznad železničke pruge

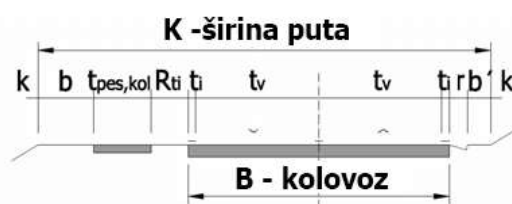
Kod planiranja i projektovanja puta koji će se preko nadvožnjaka ukrštati sa železničkom prugom, konstrukcija nadvožnjaka treba da bude usklađena sa slobodnim profilom elektrifikovane železničke pruge (slika 4.2.19). Pri tom je potrebno da se izabere potrebna visina između najviše kote koloseka i najniže kote konstrukcije nadvožnjaka, a za potrebnu širinu osim zahtevane širine treba uzeti u obzir i nagib železničke pruge.

Oznake na slikama 4.2.20 i 4.2.21 su identične onima koje su u nastavku dodeljene određenoj

vrsti površine.



Slika 4.2.20: Standardni sastav površina u profilu puta sa kolovozima razdvojenim prema smeru upravljanja (autoputevi)



Slika 4.2.21: Standardni sastav površina u profilu puta sa jednim dvosmernim kolovozom

4.3.3.2 Kolovozne trake u poprečnom profilu

Površina za saobraćaj motornih vozila (kolovoz) sastoji se od sledećih vrsta saobraćajnih površina:

- vozne trake (t_v),
- trake za spora vozila (t_s),
- trake za isključivanje, uključivanje, preplitanje i usmeravanje (t_p),
- trake za vozila javnog saobraćaja (t_{jp}),
- ivične trake (t_i),
- zaustavne trake (t_z),
- zaustavne niše (t_{zn}).

Minimalni sastav kolovoza sačinjava jedna kolovozna traka na jednosmernom kolovozu ili dve trake na dvosmernim kolovozima. Ostale površine se u profil dodaju u skladu sa programskim uslovima za određeni funkcionalni tip puta u odnosu na saobraćajne

uslove na određenom putu (količinu i strukturu saobraćaja, te vrstu terena), u odnosu na funkcionalni značaj dodate površine i u odnosu na razloge saobraćajne bezbednosti. Za državne puteve su u tu svrhu pripremljeni standardni geometrijski poprečni profili koje je u opravdanim slučajevima moguće adaptirati.

4.3.3.2.1 Vozne trake i trake za preticanje

4.3.3.2.1.1 Vozne trake (t_v)

Vozne trake su saobraćajne trake namenjene isključivo za motorni saobraćaj i omogućuju bezbednu i neprekidnu vožnju na nivou usluge koji je predviđen programskim uslovima za određenu vrstu puta. Širina voznih traka zavisi od širine standardizovanog teretnog vozila (poglavlje 4.3.2.1.) i računске brzine (tabela 4.2.20) koja je (može da bude) različita za istu vrstu puta u različito problematičnim uslovima.

Tabela 4.2.20: Širina saobraćajnih traka (t_v)

Vri [km/h]	t_v [m]	Standardni GPP i karakter terena
$Vri > 100$	3,75	AP (ravničarski)
$80 < Vri \leq 100$	3,50	AP (brdski, planinski), VP, PP
$60 < Vri \leq 80$	3,25	PP
$40 < Vri \leq 60$	3,00	PP
$Vri \leq 40$	2,75	PP

4.3.3.2.1.2 Trake za preticanje

Trake za preticanje su vozne trake koje se prilikom velikog udela teškog saobraćaja ili na većim usponima dodaju uobičajenom broju vozničkih traka na dvosmernom kolovozu. Smeštene su na unutrašnjoj strani pojedinačnog smera upravljanja. Po pravilu je njihova širina jednaka širini vozničkih traka. Ako je saobraćajnom signalizacijom označeno da smeju da ih koriste samo putnička vozila, širina trake za preticanje može za jedan stepen (0,25 m) da bude manja od širine vozničkih traka, mada ne mogu da budu manje od 3,25 m.

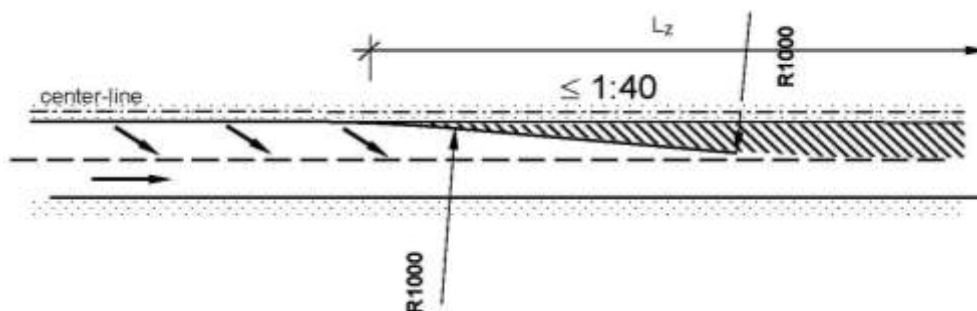
Trake za preticanje su uobičajeni sastavni deo kolovoza sa tri trake za dvosmerni saobraćaj (poglavljje 4.3.4.0.0 – tip VP-2).

Prilikom izvođenja trake za preticanje treba obratiti pažnju na početni i završni deo ovih

traka koji moraju da budu izvedeni linijski u tlocrtu tako da omogućuju preglednost i prelazak bez korišćenja kočnica. Najmanja dužina prelaska zavisi od brzine vožnje, širine pomaka i prihvatljive brzine bočnog kretanja vozila (poglavljje 4.2.2.4.0).

Za minimalnu dužinu početnog dela trake za preticanje važi isti uslov koji je određen za proširenje ispred raskrsnica (poglavljje 5.2.0.0). Minimalna dužina završnog dela trake za preticanje predstavljena je na slici 4.2.22. Kod veoma velikog saobraćajnog opterećenja dužina ovog dela takođe treba da bude saobraćajno dimenzionisana (HCM).

Neprimerenim se smatra lociranje početnog i završnog dela trake za preticanje u zoni horizontalnih krivina na kojima je $R < 400\text{m}$ (nije moguća $\max V_r$) i u zoni vertikalnih zaobljenja nivelete gde nije obezbeđena preglednost za preticanje.



Slika 4.2.22: Minimalna dužina završnog dela trake za preticanje

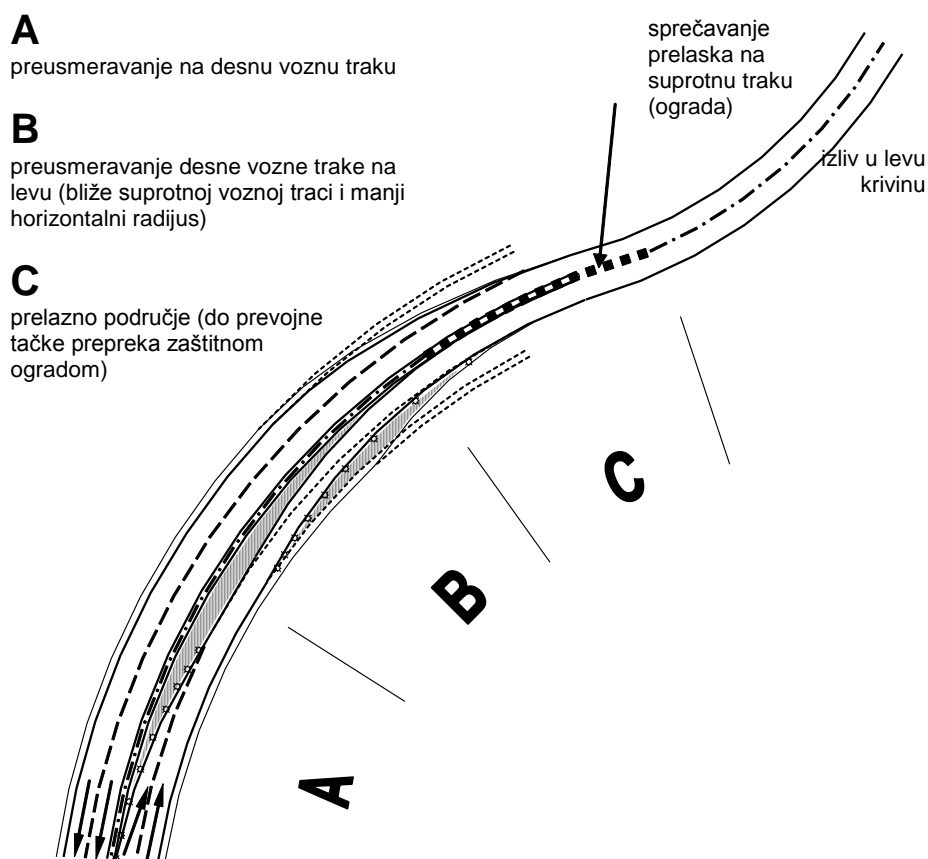
Da bi se obezbedila voznodinamička linija vozne trake, preporučuje se da se na deonici puta na kojoj se projektuje traka za preticanje, putna osa projektuje za svaki smer vožnje ponaosob (dve ose). Osnovna i paralelna osa puta su pri tom međusobno udaljene za širinu trake za preticanje.

4.3.3.2.1.3 Promena broja vozničkih traka

Broj vozničkih traka na kolovozu se može povećati ili smanjiti. Broj saobraćajnih traka sme da se poveća ili smanji samo jedna po jedna i redosledom koji je predviđen u poglavljju 5.2.2.0 (denivelisane raskrsnice). Prelazni delovi treba da budu izvedeni po

istom postupku koji je predviđen za trake za preticanje.

Prelaz sa dve trake na jednu (u istom smeru) treba da bude izveden veoma pažljivo, jer će inače dolaziti do prekoračenja brzine i saobraćajnih nesreća. U zoni dve trake prvo se ukida leva vozna traka a zatim se desna (jedina preostala) preusmerava na levo. Ako se put sužava sa tri na dve trake, procedura je ista. Suština ove procedure koja važi i za privremeno zatvaranje trake tokom radova održavanja jeste da se tok saobraćaja već u zoni širokog kolovoza što više približi osi puta i da se već na tom mestu odvija kao što će se dalje odvijati po užem kolovozu (slika 4.2.23).



Slika 4.2.23: Skica prelaza sa četvorotračnog na dvotračni put

4.3.3.2.2 Proširenje kolovoza u krivinama

U horizontalnim krivinama poluprečnika $25 < R < 200$ m vozne trake treba proširiti da bi se obezbedila provoznost za sva predviđena vozila na putu. Na putevima sa kolovozima razdvojenim prema smeru upravljanja, čiji su poluprečnici krivina veći od $R = 200$ m, proširenja nisu potrebna. Proširenja kod kružnih lukova čiji je $R < 25$ m treba izračunati preciznom jednačinom ili

- izabrati iz posebnih tabela za širine zavojnih površina (kao kod raskrsnica) ili
- grafički proveriti sa crtežom (šablonom) zavojne površine ili
- upotrebiti računarski program za crtanje krive tragova.

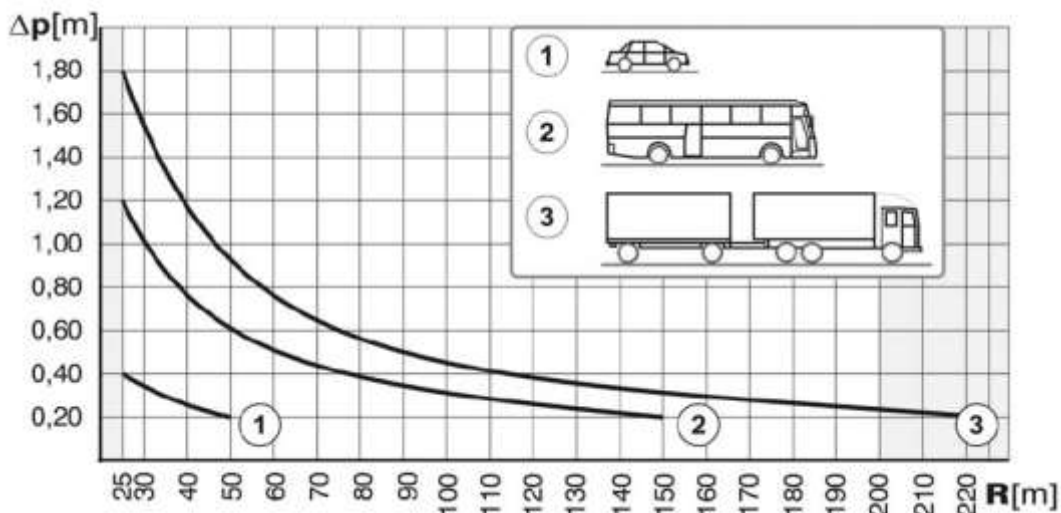
4.3.3.2.2.1 Veličina proširenja

Širina proširenja vozne trake zavisi od veličine poluprečnika krivine i od dužine vozila koja je koriste. Dužinu vozila koja utiče na veličinu proširenja trake definišu rastojanje između prednje i zadnje osovine vozila i prednji trap vozila (L_{OP}).

Proširenje pojedinačne trake izračunava se jednačinom

$$\Delta b_{pp} = R_{ZU} - \sqrt{(R_{ZU}^2 - L_{OP}^2)}$$

ili se očitava iz grafikona na slici 4.2.24. Za vozila koja nisu navedena u grafikonu proširenje treba posebno izračunati.



Slika 4.2.24: Proširenje za pojedinačnu voznu traku prema vrstama vozila

Ukupno proširenje kolovoza određuje se zbirom proširenja svih saobraćajnih traka na kolovozu. A u odnosu na količinu i strukturu toka saobraćaja može da se predvidi da se na kritičnoj tački ne susreću samo kamioni već različita vozila (PA i BUS, PA i TV i sl.). U ovakvom slučaju vozna traka sa spoljašnje strane krivine proširuje se za manje, a vozna traka sa unutrašnje strane krivine za veće vozilo.

Po pravilu na državnim putevima se sa obe strane trake uzima u obzir proširenje za najveće vozilo.

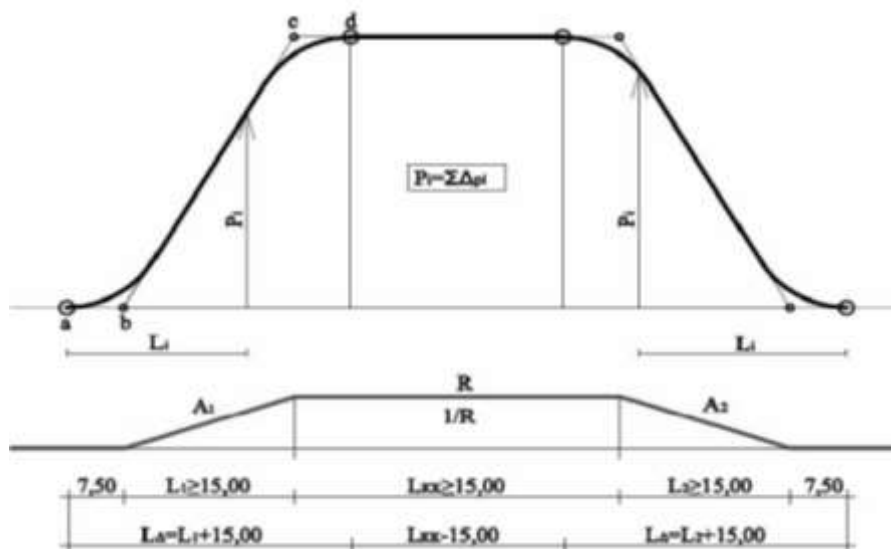
Kao što je to određeno tehničkim propisima za puteve u više evropskih država, samo iz ekonomskih razloga proširenje kolovoza

- može da se izostavi ako broj teških vozila ne prevazilazi 15 vozila/dan;

- može da se izostavi ako ukupno proširenje ne prevazilazi 0,50 m;
- može da se izostavi ako se njime kreću samo putnička vozila, a druga vozila tek povremeno;
- na kolovozima širine > 6,00 m može se umanjiti za razliku širine kolovoza preko 6,00 m.

4.3.3.2.2 Izvođenje proširenja

Proširenje kolovoza izvodi se ka unutrašnjoj strani kružnog luka. Proširenje se izvodi duž priključene prelazne krivine i zahvata još po 7,50 m sa obe strane prelazne krivine (slika 4.2.25).



Slika 4.2.25: Zona i izgled proširivanja u zoni prelazni krivine

Veličina proširenja (fizički izvedenih ivica) na udaljenosti L_x od PP kada je odnos dužina $\zeta = L_x/L$ iznosi $\Delta p_x = \Delta p (4\zeta^3 - 3\zeta^4)$ odnosno očitava se iz grafikona koji su pripremljeni u tu svrhu.

Ako u nacrtu puta nije drugačije određeno, središnja razdelna linija na kolovozu se iscrta na sredini proširenog kolovoza. Prihvatljivije je da se proširenje, ako se susreću različita vozila, prvo izračuna za obe trake i dodatno samo za spoljašnju voznu traku a središnja razdelna linija kolovoza se iscrta po liniji ovog spoljašnjeg proširenja.

4.3.3.2.3 Trake za spora vozila (t_p)

Trake za spora vozila su dodatne trake na većim i dužim usponima i na velikim padovima nivelete. Oni su jedna od mogućih mera kojima se na putevima obezbeđuje zahtevani nivo usluge. Po pravilu se grade na daljinskim putevima i putevima za povezivanje, a na drugim putevima samo kada se drugim merama ne može obezbediti neometan saobraćaj na njima.

Potreba za dodatnom trakom za spori saobraćaj određuje se na osnovu

- vozno-dinamičkog uslova - pad brzine merodavnog teretnog vozila
- saobraćajnog uslova - (ne)postizanje zahtevanog nivoa usluga,

- kalkulacije ekonomičnosti – troškovna opravdanost i
- uslova saobraćajne bezbednosti - opasno preticanje.

Vozno-dinamički uslov je brzina teškog vozila na kraju uspona. Ukoliko teško vozilo na kraju uspona ne postigne graničnu brzinu V_{gr} , navedenu u tabeli 4.2.21, treba predvideti dodatnu traku.

Ukoliko proračun propusne moći na usponu pokaže da zahtevani nivo usluga neće biti postignut ili će znatno odstupati od nivoa na celoj deonici puta, treba predvideti dodatnu traku.

Troškovna opravdanost izgradnje dodatne trake utvrđuje se kalkulacijom ekonomičnosti na celoj deonici puta koji se projektuje. Radi poređenja se izrađuje kalkulacija za put bez dodatne trake i za put sa dodatnom trakom.

Na putevima sa jednim dvosmernim kolovozom se prilikom donošenja odluke o izgradnji dodatne trake, osim oba osnovna uslova, ispituju i uslovi obezbeđivanja saobraćajne bezbednosti. Broj vozila koja bi na usponu vršila preticanje znatno se povećava zbog smanjenja brzine teških vozila.

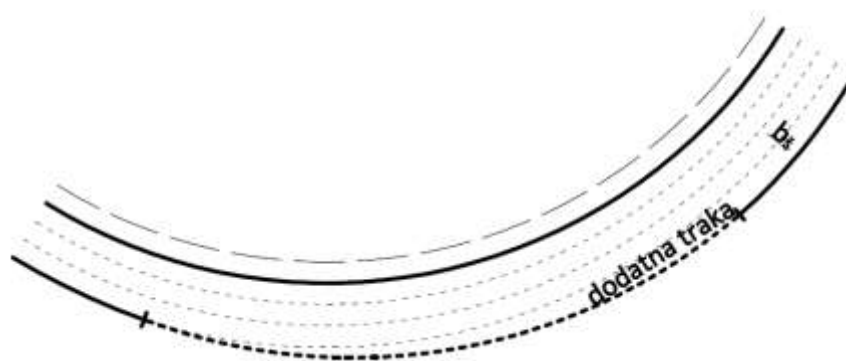
Ukoliko se saobraćajnom kalkulacijom nivoa usluga ustanovi da će dodatna traka biti potrebna tek nakon više godina, u projektu za izgradnju puta treba predvideti površinu za kasniju dogradnju.

Tabela 4.2.21: Merodavne brzine za određivanje početka i kraja dodatne trake za spora vozila na usponima

Računska brzina V_{ri} [km/h]	V_{min} [km/h]	V_{gr} [km/h]
$100 < V_{ri} \leq 130$	50	60
$80 < V_{ri} \leq 100$	40	50
$V_{ri} \leq 80$	30	40

Fizički početak dodatne trake za spora vozila treba predvideti na onoj stacionaži puta gde će se brzina vozila smanjiti na V_{min} . Prelazni deo – promena kolovoznih traka – zato se planira pre fizičkog početka dodatne trake. Dužina ovog dela se izračunava sa elementima koji su navedeni u poglavlju 4.3.3.2.1.2 (trake za

preticanje). Klasičan oblik linije prelaznog dela je S-krivina. Ukoliko se početak prelaznog dela nalazi u krivini sa $R < 400$ m, liniju prelaza treba izvesti kao korpastu krivinu (slika 4.2.26). Dužina prelaznog dela je u tom slučaju prilagođena liniji vođenja ivice kolovoza i po pravilu je duža od potrebne.

Slika 4.2.26: Izvođenje prelaznog dela na dodatnu traku u krivini $R < 400$ m

Fizički završetak dodatne trake počinje tamo gde se brzina sporog vozila poveća na vrednost V_{gr} , navedenu u tabeli 4.2.21. Dizajn prelaznog dela na kraju dodatne trake je jednak kao što je određeno u poglavlju 4.3.3.2.1.2 (trake za preticanje, slika 4.2.22).

Klasičan položaj smeštanja dodatne trake je uz kolovoznu traku na spoljašnjoj (desnoj) strani kolovoza. Ovaj položaj se pokazao kao manje prihvatljiv pošto se spora vozila koja po pravilu imaju veoma loša ubrzanja, kod većih saobraćajnih opterećenja (velika zauzetost vozne trake ili vozne trake i trake za preticanje) ne mogu uključiti u redovni saobraćajni tok. Zato na završnom delu dodatne trake nastaju saobraćajno veoma opasne situacije i nezgode. One su naročito česte na dvosmernom kolovozu pošto zbog preticanja sporijeg vozila od strane bržeg vozila na takvom mestu dolazi do čeonih sudara između vozila u suprotnim smerovima.

U novije vreme se zato dodatne trake projektuju

- kao trake za preticanje (poglavlje 4.3.3.2.1.2) dodavanjem trake na strani ose puta ili
- kao dodatne trake na spoljašnjoj (desnoj) strani kolovoza koje se na kraju nastavljaju kao spoljašnja kolovozna traka, a unutrašnja kolovozna traka (ukoliko ih ima 2 ili više) se završava kao traka za preticanje.

Dodatna traka na dvosmernom putu sa dve trake mora obavezno da se izvede na način koji je predviđen u prethodnom stavu.

Zbog obezbeđivanja odgovarajućih saobraćajnih uslova na putu, širina kolovoza ne sme da se menja suviše često. Ograničavajući uslovi su:

1. Minimalna dužina dodatnih traka za spora vozila je na autoputevima 1.000 m, a na drugim putevima 400 m.
2. Razmak između dve uzastopne dodatne trake za spora vozila ili između trake za

spora vozila i dodatne trake u neku drugu svrhu na autoputevima ne sme da bude manji od 700 m, a na drugim putevima 300m. Ukoliko je manji, uzastopne dodatne trake treba povezati međusobno.

Standardna širina dodatnih traka je 3,50 m ili jednaka širini vozničkih traka, ali ne manje od 3,00 m. Na autoputevima treba, bez obzira na dodatne trake, obavezno sačuvati zaustavnu traku širine 2,50 m.

4.3.3.2.4 Trake za isključenje, uključanje i prestrojavanje te postrojavanje (t_d , t_a , t_m)

Trake za isključenje, uključanje i prestrojavanje su dodatni element na kolovozu u području raskrsnica van nivoa. Služe prilagođavanju brzine prilikom izlaska s kolovoza i prilikom ulaska na kolovoz kao i za promenu saobraćajnih tokova u području raskrsnice. Standardna širina tih traka je 3,50 m ili jednaka širina kolovoznih traka, ali ne manje od 3,00 m.

Trake za usmeravanje saobraćajnih tokova (desno, levo, traka za čekanje) su dodatni element kolovoza u području raskrsnica u nivou. Standardna širina tih traka je 3,00 m.

Te trake su detaljno opisane u poglavlju 5.2.0.0.

4.3.3.2.5 Trake za vozila javnog prevoza (t_{jp})

Za vozila javnog prevoza (autobus, taksi) mogu da se predvide posebne vozne trake. One mogu biti uređene na postojećoj širini kolovoza, ako on u istom smeru vožnje sadrži više od dve trake, ili kao dodatna traka na spoljašnjoj strani kolovoza. Širina tih traka jednaka je širini vozničkih traka na kolovozu, ali ne manja od 3,00 m. Trake za javni prevoz treba odgovarajuće obeležiti (vertikalna signalizacija i neprekidna žuta razdelna linija).

Ukoliko je traka za javni prevoz od kolovoza fizički odvojena bočnom razdelnom trakom, širina te trake je 3,50 m, a razdelna traka mora biti široka $\geq 1,75$ m (oba sigurnosna pojasa plus profil čoveka).

Trake za druge vrste javnog prevoza (laka željeznica, BRT – Bus Rapid Transit) treba projektovati po pravilima i standardima koji važe za ta vozila.

4.3.3.2.6 Ivične trake (t_i)

Ivične trake su kontinuirane saobraćajne trake koje na obe strane završavaju kolovoz. Ivične trake služe većoj stabilnosti kolovoza (ivica kolovoza je udaljenija od kolovozne linije), većoj udobnosti u vožnji (psihofizički efekat na vozača) i za iscrtavanje uzdužne ivične linije.

Širine ivičnih traka navedene su u tabeli 4.2.22.

Tabela 4.2.22: Širina ivične trake (t_i) u zavisnosti od računске brzine (V_r)

Računska brzina V_r [km/h]	Širina ivične trake t_r [m]
$V_r \geq 100$	1,00 (0,75), (0,50)
$80 \leq V_r < 100$	0,35
$60 \leq V_r < 80$	0,25
$V_r \leq 60$	0,20

Na autoputevima (kolovozi odvojeni prema smerovima vožnje) ivična traka na unutrašnjoj strani svakog od kolovoza široka je 1,00 m, a na spoljašnjoj strani (između vozne i zaustavne trake) 0,50 m. Ukoliko je uz unutrašnju stranu kolovoza predviđen poseban element za uzdužno odvodnjavanje (npr. rigola), ivična traka može biti uža od 1,00 m. Ivična traka ima u poprečnom smeru isti nagib kao i kolovoz.

Ivična traka koja na kolovozu sa više od dve trake deli vozne trake po smeru vožnje (npr. kolovoz sa tri trake), naziva se ivična linija. Na ivičnoj liniji se uzdužna neprekidna crta iscrtava uz obe ivice te linije (dve crte).

4.3.3.2.7 Zaustavne trake (t_z)

Zaustavne trake su kontinuirane saobraćajne trake koje su na spoljašnjoj strani dodate kolovozu. Namenjene su kratkotrajnom zaustavljanju vozila u slučajevima kvara vozila ili u drugim opravdanim slučajevima. Služe i kao saobraćajna površina za privremeno vođenje saobraćajnih tokova prilikom obnova kolovoza. Po pravilu se zaustavne trake grade uz puteve najviših kategorija (DP, VP-m) i u prvoj fazi, ako se ti putevi grade po fazama. Zaustavna traka ima u poprečnom smeru isti nagib kao i kolovoz.

Normalna širina zaustavne trake na autoputevima je 2,50 m. U slučaju fazne gradnje širina zaustavne trake može biti 2,25 m, a izuzetno i 2,00 m. Na dvotračnim putevima najviših kategorija (VP) na kojima nema izrazitog teretnog saobraćaja, zaustavna traka može da se izostavi. U tom slučaju

obavezno treba na razdaljinama od po najviše 1.000 m predvideti niše za zaustavljanje vozila. U tunelima na autoputevima koji su duži od 300 m, zaustavna traka može da se izostavi. U tom slučaju obavezno treba predvideti niše za zaustavljanje vozila sa učestalošću koja je predviđena u poglavlju 9.2.0.0.

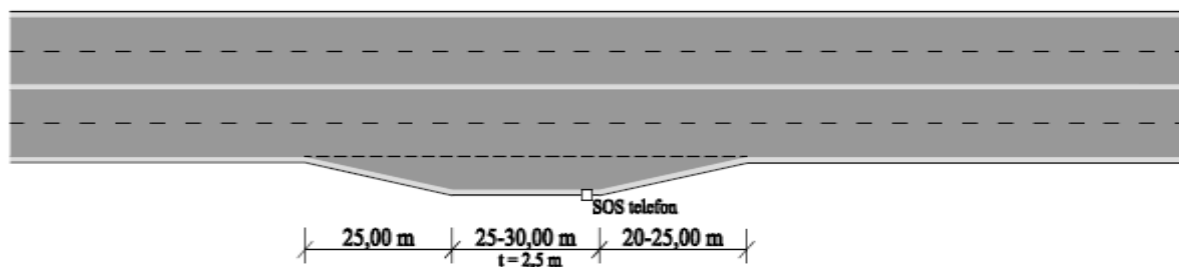
4.3.3.2.8 Niše za zaustavljanje vozila (t_{zn})

Niše za zaustavljanje vozila su saobraćajne površine koje su tačkasto smeštene uz spoljašnju stranu kolovoza na saobraćajno važnijim putevima. Namenjena su kratkotrajnom zaustavljanju vozila u slučajevima kvara vozila ili u drugim opravdanim slučajevima. Moraju biti opremljena odgovarajućom saobraćajnom i telekomunikacionom opremom (stub za poziv u slučaju nužde - SOS).

Tlocrtno uređenje niše za zaustavljanje vozila prikazano je na slici 4.2.27. Širina proširenja je najmanje 2,50 m, a poprečni nagib je jednak poprečnom nagibu kolovoza.

Međusobna udaljenost ovih saobraćajnih površina zavisi od brzine i od količine saobraćaja. Najveća razdaljina između njih ne sme da prelazi 1.000 m. Niše za zaustavljanje vozila treba smestiti na takva mesta gde će prilikom povratka vozila na kolovoz biti obezbeđena dovoljna preglednost.

Za niše za zaustavljanje vozila uz saobraćajno važne puteve $V \geq 80$ km/h se preporučuje, da širina bankine zbog omogućavanja izlaska i ulaska.



Slika 4.2.27: Standardni oblik i dimenzije niše za zaustavljanje vozila

4.3.3.3 Prateće uzdužne površine u poprečnom profilu

Površine za saobraćaj motornih vozila (kolovoz) mogu da zadovolje svoju namenu u zahtevanim uslovima samo ako su dovoljno stabilne, sa pravilnim odvodnjavanjem, opremljene instalacijama za bezbednost i vođenje saobraćaja i u svom smeru imaju uređene i površine za druge vrste saobraćaja (pešaci, biciklisti). Da bi se ovo postiglo, pored kolovoza treba izgraditi površine koje se zbog svoje funkcije nazivaju pratećim površinama. Zajedno sa kolovozom te površine čine širinu puta (krunu puta).

Standardne prateće uzdužne površine su:

- razdelni pojas (R_p) i razdelna traka (R_t i R_{ti})
- uzdužni elementi za odvodnjavanje (r)
- bankina (b) i berma (b')
- trake za bicikliste i pešake ($t_{peš,bic}$)
- kosina (k)

Prateće uzdužne površine se u poprečni profil puta dodaju u skladu sa programskim uslovima za određeni funkcionalni tip puta u odnosu na saobraćajne uslove na određenom putu (količinu i strukturu saobraćaja i vrstu terena), u odnosu na funkcionalni značaj dodate površine i u odnosu na razloge saobraćajne bezbednosti.

Tim površinama treba na svakoj strani trupa puta dodati i zemljišni pojas koji je predviđen u Zakonu o javnim putevima RS. Zemljišni pojas koji se meri od krajnje tačke zaokruženja kosina na kontaktu sa prirodnim terenom, namenjen je održavanju kosina trupa puta i za postavljanje i održavanje zaštitnih ograda (pogl. 4.3.1.1.0, slike 4.2.11 i 4.2.12) pored autoputeva.

Sve navedene prateće uzdužne površine čine ivični prostor puta koji zajedno sa kolovozom definiše širinu prostora koji je potreban za

izgradnju i održavanje puta (građevinsko zemljište).

4.3.3.3.1 Razdelni srednji i ivični pojas

Razdelne površine duž kolovoza služe za fizičko odvajanje saobraćajnih površina po smeru vožnje, smeštanje saobraćajne i građevinske opreme, za odvajanje površina za pešake i bicikliste od kolovoza kao i za rezervaciju prostora za kasniju dogradnju puta sa kolovozima koji su odvojeni po smerovima. Razdelna površina ima i povoljan psihički uticaj na vozača. U pogledu svrhe razlikujemo

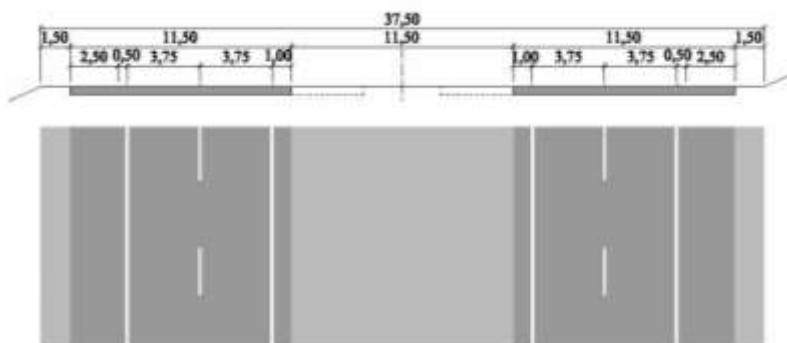
- razdelni pojas (R_p) i
- razdelnu traku (R_t i R_{ti}).

4.3.3.3.1.1 Razdelni pojas (R_p)

Razdelni pojas je prateća površina u poprečnom preseku puta koja se predviđa prilikom fazne izgradnje puta kako bi se obezbedio prostor za kasniju dogradnju kolovoza dodatnim trakama ili za fizičko odvajanje kolovoza od rampi za uključenje/isključenje kod raskrsnica, kad se pružaju u otprilike istom nivou.

Srednji razdelni pojas je karakterističan za puteve sa kolovozima koji su odvojeni po smerovima. Širina tog pojasa mora biti tolika da posle izgradnje svih kasnije dodatih voznih traka između kolovoza bude obezbeđena širina srednje razdelne trake kako je to predviđeno u konačnoj izvedbi za određenu vrstu izabranog profila. Kod predviđenog širenja autoputa sa 4 trake u autoput sa 6 traka, razdelni pojas mora biti širok najmanje 11,50 m (slika 4.2.28).

Površina koja se nalazi između kolovoza i rampe za uključenje/isključenje na području raskrsnice van nivoa (petlje) je bočni razdelni pojas. Namenjen je kasnijoj dogradnji dodatnih kolovoznih traka na petljama.



Slika 4.2.28: Srednji razdelni pojas za kasnije dodavanje kolovoznih traka

4.3.3.3.1.2 Razdelna traka (R_t , R_{ii})

Razdelna traka je prateća uzdužna površina u poprečnom profilu puta koja je namenjena fizičkom odvajanju kolovoza na putevima sa po smerovima vožnje odvojenim kolovozima (srednja razdelna traka – R_{ii}) i za fizičko odvajanje površina (ivična razdelna traka – R_t) za druge korisnike puta (pešake, bicikliste i površine posebnih namena). Na i u razdelnim trakama mogu biti izgrađene instalacije za uzdužno odvodnjavanje kolovoza i postavljena saobraćajna oprema, pod uslovom da se njena ivica ne prostire bliže od 0,50 m od ivice kolovoza.

Spoljašnji izgled i/ili utvrđivanje ove trake vidljivo su drugačiji od traka na saobraćajnim površinama. Po pravilu je izvedena kao humusirana i ozelenjena površina (trava). U takvom slučaju zbog uslova održavanja njena minimalna širina mora da bude 1,20 m. U zavisnosti od vrste puta, površina razdelne trake može biti i popločana ili izvedena sa jednakom površinom kao i kolovoz. Ukoliko je površina trake jednaka površini kolovoza, obavezno mora biti optički drugačija od površine kolovoza (obojena ili sa horizontalnim oznakama bele boje).

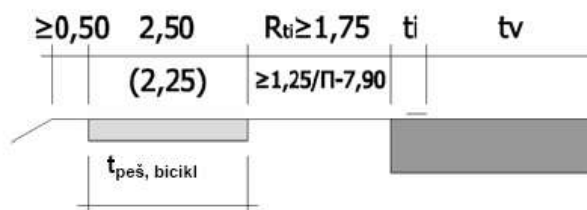
Širina srednje razdelne trake je duž puta po pravilu na celoj dužini jednaka, osim u oblasti raskrsnica ili drugih tačkastih regulacija na putu (naplatne rampe i sl). U slučaju zahtevnih terenskih, prostornih ili ekonomskih uslova, razdelna traka može da se izvede u promenljivoj širini. Minimalna širina srednje razdelne trake jednaka je širini zaštitnog prostora (između saobraćajnog i slobodnog profila puta) za svaki smer vožnje ponaosob i zavisi od računске brzine. Na autoputevima se, s obzirom na vrstu puta i zahtevnost terena, koristi različita širina srednje razdelne trake – od 4,00 do 2,50 m. Izuzetno, na

putevima za manje vozne brzine (80 km/h), širina te trake može da se smanji na 1,50 m, ali je u tom slučaju obavezno postavljanje sistema za zadržavanje vozila na putu.

Prilikom određivanja širine srednje razdelne trake treba uzeti u obzir i upotrebljen sistem odvodnjavanja (širina ulaznih i revizionih šahtova unutar trake) i njegovo održavanje (radna širina). U srednjoj razdelnoj traci može se predvideti i sadnja grmlja do visine od 1,20 m koje od kolovoza mora da bude udaljeno najmanje 0,50 m odnosno toliko koliko iznosi ili širina bankine ili širina regulacije za odvodnjavanje uključujući i bermu. Zasadi ne smeju da zadiru u slobodni profil puta. Sadnja drveća u srednjoj razdelnoj traci u načelu nije dozvoljena pošto to ima negativne posledice za uslove vožnje na putu (otpalo lišće, hladovina).

Srednju razdelnu traku treba na svakih 2-3 km prekinuti i preko nje izgraditi utvrđenu voznu vezu između dva kolovoza. Prekid je potreban u slučaju zatvaranja jednog od kolovoza (saobraćajna nezgoda, radovi na održavanju na jednom od kolovoza) za kanalisano preusmeravanje saobraćajnih tokova na drugi kolovoz, a u slučaju saobraćajne nezgode i za prilaz intervencijskih vozila iz suprotnog smera. Dužina prekida zavisi od širine razdelne trake, a treba ga urediti za smanjenu brzinu od 50 km/h. Na prekinutom delu treba postaviti pokretnu sigurnosnu ogradu ili sigurnosnu ogradu sa mogućnošću skidanja ili na neki drugi način sprečiti nekontrolisani prelazak vozila.

Ivična razdelna traka koja se po spoljašnjem izgledu razlikuje od površine kolovoza, namenjena je odvajanju površina za druge korisnike od kolovoza na putevima za koje je to programskim uslovima dozvoljeno (SP, izuzetno VP-r). Uređena je na jednoj ili na obe spoljašnje strane kolovoza (slika 4.2.29).



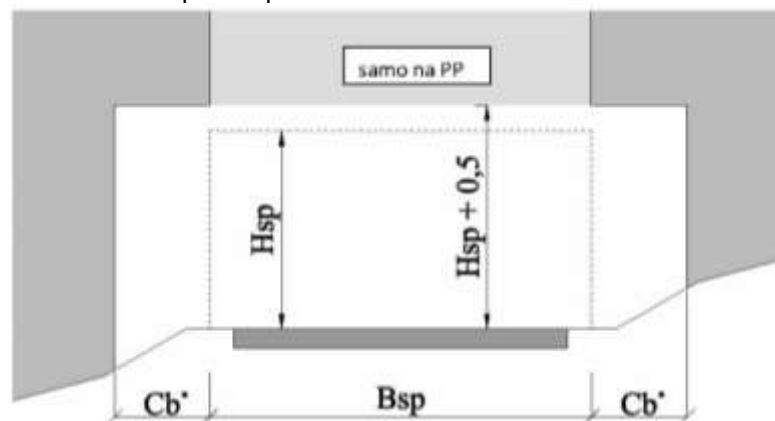
Slika 4.2.29: Vođenje površine za pešake i bicikliste duž kolovoza

Širinu ivične trake definišu širina zaštitnih prostora kolovoza i paralelne površine za druge korisnike, ali ne može biti manja od 1,75 m (slika 4.2.29).

Na putevima na kojima su vozne brzine ≥ 70 km/h, razdelna traka mora biti fizički odvojena od kolovoza bilo sigurnosnom ogradom bilo podignutim ivičnjakom, ili kombinacijom obeju mera.

U ivičnoj razdelnoj traci, izvedenoj kao ravna ili kosa zelena površina, može se predvideti i sađenje drveća. U tom slučaju drveće mora biti odgovarajuće udaljeno od kolovoza. Najmanju udaljenost definišu slobodni profil puta i

dodatni razmak koji je kod puteva visoke kategorije (DP, VP) $C_b = 4,00$ m i kod puteva niže kategorije (SP, PP) $C_b = 2,00$ m, a visinu definišu visina slobodnog profila, uvećana za 0,50 m. Krošnje drveća, osim na putevima najniže kategorije (PP), ne smeju da zadiru preko širine slobodnog profila puta. Profil puta sa dozvoljenim udaljenostima drveća je na slici 4.2.30, gde su H_{sp} visina i B_{sp} širina slobodnog profila, a C_b dodatni razmak koji je različit za različite vrste puteva. Širina ivične razdelne trake zavisi i od izbora vrste drveća (širina krošnje i širina osnove korenja).



Slika 4.2.30: Profil puta sa dozvoljenim udaljenostima drveća

Na putevima sa brzinama ≥ 70 km/h sadnja drvoreda se iz bezbednosnih razloga (skliznuće, sudar) ne preporučuje. U tom slučaju treba proveriti stepen bezbednosti saobraćaja (montaža sigurnosnih ograda i redovno čišćenje otpalog lišća ili vremenski ograničeno ograničenje brzine).

4.3.3.3.2 Uzdužni uređaji za odvodnjavanje puta (r)

Kolovoz i svi njegovi sastavni delovi moraju biti napravljeni tako da je oticanje vode redovno i što brže. Atmosferska voda sa kolovoza

- se u poprečnom smeru slobodno sliva preko bankine u prirodni prostor,
- a u poprečnom smeru se preko bankine skuplja u kanal pored puta koji može imati

nezavisan visinski tok u odnosu na niveletu puta,

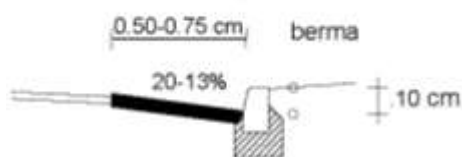
- ili se skuplja u elementima za uzdužno odvodnjavanje pored kolovoza.

Oblik, presek i dimenzionisanje elemenata za odvodnjavanje duž puta nalaze se u poglavlju 10.3.0.0.0 (Odvodnjavanje puteva).

Površine za sakupljanje površinskih voda sa kolovoza na području ukopa i njihovo usmereno vođenje do instalacija za kanalisani odvod (ili u kanalizaciju ili kroz propust u poprečnom smeru) su ili rigoli ili segmentni kanali. Ista vrsta instalacija za odvodnjavanje koristi se i na visokim nasipima sa strmim padovima nivelete puta. Na visokim nasipima i većim padovima nivelete na putevima na kojima se skuplja velika količina otičuće vode

(pre svega autoputevi), voda sa površine puta ne sme slobodno da otiče preko bankine zbog uzrokovanja erozije kosina.

Rigoli se u profilu puta nalaze neposredno uz ivične ili zaustavne trake. Na autoputevima se iz razloga bezbednosti preporučuje da za kvalitetno poprečno odvodnjavanje i zbog psiholoških razloga širina ivične trake ne bude manja od 1,00 m. Širina rigola zavisi od širine puta (0,50 m za odvodnjavanje dve i 0,75 m za odvodnjavanje više traka na kolovozu), a dubina je 0,10 m. Rigoli su napravljeni od betonskog ivičnjaka na spoljašnjoj strani i sa asfaltom ili cementnim betonom utvrđena nagnuta površina između kolovoza i ivičnjaka (slika 4.2.31) ili su montažni.



Slika 4.2.31: Instalacije za odvodnjavanje kolovoza – rigol

Za obezbeđivanje veće bezbednosti na putu se preporučuje da se na putevima najviših kategorija umesto slivnika izvedu segmentni kanali (slika 4.2.32). Segmentni kanali su različito površinski obrađeni (asfalt, betonski elementi, humusirano). Mogu biti smešteni neposredno uz kolovoz ili ih od kolovoza odvaja bankina. Izvedba sa bankinom u međuprostoru se preporučuje pre svega za puteve najviših kategorija i u slučaju da je kanaleta humusirana. Širina humusirane kanalete je zbog lošijeg uzdužnog oticanja kroz nju (po pravilu) između 1,00 m i 1,50 m.



Tabela 4.2.23: Širine bankina (b)

Računska brzina V_{ri} [km/h]	Kolovoz bez zaustavne trake t_z		Kolovoz sa zaustavnom trakom t_z	
	norm b [m]	min b [m]	norm b [m]	min b [m]
$V_{ri} > 100$			1,50	1,25
$80 < V_{ri} \leq 100$	1,50 (2,50)	1,25	1,00	0,75
$60 < V_{ri} \leq 80$	1,50	1,25		
$V_{ri} \leq 60$	1,25	1,00		

Slika 4.2.32: Elementi za odvodnjavanje kolovoza – segmentni kanal (mulda)

Na spoljašnjoj strani rigola ili segmentnog kanala se obavezno nalazi berma, široka najmanje 0,50 m. Kad se taj način odvodnjavanja primenjuje na visokim nasipima, na bermi treba predvideti i sigurnosnu ogradu.

4.3.3.3.3 Bankina i berma (b')

4.3.3.3.3.1 Bankina (b)

Bankina je uzdužna prateća površina, smeštena neposredno duž kolovoza. Utvrđivanje i spoljašnji izgled bankina vidljivo su drugačiji od onih na saobraćajnim površinama (peščana, travnata, popločana, obojena). Ukoliko je izvedena jednako kao i kolovoz, od njega mora obavezno biti odvojena belom neprekidnom ivičnom linijom.

Bankine su namenjene za

- obezbeđivanje fizičke stabilnosti kolovoza (sprečavanje deformacija ivice kolovoza),
- veću bezbednost saobraćaja (korišćenje dodatne širine u slučaju nužde),
- postavljanje instalacija za linijsko vođenje i zaštitu saobraćaja (usmerivači i zaštitni sistemi zadržavanje vozila) i
- za smeštanje elemenata za uzdužno odvodnjavanje kolovoza (rigol, segmentni kanal, izdignuti ivičnjak sa zaštitnom trakom).

Širina bankine zavisi od vrste puta i terena, od vozne brzine i od instalacija (saobraćajna oprema, odvodnjavanje) koje su smeštene na njoj. Humusirani deo nasipne ili ukopne kosine na visini bankine ne ubraja se u širinu bankine. Širine bankina (normalne i minimalne) su date u tabeli 4.2.23. Na autoputevima gde je predviđena zaustavna traka, uz zaustavnu traku bankina može biti i uža.

Bankine su uvek nagnute prema spoljašnjoj strani kolovoza. Poprečni nagib je po pravilu između 6 i 12%. Ukoliko je utvrđena (popločana, asfaltirana), nagib bankine je najmanje 4% ili jednak poprečnom nagibu kolovoza ako je on veći od 4%, odnosno 4% ako je bankina nagnuta u suprotnom smeru od kolovoza.

Spojna ivica pešćane ili humusirane bankine sa kolovozom mora biti izvedena u istoj visini ili do 2 cm niže, a bankina odgovarajuće utvrđena protiv propadanja točkova. Ukoliko nije utvrđena, kolovoz mora biti opremljen preglednom saobraćajnom signalizacijom.

4.3.3.3.2 Berma (b')

Berma je uzdužna prateća površina, smeštena između elemenata za odvodnjavanje i ivice ukopne ili nasipne kosine (visoki nasipi). Po pravilu je humusirana, a njen poprečni nagib je 6%. Širina berme zavisi od širine predviđene bankine ($b' = b - r$), umanjene za širinu elemenata za uzdužno odvodnjavanje, ali nikada nije uža od 0,50 m. Širinu berme treba povećati na onim delovima puta, gde to zahteva preglednost.

Berma u ukopima služi i za odbacivanje snega i za ugradnju atmosferske kanalizacije, kao i za ugradnju raznih tehničkih vodova i održavanje tih ugrađenih instalacija. U takvim slučajevima bermu treba odgovarajuće proširiti. Širina zavisi od vrste, dimenzija i dubine ugrađenih instalacija i uslova koje u tu svrhu postave upravljači tih instalacija.

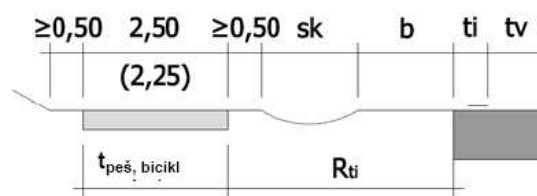
Širina berme mora da obezbedi prostor i za smeštanje saobraćajne opreme. Za postavljanje usmerivača dovoljna je minimalna širina berme. Prilikom postavljanja saobraćajne opreme treba obezbediti dovoljnu preglednost.

4.3.3.3.4 Trake za pešake i bicikliste ($b_{pešbic}$)

Opštim programskim uslovima (poglavlje 4.2.2.5.1 – tabela SPP-3) je određeno na kojim putevima pešaci i biciklisti mogu biti prisutni na kolovozu odnosno pored njega na posebnim površinama predviđenim za njih (biciklistička staza, trotoar). Širina i udaljenost tih površina određeni su u slobodnom profilu za motorna vozila u odnosu na brzinu vožnje motornih vozila. Po pravilu je u tim slučajevima površina za pešake i/ili bicikliste fizički odvojena. Ukoliko je visinski odvojeno, sa 0,12-0,13 m visokim ivičnjakom između kolovoza i površine za pešake i/ili bicikliste, zaštitne širine za obe vrste saobraćaja se preklapaju. Ukoliko je odvojeno fizičkom pregradom (ograda), takav kolovoz kao površinu za pešake/bicikliste treba odmaknuti od pregrade za pripadajuću zaštitnu

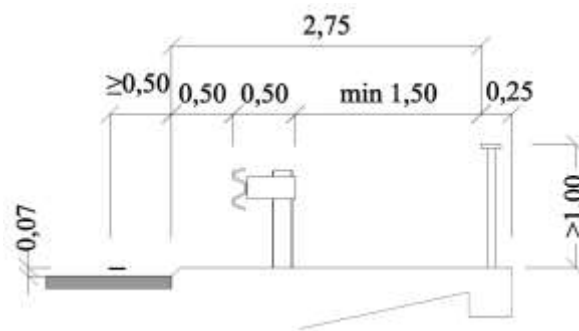
širinu. Kad se paralelna površina za pešake prostire duž kontinuiranog objekta, ona mora biti široka najmanje 1,50 m. Kod ove izvedbe profila puta se preporučuje da vozna brzina na putu ne bude veća od 70 km/h.

Na putevima za koje je to programskim uslovima predviđeno (SP, izuzetno BP-r), pešake i bicikliste treba voditi na posebnim površinama, odvojenim od kolovoza, na jednoj ili na obe spoljašnje strane kolovoza. Razmak između kolovoza i površine (ivična razdelna traka - R_{ti}) za pešake/bicikliste je najmanje 1,75 m (slika 4.2.33). Ukoliko je u ivičnoj razdelnoj traci predviđena elemenat za uzdužno odvodnjavanje, razmak između obe površine treba odrediti pomoću širina elemenata u tom prostoru, kao što je to prikazano na slici 4.2.33. Na ovoj slici oznaka »sk« obeležava instalaciju za uzdužno odvodnjavanje, a »b« zahtevanu širinu berme. Kod puteva na kojima je vozna brzina > 70 km/h, preporučuje se da se u ivičnu razdelnu traku montira zaštitna ograda i da se poštuju zaštitne širine na obe strane zaštitne ograde

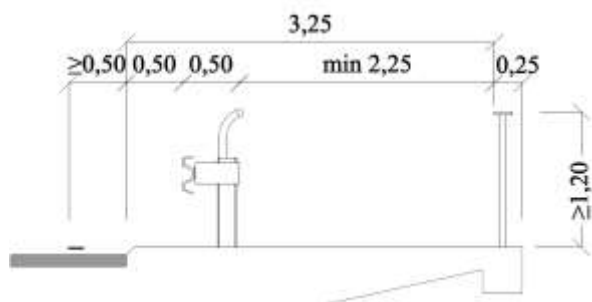


Slika 4.2.33: Širina između kolovoza i površine za pešake/bicikliste sa instalacijom za odvodnjavanje

Gde se put prostire preko mosta, i površina za pešake odnosno za bicikliste ili za kombinovani saobraćaj pešaka i biciklista može da se vodi preko istog mosta. Ona mora visinski i fizički da bude odvojena od kolovoza kao što je to prikazano na slikama 4.2.34 i 4.2.35, gde su navedene i minimalne širine te površine.



Slika 4.2.34: Površina za pešake na mostu



Slika 4.2.35: Površina za kombinovani saobraćaj pešaka i biciklista na mostu

4.3.3.3.5 Kosine puta i zemljišni pojas (k)

Nagibi kosina ukopa i nasipa pored puta pre svega zavise od geomehaničkih osobina brda u ukopima i zemljanih materijala u nasipima. Uz poštovanje geomehaničkih parametara, kosine nagiba ukopa i nasipa treba dizajnirati i sa aspekta pejzažnog dizajna reljefa pored kolovoza i sa aspekta održavanja kosina. Kod izbora nagiba kosina treba prilikom projektovanja puteva u što većoj meri pratiti nagibe površina koji su karakteristični za to određeno okruženje.

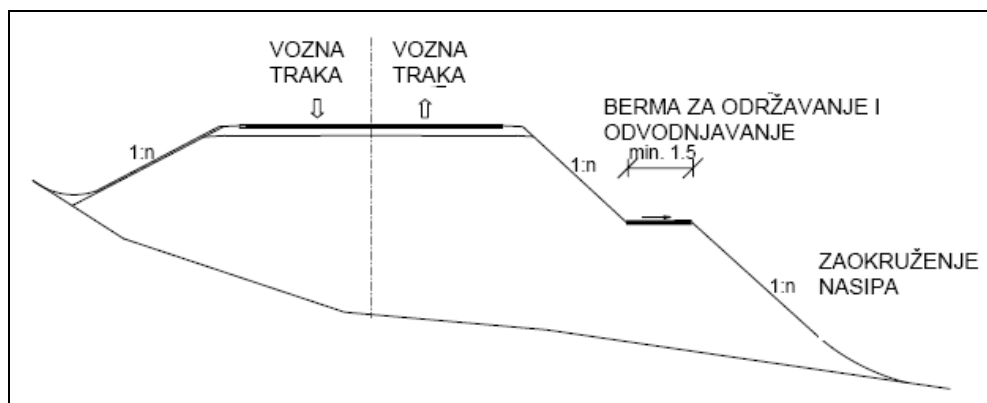
U podnožju nasipne kosine se po pravilu izrađuje kanal za uzdužni odvod površinskih voda sa okolnih brda i sa puta. Ukoliko se očekuju veće količine površinskih voda sa

okolnog terena, kanal za uzdužni odvod površinskih voda treba predvideti i na vrhu ukopnih kosina i/ili iza opornih zidova.

Pre svega treba:

- spoj kosine sa prirodnim terenom dizajnirati zaokruživanjem tangentama po 2,00 m na niskim kosinama i 3,00 m na visokim kosinama
- kod niskih ukopa i nasipa (visine < 2 m) nagib kosine ublažiti tako da je kontakt ivice kosine i prirodnog terena kod nagiba kosine 1:n udaljen za $k = 2n$, kod nasipa mereno od ivice kolovoza, a kod ukopa sa spoljašnje strane instalacije za uzdužno odvodnjavanje
- u vrlo plitkim ukopima ili nasipima planum donjeg stroja puta produžiti do prirodnog terena
- u oštrijim horizontalnim krivinama poboljšati optičko vođenje trase ublažavanjem nagiba kosine na unutrašnjoj strani krivine
- umetnutim pregradnim bermama na nasipu ili u ukopu estetski dizajnirati duge kosine, smanjiti dotok površinskih voda u oblast trupa puta i obezbediti mogućnost jednostavnog održavanja kosine

Detaljniji opis dizajniranja prostora puta nalazi se u poglavlju 7.9.0.0.0.



Slika 4.2.36: Primer dizajna poprečnog profila puta u nasipu

4.3.4 STANDARDNI GEOMETRIJSKI POPREČNI PROFILI

Standardni geometrijski poprečni profili (dalje u tekstu: standardni GPP) su grafički prikazi tipske strukture elemenata kolovoza i njihovih širina i osnovnih elemenata opreme puta za obezbeđivanje osnovne saobraćajne bezbednosti u kojima se pomoću različitog

sadržaja i različitih dimenzija elemenata na osnovu saobraćajnog značaja određenog putnog pravca i opštih programskih uslova određuje jednoobrazno planiranje i projektovanje puteva u zemlji.

U procesu projektovanja pojedinačni elementi u standardnom GPP mogu i da se dopunjuju ili menjaju, ako to zahtevaju specifični uslovi terena po kom će prolaziti put, uslovi upotrebe u prostoru i procena ekonomičnosti investicije.

Izbor odgovarajućeg standardnog GPP za određeni putni pravac vrši se u dva koraka.

U prvom koraku se u odnosu na funkcionalni tip puta bira odgovarajući standardni GPP koji odgovara predviđenom saobraćajnom opterećenju i predviđenoj osnovnoj brzini. Posle izrade generalnog projekta izračunava se nivo usluga i na osnovu toga se određuje da li je izabrani profil adekvatan. Ukoliko je nivo usluge niži od programskog, profil treba adaptirati ili izabrati za jedan stepen viši. Ukoliko je nivo usluge niži, može da se izabere i skromniji (racionalnost).

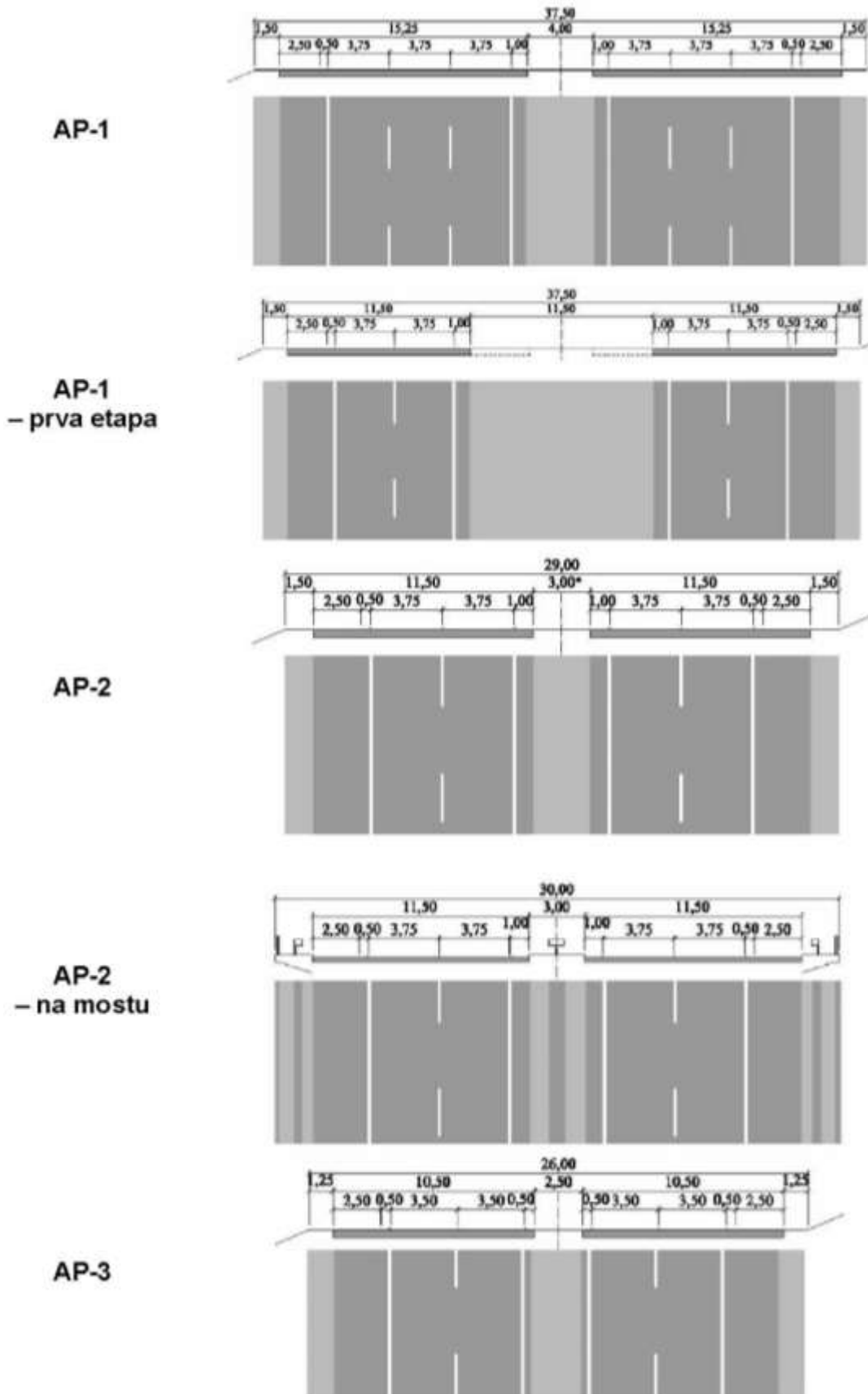
U drugom koraku se posle izrade višeg stepena projekta ponovo vrši testiranje izračunavanjem nivoa usluga na celoj trasi i na pojedinačnim kritičnim deonicama. Ukoliko se eventualni nesklad voznih uslova (nivo usluga, vozna brzina) može rešiti primenom posebnih mera na problematičnim deonicama, izbor GPP-a se potvrđuje. Ukoliko to nije moguće, treba potražiti drugačiji tok puta kroz prostor ili odabrati adekvatniji GPP.

Standardni geometrijski poprečni profili predviđeni su posebno za puteve sa odvojenim kolovozima po smerovima (oznaka AP), za puteve sa jednim kolovozom sa jednom ili više traka za saobraćaj u određenom smeru (oznaka VP) i za puteve sa jednim kolovozom

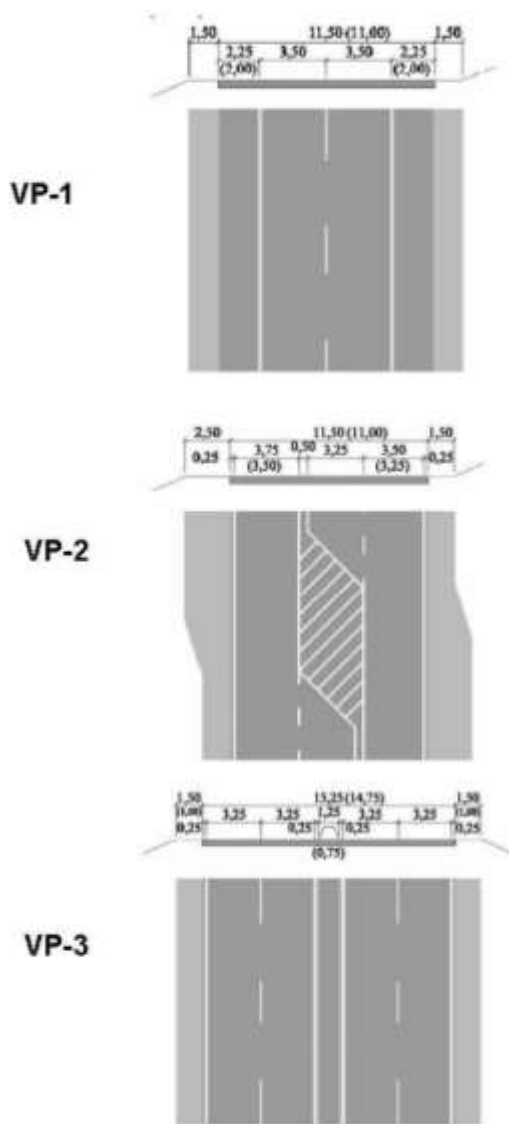
sa dve trake za saobraćaj u svakom smeru (oznaka PP).

U Pravilniku o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta (Sl.Glasnik RS, 50/2011, strane 238 i 239), propisani su sledeći standardni GPP:

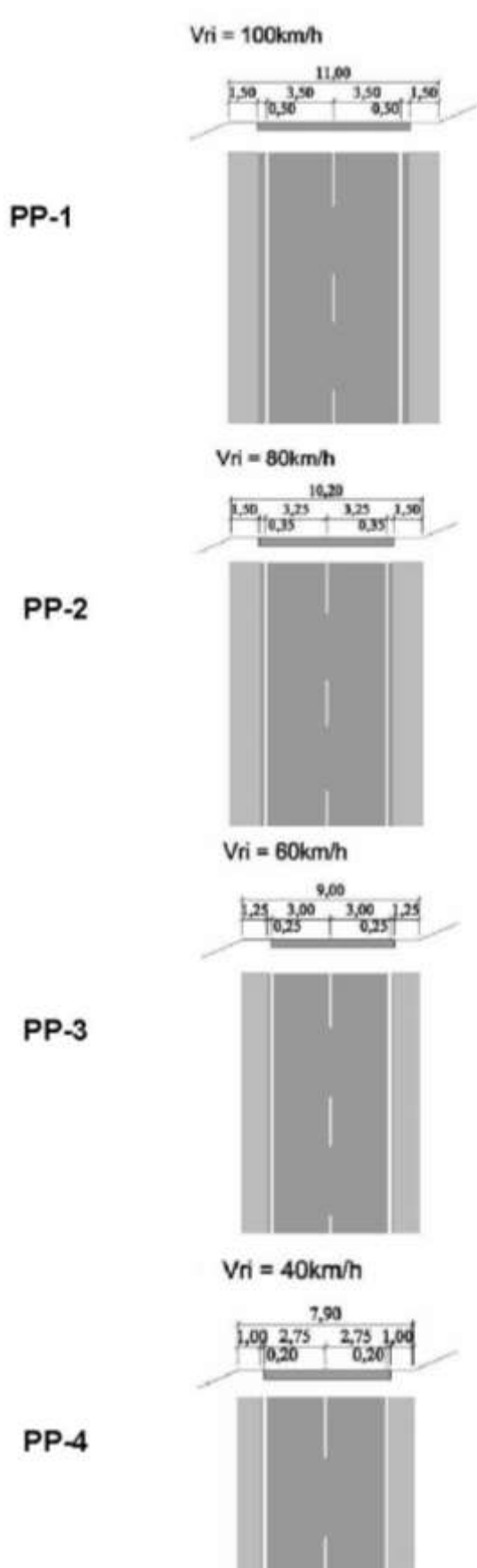
- sa oznakom AP:
 - AP-1 – autoput sa šest traka – $b_v = 3,75$ m
 - AP-1 – prva etapa
 - AP-2 – autoput sa četiri trake – $b_v = 3,75$ m
 - AP-2 – na mostu
 - AP-3 – autoput sa četiri trake – $b_v = 3,50$ m
- sa oznakom VP:
 - VP-1 – put sa dve trake sa zaustavnim trakama – $b_v = 3,50$ m
 - VP-2 – put sa tri trake
 - VP-3 – put sa četiri trake bez zaustavnih traka – $b_v = 3,25$ m
- sa oznakom PP:
 - PP-1 – put sa dve trake – $b_v = 3,50$ m – za brzinu od 100 km/h
 - PP-2 – put sa dve trake – $b_v = 3,25$ m – za brzinu od 80 km/h
 - PP-3 – put sa dve trake – $b_v = 3,00$ m – za brzinu od 60 km/h
 - PP-2 – put sa dve trake – $b_v = 2,75$ m – za brzinu od 40 km/h



Slika 4.2.37: . Standardni GPP tipa AP



Slika 4.2.38: Standardni GPP tipa VP



Slika 4.2.39: Standardni GPP tipa PP

4.4 PROJEKTANTSKI ELEMENTI KOLOVOZA

Projektantski elementi kolovoza su:

- geometrijski elementi ose puta i nivelete i
- tehnički elementi.

Na svojoj trasi u prostoru linija puta je sastavljena od geometrijskih elemenata koji zajedno sa tehničkim elementima kolovoza (pre svega poprečnim nagibom) obezbeđuju vozno-dinamičke uslove za bezbedno odvijanje saobraćaja i estetski izgled puta. To se postiže primenom geometrijskih elemenata koji pri izabranoj brzini vožnje omogućuju vožnju bez iznenadnih promena zakrivljenosti (geometrijski uslov), pri čemu promena ubrzanja mora da bude ravnomerna (vozno-dinamički uslov) i u okviru fizioloških granica prihvatljivosti (fiziološki uslov).

Geometrijski elementi ose puta su prave, kružna krivina i klotoida.

Geometrijski elementi nivelete su prava linija (tangenta) i kružna krivina (vertikalno zaobljenje).

Tehnički elementi kolovoza su poprečni nagib kolovoza, minimalni nagibi kolovoza za oticanje vode, intenzitet promene ovog nagiba prilikom vitoperenja i pregledne berme.

Odgovarajući tok linije ose puta se postiže ispunjavanjem kriterijuma usklađenosti geometrijskih elemenata u obe projekcije. Kod trasiranja puteva većeg saobraćajnog značaja je preporučljivo da se postupkom računarske vizuelizacije čiji je osnovni cilj obezbeđivanje estetskog izgleda planiranog puta dodatno proveriti adekvatnost toka ose puta.

4.4.1 OSNOVE ZA IZBOR I USKLAĐENOST ELEMENATA KOLOVOZA

Projektantske elemente kolovoza treba birati tako da put odgovara programskim i tehničkim uslovima (pogl. 4.2.2.5.0), te da omogućuje bezbednu vožnju.

4.4.1.1 Vozno-dinamičko dimenzionisanje elemenata kolovoza

Dimenzije tehničkih elemenata linije ose puta treba odrediti na osnovu:

- funkcionalnog tipa (kategorije) puta,
- računске brzine ($V_{rač}$) i

- definisanog nivoa usluga na kraju planiranog veka.

Računska brzina $V_{rač}$ je određena u tabeli 4.2.10 (4.2.2.4.1) za različite vrste terena. Ako oblik terena omogućuje da se na njemu put u pretežnoj dužini trasira geometrijskim elementima koji su znatno veći od minimalnih za predviđenu računsku brzinu na tom terenu, treba unapred odrediti veću računsku brzinu, ali koja ne sme da bude veća od brzine koja je zakonom određena kao najveća na određenoj vrsti puta.

Prilikom izbora elemenata trase mora se postići najveća moguća usklađenost sa uslovima prostora i racionalnost prilikom planiranja. Prihvata se niža računska brzina u odnosu na predviđenu ako postoje

- veoma zahtevni prostorni uslovi (već definisana iskorišćenost prostora, prirodne datosti, kulturno nasleđe, gradske sredine, izbegavanje prevelikih intervencija u prostoru, smanjenje ometajućih uticaja puta),
- zahtevniji oblik reljefa (velike visinske razlike, naglašena razuđenost),
- zahtevni geološko-geomehanički uslovi ili
- drugi razlozi zbog kojih bi gradnja sa najvećom mogućom računskom brzinom bila prostorno neprihvatljiva i/ili čija bi cena bila nesrazmerna u odnosu na predviđenu saobraćajnu funkciju puta i saobraćaj koji bi se njime odvijao.

Svako odstupanje u projektu puta je potrebno posebno obrazložiti i argumentovati (navesti razloge odstupanja).

Kod dvotračnih puteva najviših kategorija (DP-m, VP-m, VP-r) pojedine elemente kolovoza je potrebno korigovati u odnosu na projektovanu brzinu (V_{proj}).

Ako se uređuje kraća deonica određenog puta čiji je veći deo prethodno već bio uređen, na njoj treba primeniti dimenzije elemenata koje su primenjene na već uređenoj susednoj deonici (kontinuitet uređenja), osim kada je u planskim dokumentima predviđeno drugačije, odnosno kada je na ovakvoj deonici ispoljeno saobraćajno opterećenje koje znatno prevazilazi ili je suštinski manje od opterećenja na već izgrađenoj susednoj deonici. Ovakva konstatacija mora da bude određena u projektnom zadatku.

Sa aspekta saobraćajne bezbednosti potrebno je obezbediti:

- što ravnomerniju brzinu vožnje,
- prilagođenost pojedinačnih elemenata,
- širinu kolovoznih traka koje odgovaraju računskoj brzini,

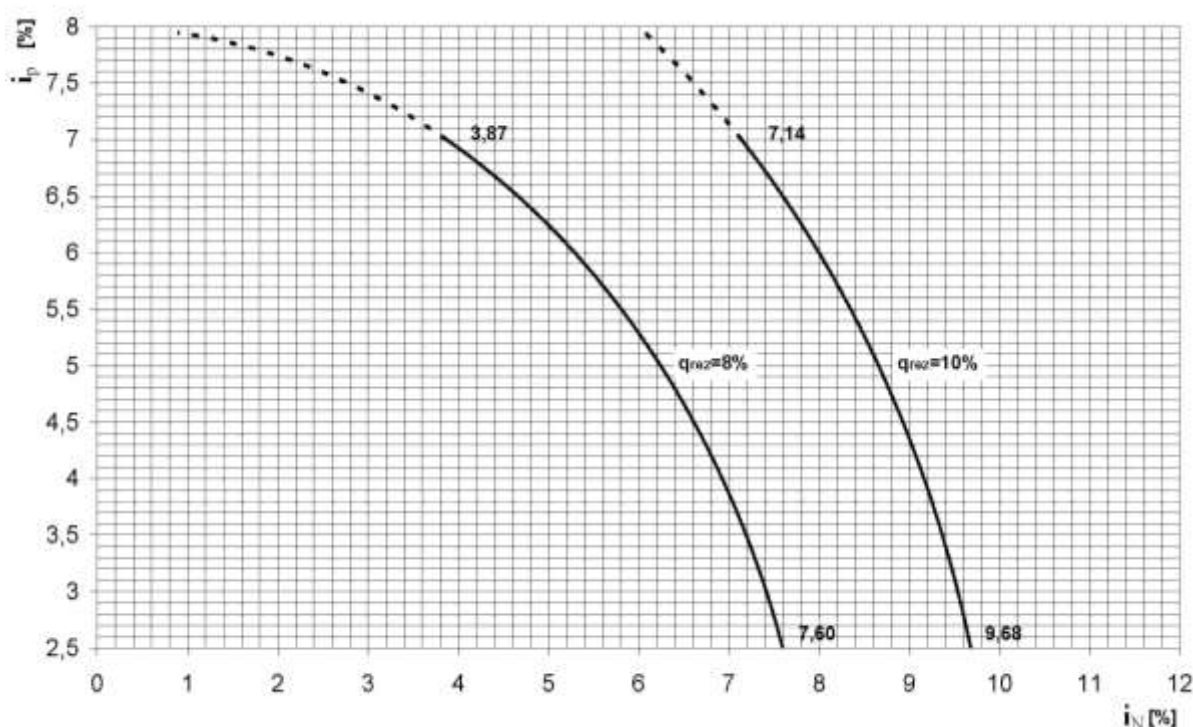
- odabir elemenata u odnosu na psihofizičke osobine vozača,
- odabir elemenata u odnosu na dozvoljene vrednosti koeficijenta kliznog trenja,
- dozvoljene nagibe kolovoza za oticanje vode,
- razdvojenost kolovoza prema smeru upravljanja na putevima za najveće brzine vožnje,
- usklađenost geometrijskih elemenata ose puta,
- usklađenost elemenata ose puta i nivelete,
- zadovoljavajuću preglednost.

Da bi se obezbedila veća bezbednost saobraćaja, preporučljivo je da se za određenje veličine poluprečnika zaobljenja nivelete primeni projektna brzina, ako to ne onemogućavaju prostor i ekonomičnost.

Kod gradnje po fazama, fazno uređenje u projektu treba izvesti i prikazati na osnovu konačnog stanja. Pri tom u početnoj fazi treba uzeti u obzir u punoj meri i saobraćajno-bezbednosne uslove.

4.4.1.2 Rezultujući nagib kolovoza

Bezbednost saobraćaja je naročito ugrožena kada se u nepovoljnim vremenskim uslovima pojavi poledica na kolovozu. U takvim uslovima koeficijent trenja klizanja je veoma nizak (po PIARC između 0,09 i 0,19). Ne zavisi mnogo od brzine vožnje, pošto ne obezbeđuje stabilnost ni vozilu koje se ne kreće. Pokazatelj ove opasnosti je rezultujući nagib kolovoza koji predstavlja vektorski zbir poprečnog i podužnog nagiba kolovoza. Da bi se obezbedila saobraćajna bezbednost, potrebno je da veličina poluprečnika horizontalnih kružnih lukova bude odabrana tako da njihov poprečni nagib u kombinaciji sa podužnim nagibom ne prevazilazi dozvoljenu vrednost rezultujućeg nagiba $i_{rez}=10\%$ koja je empirijska vrednost i primenjuje se u tehničkim propisima pojedinih zemalja (npr. u RAS-L – Nemačka). Za puteve visokih kategorija koji se planiraju na područjima u kojima je česta pojava izražene poledice, preporučuje se primena niže dozvoljene vrednosti rezultujućeg nagiba od 8%.



Slika 4.2.40: Poprečni i_{p} i uzdužni nagib i_N kod rezultujućih nagiba kolovoza $i_{rez}=10\%$ i 8%

Na deonicama puteva velikog podužnog nagiba (i_N) ne sme se primeniti veličina kružnih lukova čiji bi poprečni nagib (i_p) bio veći od dozvoljene vrednosti ($i_{p,dop}$) koja se očitava iz dijagrama na slici 4.2.40. Kada se uzme u obzir da je $i_{rez}=10\%$, kritična veličina

podužnog nagiba je $i_N=7,14\%$, a kada je $i_{rez}=8\%$ dobija se da je $i_N=3,87\%$.

Izuzetno je potrebno predvideti odgovarajuće zaštitne mere protiv proklizavanja (obaveza stroge kontrole i odmrzavanja, zaštitne ograde i sl), a na daljinskim putevima i isključenja za slučaj opasnosti.

4.4.1.3 Minimalni nagibi za oticanje vode

Kod određivanja dimenzija tehničkih elemenata (poprečnih i podužnih nagiba kolovoza) treba uzeti u obzir sledeće minimalne nagibe za oticanje površinske vode sklopovima elemenata za odvodnjavanje:

- na površinama od cementnog betona 0,2%,
- na asfaltnim površinama 0,3%,
- na zatavljenim površinama 0,5%.

4.4.1.4 Osovina puta i niveleta

4.4.1.4.1 Definicija i položaj u poprečnom profilu

4.4.1.4.1.1 Definicija

Projektovana linija podužnog prostornog profila puta je prostorna kriva koja se u planu puta definiše u dve projekcije: u horizontalnoj ravni (situacioni prikaz osovine puta) i u vertikalnoj ravni (u podužnom profilu kao niveleta puta).

Osovina puta predstavlja podužni tok trase puta kroz prostor. Predstavlja na horizontalnu ravan (osnovu) projiciranu liniju, izabranu u poprečnom preseku puta, gde je svaka tačka osovine puta u ravni definisana koordinatama X i Y. Ta projekcija je kombinacija pravaca i kružnih lukova, geometrijskih elemenata sa konstantnom zakrivljenošću, međusobno povezanih prelaznim krivinama u obliku kloide, sa kojima se izvodi linearna (direktno proporcionalna) promena zakrivljenosti.

Niveleta puta je visinski tok trase kroz prostor. Predstavlja na vertikalnu ravan (druga projekcija) projiciranu podužnu liniju izabranu u poprečnom profilu puta, gde je svaka tačka nivelete u ravni definisana koordinatom Z. Ta projekcija je kombinacija uzastopnih pravih linija sa definisanim podužnim nagibom (tangenti), sa kojima se visinska trasa puta u projektovanom pravcu prilagođava obliku terena, i kružnih lukova koji služe za veznu promenu podužnog nagiba između dve tangente. Tangente se u praktičnoj primeni nazivaju i "nagib nivelete", a kružni lukovi "vertikalna zaokroženja", koja mogu biti konveksna ako se njihov centar nalazi ispod nivelete, ili konkavna ako se njihov centar nalazi iznad nivelete.

Radi boljeg prilagođavanja visinskog profila puta terenu, a koji omogućava računarska obrada, mogli bismo definiciju nivelete preoblikovati i reći da je ta projekcija kombinacija uzastopnih kružnih lukova, sa kojima projektant prati oblik terena u projektovanom pravcu puta, i tangenti sa

različitim nagibima, koje povezuju po dva uzastopna kružna luka.

4.4.1.4.1.2 Položaj osovine i nivelete u poprečnom profilu

Linija osovine puta je za vozača linija koju prati u toku vožnje i menja pravac vožnje u skladu sa optičkom predstavom o trasi puta ispred sebe. Usled usvojenog "pravila desne strane" vozač sedi na levoj strani u vozilu. Za njegovu vizuru napred je najvažnija leva ivica vozne površine iz čega proizlazi pravilo da osovina puta mora uvek da se nalazi na levoj ivici vozne trake u smeru vožnje ili barem na levoj ivici jedne od vozničkih traka, ako su za pojedinačni smer vožnje na istom kolovozu predviđene dve ili više vozničkih traka.

Zato se linija osovine puta u poprečnom profilu dvotračnog puta za saobraćaj u oba smera po pravilu bira na sredini kolovoza (za oba smera vožnje sa leve strane), a taj položaj nazivamo i "normalni položaj osovine puta". Kod puteva sa razdvojenim kolovozima taj "normalni položaj osovine puta" nalazi se na sredini središnjeg razdelnog pojasa (u slici 4.2.41 označeno isprekidanom linijom).

Pravilo vođenja osovine puta duž leve ivice važi i za slučajeve kada su vozne površine za pojedinačni smer vožnje odvojene i vođene drugačije nego osnovna linija puta. A pre svega

- pri promeni širine srednjeg razdelnog pojasa na putevima sa razdvojenim kolovozima,
- kod ulivnih i izlivnih traka na denivelisanim raskrscinama,
- na jednosmernim jedno- ili višetračnim rampama kod denivelisanih raskrscina,
- kod ulivnih i izlivnih traka na površinskim raskrscinama, kada se saobraćajni tok po njima vodi nezavisno od glavnog saobraćajnog toka,
- kod dodatne trake za levo skretanje u raskrscinama kada to odstojanje nije izvedeno po posebnom postupku (pogledajte poglavlje Površinske raskrsnice i priključci) i
- (preporučuje se) kod proširenja u krivinama sa $R < 200$ m.

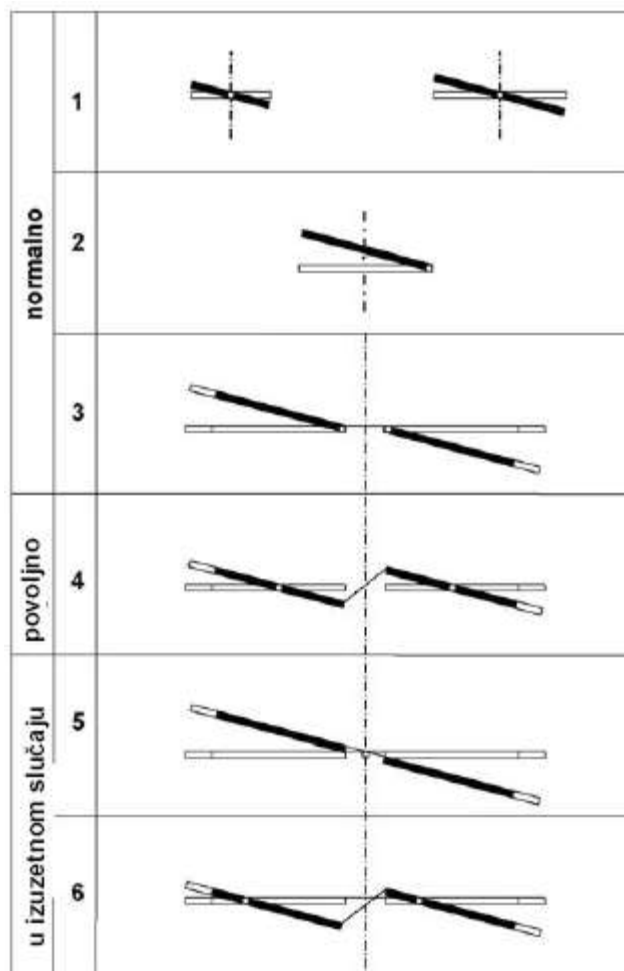
U posebnim slučajevima (npr. iskolčenje pravca pri rehabilitaciji puta) linija osovine puta može se izabrati i na ivici kolovoza ili u bilo kojoj podužnoj liniji na kolovozu.

Kada se srednja razdelna traka puta sa razdvojenim kolovoznim trakama proširi zbog konstruktivnih potreba (tunel, odvojeno vođenje suprotnih smerova), linija osovine puta vodi se za svaki smer posebno, ili duž leve

ivice kolovoza, ili duž leve ivice jedne od vozničkih traka.

Izbor vođenja osovine puta po bilo kojoj drugoj liniji u poprečnom profilu puta potrebno je u

projektu posebno utemeljiti i to uzeti u obzir pri proračunu promene podužnih ivica kolovoza (vitoperenje) i pri napravama za podužno odvodnjavanje.



Slika 4.2.41: Položaj osovine puta i nivelete u poprečnom profilu puta

Linija osovine puta je po pravilu i linija visinskog profila puta - nivelete. Kod puteva sa razdvojenim kolovoznim trakama linija nivelete ide duž leve ivice svakog kolovoza, paralelno sa linijom osovine puta. Taj položaj naziva se "normalni položaj nivelete" (u slici 4.2.41 označeno kružićem). "Normalnim" se smatra i položaj u kojem se linija nivelete puta nalazi na ivici kolovoza. To se koristi kod obnova postojećih dvosmernih kolovoza ili kada zbog veoma malih podužnih nagiba nivelete na kolovozu nije moguće obezbediti dovoljne podužne nagibe na delovima za odvodnjavanje.

Linija vođenja nivelete može se izabrati i u bilo kojem drugom položaju u poprečnom profilu

puta, unutar ili izvan kolovoza, ako za to postoje osnovani razlozi (veoma blagi nagibi nivelete, vitoperenje, sprečavanje akvaplaninga isl.).

Izbor položaja linije nivelete u poprečnom profilu po pravilu jako utiče na količinu zemljanih radova na trasi puta. Pre svega, utiče na veličinu elemenata koji omogućavaju izvođenje promene poprečnog nagiba (niveleta na ivici – udvostručena dužina vitoperenja).

Na putevima sa odvojenim kolovozima ("normalni položaj"), vođenjem nivelete duž leve ivice oba kolovoza postiže se jedinstveno uređenje srednje razdelne trake, što je povoljno za izvođenje naprava za odvodnjavanje u njoj (konstantno simetričan

profil podužnog jarka) i za izvođenje prohodnosti između oba kolovoza.

Vođenjem nivelete sredinom svakog kolovoza postižu se manji zemljani radovi i kraće dužine vitoperenja, te se u krivinama - što je naročito važno - u pretežnoj meri sprečava zaslepljivanje vozača od strane vozila na susednoj kolovoznoj traci koja idu u suprotnom smeru.

4.4.1.4.2 Razdvojeno vođenje osovine i/ili nivelete puta

Putevi sa razdvojenim kolovozima mogu se voditi situaciono i niveletno razdvojeno, kada to diktiraju prostorni zahtevi ili ekonomika izgradnje. Mogućnosti su sledeće:

- potpuno razdvojeno vođenje oba kolovoza (eng. park-way), kod kojeg se osovina i niveleta kolovoza po pravilu vode sredinom svakog kolovoza (zbog znatno većih troškova investicije i održavanja ovaj način se bira samo u posebnim uslovima)
- situaciono i niveletno razdvojeno vođenje oba kolovoza na području velikih građevinskih objekata (tuneli – šire međurastojanje iz geotehničkih razloga, vijadukti – uža srednja razdelna traka ili geotehnički odnosno prostorni razlozi)
- situaciono razdvojeno vođenje jedne ili oba kolovoza kada je potrebno srednju razdelnu traku proširiti radi postavljanja potpornih stubova nadvožnjaka (proširenje svetlog profila kolovoza) ili pojedinačnih tačkasto lociranih fiksnih prepreka, koje je potrebno sačuvati (znamenitosti, stubovi infrastrukturnih vodova - potrebno je ispoštovati zahtevano odstojanje i ugao ukrštanja!) pri čemu je potrebno uzeti u obzir uticaj odmaknutosti na kote nivelete (druga osovina, različita dužina između početka i kraja razdvajanja)
- niveletno i situaciono razdvojeno vođenje oba kolovoza (strma padina terena ili neki drugi osnovani razlog) sa konstantnim i nekonstantnim razmakom između obe osovine.

Razdvojeno situaciono i niveletno vođenje je aktuelno i kod rampi denivelisanih raskrsnica gde su osovina i niveleta rampi na svom početku i kraju vođene paralelno sa osovnom puteva od kojih se odvajaju ili na koje se priključuju.

Razdvojeno situaciono vođenje osovine puta je aktuelno i kod vođenja linija dodatnih traka na kolovozu (raskrsnice, preticajna traka), kao i kod proširenja pojedinačne saobraćajne trake. Opšte načelo je da je potrebno za oba smera vožnje i na području proširenja kolovoza ili pojedinačne trake obezbediti jednake geometrijske i tehničke uslove vožnje.

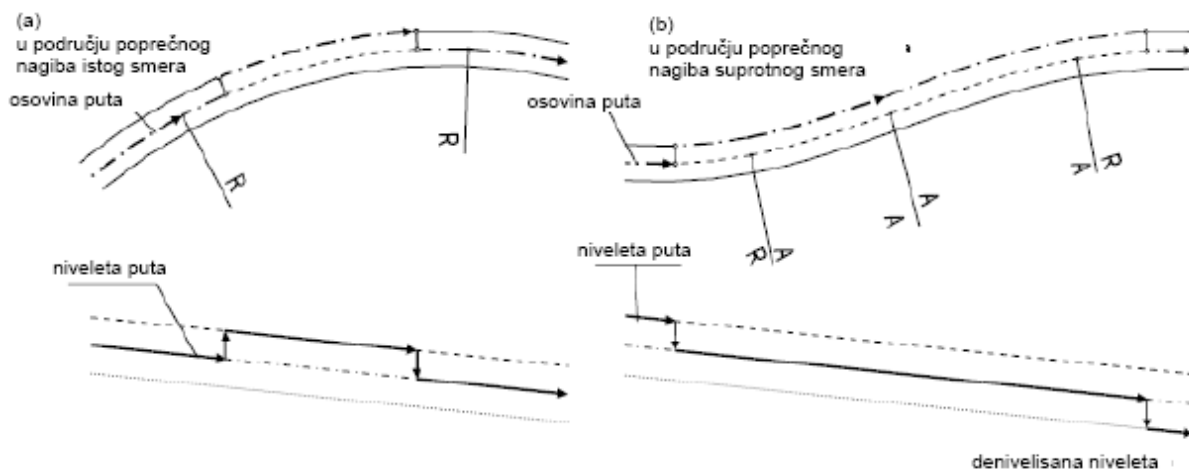
4.4.1.4.3 Izvođenje preskoka osovine i nivelete puta

Kada postoje tehnički, prostorni ili građevinski razlozi zbog kojih je potrebno na pojedinačnom delu deonice puta liniju osovine puta i/ili nivelete u poprečnom profilu puta pomeriti, to pomeranje je potrebno izvesti postupkom zvanim "preskok" osovine ili nivelete.

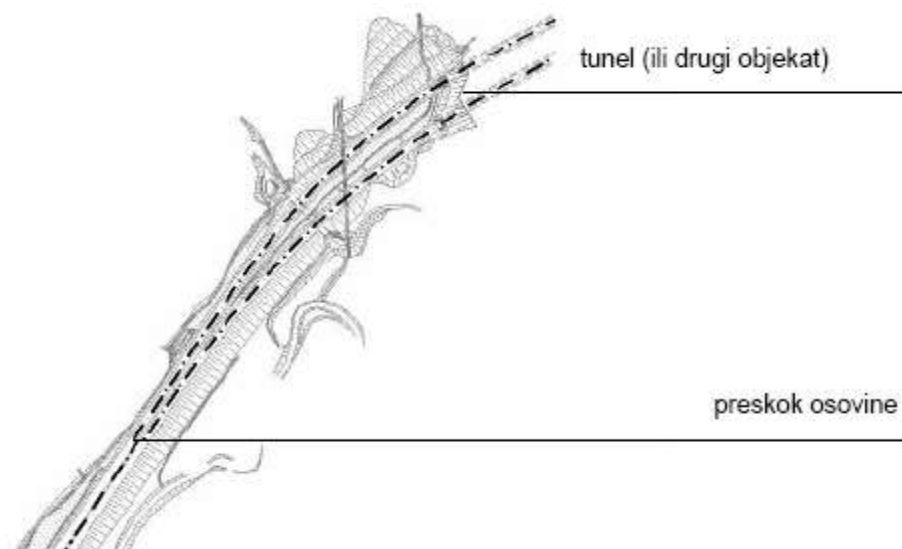
Preskok osovine i/ili nivelete izvodi se u slučaju

- veoma malih podužnih nagiba nivelete na području vitoperenja (preskok nivelete na ivicu kolovoza),
- jednostrukog ili višestrukog vitoperenja na dugim vijaduktima (estetski izgled),
- odvojenog vođenja kolovoznih traka, ako osovina i niveleta jedne ili obe kolovozne trake u poprečnom profilu puta nisu sačuvale svoj prvobitni položaj i
- projektovanja izlivnih i ulivnih rampi (preskok osovine i nivelete sa primarne na sekundarnu osovinu) kod denivelisanih raskrsnica i do objekata pratećeg sadržaja.

Svaki preskok osovine puta i/ili nivelete potrebno je izvesti na području jednake zakrivljenosti osnovne linije osovine puta i nivelete (na području kružnih lukova ili prave linije) da bi se obezbedila paralelnost toka linije (slike 4.2.42 i 4.2.43).



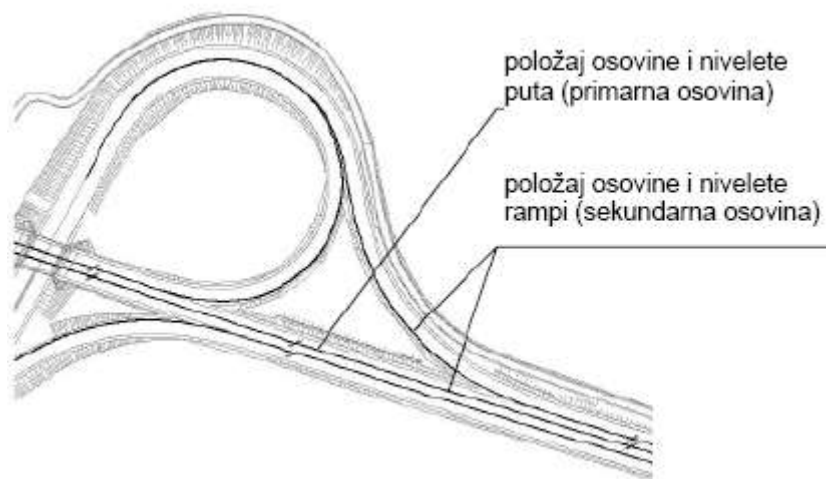
Slika 4.2.42: Preskok osovine i nivelete puta na području vitoperenja



Slika 4.2.43: Preskok osovine i nivelete puta kod razdvojenog vođenja kolovoza

Dodatne (sekundarne) osovine za izlivne i ulivne rampe se od osnovne (primarne) osovine odnosno nivelete odvajaju i priključuju na spoljašnjoj ivici desne trake kolovoza. Linija sekundarne osovine i nivelete nalazi se na levoj strani kolovoza rampe, bez obzira na to koliko traka je predviđeno na njoj, da bi se omogućilo nesmetano izvođenje poprečnog nagiba na dodatnoj traci. Početni i/ili završni deo osovine dodatne trake izvodi se postupkom preskoka osovine i nivelete (slika 4.2.44).

Preskok osovine i nivelete se bez obzira na mesto početka ili završetka dodatnih traka izvodi na području na kojem elementi primarne osovine imaju konstantu zakrivljenost. Čak i ako imaju početak ili završetak na području prelazne krive, preskok je potrebno izvesti na području elementa primarne osovine sa konstantnom zakrivljenošću, da bi se dobila sekundarna osovina paralelna primarnoj osovini. Deo sekundarne osovine (između preskoka i početka dodatne trake ili između kraja dodatne trake i preskoka) se pri tom označava negativnom stacionažom.



Slika 4.2.44: Položaj osovine i nivelete kod rampi priključka

Preskok nivelete se iz estetskih razloga preporučuje za izvođenje i na području dugih vijadukata, kada se duž vijadukta menja pravac poprečnog nagiba kolovoza. Vođenje nivelete u liniji "normalnog položaja" preko više od dve uzastopne suprotno usmerene krivine zbog promene poprečnog nagiba kolovoza prouzrokuje da se i niveletno vođenje ivice kolovoza menja u podužnom pravcu. Na otvorenim delovima trase i u tunelima to je

neprimetno, ali se veoma primećuje kod dugih vijadukata. Pogled na vijadukt je za nekog ko iz okoline gleda na vijadukt („view on the road“), izuzetno neestetski, a vozaču („view from the road“) sprečava pregled nad kolovozom ispred sebe. Na slici 4.2.45 (snimak je iz SAD, foto: A.Juvanc) se lepo vide oba efekta. Čovek stiče utisak da je put rasklaćen usled zemljotresa.



Slika 4.2.45: Neestetsko vitoperenje na dugačkom vijaduktu

4.4.2 PREGLEDNOST

4.4.2.1 Definicija i vrste preglednosti

4.4.2.1.1 Definicija preglednosti

Preglednost na putu je dužina slobodne vizure u vidnom polju vozača koju je potrebno obezbediti na putu kako bi vozač pri projektovanoj brzini na putu primetio prepreku i vozilom pravovremeno izveo manevar potreban za bezbednu vožnju.

Saobraćajni manevri su pri tom sledeći: smanjenje brzine, zaustavljanje vozila ili preticanje. U polju slobodne preglednosti ne sme se nalaziti nikakva fiksna prepreka. Izuzetak predstavlja vertikalna saobraćajna signalizacija kojom se neposredno pružaju uputstva za bezbednu vožnju (znaci za opasnost, znaci izričite naredbe, znaci obaveštenja).

U odnosu na namenu, postoje sledeće vrste preglednosti:

- zaustavna preglednost (P_z)
- zahtevana preglednost (P_{zp})
- preticajna preglednost (P_p)
- razpoloživa preglednost (P_r)

4.4.2.1.1.1 Zaustavna preglednost (P_z)

Zaustavna preglednost je za bezbednosnu dužinu (7m) produžena dužina puta koju vozilo pređe u vremenu od kada je vozač primetio prepreku do potpunog zaustavljanja (zaustavna dužina). Zaustavna dužina (L_z) je najkraće rastojanje na kojem vozač može na mokrom i čistom kolovozu da zaustavi vozilo. Čine ga: rastojanje koje zavisi od vremena reagovanja vozača i rastojanje koje zavisi od

dozvoljene vrednosti koeficijenta kliznog trenja (KKT) u tangencijalnom pravcu, podužnog nagiba nivelete i otpora vazduha. Jednačina za zaustavnu dužinu je sledeća:

$$L_z = \frac{V_0}{3,6} \cdot t_r + \frac{1}{3,6^2 \cdot g} \int_{V_1}^{V_2} \frac{V}{f_T(V) + \frac{s}{100} + u(V)} dv$$

gde su:

L_z [m]	zaustavna dužina
V [km/h]	brzina
V_0 [km/h]	početna brzina – pre početka kočenja
V_1 [km/h]	konačna brzina – po završetku kočenja (konačna brzina, pri zaustavljanju: $V_1=0$)
V_2 [km/h]	brzina vozila pre početka kočenja = početna brzina V_0
t_r [s]	vreme reagovanja $t_r=2,0$ sec
g [m/s ²]	gravitaciono ubrzanje
f_T [-]	koeficijent kliznog trenja (KKT) u tangencijalnom pravcu
i_N [%]	podužni nagib nivelete puta
u [-]	koeficijent otpora vazduha (dinamički otpor vazduha)

Koeficijent otpora vazduha veoma zavisi od oblika i težine vozila. Za praktične proračune može se upotrebiti formula gde koeficijent zavisi samo od brzine vožnje i to (po Fürthu):

$$u = 0,461 \cdot 10^{-4} \left(\frac{V}{3,6} \right)^2$$

U Pravilniku o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta (Sl.Glasnik RS, 50/11) zaustavna dužina pri horizontalnom nagibu nivelete ($i_N=0$) je već proračunata (tabela 4.2.24).

Tabela 4.2.24: Zaustavna preglednost u funkciji (računske) brzine

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
P_z [m]	40	55	70	90	115	145	180	215	255	300

U slučaju da je habajući sloj kolovozne konstrukcije izrađen od smese zrna od silikatnih agregata (eruptivac), KKT je veći, a zaustavna dužina kraća. Iznosi približno 60% dužine proračunate sa KKT za kalcitne agregate. Koristi se za sanacije postojećih puteva, a za projektovanje novogradnji samo u posebnim uslovima (pogl. 4.2.2.4.3.3).

Ako se skraćena zaustavna dužina izuzetno upotrebi na kolovozu koji je izveden sa

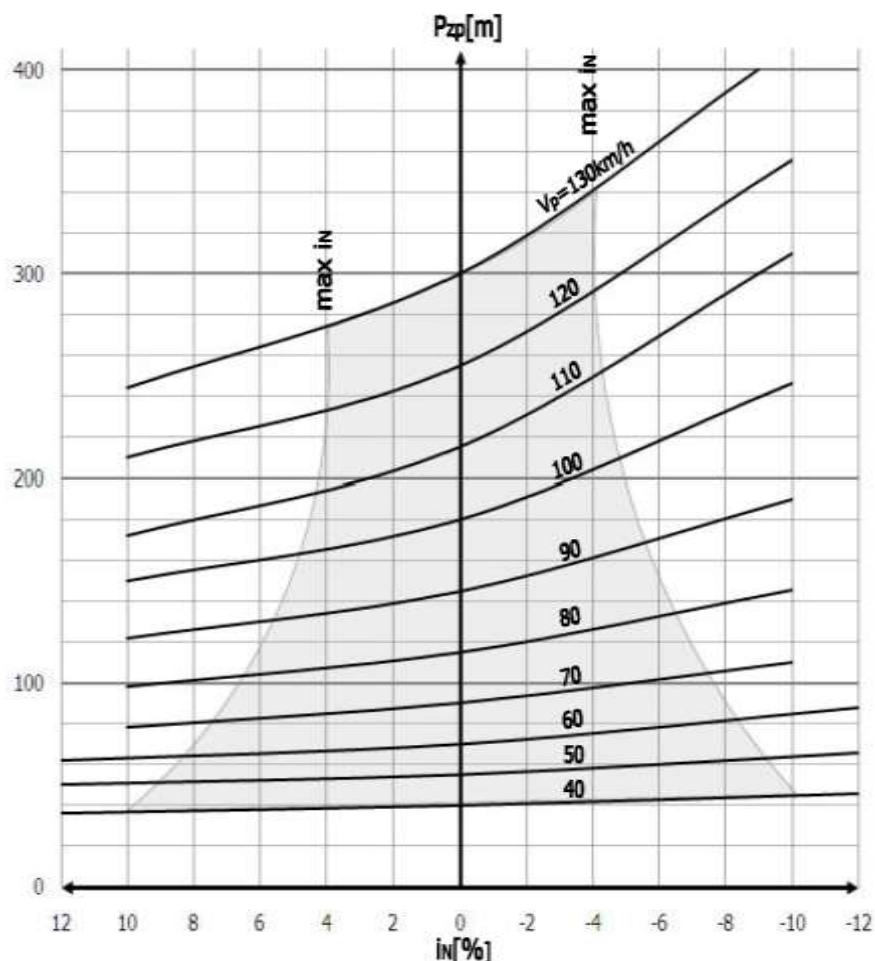
habajućim slojem od smese zrna iz karbonatnih stena, potrebno je u projektu odrediti vremenski raspored prevremenih kontrolnih merenja KKT na takvoj deonici.

Na suvom kolovozu je KKT suštinski veći od onog na mokrom kolovozu i izračunava se po opštoj fizičkoj formuli za smanjenje brzine koja se nalazi u poglavlju 4.2.2.4.5. Za dovoljno precizan proračun može se upotrebiti usporenje $a=7 \text{ ms}^{-2}$.

4.4.2.1.1.2 Zahtevana preglednost (P_{zp})

Pri projektovanju puteva teži se upotrebi geometrijskih elemenata kolovoza koji su što udobniji za korisnika. Zato korisnik pri vožnji u slobodnom saobraćajnom toku po pojedinim elementima ostvaruje brzine vožnje koje su veće od računске. Brzina, pri tom, zavisi od poluprečnika kružnog luka krivine, širine saobraćajne trake i dužine luka, a zavisi i od

veliĉine podužnog nagiba nivelete. Pošto zavisi od veliĉine elemenata puta izabranih u projektu, naziva se projektna brzina (V_p). Na putevima funkcionalno visoke kategorije (opšti programski uslovi) potrebno je, umesto računске brzine, pri definisanju preglednosti uzeti u obzir projektnu brzinu. Tako definisana preglednost naziva se zahtevana preglednost. Dužine zahtevane preglednosti (P_{zp}) oĉitavaju se iz grafikona na slici 4.2.46.



Slika 4.2.46: Dijagram zahtevane preglednosti u funkciji brzine i nagiba nivelete

Dijagram na slici 4.2.46 se u zavisnosti od podužnog nagiba nivelete koristi i za određivanje zaustavne preglednosti pri računskoj brzini. Osenčeno područje označava veličine podužnog nagiba nivelete koje su manje od propisima određenih maksimalnih vrednosti za različite brzine.

Zahtevana preglednost se pri projektovanju puta postiže ako se u proračunu za pregledne berme u krivinama koristi projektovana brzina za oba smera vožnje. Ako u nekoj od krivina tu preglednost nije moguće postići (fiksni objekti, zaštićeno drveće i slično), brzinu je potrebno u tom smeru ograničiti pomoću saobraćajnog

znaka na brzinu koja zavisi od raspoložive širine pregledne berme.

4.4.2.1.1.3 Preticajna preglednost (P_p)

Preticajna preglednost (P_p) je uticajan parametar za projektovanje bezbedne vožnje na dvotračnim putevima. To je dužina na kojoj je moguće bezbedno preticanje sporijeg vozila ispred sebe i predstavlja zbir dužina koje pređu vozilo koje vrši preticanje i vozilo koje mu ide u susret, u vremenu koje omogućava da vozaĉ vozila koje vrši preticanje osmotri situaciju (vreme reagovanja), ubrza i ostvari preticajnu brzinu, pretekne preticano vozilo i bezbedno se

vratu u svoju saobraćajnu traku. Minimalne preticajne dužine preglednosti su u zavisnosti

od računске brzine navedene u tabeli 4.2.25.

Tabela 4.2.25: Minimalne preticajne dužine preglednosti

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100
P_p [m]	260	320	370	430	480	540	600

- Prema važećim tehničkim propisima R Srbije potrebno je na dvotračnim putevima na pojedinačnoj deonici obezbediti najmanje 20% dužine na kojoj je omogućeno preticanje.

Područja na kojima na putu nije omogućeno preticanje, u projektu je potrebno definisati na način

- da se može postaviti odgovarajuća vertikalna i horizontalna saobraćajna signalizacija (zabrana preticanja i neisprekidana središnja razdelna linija) i
- da se ustanovi, da li je u projektu ostvaren dovoljan udeo dužine deonice puta, na kojoj je moguće preticanje ako

4.4.2.1.1.4 Razpoloživa preglednost (P_r)

Prilikom održavanja, rekonstrukcija i rehabilitacija postojećih puteva potrebno je utvrditi kolika je u pojedinačnim krivinama preglednost i kolika je preticajna preglednost. Pri tom se koristi ili postupak prostorne 3D analize, ili se preglednost u oba smera vožnje meri na licu mesta. Izmerene ili 3D modelom dobijene vrednosti se po pojedinačnim stacionažama unose u situaciju i u podužni profil. Grafičko predstavljanje obe preglednosti u podužnom profilu služi

- za određivanje lokacija na kojima je na postojećem putu potrebno građevinskom intervencijom povećati dužinu preglednosti,
- za utvrđivanje udela dužine puta za preticanje i definisanje građevinskih mera, ako je taj udeo premali,
- za prethodno definisanje intervencije na okolna zemljišta radi obezbeđivanja zahtevane preglednosti pri projektovanju rekonstrukcije ili rehabilitacije puta i

- kao ulazna informacija projektantu rekonstrukcije ili rehabilitacije puta.

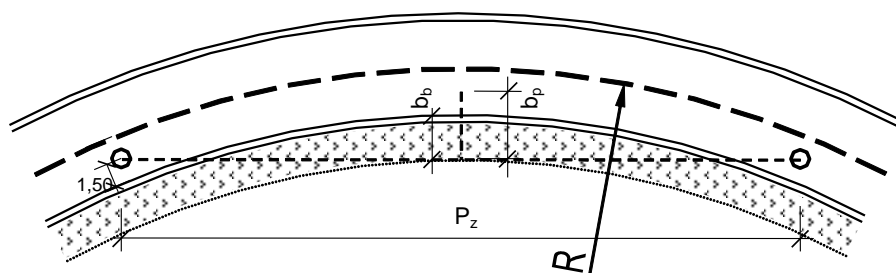
4.4.2.2 Uticaji preglednosti

Preglednost spada, prema brojnim istraživanjima, među najvažnije parametre u obezbeđivanju saobraćajne bezbednosti na putu. Predstavlja osnovu za određivanje graničnih dimenzija pojedinih geometrijskih i tehničkih elemenata kolovoza kao što su: pregledna berma, minimalni poluprečnik konveksne vertikalne krivine i najmanji mogući poluprečnik horizontalne krivine u fizički ograničenom prostoru (tuneli).

4.4.2.2.1 Horizontalna preglednost

Horizontalna preglednost (P_z) se mora za vožnju u oba smera na putu obezbediti odstranjivanjem svih kontinuiranih fiksnih prepreka sa unutrašnje strane horizontalne krivine, zaključno sa pokretnim preprekama (parkirana vozila, deponije i sl) koje su u nadležnosti inspekcija a ne projektanta.

Prostor koji time definišemo, predstavlja polje preglednosti. Na njemu važe jednake odredbe nadzora kao na putnom pojasu (područje kontrolisane primene prostora pored puteva). Širina tog prostora zavisi od dužine zaustavne preglednosti i poluprečnika krivine ose puta na pojedinačnom elementu. Pri tom se kao polazna tačka uzima položaj očiju vozača ($h_v = 1,10$ m) na rastojanju 1,50 m od desne ivice kolovozne trake kao što je prikazano na slici 4.2.47.



Slika 4.2.47: Šema određivanja polja horizontalne preglednosti

Širina polja preglednosti određuje se pojednostavljenim obrascem

$$b_p = \frac{P_z^2}{8 \cdot R} \quad \text{i širina berme je:} \quad b_b = b_p - 1,5$$

gde je:

b_b [m]	... širina pregledne berme
b_p [m]	... širina preglednosti
P_z [m]	... dužina zahtevane preglednosti
R [m]	... poluprečnik horizontalne krivine

U području prelazne krive (klotoide) polje preglednosti se pojednostavljeno određuje direktno proporcionalnom promenom širine duž prelazne krive.

Čelične zaštitne ograde spadaju među saobraćajnu opremu koja sme da se postavi u polju preglednosti. Na nasipu je potrebno uvek proceniti uticaj ograde na preglednost i po potrebi je odmaknuti (proširenje ivične trake kolovoza). Ako se put istovremeno nalazi i u vertikalnoj krivini, uticaj zaštitne ograde je potrebno proceniti po postupku koji važi za obezbeđivanje preglednosti u fizički ograničenom prostoru. Posebnu pažnju je potrebno usmeriti na postavljanje ograda za zaštitu od buke. Ako ih nije moguće odmaći do

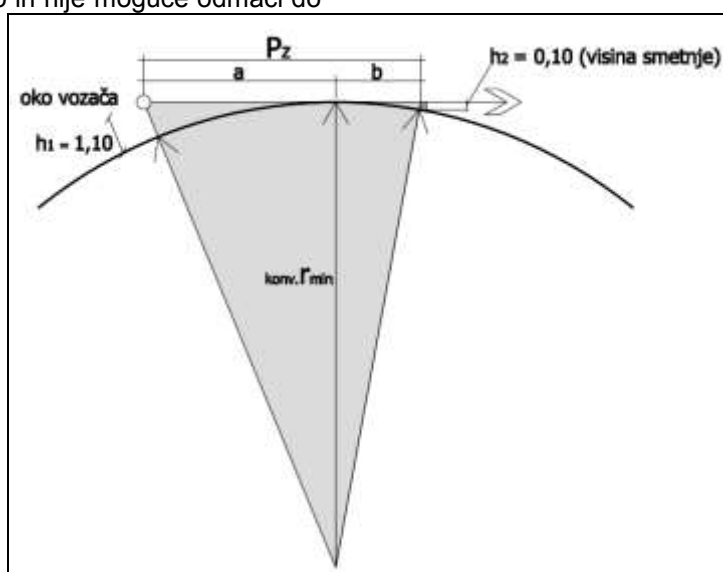
ivice polja preglednosti, procenu je potrebno vršiti prema postupku koji je na snazi za obezbeđivanje preglednosti u fizički ograničenom prostoru.

Na postojećim putevima je moguće otkloniti nedostatak širine polja preglednosti odmicanjem prepreka ili ograničenjem brzine, ili izvođenjem habajućeg sloja kolovozne konstrukcije od agregata silikatnog porekla.

4.4.2.2 Vertikalna preglednost

Vertikalna preglednost na putu određena je visinom položaja očiju vozača (1,10m) i visinom prepreka na putu na zaustavnoj preglednoj dužini. Visina prepreke na putu je u načelu 0,10m. Pošto kod veće brzine dolazi do neekonomičnih rešenja, toleriše se deo prepreke koji nije vidljiv. Preporučene vrednosti nevidljivog dela prepreke (prema RAS-L) su prikazane u tabeli 4.2.26.

Sa vertikalnom preglednošću izračunava se minimalna veličina poluprečnika konveksne vertikalne krivine ($r_{\text{konv}}^{\text{min}}$) prema prikazu na slici 4.2.48.



Slika 4.2.48: Šema za proračun minimalne veličine poluprečnika konveksne krivine

i po obrascu:

$$P_z = \sqrt{(r_{\text{minkonv}} + h_1)^2 - r_{\text{minkonv}}^2} + \sqrt{(r_{\text{minkonv}} + h_2)^2 - r_{\text{minkonv}}^2}$$

gde je:

P_z [m]	zaustavna pregledna dužina
r_{minkonv} [m]	minimalni poluprečnik konveksne krivine

h_1	[m]	visina položaja očiju vozača iznad kolovoza - $h_1 = 1,10$ m
h_2	[m]	visina prepreke na putu (tabela 4.2.26)

Tabela 4.2.26: Minimalna vidljiva visina prepreke na putu (preporučeno po RAS-L)

V_i [km/h]	60	70	80	90	100	110	120	130
h_2 [m]	0,00	0,05	0,15	0,25	0,35	0,40	0,45	0,45

Veličine minimalnog poluprečnika konveksne krivine $r_{\text{konv}} r_{\text{min}}$ navedene su u tabeli 4.2.33 u poglavlju 4.4.4.3.1 (Vertikalne krivine). Za približan proračun dovoljan je obrazac:

$$r_{\text{konv}} r_{\text{min}} = 0,25 \cdot (P_z)^2 \quad [\text{m}]$$

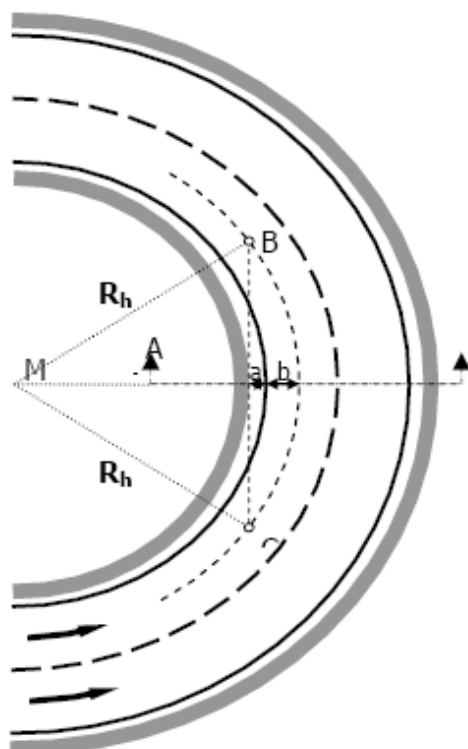
Da bi se na putu obezbedila što veća saobraćajna bezbednost, potrebno je pri obračunu minimalnog poluprečnika vertikalne konveksne krivine pri putevima visoke kategorije uzeti u obzir zahtevanu preglednu dužinu P_{zp} koja proizlazi iz projektne brzine.

4.4.2.2.3 Preglednost u ograničenom prostoru

Sa problemom preglednosti u ograničenom prostoru susrećemo se u tunelima i na otvorenoj trasi, pored koje su postavljene zaštitne ograde ili ograde za zaštitu od buke.

U tunelima, proširenja svoda radi obezbeđivanja preglednosti nisu ekonomično rešenje i izvode se samo u krajnjem slučaju (slika 4.2.49). Projektno rešenje je povećanje poluprečnika krivine na toliku veličinu da se u tunelu obezbeđuje zahtevana preglednost.

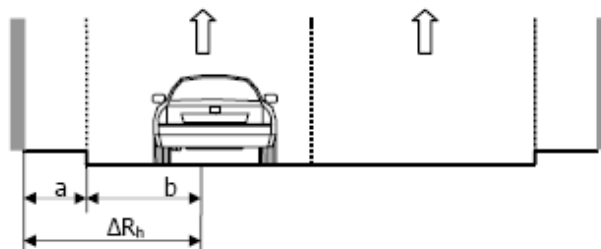
Na otvorenoj trasi pored koje su postavljene ograde, u odnosu na preglednost su problematične pre svega deonice na kojima je kolovoz izveden istovremeno u horizontalnoj i vertikalnoj krivini.



Legenda:

- a ... udaljenost ivice unutrašnje saobraćajne trake od prepreke
- b ... položaj vozača ($b=1,80$ m odn. $\frac{1}{2}$ širine saobraćajne trake)

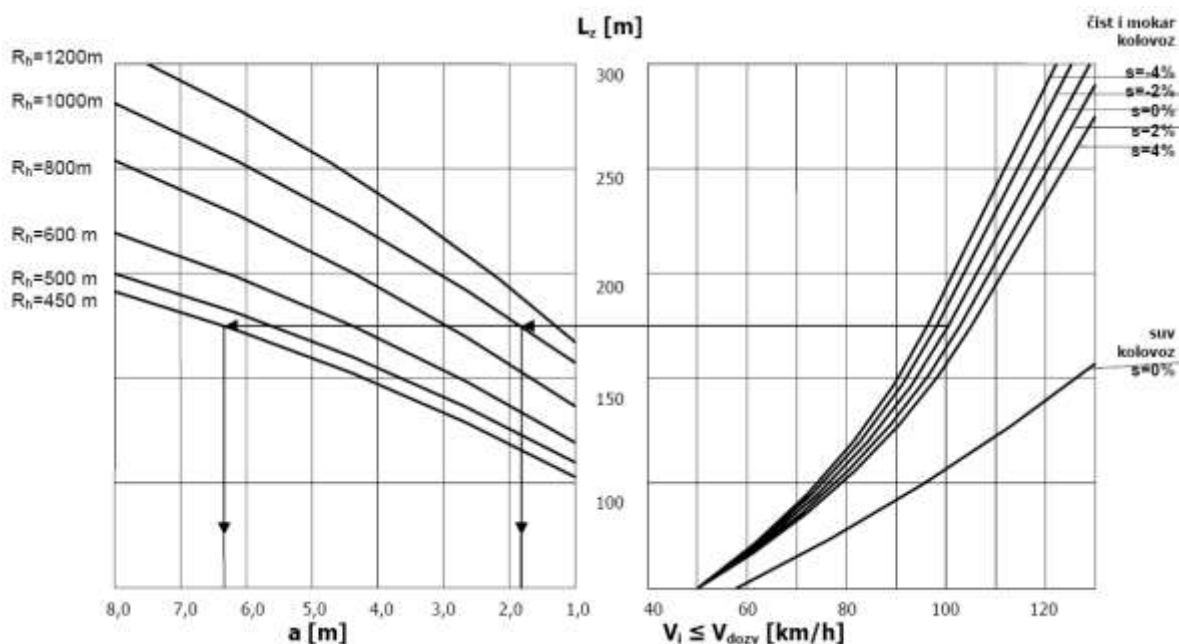
$$\Delta R_h = a + b$$



Slika 4.2.49: Preglednost na krajnjoj levoj saobraćajnoj traci jednosmernog kolovoza (izvor: RAS-L,

Vrednost potrebne veličine poluprečnika R_h se za različite podužne nagibe nivelete i

preglednu bermu „a” očitava sa grafikona na slici 4.2.50.



Slika 4.2.50: Veličina poluprečnika R_n u zavisnosti od rastojanja između prepreke i ivice krajnje saobraćajne trake, te podužnog nagiba nivelete (izvor: RAS-L, 1995)

4.4.3 PROJEKTANTSKI ELEMENTI SITUACIONOG PLANA

4.4.3.1 Vrste elemenata osovine puta i oblici sastava redosleda krivina

U tehničkom pogledu, veličine parametara geometrijskih elemenata osovine puta su vrednosti koje zavise od dinamike vožnje. Kod izbora ovih veličina treba uzeti u obzir

- funkcionalnost saobraćajnog pravca (predviđenu brzinu putovanja i definisani stepen udobnosti),
- prostorna ograničenja (morfologiju terena, prirodne i linijske objekte, postojeću iskorišćenost prostora, urbanizaciju i drugo),
- uticaje na prirodnu sredinu (emisije štetnih materija, pejzažne i prirodne vrednosti, estetski izgled i drugo),
- psihofizičke osobine vozača i putnika u vozilu (udobnost, bezbednost saobraćaja),
- usklađenost izabranih elemenata (bezbednost saobraćaja),
- saobraćajne karakteristike planiranog puta (vrstu korisnika puta, uređenja na putu i pored puta, učestalost raskrsnica u nivou, učestalost priključaka i drugo) i
- racionalnost investicionih ulaganja (gradnja puta i mere za čuvanje i zaštitu životne sredine).

Ako terenski uslovi (velike visinske razlike) ne dozvoljavaju vođenje horizontalnog toka trase elementima koji polaze od računске brzine (V_r), na putevima nižih kategorija mogu se izgraditi serpentine. Serpentina je okuka koja sadrži kružnu krivinu malog poluprečnika, a čiji je centralni ugao $\alpha > 180^\circ$. Na njega se nadovezuju dve kružne krivine (ulazna i izlazna) tako da se brzina u okuci postepeno smanjuje.

Geometrijski elementi ose puta, koji se nazivaju i horizontalni geometrijski elementi, su pravac ($P = \infty$), kružna krivina (R_i) i klotoida (A_i) kao prelazna kriva između krivina. Kružna krivina i pravac su elementi sa konstantnom zakrivljenošću, koja se na klotoidi menja direktno proporcionalno u odnosu na zakrivljenost kružne krivine iz koje polazi, preko prevojne tačke, gde je zakrivljenost nula, do zakrivljenosti kružne krivine ka kojoj vodi. Posmatrano u smeru stacionaže, prečnik kružne krivine je pozitivan ako je zakrivljena udesno, a negativan ako je zakrivljena ulevo.

Svaki od navedenih geometrijskih elemenata se koristi u dimenzijama koje odgovaraju računskoj brzini izabranoj na osnovu programskih uslova i međusobno su usklađeni tako da tokom vožnje ne stvaraju fizikalne količine koje bi prevazilazile fizičke karakteristike vozača i vozila.

Kod sastavljanja geometrijskih elemenata treba uzeti u obzir:

- geometrijski uslov – obe tangente susednih krivina su homologne
- voznodinamički uslov – promena bočnog ubrzanja mora da bude ravnomerna
- fiziološki uslov – promena bočnog ubrzanja u granicama koje su za vozača prihvatljive.

Spajanje kružne krivine i pravca ili dve kružne krivine ispunjava samo geometrijski uslov. Zbog toga je spajanje vezivanjem ova dva elementa dozvoljeno samo u posebnim slučajevima koji su tehnički definisani u ovom poglavlju. Redosled koji ispunjava i voznodinamički uslov je takav da je između pravca ili kružne krivine ili između dve kružne krivine uvek umetnuta klotoida koja se zato naziva i prelazna krivina. A pravilnim izborom dužine klotoida ispunjen je i fiziološki uslov. Kod puteva srednje i visoke kategorije (SP-r, VP-r, VP-m, DP-m i DP-d) uvek obavezno treba primenjivati redosled koji ispunjava sva tri navedena uslova.

Osnovne vrste spajanja geometrijskih elemenata ose puta su

- prosta kriva:
pravac – klotoida – kružna krivina – klotoida – pravac,
- S-kriva:
kružna krivina – klotoida – suprotno usmerena kružna krivina,
- O-kriva:
kružna krivina – klotoida – istosmerno usmerena kružna krivina,
- dvostruka O-kriva:
kružna krivina – klotoida – veća kružna krivina – klotoida – manja kružna krivina.

Moguće su i druge kombinacije tri elementa ose puta (pogledati: Pravilnik o uslovima, koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta, Sl. glasnik 50/11), a koje su upotrebljive samo za puteve projektovane sa nižom računskom brzinom $V_r \leq 80$ km/h. Naime svako kombinovanje redosleda dve veličine određene

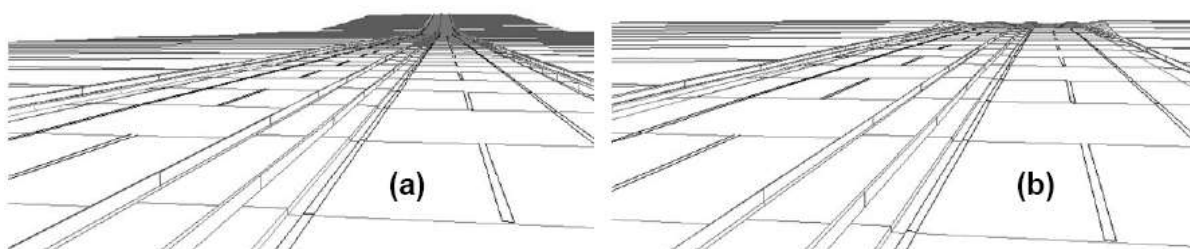
vrste geometrijskog elementa uzrokuje određeni diskontinuitet vozne linije što ne pogoduje obezbeđivanju saobraćajne bezbednosti na putevima za računsku brzinu $V_r > 80$ km/h.

4.4.3.2 Pravac

Pravac je geometrijski element ose puta koji se prilikom projektovanja puteva koristi za prilagođavanje terenskim oblicima na trasi puta. Dužina korišćenog pravca (kratki pravac) je u ovim slučajevima približno jednak dužinama ostalih elemenata korišćenih u osi puta. Veoma je prihvatljiva dužina koja odgovara intervalu od pet do sedam sekundi vožnje.

Dugi pravac se koristi samo u posebnim slučajevima. Osim toga što je najčešći neprirodni oblik u okruženju, ima i niz negativnih karakteristika kao što su otežana procena brzine vozila koje dolazi u susret, loša preglednost iza prethodnog vozila, zamorna vožnja, zaslepljivanje svetlima noću i nestabilan položaj volana prilikom upravljanja. Zato se primenjuje samo u posebnim topografskim uslovima (ravničarski putevi, široka zaravan), u posebnim prostornim uslovima (duž drugih infrastrukturnih objekata, uključeno u već izgrađeno okruženje), u slučaju zahtevnih putnih objekata (na mostovima sa velikim rasponom, tuneli) ili na deonicama gde njegova primena ima smisla iz saobraćajno-tehničkih razloga (raskrsnice i priključci, omogućavanje preticanja, veliki objekti i sl.).

Sa projektantskog aspekta, kod dugih pravaca naročito treba voditi računa o zadovoljavajućoj veličini priključene krivine (poluprečnik kružne krivine i dužina prelazne krivine) i o zadovoljavajućoj veličini primenjenih poluprečnika vertikalnih zaobljenja nivelete (slika 4.2.51).



Slika 4.2.51: Put sa nedovoljnim konkavnim (a) i konveksnim (b) zaobljenjem nivelete

Dužina dugog pravca ograničena je u odnosu na računsku brzinu i u odnosu na smer zakrivljenosti priključenih krivina i to:

- pravac između dve suprotno usmerene krivine i
- pravac između dve istosmerne krivine.

Dužina pravca (L_{pr}) između dve suprotno usmerene krivine neka bude u granicama:

$$2.V_r [\text{km/h}] \leq L_{pr} [\text{m}] \leq 20.V_r [\text{km/h}]$$

Ako je dužina pravca manja od $2.V_r$, preporučljivo je da se umesto pravca obe priključne kružne krivine povežu jedinstvenom klotoidom (prelaznom krivinom) u oblik S-krive. U ovom slučaju je u određenoj meri potrebno povećati poluprečnik obe priključene krivine, da dužina prelazne krivine ne bude prevelika i da ne bi ostavljala utisak pravca.

Dužina pravca (L_{pr}) između dve istovetno usmerene krivine neka bude u granicama

$$4.V_r [\text{km/h}] \leq L_{pr} [\text{m}] \leq 20.V_r [\text{km/h}]$$

Ako je dužina pravca manja od $4.V_r$, za puteve najviših kategorija je preporučljivo da se umesto pravca između obe priključne kružne krivine umetne još jedna kružna krivina velikog poluprečnika da bi kompozicija dobila oblik dvostruke O-krive. Ovakvo rešenje je voznodinamički povoljno jer se održava smer delovanja bočnog ubrzanja na vozača. Rešenje sa umetnutom suprotno usmerenom kružnom krivinom je moguće, mada samo u slučaju da je rastojanje za pozicioniranje ove krivine dovoljno veliko. Kod ovog voznodinamički povoljnog rešenja treba naročito voditi računa o izvođenju vitoperenja kolovoza (akvaplaning).

4.4.3.3 Kružna krivina

Kružna krivina je geometrijski element koji na najjednostavniji način omogućuje prilagođavanje linije trase puta oblicima terena kroz koji prolazi. To je element koji svojom zakrivljenošću ($1/R = \text{const.}$) i dužinom omogućuje promenu smera trase u skladu sa prirodnim oblicima u prostoru. Od uslova računске brzine zavisi u kojoj meri će biti neophodni građevinski radovi na trasi. Zbog toga je granična veličina korišćenih krivina na blagom terenu veća od krivina koje ima smisla koristiti na zahtevnijem terenu (uticaj uslova terena na izbor računске brzine). Istovremeno treba uzeti u obzir da će brzina vožnje na kružnim krivinama većih poluprečnika biti onoliko uvećana koliko se povećaju poluprečnici (projektna brzina V_p).

Uopšte važi:

- da veličinu kružnih krivina treba izabrati tako da se u najvećoj mogućoj meri uklapaju u prirodni prostor i omogućuju postizanje skladnosti elemenata ose puta i nivelete,
- najprimereniju veličinu poluprečnika kružnih krivina treba izabrati tako da omogućuju brzinu upravljanja koja je najbliža predviđenoj osnovni brzini na pojedinačnom putu,
- da u slučaju velikog nagiba nivelete veličinu poluprečnika kružne krivine treba prilagoditi rezultujućem nagibu kolovoza,
- da kružna krivina mora da bude toliko duga da vožnja po njoj traje bar dve sekunde (vreme reagovanja vozača), a udobna vožnja pet do sedam sekundi,
- preporuka da kružna krivina na dugim objektima premošćavanja (po mogućnosti) ne menja zakrivljenost (racionalna gradnja vijadukata),
- preporuka da u zoni raskrsnica i priključaka treba izabrati tolike poluprečnike horizontalnih kružnih krivina da poprečni nagib (i_p) u njima ne prevazilazi 4% (rezultujući nagib tokom vožnje u isključenju i zahtevana preglednost),
- preporuka da u zoni denivelisanih raskrsnica treba izabrati takve poluprečnike horizontalnih kružnih lukova da je isključne rampe, kako u pogledu vođenja saobraćaja (preglednost), tako i konstruktivno (nagibi) moguće izvesti tako da što više odgovara vozaču i
- da veličinu kružnih krivina treba uskladiti međusobno i sa niveletom da ne bi dolazilo do prevelikih promena i oscilacija veličine projektne brzine (V_p).

4.4.3.3.1 Granične vrednosti poluprečnikâ i dužine kružne krivine

Granične vrednosti poluprečnikâ kružnih krivina su

- minimalni poluprečnik kružnog luka, priključen na dugi pravac (R_{prim}),
- minimalni poluprečnik kružnog luka (R_{min}),
- minimalni poluprečnik kružnog luka kod minimalnog poprečnog nagiba kolovoza (R_g),
- minimalni poluprečnik kružnog luka kod suprotnog poprečnog nagiba kolovoza (R'),
- maksimalni poluprečnik kružne krivine (R_{max}),

a definisana je i minimalna dužina krivine.

Minimalni poluprečnik kružne krivine, priključen na dugi pravac (R_{prim}) je vrednost koja zavisi od vrste puta i od dužine pravca (L_{pravca}) kojoj sledi kružna krivina (sa umetnutom prelaznom

krivinom) u smeru vožnje. Minimalne vrednosti su navedene u tabeli 4.2.27. Izabrani poluprečnik mora da ispunjava i druge uslove

upravljanja (vozno-dinamičke, konstruktivne i estetske).

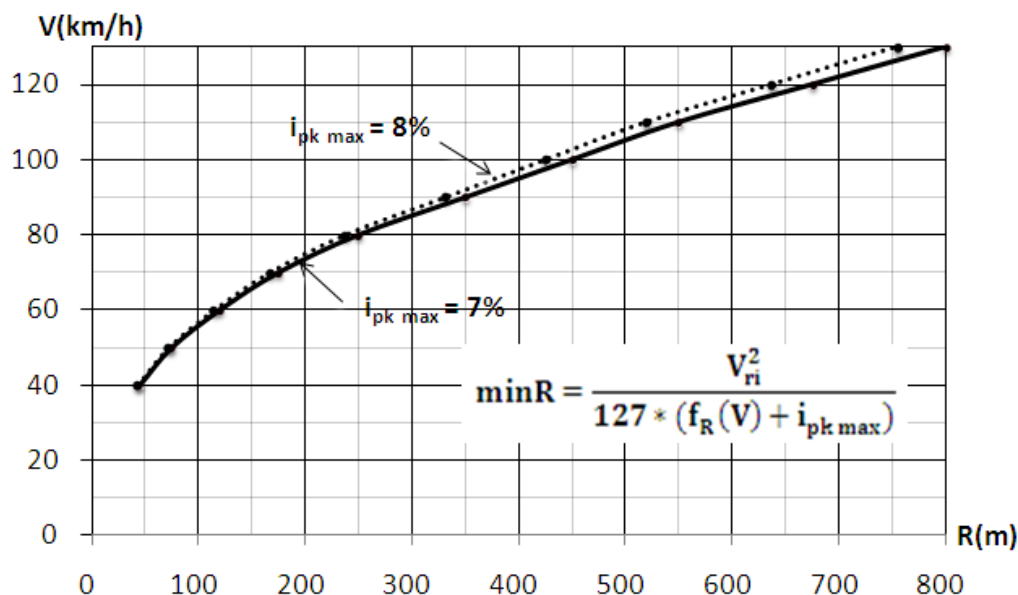
Tabela 4.2.27: Minimalni poluprečnik kružne krivine priključene na dugi pravac

L_{pravca} [m]	R_{prim} [m]	napomena
≥ 500 m	$\geq 1,5 R_{\text{min}}$ m	za autoputeve
≥ 300 m	≥ 400 m	za druge puteve
< 300 m	$> L_{\text{preme}}$ m	

Granične vrednosti poluprečnika kružne krivine su definisane u zavisnosti od izabrane računске brzine (V_r) za obezbeđivanje veće saobraćajne bezbednosti tokom vožnje, izabranog udela iskorišćenosti koeficijenta trenja klizanja u poprečnom smeru (f_R – tabela 4.2.8, poglavlje 4.2.2.4.3.3) i graničnih veličina poprečnog nagiba kolovoza. Proračuni svih graničnih vrednosti su izvedeni prema jednačini za proračun R_{min} , upisanoj u slici 4.2.52 pri čemu su za različite vrste graničnih vrednosti uzete u obzir odgovarajuće drugačije vrednosti f_i i i_{pk} . Sve vrednosti su definisane za asfaltne kolovoze i zaokružene nagore na cele vrednosti.

Minimalni poluprečnik kružne krivine (R_{min}) je vrednost koja (još uvek) obezbeđuje bezbednu

vožnju na izabranoj računskoj brzini (V_r) i maksimalnom poprečnom nagibu kolovoza ($i_{\text{pk max}} = 7\%$, izuzetno kod obnova puteva $i_{\text{pk max}} = 8\%$). Grafikon ovih vrednosti za proizvoljnu brzinu (V_i) prikazan je na slici 4.2.52. Primenu R_{min} treba posebno proveriti kod trasiranja puta na području velikih objekata (tuneli, vijadukti – treba uzeti u obzir i tehničke propise za dizajn i dimenzionisanje građevinskih putnih objekata), na području velikih nagiba nivelete kao i kod specifičnog izvođenja srednje razdelne trake na putevima sa kolovozima razdvojenim prema smeru vožnje. Po pravilu na ovakvim deonicama treba primeniti $R_i > R_{\text{min}}$ da bi se obezbedila zahtevana preglednost i ispunio uslov rezultujućeg nagiba kolovoza. Vrednosti R_{min} su navedene u tabeli 4.2.28.



Slika 4.2.52: Vrednost poluprečnika horizontalne kružne krivine u zavisnosti od maksimalnog poprečnog nagiba kolovoza

Minimalni poluprečnik kružne krivine kod minimalnog poprečnog nagiba (R_g) je najmanja vrednost koja (još uvek) obezbeđuje bezbednu vožnju na izabranoj računskoj brzini (V_r) i minimalnom poprečnom nagibu kolovoza ($_{\min}i_{pk} = 2,5\%$). Vrednosti R_g su navedene u tabeli 4.2.28.

Minimalni poluprečnik kružne krivine kod suprotnog poprečnog nagiba kolovoza (R') definisan je za poprečni nagib $i_{pk} = -_{\min}i_{pk} = -2,5\%$ (kontranagib). Po pravilu se primenjuje na putevima sa kolovozima razdvojenim prema smeru vožnje, a na dvosmernim putevima samo u izuzetnim slučajevima. Primenjuje se ako se kontranagibom

- uvodi jednostavniji sistem odvodnjavanja kolovoza,
- sprečava nastanak akvaplaninga na putevima sa veoma blagom niveletom ili
- ako to u znatnoj meri utiče na investicione troškove.

Vrednosti R' su navedene u tabeli 4.2.28.

Maksimalni poluprečnik kružne krivine (R_{\max}) je preporučena vrednost koju treba uzeti u obzir pre svega na daljinskim putevima i iznosi $R_{\max} = 5.000$ m (izuzetno 10.000 m). Naime, kod poluprečnika koji su veći od 5.000 m nestaje osećaj zakrivljenosti, a pomeranje volana postaje tako malo da ga vozač ne može izvoditi.

Minimalna dužina kružne krivine (L_k) je definisana fizičkim uslovom vremena reagovanja vozača i iznosi dve sekunde upravljanja odnosno $L_k = 7,2 \cdot V_i$ [m], gde je V_i u km/h. Preporučena vrednost ove dužine koja omogućuje bezbednu vožnju je pet sekundi ($L_k = 18 \cdot V_i$) i navedena je u tabeli 4.2.28.

Tabela 4.2.28: Granične vrednosti poluprečnika i dužine kružne krivine

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R_{\min} [m]	45	75	120	175	250	350	450	550	675	800
R_g [m]	180	300	500	700	1.015	1.410	1.810	2.415	3.015	3.620
R' [m]	-	-	-	-	2.500	2.500	3.000	4.000	4.500	5.000
L_k [m]	40	55	70	90	115	145	180	215	255	300

4.4.3.3.2 Veličina poluprečnika dve susedne kružne krivine

Po pravilu se kod projektovanja primenjuju vrednosti poluprečnika kružne krivine R_i , koje su veće od R_{\min} . Na području $R_{\min} < R_i < R_g$ njihov poprečni nagib se menja od $i_{p \max} = 7\%$ do $i_{p \min} = 2,5\%$ (za asfaltne kolovoze), a na području $R_i > R_g$ poprečni nagib je konstantan ($i_{p \min}$). Zavisnost $V_r - R_i - i_{pi}$ je navedena u poglavlju 4.4.5.3.0 (poprečni nagib kolovoza u krivini).

Zbog voznodinamičkih i tehničkih uslova je preporučljivo da veličine susednih kružnih krivina na osi puta budu izabrane unutar odnosa $R_1 : R_2 \leq 1 : 1,5$. Povećanjem ovog odnosa prilikom izvođenja prelaza između

krivina dolazi do diskontinuiteta u smislu dinamike vožnje, što je moguće rešiti samo pravilnim izborom prelazne krivine (klotoide), pri čemu se, kako se povećava odnos između poluprečnika, interval graničnih dužina prelaznih krivina sužava.

4.4.3.4 Klotoida (prelazna krivina)

Prelazna krivina je element trase koji obezbeđuje neisprekidano povezivanje kružnih krivina međusobno ili sa pravcem, te optičko i estetsko izvođenje trasiranja. Za izvođenje prelaza primenjuje se matematička kriva klotoida koja obezbeđuje

- potpunu homologiju tangenti na tačkama spajanja sa kružnom krivinom ili pravcem,

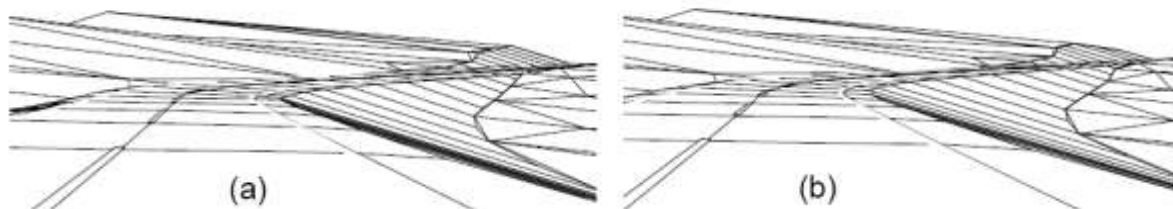
- postupno direktno proporcionalno menjanje zakrivljenosti ose puta između dve krivine,
- postupnu direktnu proporcionalnu promenu bočnog ubrzanja (u granicama dozvoljenog),
- dužinu izvođenja promene poprečnog nagiba između dve krivine (vitoperenje) i
- estetski izgled ivičnih linija kolovoza.

Jednačine klotoide i ugla između njihove početne i završne tangente (centralni ugao) su

$$A_i^2 = R_i \cdot L_i \quad \text{i} \quad \hat{\tau} = \frac{L_i}{2 \cdot R_i} = \frac{A_i^2}{2 \cdot R_i^2}$$

gde je:

- A_i [m] parametar klotoide
 R_i [m] poluprečnik kružne krivine na dužini klotoide L_i
 L_i [m] dužina luka klotoide do R_i



Slika 4.2.53: Estetski izgled puta bez prelazne krivine (a) i sa prelaznom krivinom (b) Potpuno izostavljanje izvođenja prelaznog dela između dva luka nije dozvoljeno. Izuzetak su veliki poluprečnici kružnih krivina čija je donja vrednost navedena u tabeli 4.2.29 (napomena: vrednosti u zagradi važe u izuzecima). Ipak, i u

$\hat{\tau}$ [rad] centralni ugao klotoide

Klotoida je +/- simetrična kriva i omogućuje istovrsno povezivanje svakog para kružnih krivina bez obzira na veličinu njenog poluprečnika ili usmerenost. Upotrebna vrednost veličine parametra klotoide (A_i) je u granicama:

$$\frac{R_i}{3} \leq A_i < R_i,$$

pri čemu je R_i veličina poluprečnika veće kružne krivine na koji se klotoida priključuje.

Estetski učinak prelazne krive (slika 15) koji neposredno utiče na psihofizičko stanje vozača i na njegove odluke je od izuzetnog značaja za bezbednost u saobraćaju. Na slici 4.2.53 su pokazana dva slučaja u kojima pod (a) prelazna krivina nije, a pod (b) jeste uključena.

ovim slučajevima je preporučljivo da se umesto prelazne linije umetne pravac dužine koji odgovara intervalu od dve do pet sekundi vožnje.

Tabela 4.2.29: Minimalni poluprečnik kružne krivine prilikom izostavljanja prelazne linije

V_r oz. V_p [km/h]	min R [m]
≤ 80	≥ 1500 (1000)
> 80	≥ 3000

4.4.3.4.1 Minimalna dužina prelazne krivine (parametar A_{min})

Minimalnu dužinu prelazne linije određuju tri kriterijuma i to

- voznodinamički (VD-kriterijum),
- konstruktivni (K-kriterijum) i
- estetski (E- kriterijum).

Odlučujući je onaj kriterijum koji daje veću vrednost parametra A prelazne krive. U tabeli 4.2.31 su za praktičnu primenu navedene vrednosti na osnovu sva tri kriterijuma kao što su određene u Pravilniku o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da

ispunjavaju objekti i drugi elementi javnog puta (Sl. glasnik RS, 50/11).

Pravilna dužina prelazne krivine je u smislu saobraćajne bezbednosti od izuzetnog značaja. Kratke dužine (A_{min}) kod vožnje sa brzinom V_p često dovode do kočenja na putu (intenzivnija iskorišćenost trenja na kolovozu, učestalost proklizavanja sa kolovoza), a preduge (A_{max}) vozaču ne daju osećaj zakrivljenosti (previsoka brzina na ulasku u sledeću krivinu, posledice slične onima kod kratkih dužina). Zato je u ovom poglavlju pored minimalnih i maksimalnih dužina prelazne krivine (klotoide) uvedena i preporučena vrednost (A_{prep}) koja polazi od pretpostavke da

je svaki R_i minimalan za neku računsku brzinu V_r . Vrednosti A_{prep} su dodate u tabelu 4.2.30.

Kod E-kriterijuma postoje dva moguća uslova ($\Delta R = 0,30$ m i $A = R/3$) koja daju različite vrednosti A_{min} . Za pojedinačan R_i treba izabrati veću među njima. I ove vrednosti A_{prep} su dodate u tabelu 4.2.30.

Prema VD- i E-kriterijumima minimalne i preporučene vrednosti A_{min} odn. A_{prep} su grafički predstavljene na slici 4.2.54.

4.4.3.4.1.1 Minimalna dužina prelazne krivine – VD-kriterijum

Kod međusobnog povezivanja kružnih krivina i kružnih krivina i pravaca bitna je dužina umetnutog elementa (prelazne krivine) koja definiše brzinu menjanja poprečnog ubrzanja (bočni trzaj – s_N). Psihofizičke sposobnosti ispodprosečnog vozača su ograničene i na osnovu toga je definisana minimalna potrebna dužina prelazne krive odnosno njenog parametra (A_{min}).

Parametri kod VD-uslova za određivanje A_{min} su brzina vožnje V_i i dozvoljena vrednost bočnog udara s_N , a minimalnu veličinu parametra klotoide A_{min} određuju voznodinamičke prilike u uslovima maksimalnog poprečnog nagiba kolovoza

prema jednačini (voznodinamički kriterijum) koje obezbeđuju i udobnu vožnju na području klotoide.

Jednačina ove zavisnosti je

$$A_i^2 = \left(\frac{V_i}{3,6} \right)^3 \frac{1}{s_{N\ dop}}$$

a kada je dopunjena poprečnim nagibom $i_{p\ maks}$

$$A_{min}^2 = \frac{V_r^3}{46,656 \cdot s_{N\ dop}} - \frac{i_{p\ maks} \cdot V_r \cdot R_{min}}{0,367 \cdot s_{N\ dop}}$$

gde je:

A_{min}	[m]	parametar minimalne dužine prelazne krivine
V_r	[km/h]	projektovana brzina
R_{min}	[m]	poluprečnik najmanje kružne krivine za primenjenu V_r
$i_{p\ maks}$	[%]	maksimalni dozvoljeni poprečni nagib
$s_{N\ dop}$	[m/s ³]	dozvoljeni bočni trzaj za primenjenu V_r

Vrednosti parametra $s_{N\ dop}$ su navedene u tabeli 4.2.30.

Tabela 4.2.30: Dozvoljeni bočni trzaj ($s_{N\ dop}$) i računsa brzina (V_r)

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$s_{N\ dop}$ [m/s ³]	0,80	0,68	0,59	0,52	0,45	0,40	0,36	0,33	0,31	0,30

Veličina A_{min} za VD-kriterijum se za pojedinačnu V_r određuje samo za $R_{min} = f(V_r)$. Za veće poluprečnike kružnih krivina ($R_i > R_{min}$) i istu računsku brzinu (V_{ri}) se može primeniti samo u slučaju da je $V_r \sim V_{dozv}$ (dozvoljena brzina) i ne može se očekivati da brzine u pojedinačnim krivinama kada je $R_i > R_{min}$ znatno nadmaše računsku brzinu V_r . Inače, kada je $R_i > R_{min}$ uvek treba primeniti veličinu parametara $A_i > A_{min}$, koji se određuju jednačinom

$$A_i^2 = A_{min}^2 \frac{R_i}{R_{min}}$$

4.4.3.4.1.2 Minimalna dužina prelazne krivine – K-kriterijum

Minimalna veličina parametra klotoide $A_{min\ k}$ mora da obezbedi zadovoljavajuću dužinu prelazne krivine za izvođenje vitoperenja

odnosno menjanja poprečnog nagiba kolovoza. Uslovi za određenje $A_{min\ k}$ su:

- položaj ose vitoperenja u poprečnom profilu,
- krilo vitoperenja (veće od dva moguća rastojanja ivica kolovoza od ose vitoperenja) – b,
- veličina poprečnog nagiba kolovoza – $i_{Pi} = f(V_{ri})$ i
- veličina maksimalnog dozvoljenog relativnog podužnog nagiba ivice kolovoza, poznatog kao nagib rampe vitoperenja (dalje- NRV) – $\Delta iN\ max$, koja zavisi od računске brzine.

Veličina NRV zavisi od brzine vožnje i torzione brzine (brzina promene poprečnog nagiba) koji kod udobne vožnje iznosi $4\%s^{-1}$, te od širine saobraćajne trake. Veličine NRV zapisane su u poglavlju 4.4.5.4.2 (granične vrednosti NRV). Preporučljivo je da se kod izbora $\Delta iN\ maks$ za

funkcionalno najznačajnije puteve uzme u obzir projektna brzina V_p . Maksimalna vrednost NRV (ΔiN_{maks}) zavisi od razlike poprečnih nagiba duž puta i važi za svaku kolovoznu traku ponaosob. Kod višetračnih kolovoza (puteva sa razdvojenim kolovozima te kod vitoperenja dvotračnog puta oko ivice kolovoza) činjenična vrednost NRV ivice kolovoza ΔiN_{maks} se dobija tako što se ova vrednost pomnoži sa brojem kolovoznih traka na kolovozu koje se nalaze na pojedinačnoj strani ose vitoperenja. U ovakvom slučaju bi vizuelni izgled kolovoza mogao da postane ometajući (neestetski) i preporučljivo je da se za ΔiN_{maks} uzme u obzir manja vrednost (udobna), a što zahteva duže prelazne krivine.

Minimalna dužina prelazne krive prema K-uslovu u znatnoj meri zavisi od računске brzine i različita je za sistem istih upotrebljenih uzastopnih krivina u različitim V_r . Zato se ovaj uslov koristi kao kontrolni i izračunava se tek kada su elementi ose puta spojeni (naknadna kontrola). Kada u konkretnom slučaju stvarni nagib NRV prevazilazi maksimalni dozvoljeni nagib, klotoidu (A) treba povećati.

Informativne vrednosti A_{min} prema K-kriterijumu su u zavisnosti od V_r navedene u tabeli 4.2.31.

4.4.3.4.1.3 Minimalna dužina prelazne krivine – E-kriterijum

Minimalnu dužinu prelazne krivine kod E-kriterijuma definišu dva uslova:

- minimalno odstojanje kružne krivine od tangente kroz prevojnu tačku klotoida ($\Delta \check{Z} = 0,30$ m) i
- minimalnom veličinom centralnog ugla klotoida ($\tau = 3011'$ kada je $A = \check{Z}/3$).

Uslovi su dati u obliku matematičkih funkcija

$$A_{min}^2 = \sqrt{7,2 \cdot R_{min}^3} \quad \text{i} \quad A_{min}^2 = \frac{R_{min}^2}{9}$$

gde je:

A_{min} [m] minimalni parametar klotoida

R_{min} [m] minimalni poluprečnik kružne krivine za izabranu V_r

R_M [m] granični poluprečnik kružne krivine, gde se E-uslovi menjaju

Presek obe funkcije je kod $R_M = 583,2$ m, pri kojem je A_{min} jednak prema oba uslova. Pošto se kod proračuna sa više uslova bira najpovoljniji uslov, za niz kružnih krivina $R < R_M = 583,2$ m treba izabrati prvi, a za niz $R \geq R_M = 583,2$ m drugi uslov. Grafikoni obe funkcije su predstavljeni na slici 4.2.54.

Tabela 4.2.31: Minimalne i preporučene vrednosti A_{min} odn. A_{prep}

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$A_{min VD}$ [m]	35	55	75	100	125	155	195	230	270	300
$A_{min K-O}$ [m]	25	30	45	55	80	100	120			
$A_{min K-O}$ [m]		višetračni profili				120	140			
$A_{min K-I}$ [m]	35	50	60	80	115	140	170			
$A_{min K-I}$ [m]		višetračni profili				170	200			
$A_{min K-I}$ [m]		autoputevi					190	220	245	270
$A_{prep VD}$ [m]	35	60	85	115	150	190	220	250	290	310
$A_{min E}$ [m]	15	25	40	60	85	120	150	185	225	270
$A_{prep E}$ [m]	35	70	90	115	145	185	215	240	270	300

gde je:

V_r [km/h] računска brzina

A_{min} [m] minimalni parametar prelazne krive za V_r i $i_{pk} 7\%$,

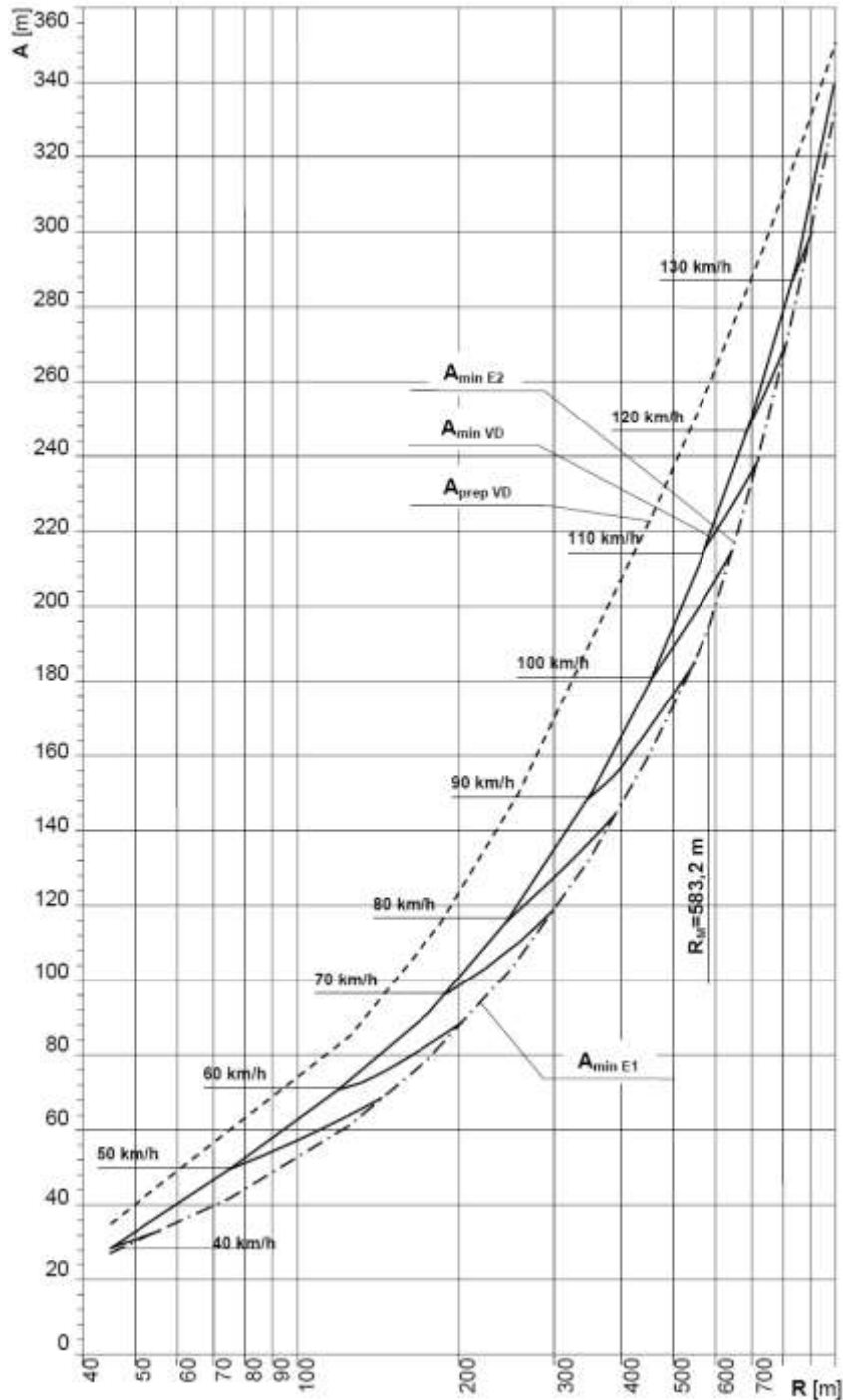
A_{prep} [m] preporučena vrednost parametra prelazne krive za primenjenu V_r

VD VD-kriterijum

K-O K-kriterijum sa vitoperenjem u osi kolovoza

K-I K-kriterijum sa vitoperenjem po ivici kolovoza

E E-kriterijum



Slika 4.2.54: Minimalne i preporučene veličine prelazne krivine (klotoide)

4.4.3.4.2 Maksimalna dužina prelazne krivine (parametar A_{max})

Izbor veličine parametra nagore ($A_i > A_{min}$) u načelu nije ograničen. A pošto postoji ograničenje (isto kao i za R_{max}) koje se odnosi na mogućnost veličine pomeranja volana (vozač i vozilo), definisana je i A_{max} . Ova veličina je istovremeno i granična u odnosu na

fiziološki učinak povećavanja bočnog pritiska (kontrola brzine vožnje), jer za $A_i > A_{max}$ prelazna krivina gubi svoju vožno-dinamičku funkciju. Maksimalna dužina prelazne krivine izražava se kao $A_{max} = R$ gde je $\tau = 28^{\circ}39'$.

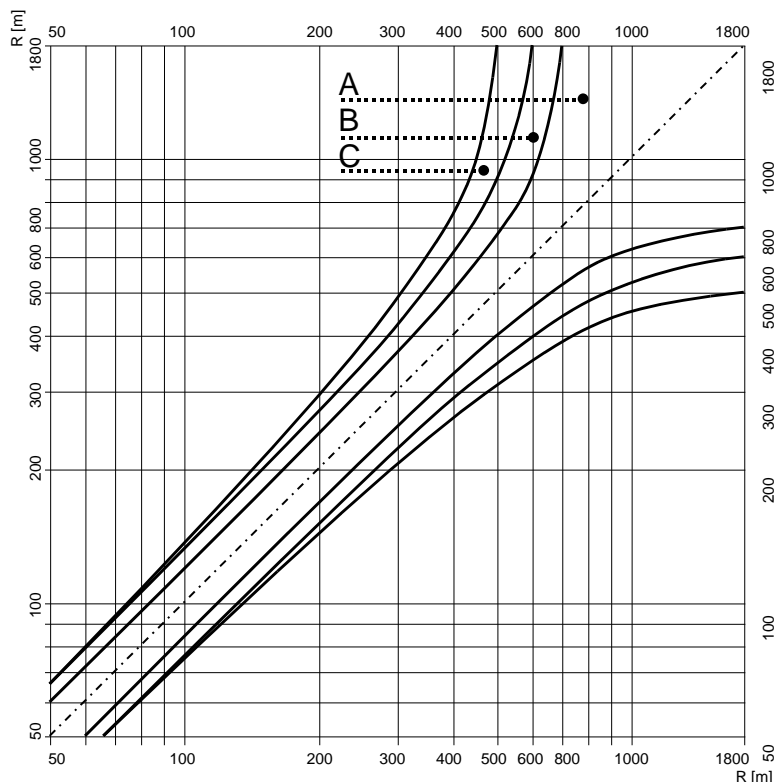
4.4.3.5 Izbor radijusa uzastopnih kružnih krivina

Redosled kružnih krivina, međusobno povezanih prelaznim krivinama (u obliku klotoide), mora u osovini puta da se odabere tako da omogućava vožnju putem bez velike promene brzine. Brzina vožnje u kružnoj krivini prvenstveno zavisi od veličine radijusa i njegovog centralnog ugla (dužine luka), a u znatnoj meri i od širine saobraćajne trake.

Brojna istraživanja pokazuju da u $R = 400$ moguća brzina vožnje iznosi 100 km/h. Međutim, kod svih manjih radijusa treba paziti na njihov odnos. Kod manjih brzina su za taj odnos dopuštene veće vrednosti, a kod većih manje. U načelu važi da odnos između dva susedna radijusa ne treba da bude veći od $R_1 : R_2 \sim 1:1,5$. Za početno definisanje elemenata osovine puta dovoljna tačnost može da se

obezbedi ako se veličina radijusa susednih kružnih krivina jednostavno očita sa grafikona na slici 4.2.55. Usklađenost veličine radijusa uzastopnih kružnih krivina treba da se poštuje i na daljinskim putevima (autoputevima). Pri tome je usklađenost puta značajna sa dva aspekta – vozno-dinamičkog i estetskog. Premda vozno-dinamički aspekt ima značajnu ulogu, još značajniji je estetski aspekt koji vrlo jako utiče na vozačevu percepciju trase puta ispred njega, na veći napor tokom vožnje i time zamaranje, koje na takvim putevima ne doprinosi bezbednosti saobraćaja.

Oznake A, B i C na slici 4.2.55 imaju sledeće značenje: A – preporučeno područje, B – prihvatljivo područje i C – prihvatljivo u izuzetnim uslovima i za funkcionalni nivo puteva PP. Treba izbegavati područja izvan obeleženih površina.



Slika 4.2.55: Preporučene veličine radijusa susednih kružnih krivina

Sa aspekta bezbednosti saobraćaja je neophodno da se među kružne krivine obavezno umetnu prelazne krivine u obliku klotoide, koje omogućavaju vožnju po veznoj liniji. Pošto je brzina vožnje na krivinama sa radijusom $R_i > R_{min}$ po pravilu veća od računске, i parametar mora da bude $A_i > A_{min}$. Preporučljivo je da se na značajnijim saobraćajnicama, gde predviđena brzina

vožnje iznosi 80 ili više km/h, među kružne krivine umeću prelazne krivine koje su date kao preporučene (A_{prep}). Klotoida je geometrijski element koji vezno povezuje kako kružne krivine istog usmerenja tako i kružne krivine suprotnog usmerenja. Zato klotoida od jedne do druge kružne krivine treba da se koristi u jedinstvenoj veličini parametra A.

U nepovoljnim terenskim ili prostornim uslovima, prelaznu krivinu mogu umesto jedinstvene klotoide (A_i) da čine dve klotoide (A_i i A_{i+1}), spojene u prelaznoj tački, ili čak kombinovana klotoida, kod koje su dve klotoide (A_i i A_{i+1}) spojene na proizvoljnom mestu. Kod sastavljenih klotoida potrebno je uvažiti dva uslova: voznodinamički, da odnos njihovih parametara ne sme da prelazi $A_1:A_2 \leq 1:1,5$ i geometrijski, da u dodirnoj tački imaju zajedničku tangentu.

Na putevima za brzine iznad 80 km/h ne preporučuje se upotreba spojenih klotoida. U tom slučaju, naime, na prelaznoj krivini na mestu spoja klotoida dolazi do promene veličine bočnog trzaja, što voznodinamički nije prijatno i loše utiče na vozača.

Izostavljanje klotoida je dopustivo, ali samo kod veoma velikih radijusa kružnih krivina na putevima koji su saobraćajno manje zahtevni.

Dužina kružne krivine (centralni ugao) značajno utiče na formiranje brzine vožnje na putu. Na kratkim krivinama vozač razvija veću brzinu nego na dugačkim. Zato je poželjno da razlika u dužini uzastopnih krivina ne bude velika. Veću izjednačenost dužina treba obezbediti kod širih saobraćajnih traka, pošto širina saobraćajne trake takođe utiče na formiranje brzine vožnje kroz krivinu. Naime, saobraćajni pojas veće širine, u osnovi

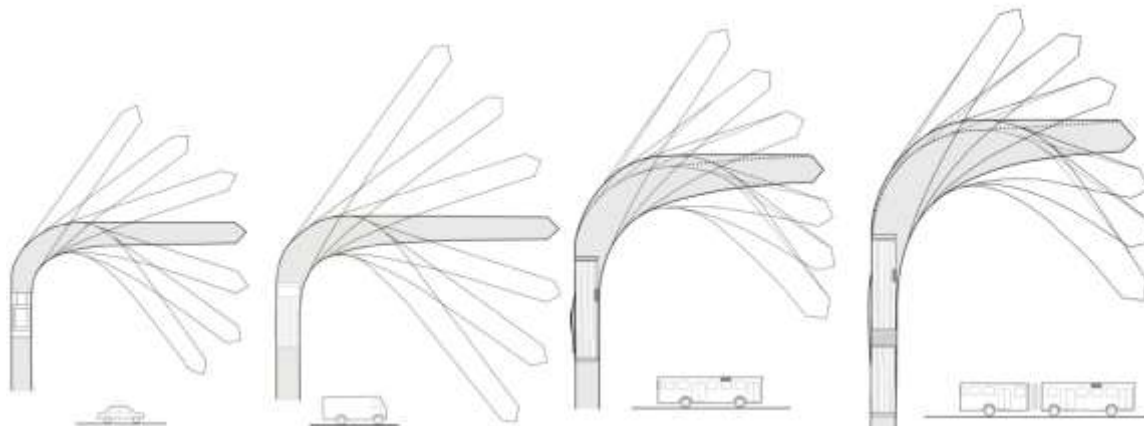
definisan za teretno vozilo, omogućava vozaču osobnog vozila da kroz krivinu putuje po liniji koja je znatno manje zakrivljena nego linija osovine kolovoza.

Za najznačajnije saobraćajnice je neophodno, da se već u okviru početnih radova na nacrtu puta izvrši kontrola vožno-dinamičkih uslova na projektovanom putu.

4.4.3.6 Specijalni oblici putnih krivina

Specijalni oblici putnih krivina se koriste na delovima puta gde je potrebno primeniti kružni luk sa vrlo malim poluprečnikom, u kojem je brzina značajno smanjena (na manje 30 km/h) i potrebno je proširenje vozne trake. Dva takva primera su krivina na raskrsnici i serpentina, koja je element osovine puta u naročito zahtevnim terenskim uslovima.

Površine, potrebne za vožnju kroz krivinu, zavise od vrste i dimenzije vozila (vidi: 4.3.3.2.2.1) i od ugla promene pravca kretanja. Za projektovanje mogu da se upotrebe ili grafički predloži iscertani u razmeri ili pak računarski program. Na grafičkim predlošcima (slika 4.2.56) su iscertane sve površine koje su potrebne za skretanje pojedinih vrsta vozila, dok računarski programi omogućavaju da se uz to iscertaju i linije kolotruga (kriva tragova).



Slika 4.2.56: Grafički predloži za površine skretanja (nije crtano u razmeri!)

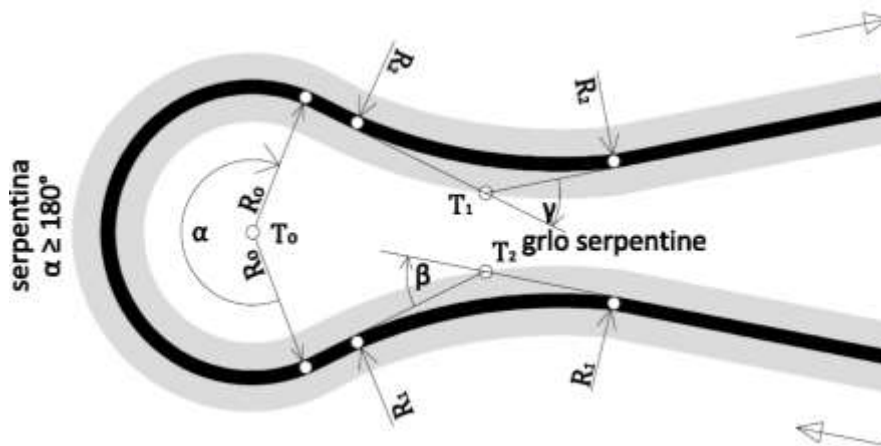
Promena pravca trase puta kod kojeg se azimut pravca menja za više od 180 stepeni predstavlja serpentinu. U posebnim terenskim uslovima (brdovit teren), kada najvećim predviđenim nagibom nivelete ne mogu da se povežu početna i završna visina, linija puta treba da se produži. Produženje može da se izvrši samo razvijanjem osovine puta po padini. Na mestu gde trasa puta menja pravac i prostire se na padini treba da se primeni

kružna krivina sa znatno manjim radijusom od $R_{min} = f(Vr)$.

Tipične sastavne delove osovine puta kroz serpentinu (slika 4.2.57) čine centralna kružna krivina (R_C), priključne kružne krivine (R_{PG} i R_{PD}) i klotoide za povezivanje krivina. Priključna kružna krivina na višoj strani nivelete (R_{PG}) je uvek zakrivljena u suprotnom pravcu od centralne krivine, a njen radijus po pravilu iznosi $R_{PG} = 2 \cdot R_C$. Priključna kružna krivina na

donjoj strane može biti zakrivljena u istom ili suprotnom pravcu od centralne krivine. Ako je zakrivljena u suprotnom pravcu, njen radijus po pravilu iznosi $R_{PD} = 2 \cdot R_C$ ili $4 \cdot R_C$. Radijus centralne kružne krivine zavisi od vrste vozila koje je odabrano kao tipično (radijus okretanja – tabela 4.2.6, pogl. 4.2.2.3.2.1), pri čemu radijus unutrašnje ivice kolovoza ne sme da

bude manji od 6,00 m. Uzimajući u obzir proširenje u oštroj krivini, radijus centralne krivine koji omogućava prolaz kamiona sa prikolicom iznosi $R_C = 15$ m, dok kod minimalne prisutnosti takvih vozila on iznosi $R_C = 10$ m.



Slika 4.2.57: Elementi osovine puta kroz serpentinu (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)

Proširenje saobraćajne trake treba da se izvede dužinom cele serpentine, a takođe i na prelaznim krivinama i kroz priključne kružne krivine.

Nagib nivelete u serpentine treba da se smanji na najviše $i_N = 4,5\%$. Preporučljivo je da se, zbog velikih sila prilikom kočenja, niveleta smanji i kroz priključnu krivinu na gornjoj strani serpentine.

S obzirom na rezultirajući nagib 10%, poprečni nagib u serpentine može da iznosi $i_{maxP} = 9\%$, što inače jeste vrednost koja je dozvoljena Pravilnikom o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju objekti i drugi elementi javnog puta (Sl. glasnik RS, 50/11).

4.4.4 PROJEKTANTSKI ELEMENTI PODUŽNOG PROFILA

4.4.4.1 Vrste elemenata nivelete

Visinski tok linije puta (niveleta) čine geometrijski elementi koji obezbeđuju neprekinutost linije i ravnomernu promenu visina duž nje. Elementi nivelete su tangente (pravac odn. nagib nivelete) i vertikalne krivine (kružna, konveksna i konkavna). Kružna krivina za zaobljenja se u vertikalnoj projekciji transformiše u oblik duple kvadratne parabole. U posebnim uslovima, za izvođenje zaobljenja

među tangentama, mogu da se primene i druge geometrijske krive, pri čemu mora da se obezbedi ravnomerna promena zakrivljenosti u podužnom smeru.

Podužni profil te linije se u osnovi po pravilu podudara sa osovinom puta ili je pak s njom paralelan. Položaj linije toka nivelete u poprečnom profilu može duž trase i da se menja (izvođenje vitoperenja po ivici kolovoza kod malih nagiba nivelete i sl.).

Sa tehničkog aspekta, veličina podužnog nagiba tangenti i veličina radijusa luka vertikalne krivine jesu vrednosti koje zavise od vozne dinamike i preglednosti na putu. Kod odabira veličine podužnog nagiba tangenti treba da se ispoštuju

- uslovi kočenja kod različitih brzina vožnje (ograničenje veličine nagiba kod većih brzina, bezbednost saobraćaja),
- vremenski uslovi (bezbednost saobraćaja),
- usklađenost s prirodnom sredinom (estetika),
- što manji obim prostornih intervencija (zaštita životne sredine i racionalnost),
- saobraćajne karakteristike planiranog puta (vrstu korisnika puta, uređenja na putu i uz put, učestalost raskrsnica u nivou, učestalost priključaka i drugo),
- trasa u području velikih objekata za premošćavanje (vijadukti, tuneli),
- troškovi korisnika kod vožnje (manji nagibi kod velikih saobraćajnih količina i obrnuto) i

- uslovi izvođenja uređaja za podužno odvodnjavanje kolovoza.

Kod odabira veličine radijusa luka vertikalne krivine treba da se ispoštuju

- uticaj vertikalne sile u vertikalnom pravcu (smanjenje sile teže)
- preglednost na putu (funkcionalnost puta i bezbednost saobraćaja),
- preticajna preglednost (propusnost puta i bezbednost saobraćaja),
- veličina radijusa susednih vertikalnih krivina (estetika, udobnost vožnje),
- usklađenost sa horizontalnim geometrijskim elementima osovine puta (bezbednost saobraćaja, estetika),
- trasiranje u području velikih objekata za premošćavanje (vijadukti, tuneli) i
- mogućnost izvođenja podužnog odvodnjavanja kolovoza.

Kod odabira veličine parametara elemenata nivelete, na putevima za velike brzine (≥ 80 km/h) se preporučuje poštovanje preglednosti koja je izračunata na osnovu projektne brzine (V_p).

Podužni nagib nivelete puta treba da se odabere tako da

- na području vitoperenja kolovoza ne bude manji od minimalno potrebnog (akvaplaning),
- u području površinskih raskrsnica ne prelazi 4% (vožnja prilikom isključivanja = rezultujući nagib ka spoljnoj ivici),
- u tunelima ne prelazi 2,5% (aerозагађење, saobraćajne nesreće, požar isl), osim u posebnim uslovima (kraća dužina tunela, ugrađena oprema, vrsta saobraćaja, klimatski uslovi), kada može da bude i do 4% i
- je na serpentinama ublažen kroz kružni luk i u području kočenja na gornjoj strani serpentine.

Kada elementima nivelete na putu ne mogu da se dostignu planirane brzine putovanja, treba da se promeni ili poprečni profil (dodatne saobraćajne trake) ili horizontalno trasiranje osovine puta (veličina elemenata) ili pak oboje.

4.4.4.2 Nagibi nivelete (tangente)

Veličina podužnih nagiba nivelete odlučujuće utiče na nastanak investicionih troškova i troškova korisnika. U zavisnosti od funkcionalnog tipa puta i merodavnog saobraćajnog opterećenja, u skladu sa uslovima terena treba da se odaberu

- blaži nagibi: veća bezbednost saobraćaja, veća saobraćajna propusnost, manji operativni troškovi vozača, ušteda energije,

manje emisije izduvnih gasova i buke, pogodni psihološki efekti na vozača ili

- veći nagibi: manji troškovi gradnje, opšta ekonomičnost investicije, manji obim intervencija u prirodni prostor, veći operativni troškovi vozača.

Ako se time suštinski ne zalazi u ekonomiku investicije, zaobljenja nivelete treba da se odaberu za projektnu brzinu vožnje (V_p) koju omogućavaju odabrani geometrijski elementi osovine puta.

Poželjno je da pojedinačni elementi nivelete budu što duži i da do promene nagiba ne dolazi prečesto. A naročito treba da se izbegavaju „testeraste“ promene (promena nagiba +, -, +) jer se time stvaraju izgubljene visine. Proračun izgubljenih visina jeste normalni sastavni deo projekta za put.

Nagib nivelete ($i_N\%$) treba da se odabere na osnovu realne procene objektivnih uslova koji proizlaze iz konfiguracije terena, saobraćajnog opterećenja, računске brzine i sredine kroz koju je put trasiran. Za projektovanje puteva se, u zavisnosti od računске brzine (V_r), koriste nagibi u granicama od minimalnog ($i_{N\min}$) do maksimalnog ($i_{N\max}$).

4.4.4.2.1 Minimalni nagib nivelete ($i_{N\min}$)

Minimalni nagib je određen da bi se obezbedilo oticanje vode sa kolovoza, preko uređaja za podužno odvodnjavanje ($_{\min}hid$) koji su izgrađeni uz ivicu kolovoza (rigoli, segmentni jarki).

Na delovima puta na kojima nema promene poprečnog nagiba kolovoza (nema vitoperenja) i na nasipima na kojima nisu predviđeni uređaji za koncentrisano oticanje vode duž ivice kolovoza (ivičnjak, izlivi u kanalete), minimalni nagib nivelete može da bude $i_{N\min} = 0,0\%$. Međutim, preporučuje se da on nikad ne bude manji od minimalnih vrednosti za oticanje vode preko tih uređaja (4.4.1.3.0). Uz poštovanje verovatnih deformacija površina uređaja za odvodnjavanje, u većini tehničkih propisa je uvedena vrednost $i_{N\min} = 0,5\%$.

Minimalni nagib nivelete u kratkim tunelima, na mostovima i vijaduktima iznosi $i_{N\min} = 0,5\%$ ako nema vitoperenja. Ako odvodnjavanje na objektima nije izvedeno preko nestandardnih sistema odvodnjavanja (često ispuštanje vode u kanalizaciju), preporučljivo je da se na takvim mestima, zbog specifičnih uslova skupljanja i oticanja vode (pored ivičnjaka), nagib nivelete poveća na $i_{N\min} = 0,7\%$.

Na delovima puta na kojima su predviđeni uređaji za odvodnjavanje uz kolovoz i na kojima se izvodi promena poprečnog nagiba sa

vitoperenjem, minimalni podužni nagib treba da se poveća najmanje za toliko da se i na području vitoperenja obezbedi isti pravac oticanja vode preko uređaja za podužno odvodnjavanje. Veličina minimalnog nagiba se određuje prema jednačini

$$i_N - i_{rv} = \min i_{hid}$$

gde je:

i_N	[%]	nagib nivelete
i_{rv}	[%]	nagib rampe vitoperenja
$\min i_{hid}$	[%]	minimalni hidraulični nagib za oticanje vode, zavisao od površinskog materijala uređaja

Minimalni nagib nivelete za dvotračne puteve pod tim uslovima kod vitoperenja oko osovine puta iznosi $\min i_N \geq 0,8\%$. Odnosno, on je veći ako uređaji za podužno odvodnjavanje nisu izvedeni sa cementno-betonskom površinom ili ako se vitoperenje izvede strmijim nagibom ($i_{rv} > \min i_{rv}$).

Minimalni nagib nivelete mora da bude veći i u sledećim slučajevima:

- kod vitoperenja oko ivice kolovoza,
- kod vitoperenja višetračnih kolovoza,
- kod vitoperenja višetračnih kolovoza oko ivice kolovoza.

Za četvorotračni autoput sa zaustavnim trakama, gde je vitoperenje izvedeno oko unutrašnje ivice kolovoza minimalni nagib nivelete iznosi $\sim 1,35\%$.

Tamo gde je nagib rampe vitoperenja za različite načine vitoperenja i za različite širine kolovoza različit, preporučljivo je da se minimalni podužni nagib nivelete na području vitoperenja izračuna odvojeno za svaki slučaj u projektu (tehnički izveštaj).

Ako minimalni podužni nagib nivelete puta iz opravdanih razloga ne može da se postigne, treba da se predvide odgovarajuće mere (odabir druge osovine vitoperenja, asfaltiranje površine sa drenažnim asfaltom, korišćene drugačijih tipova elemenata za podužno odvodnjavanje ili izvođenje krovastog odnosno dijagonalnog vitoperenja).

4.4.4.2 Maksimalni nagib nivelete ($i_{N \text{ maks}}$)

Najveći mogući nagib nivelete zavisi od vučne sile motora i krajnja granica nagiba iznosi

- za prosečno putničko vozilo 30%,
- za teško teretno vozilo 15% (vožnja u 1. brzini).

Najveći nagib nivelete može da se upotrebi samo u posebnim slučajevima (kosine navoza).

Maksimalni nagib nivelete ($i_{N \text{ maks}}$) na javnim putevima zavisi od funkcionalnog tipa puta i od vrste terena. Dozvoljene vrednosti, navedene u tabeli 4.2.32, zavise od odabrane računске brzine. Vrednosti navedene u zgradama mogu da se upotrebe samo u izuzetnim slučajevima.

Tabela 4.2.32: Maksimalne dozvoljene vrednosti nagiba nivelete ($\text{dop } i_{N \text{ maks}}$)

V_r	[km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$\text{dop } i_{N \text{ maks}}$	[%]	10	9	8	7	6	5,5	5	4,5	4	4
izuzetno	[%]	(12)	(10)	(9)	(8)	(7)	(6)				

Vrednosti navedene u tabeli 4.2.32 treba u projektima da se poštuju u vezi sa zahtevanim nivoom usluge pojedinačnog puta (saobraćajno dimenzionisanje), koje pokazuje, kada i gde treba da se uvede dodatna saobraćajna traka ili da se smanji uspon. Pri tom odlučujuću ulogu ima količina teških vozila. Usponi do 8% nemaju praktično nikakav uticaj na brzinu vožnje kod putničkih vozila. Odluka da li da se uvede dodatna traka ili da se smanji nagib treba da se zasniva na proračunu ekonomičnosti investicije.

Najznačajniji faktori kod upotrebe maksimalnog dozvoljenog nagiba nivelete jesu dužina uspona odnosno pada i količina odnosno udeo teških vozila. U slučaju dugačkih nagiba nivelete u padu, kod teških vozila se javlja velika opasnost od pregrevanja kočnica.

Zato je preporučljivo da se veličina horizontalnih geometrijskih elemenata na isteku nagiba jako poveća (za velike brzine) ili/i da se pre isteka nagiba predvidi izgradnja izlaza u slučaju opasnosti za zaustavljanje teških vozila (escape ramps). Savremeni računarski programi (npr. PIARC Road Safety Manual, 2003) omogućavaju izračunavanje verovatnoće pregrevanja kočnica i definisanje dužine na kojoj bi to moglo da se dogodi. Kod projektovanja izlaza u slučaju opasnosti za zaustavljanje teških vozila treba da se poštuju relevantna stručna uputstva.

4.4.4.3 Vertikalne krivine

Zaobljenje preloma tangenti nivelete se izvodi kružnom krivinom (R_v). Oblik krivine je dupla

kvadratna parabola koja se sa dovoljno velikom preciznošću približava obliku kruga. Dozvoljena je i upotreba kvadratne ili kubne parabole ako to nalažu prostorni uslovi (prinudno vođenje nivelete). U takvom slučaju zaobljenost ni u jednoj tački ne sme da bude manja od one koja je određena kao minimalna za kružni luk. Prema položaju središta krivine, razlikuju se

- konveksno/ispupčeno zaobljenje (razlika veličina nagiba susednih tangenti je pozitivna, centar krivine je ispod linije nivelete) i
- konkavno/udubljeno zaobljenje (razlika veličina nagiba susednih tangenti je negativna, centar krivine je iznad linije nivelete).

Prelaz sa tangente na kružni luk je po pravilu izveden bez umetnute prelazne krive. S tim da upotreba prelazne krive nije zabranjena.

Radijusi vertikalnih krivina treba da se odaberu tako da se postigne

- bezbednost saobraćaja, sa odgovarajućom dužinom zaustavne preglednosti (P_z),
- izbalansirano prostorno vođenje linije trase puta (usklađenost vertikalnih i horizontalnih elemenata i usklađenost dužina tangenti i dužina krivina),
- prilagođavanje terenu i smanjenje troškova gradnje (za saobraćajno loše iskorišćene puteve) i
- očuvanje i zaštita životne sredine (usek umesto dodatnih ograda za zaštitu od buke i sl.).

Veličina radijusa vertikalnih krivina na putevima funkcionalnog tipa DP i VP-m treba da se odabere prema projektnoj brzini (zahtevana preglednost – $P_{zp} = f(V_p)$), a za puteve VP-r i SP-r se to preporučuje.

Kod obnove, modernizacije i rekonstrukcije puteva na pojedinim mestima ne mogu da se postignu zahtevane veličine radijusa vertikalnih krivina (put opasan zidom, uređivanje priključaka i sl.). :

- na putevima visokog funkcionalnog tipa (DP, VP) to nije dozvoljeno
- za ostale puteve je to dozvoljeno, pi čemu treba da se ograniči brzina postavljanjem odgovarajuće saobraćajne signalizacije (ili generalno ili samo u uslovima mokrog kolovoza)

Radi obezbeđivanja dovoljne dužine za preticanje, radijusi vertikalnih krivina treba da se odaberu prema projektnoj brzini.

4.4.4.3.1 Minimalne vrednosti radijusa krivine

Minimalne vrednosti radijusa konveksnih vertikalnih krivina $konv\Gamma_{v\ min}$ su određene na osnovu zaustavne preglednosti na putu (tabela 4.2.24, pogl. 4.4.2.1.1.1) koja zavisi od računске brzine i izračunata je za nagib nivelete $i_N = 0$. Vrednosti su navedene u tabeli 4.2.33.

Minimalne vrednosti radijusa konkavnih vertikalnih krivina $konk\Gamma_{v\ min}$ su određene na osnovu noćne vožnje kada treba obezbediti da svetlosni snop osvetljava put ispred vozača najmanje na dužini zaustavne preglednosti. Vrednosti su navedene u tabeli 4.2.33. Zbog različitih polaznih osnova, radijusi te dve vrste krivina nisu u istom odnosu prema računskoj brzini. Kod manjih brzina ($V_r < 60$ km/h) prevlađuje uslov dužine osvetljenosti puta.

$$P_z = \sqrt{2 \cdot r_{\min\text{konk}} \cdot (h + P_z \cdot \sin\varphi)}$$

gde je:

P_z	[m]	zaustavna pregledna dužina
$r_{\min\text{konk}}$	[m]	minimalni poluprečnik konkavne krivine
h	[m]	visina farova na vozilu – normalno $h = 0,70$ m ugao osvetljenja prema
φ	[°]	tangencijalnoj ravni – normalno $\varphi = 1^\circ$

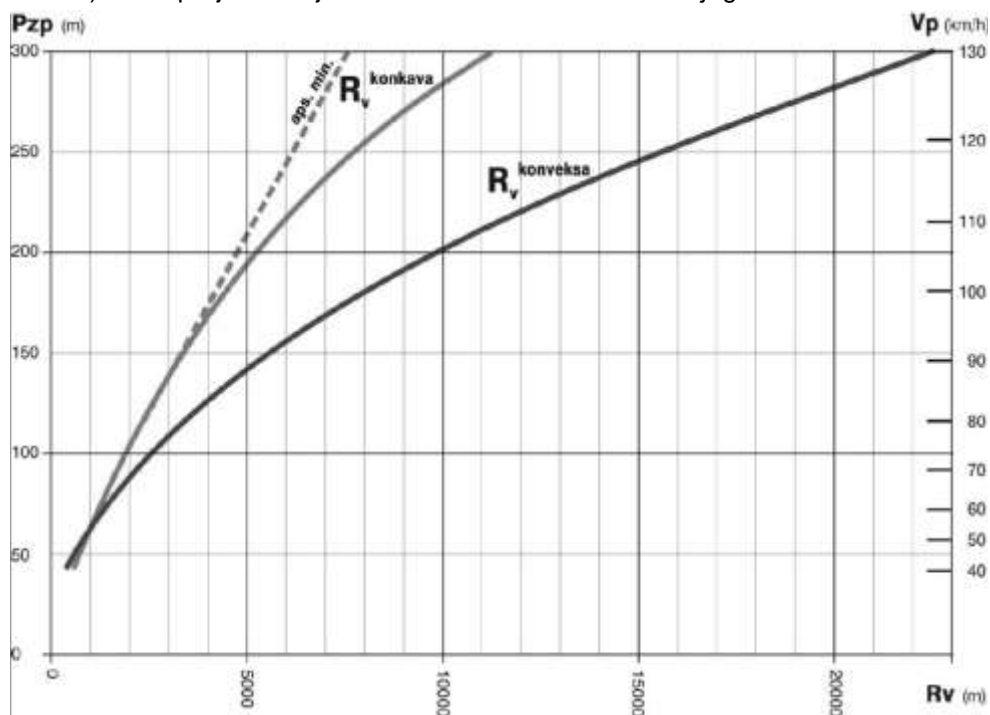
Tabela 4.2.33: Minimalne vrednosti radijusa vertikalnih krivina

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$konv\Gamma_{v\ min}$ [m]	400	800	1.250	2.000	3.500	5.500	8.000	11.500	16.500	22.500
$konk\Gamma_{v\ min}$ [m]	550	900	1.250	1.800	2.500	3.250	4.250	5.750	8.250	11.250

Minimalne vrednosti radijusa vertikalnih krivina su upotrebljive samo kod preloma tangenti sa suprotnim nagibom, gde je merodavni nagib nivelete ~ 0%. Naime, zaustavna preglednost, koja na putu treba da se obezbedi, izrazito

zavisi od podužnog nagiba nivelete, pa zato u realnim putnim uslovima treba da se zameni zahtevanom preglednošću (P_{zp}), koja zavisi od projektne brzine i nagiba nivelete (slika 4.2.46,

pogl. 4.4.2.1.1.2). Kod projektovanja treba da se očita sa dijagrama na slici 4.2.58.



Slika 4.2.58: Radijusi vertikalnih krivina u zavisnosti od zahtevane preglednosti (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)

Minimalni radijus vertikalne krivine treba da se odabere i u odnosu na očekivani vozno-dinamički efekat koji se javlja ako na putu koincidiraju vertikalna krivina i horizontalna kružna krivina. U takvom slučaju u obzir treba da se uzme efekat centrifugalne sile na vozilo u oba pravca; u poprečnom i vertikalnom pravcu. Centrifugalna sila u vertikalnom pravcu, koja je posledica vožnje po krivini, kod konveksne krivine prouzrokuje smanjenje sopstvene težine vozila, čime se smanjuje i sila trenja na kolovozu. Taj uticaj je prisutan naročito na putevima koji su projektovani za niže računске brzine, gde kod većih horizontalnih kružnih krivina može da se postigne visoka projektna brzina, dok smanjenje sile trenja prouzrokuje skliznuće sa puta.

4.4.4.3.2 Minimalne veličine radijusa konveksnih krivina za preticanje

Iz bezbednosnih razloga, radijusi konveksnih krivina na dvosmernim kolovozima treba da se izrazito povećaju kako bi se i na takvim deonicama puta omogućilo preticanje. Minimalne veličine radijusa vertikalne konveksne krivine koje bi u svim uslovima omogućavale bezbedno preticanje ne mogu da se odrede propisima jer zavise od vrste faktora uticaja, poput dužine krivine, zakrivljenosti osovine puta i projektne brzine. Zato je

potrebno da se prilikom projektovanja za svaki pojedinačni slučaj proceni da li je na predviđenoj krivini preticanje moguće ili nije (saobraćajna signalizacija).

Informativne vrednosti za minimalne veličine radijusa konveksnih krivina su date u tabeli 4.2.34. Kod određivanja vrednosti u toj tabeli je uzeta u obzir mogućnost pravovremenog zaustavljanja dva vozila koja se u istoj saobraćajnoj traci kreću jedno nasuprot drugom. Zaustavna preglednost (P_z') je (preuzeto iz tehničkih propisa Nemačke RAS-L) za svako vozilo odvojeno pri tom izračunata uz uslov da je visina prepreke (h_2) veća od 1,00 m, dok je za izračun radijusa ($z_{aust} r_{v, min}$) uzeta dužina zbir obe preglednosti ($P_{z1}' + P_{z2}'$). Veličine radijusa krivine su navedene u tabeli 4.2.34. Ako se u projektu veličine radijusa krivina ne izračunavaju, za svaki slučaj posebno, potrebno je da se iz tabele umesto računске brzine (V_r) preuzmu veličine radijusa za projektnu odnosno dozvoljenu brzinu (V_p odn. V_{doz}).

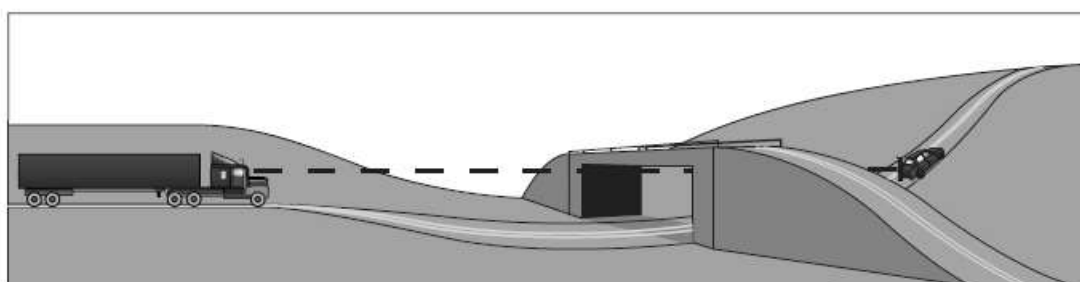
U istoj tabeli su navedene i veličine radijusa konveksnih krivina, izračunatih za preticajnu preglednost ($_{pret} r_{v, min}$). Podaci su preuzeti iz tehničkih propisa Nemačke RAS-L. Te vrednosti su informativne prirode, pošto su preticajne preglednosti kod brzina $V_i > 60$ km/h po pravilu duže od dužine krivina.

Tabela 4.2.34: Minimalne vrednosti radijusa konveksnih krivina za preticanje

V_r [km/h]	40	50	60	70	80	90	100
zaust. $r_{v \min}$ [m]	800	1.450	2.350	3.850	6.300	10.000	15.500
pret. $r_{v \min}$ [m]	-	28.200	30.000	35.000	40.000	48.000	52.000

4.4.4.3.3 Specifičnosti kod odabira veličine radijusa krivine

Kod projektovanja nivelete puta koja je trasirana ispod prepreka (npr. kroz podvožnjak), radijus konkavne krivine treba da se odabere tako da se obezbedi dovoljna preglednost:



Slika 4.2.59: Preglednost kod vožnje teretnog vozila kroz podvožnjak (izvor: Road Safety Manual, 2003)

Gornja granica za veličine radijusa vertikalnih krivina koje mogu da se upotrebe praktično i ne postoji. Pri tom kod projektovanja često problem predstavlja odvodnjavanje, koje postane kritično na krivinama između dve tangente sa suprotnim nagibima (+/-), gde se podužni nagib nivelete smanji ispod minimalne vrednosti.

Ako se taj deo krivine sa premalim podužnim nagibom, manjim od $i_{N \min}$, podudara sa područjem smanjenog poprečnog nagiba kolovoza koji je manji od $i_{P \min}$, u pitanje se dovodi izvođenje vitoperenja. U slučaju konveksne krivine voda sa površine slabo ili uopšte ne otiče, dok se kod konkavne krivine količina vode na kolovozu dodatno povećava, pa već kod kiše slabijeg intenziteta dolazi do opasnosti od nastanka akvaplaninga.

Dužina područja sa premalim podužnim nagibom D_s je definisana izrazom

$$D_s = 0,01 \cdot i_{N \min} \cdot r_i$$

gde je:

D_s [m]	područje sa premalim podužnim nagibom
$i_{N \min}$ [%]	minimalni nagib nivelete
r_{\min} [m]	radijus vertikalne krivine

- kod projektne brzine V_p i
 - za vozača teretnog vozila koji se nalazi u kabini kamiona (slika EVP-5), a oči mu se nalaze na visini od približno 2,50 m.
- Veličina upotrebljenog radijusa zavisi i od dužine prepreke pod kojom se vozi.

Takvi blagi delovi nivelete su kod veoma velikih radijusa vertikalnih krivina dugački, zbog čega može doći do ozbiljnih problema u obezbeđivanju oticanja vode preko uređaja za podužno odvodnjavanje. Na primer: kod podužnog nagiba susednih tangenti +/- 1% i $r = 25.000$ m, dužina dela puta sa $i_{P i} < i_{P \min}$ iznosi 250 m.

Sredina tog područja se nalazi na stacionaži najviše odnosno najniže tačke nivelete.

Dužina vertikalne krivine predstavlja značajan parametar kod izbora veličine krivine za pojedinačni slučaj, naročito kod malih podužnih nagiba tangenti nivelete. Preporučljivo je da svaka pojedinačna krivina sa estetskog kriterijuma bude dugačka bar $L_{kv} [m] \geq 2 \cdot V_p [km/h]$, a da sa kriterijuma udobnosti vožnje ne bude kraća od $L_{kv} [m] \geq V_p [km/h]$.

U slučaju malih preloma nivelete nije potrebno umetanje vertikalnih krivina. Granična veličina razlika nagiba susednih tangenti ($\mu_{i \max}$) u tom slučaju je $\leq 0,2\%$.

Po pravilu treba upotrebljavati veličine radijusa krivina koje su veće od minimalnih. Upotreba minimalnih veličina radijusa krivina nije ugodna za vozača i za putnike u vozilu (autobusi, zadnja sedišta!) zbog centrifugalne sile koja se

- razlika između nagiba susednih tangenti [%] $\mu_i = i_i - i_{i+1}$
- merodavni nagib tangente za određivanje P_{zp} [m] $i_m = \frac{1}{2} * (i_i - i_{i+1})$
- radijus krivine [m] r_i
- tangenta luka krivine [m] $t_i = \frac{r_i}{2} \cdot \frac{\mu_i}{100}$
- razdaljina između vrha i luka [m] $y_T = \frac{x_T^2}{2r_i}$
- udaljenost nivelete od tangente [m] $y_i = \frac{x_i^2}{2r_i}$
- razdaljina između S i KK [m] $t_i = r_i \cdot \frac{\mu_i}{100}$

Izračunate veličine pojedinih elemenata krivine se u projektu za put u potpunosti poštuju u horizontalnoj odnosno vertikalnoj projekciji (nema redukcije zbog nagiba).

4.4.4.4 Izbor radijusa uzastopnih vertikalnih krivina

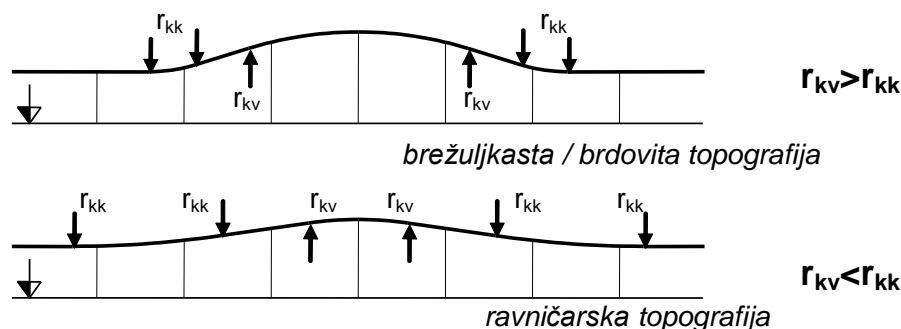
Kada su sastavljene konveksna i konkavna krivina, veličina radijusa konkavne krivine treba da iznosi najmanje 2/3 veličine susednog radijusa konveksne krivine. S obzirom na estetske zahteve, preporučuje se da radijus konkavne krivine na putevima za velike brzine ne bude manji od 1/2 radijusa susedne konveksne krivine kada je tangenta između njih znatno kraća od dužine pojedinačne krivine.

Pored veličine najmanjeg radijusa vertikalne krivine, treba da se obezbedi i njena zadovoljavajuća dužina u smislu trajanja vožnje po pojedinačnom geometrijskom elementu (5–7 sekundi vožnje). Kako sa estetskog tako i sa psihofizičkog aspekta je

veoma pogodno da dužine elemenata u redosledu krivina – tangenta – krivina budu približno jednake.

Kod vođenja nivelete preko uzbrdica, gde su vertikalne krivine upotrebljene u redosledu konkavna – konveksna – konkavna, veličine radijusa uključenih u krivinu zavise od vrste terena. Na neravnom terenu je odabir elemenata nivelete „normalan“, dok je na ravničarskom terenu primereno da radijusi konkavnih krivina budu veći od radijusa srednje konveksne krivine (slika 4.2.61).

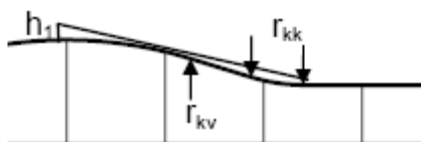
Ako je nagib spoljašnje tangente konkavne krivine različit od nagiba između konkavne i konveksne krive (konveksna krivina je između tangenti sa suprotnim nagibom), kod odabira veličine radijusa konkavne krivine na situaciono pruženoj trasi (npr. autoputa) treba paziti na optički utisak kod vožnje u smeru prema prevoju. Naime, mali radijus i dugačka umetnuta tangenta do konveksne krivine stvaraju prividan zid ispred vozača. Koliki je takav uticaj, najlakše se može proveriti vizualizacijom trase puta.



Slika 4.2.61: Sastavljanje krivina kod toka nivelete preko uzbrdica (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)

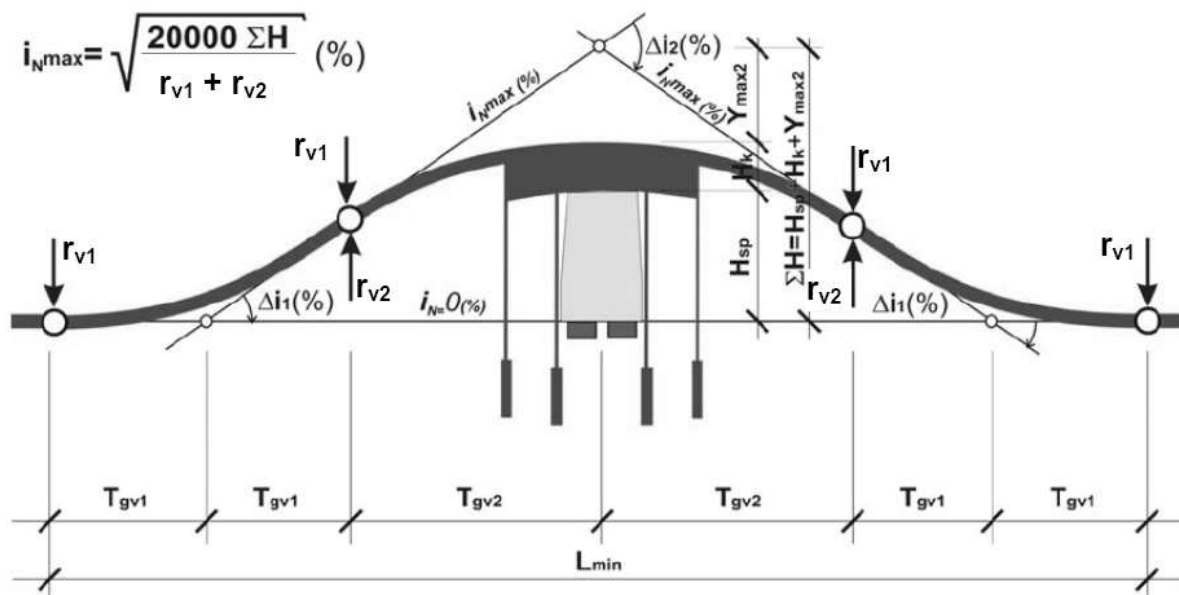
Kod odabira veličina radijusa krivina treba paziti i na „senku“ (slika 4.2.62), vozaču To se najčešće događa kada se kod izbora zahtevane preglednosti u obzir ne uzima projektna brzina.

nevidljiv umetnuti deo puta koji se stvara kad se odabere premali radijus konveksne krivine.



Slika 4.2.62: Stvaranje nevidljivog dela puta usled nepoštovanja projektne brzine (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)

Kod prelaska kopnenih komunikacija preko puta sa nadvožnjakom, tok linije nivelete komunikacije treba da se oblikuje tako da je što sličniji linijama u prirodnoj sredini kroz koju se put prostire. Ako to nije u suprotnosti sa odredbama koje se odnose na minimalne dimenzije elemenata u odnosu na računске brzine, najveći mogući nagib tangenti na obe strane prevoja može da se izračuna uz pomoć jednačine na slici 4.2.63.



Slika 4.2.63: Elementi kod trase kopnene komunikacije preko puta (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)

Da bi se obezbedila vizuelna usklađenost sa horizontalnim geometrijskim elementima osovine puta, dužina vertikalne krivine treba da se odabere tako da ona ne počinje i ne završava na području istog horizontalnog geometrijskog elementa osovine puta.

Radi obezbeđivanja bezbednosti saobraćaja (akvaplaning), nije dozvoljeno izvođenje vertikalne krivine između dve susedne, po predznaku različite tangente nivelete, kada se deo luka te krivine sa nagibom $i_{Ni} < i_{Nmin}$ (0,2%, 0,5% odnosno 0,7% na vijaduktu) u celini ili delimično podudara sa užim područjem vitoperenja kolovoza u granicama poprečnog nagiba $i_{Pi} < i_{Pmin}$.

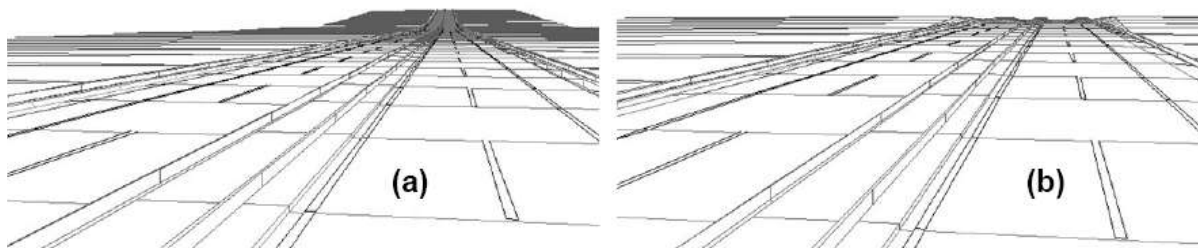
Pravilno odabrane veličine vertikalnih krivina imaju izražen estetski efekat (slika 4.2.64), a isto tako povoljno utiču na vozača (pogled na put ispred njega) i na bezbednost u saobraćaju (preticanje, nalet i sl.). To treba imati u vidu pre svega na putevima visoke kategorije (funkcionalni tip puta DP i VP), mada je preporučljivo da se koriste i na drugim putevima. Naročito onim sa učestalim raskrscima (ograničenje podužnog nagiba

na 4% na lokaciji raskrsnice). Nekoliko osnovnih uputstava za projektante:

- podužni nagibi manji od 0,8% deluju kao da su ravni i praktično su neprimetni
- podužni nagibi od 1% do 3% su prepoznatljivi i primetni
- podužni nagibi od 4% do 8% su vizuelno veoma strmi
- treba izbegavati kratke vertikalne krivine (estetika i vozna dinamika)
- upotreba minimalnih radijusa vertikalnih krivina kod male promene nagiba nivelete ($\mu_i \leq 3\%$) ima za posledicu veoma kratke segmente, a time i slabe vizuelne efekte
- vizuelno dobra rešenja se postižu upotrebom vertikalnih krivina koje su bar tri puta veće od minimalnih
- kada na ravničarskom terenu ili veoma ispruženoj trasi osovine puta u osnovi nakon veoma dugačke tangente slede konkavna i konveksna vertikalna krivina, radijus konkavne krivine mora da bude veći od radijusa konveksne krivine (sprečavanje stvaranja efekta „zida“)
- kada je tangenta između dve suprotnosmerne krivine nesrazmerno

kratka u odnosu na dužinu jedne i druge krivine, potrebno je da se ona „isključiti“ (krivine se u što većoj meri približavaju), što

doprinosi harmoničnom vođenju podužnog profila kod prelaska jedne krivine u drugu.



Slika 4.2.64: Autoput u premaloj konkavnoj (a) i konveksnoj (b) vertikalnoj krivini

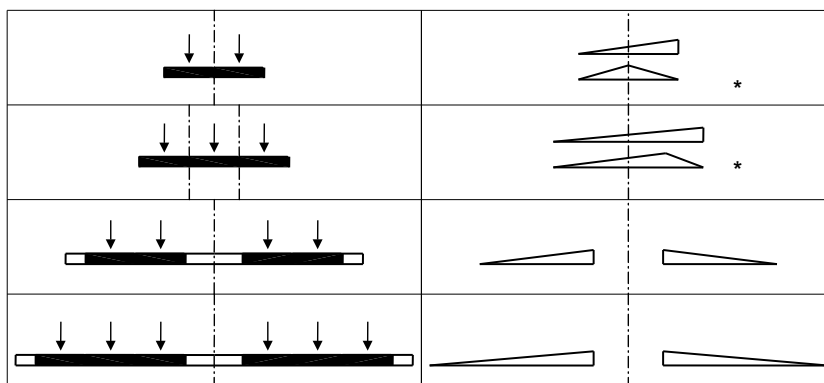
Linija toka nivelete mora u što većoj meri da bude usklađena sa oblicima terena. Klasično projektovanje, kod kojeg se u prvom koraku u podužnom profilu birao „najprimereniji“ položaj tangenti, a potom su se između njih uključuje zaobljenja, projektante često vodi ka novim i novim korekcijama toka nivelete. Međutim, savremena pomagala za projektovanje puteva omogućavaju da se umesto tangenti u prvom koraku odaberu vertikalne kružne krivine (zaobljenja) koje su najbolje usklađene sa terenom i područjima vitoperenja na osovini puta. Tangente među njima predstavljaju samo vezu između krivina, kod kojih se potom proverava veličina podužnog nagiba. Ako je on prevelik ili premali, može da se koriguje sa minimalnim izmenama veličine radijusa

vertikalne krivine, pri čemu se čuva osnovni položaj krivine.

4.4.5 PROJEKTANTSKI ELEMENTI POPREČNOG PROFILA

4.4.5.1 Vrste poprečnih nagiba kolovoza

Poprečni nagib kolovoza (i_{p_i}) u načelu mora da bude jednostran i nagnut prema unutrašnjoj strani krivine kako bi se obezbedila što veća bezbednost saobraćaja (slika 4.2.65). Međutim, u određenim slučajevima je dopušten i dvostrani, odnosno krovasti nagib.



** dopušteno pri rekonstrukciji i obnovi postojećih puteva

Slika 4.2.65: Vrste poprečnih nagiba

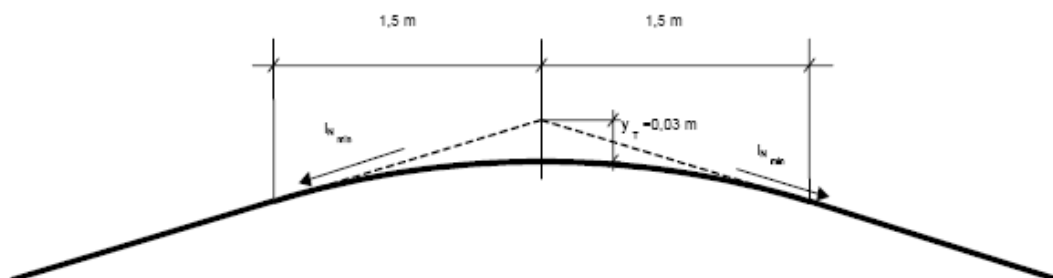
Poprečni dvostrani (krovasti) nagib je dopušten na putevima sa više traka, a pre svega na putevima sa prema smeru odvojenim kolovozima (autoputevi) u kružnim krivinama sa poluprečnikom $R_i \geq R'$. Poluprečnici R' za pojedine brzine vožnje su navedeni u tabeli

E4.2.28, pogl. 4.4.3.3.1. U takvom slučaju sve saobraćajne trake za isti smer vožnje moraju da imaju isti poprečni nagib. Kod puteva visokog funkcionalnog tipa se ne preporučuje upotreba negativnog poprečnog nagiba na

deonicama na kojima je nagib nivelete veći od 3%.

Za dvotračne puteve je izuzetno dopušten dvostrani (krovni) nagib pri izvođenju zahtevne obnove puteva na kojima već postoji krovni nagib. U takvom slučaju vrh preloma nagiba (krova) treba da se zaobli tako da se za vožnju

iz jedne u drugu traku (kod preticanja) dobije odgovarajuće vertikalno zaokruženje. Ako projektom to nije određeno drugačije, zaokruženje treba da se izvede na širini 3,0 m (na svakoj strani po 1,5 m) i sa bisektrisom u temenoj tački 0,03 m (slika 4.2.66).



Slika 4.2.66: Zaokruženje krovastog nagiba kolovoza

Poprečni nagib svih dodatnih traka na kolovozu (dodatne saobraćajne trake i utvrđene sporedne trake) mora da bude isti kao na osnovnoj saobraćajnoj traci. Izuzetak čine trake za usporavanje (izlivanje) i ubrzavanje (ulivanje), čiji poprečni nagib treba da bude usklađen sa njihovim horizontalnim elementom. Pri tom razlika između nagiba kolovoza i dodatne trake na mestu odvajanja, odnosno priključenja (na kraju utvrđene površine) ne sme da prelazi 5%. Pri izvođenju vitoperenja na dodatnoj traci mora da se ispoštuje kvalitetno uzdužno odvodnjavanje.

4.4.5.2 Granične vrednosti poprečnih nagiba kolovoza

Da bi se obezbedilo kvalitetno oticanje vode sa površine kolovoza, kolovoz mora da se izvede bar sa minimalnim poprečnim nagibom ($i_{P \min}$). Odstupanje od tog minimuma je dozvoljeno samo u području promene poprečnog nagiba između horizontalnih kružnih krivina suprotnog smera (vitoperenje) i u području površinskih raskrsnica.

Prema kvalitetu, odnosno vrsti materijala za habajući sloj kolovoza, minimalni poprečni nagib iznosi:

- na asfaltnim kolovozima
 $i_{P \min} = 2,5\%$
- na cementno-betonskim kolovozima
 $i_{P \min} = 2,0\%$
- na makadamskim kolovozima
 $i_{P \min} = 4,0\%$

Da bi se u slučaju smanjenog koeficijenta kliznog trenja (poledica i sl.) sprečilo klizanje u poprečnom smeru, određen je maksimalni

dozvoljeni poprečni nagib ($i_{P \max}$) u kružnim krivinama

- na otvorenim putevima
 $i_{P \max} = 7,0\%$ (izuz. 8,0%)
- na priključcima i na putevima PP, SP-I
 $i_{P \max} = 5,0\%$ (normalno)
- na serpentinama
 $i_{P \max} = 9,0\%$

Poprečni nagib $i_{P \max} = 8,0\%$ sme da se koristi samo pri obnovi i rekonstrukciji puteva radi poboljšanja vozno-dinamičkih uslova na kolovozu ukoliko zbog prostornih ili pak tehničkih ograničenja (uticaj na veličinu susednih krivina i na dužinu prelazne krive) poluprečnik problematične kružne krivine ne može da se poveća.

Maksimalni poprečni nagib $i_{P \max} = 5,0\%$ se primenjuje na putevima koji su saobraćajno manje zahtevni, kada njihova trasa prolazi pored ili kroz naselje i kada bi zbog upotrebe većeg poprečnog nagiba došlo do neusklađenosti u iskorišćenosti prostora uz put (visinski položaj urbanizovanih površina uzduž puta, priključci, raskrsnice).

Pri izvođenju kolovoza sa negativnim poprečnim nagibom (nagib od centra krivine prema spoljašnjoj ivici), može da se primeni samo poprečni nagib $i_{P \text{ kont}} = - (i_{P \min})$.

Pri upotrebi maksimalnog poprečnog nagiba $i_{P \max}$ na putevima sa velikim podužnim nagibom (za $i_N > 7,15\%$, na putevima funkcionalnog tipa DP preporučuje se za $i_N > 4,00\%$) treba da se ispoštuje rezultujući nagib kolovoza i da se prema veličini podužnog nagiba upotrebi srazmerno manji poprečni nagib ($i_{P i} < i_{P \max}$) u kružnim krivinama na tim odsecima.

4.4.5.3 Poprečni nagib u krivinama

U odnosu na granične vrednosti poprečnog nagiba kolovoza, postoje tri karakteristične vrednosti poluprečnika horizontalnih kružnih krivina koje su navedene u tabeli 4.2.28, u poglavlju 4.4.3.2.1, i to

- za $i_{P \max}$ → R_{\min} (minimalni poluprečnik kružne krivine sa nagibom $i_{P \max}$),
- za $i_{P \min}$ → R_g (najmanji poluprečni kružne krivine s nagibom $i_{P \min}$) i
- za $i_{P \text{ kont}}$ → R' (najmanji poluprečni kružne krivine s kontranagibom $i_{P \min}$).

Za međuveličine poluprečnika kružnih krivina $R_{\min} < R_i < R_g$ poprečni nagib se menja od $i_{P \max}$ do $i_{P \min}$, tako da se kod jedinične centrifugalne sile, koja zavisi od brzine, udeo iskorišćenosti koeficijenta trenja u poprečnom smeru (f_R) sa povećanjem poluprečnika kružnih krivina smanjuje, dok se udeo veličine poprečnog nagiba relativno povećava. Time su ispoštovani realni odnosi sa stanovišta brzine kroz kružne krivine, koje su veće od minimalnih. Promena poprečnog nagiba je data izrazom

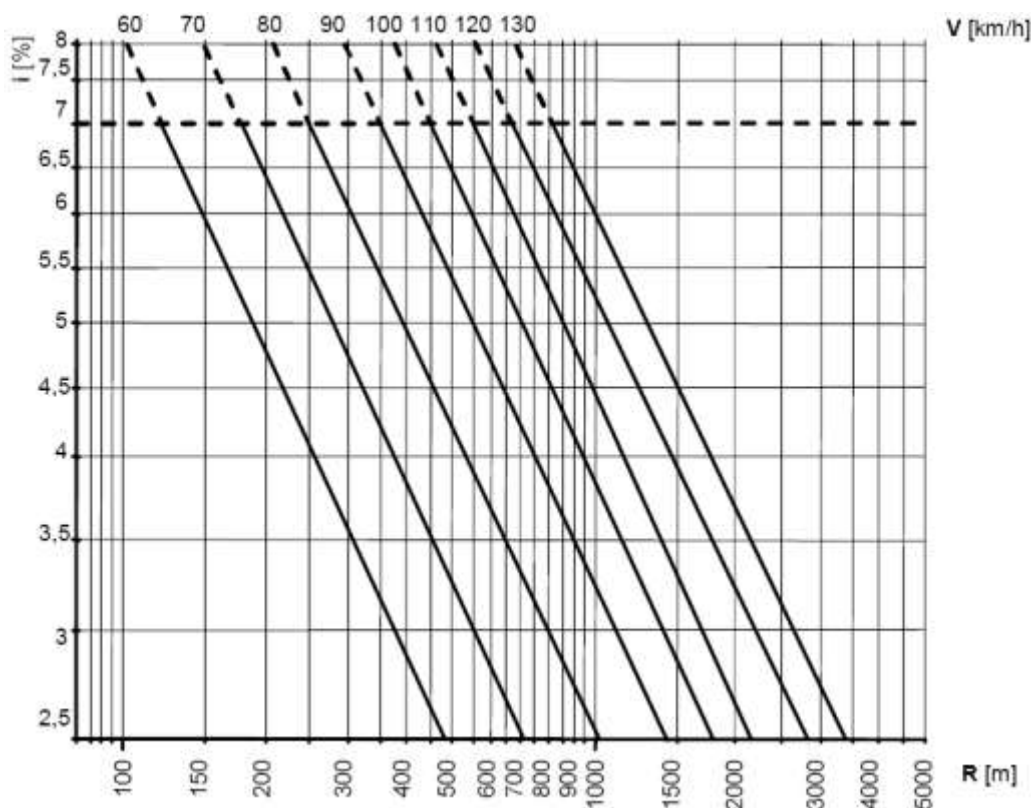
$$i_{pi} = 7 \cdot \left(\frac{R_{\min}(V_i)}{R_i} \right)^{0,74}$$

gde je:

i_{pi}	[%]	poprečni nagib u kružnoj krivini sa R_i
R_{\min}	[m]	minimalni poluprečnik kružne krivine
V_i	[km/h]	brzina u kružnoj krivini R_i
R_i	[m]	poluprečnik kružne krivine R_i

Za vrednosti $R_i > R_g$ je poprečni nagib konstantan $i_{P \min}$ da bi se očuvala sposobnost oticanja vode sa površine kolovoza.

Na slici 4.2.67 je grafički prikazana međusobna zavisnost brzine vožnje, poluprečnika kružne krivine i poprečnog nagiba (grafikon $V - R - i$). Za praktičnu primenu je dovoljno precizno ako se za pojedinačnu brzinu vožnje i poluprečnik kružne krivine poprečni nagib očitava i zaokružuje na 0,5% nagore. Vrednosti poluprečnika kružne krivine ($R_{\min} < R_i < R_g$) za pojedinačne brzine vožnje (V_i) su za na 0,5% zaokružene vrednosti poprečnog nagiba (i_i), u rasponu od 2 do 8%, date u tabeli 4.2.35.



Slika 4.2.67: Dijagram međuzavisnosti brzine, poluprečnika krivine i poprečnog nagiba

Tabela 4.2.35: Vrednosti R_i za V_i i za na 0,5% zaokružene vrednosti poprečnog nagiba i_i

i_{max}	V_{Ri}									
	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
	R_i									
8 %	38	63	100	146	209	292	376	459	564	668
7,5 %	41	68	109	159	228	319	410	501	615	729
7 %	45	75	120	175	250	350	450	550	675	800
6,5 %	50	83	133	193	276	387	497	608	746	884
6 %	55	92	148	216	308	431	554	677	831	985
5,5 %	62	104	166	242	346	485	623	762	935	1108
5 %	71	118	189	276	394	551	709	867	1064	1261
4,5 %	82	136	218	318	454	636	818	999	1226	1453
4 %	96	160	256	373	533	746	959	1172	1438	1704
3,5 %	115	191	306	447	638	893	1148	1403	1722	2041
3 %	141	236	377	550	786	1100	1414	1728	2121	2514
2,5 %	181	302	482	704	1005	1407	1809	2211	2714	3216
2 %	245	408	652	951	1359	1902	2446	2989	3669	4348

4.4.5.4 Promena nagiba kolovoza – vitoperenje

4.4.5.4.1 Opšta pravila

Promena poprečnog nagiba po pravilu treba da se u celosti izvede na čitavoj dužinom prelazne krivine. Pri tome promene poprečnog nagiba se razlikuju:

- između dva poprečna nagiba u istom smeru i
- između dva poprečna nagiba u suprotnim smerovima (vitoperenje).

Promena poprečnog nagiba mora da bude linearna. Prelomi jedne ili više umetnutih prelaznih tangenti (NRV – nagib rampe vitoperenja) i visinskih linija kolovoza, koji prelaze 1%, moraju da se izvedu sa vertikalnim zaobljenjem, sa poluprečnikom $r_v \geq 2 \cdot 5 / i_v$.

Područje promene poprečnog nagiba između poprečnih nagiba suprotnih smerova, koje je ograničeno vrednostima poprečnog nagiba $\pm i_p$, predstavlja područje vitoperenja. Ako iz stručnih razloga (npr. kod nesrazmernih vrednosti susjednih kružnih krivina R_i i R_{i+1} , kad je $R_{i+1} > R_g$) u projektu to nije određeno drugačije, poprečni nagib kolovoza $q = 0\%$ mora da se nalazi na prevojnoj tački klotoide ili u njenoj blizini.

Promena poprečnog nagiba kolovoza treba da se izvede tako da se ni na jednom delu kolovoza ne zadržava voda (akvaplaning) i da pri tome ne dođe do promene predznaka podužnog nagiba (princip „testere“) bilo koje podužne linije na kolovozu. Podužni nagib ivica kolovoza ne sme da bude manji od $\min i_{iv}$ da bi

se obezbedila mogućnost uređenja odgovarajućih uređaja za podužno odvodnjavanje kolovoza. Taj drugi uslov ne važi za deonice puta sa slobodnim oticanjem vode na kosine nasipa ili u jarak uz ivicu puta koji je izveden sopstvenim podužnim nagibom.

Na putevima na kojima upotreba prelazne krive u obliku klotoide nije obavezna (dovoljno veliki R_i), jedna polovina dužine promene poprečnog nagiba treba da se izvede na jednom, a druga polovina dužine na drugom od dve susedne kružne krivine.

4.4.5.4.2 Izbor osovine vitoperenja

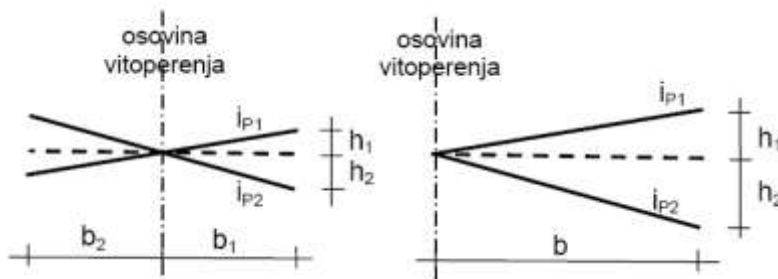
Osovina vitoperenja po pravilu treba da se izabere na osovini puta, jer su tada visinske razlike kod izvođenja vitoperenja najmanje (blaži nagibi, manji obim zemljanih radova). Kod malih nagiba nivelete, kada kod vitoperenja oko osovine puta podužni nagib ivice kolovoza nije dovoljan za oticanje vode preko uređaja za podužno odvodnjavanje kolovoza ili čak prouzrokuje promenu smera nagiba („testera“), osovina vitoperenja treba da se odabere na jednoj od podužnih linija u profilu puta, obično na spoljašnjoj ivici kolovoza (slika 4.2.68). Treba da se kao osovina vitoperenja odabere ona ivica, koja pri vitoperenju oko osovine puta dobija bilo premali ili čak suprotno usmeren nagib (čuva se osnovni nagib nivelete puta). Kod veoma blage nivelete ($i_{iv} < \min i_{iv}$) ne može da se izvede vitoperenje koje bi u celini ispunilo postavljene zahteve i uslove.

Vitoperenje na putevima sa dva kolovoza (autoputevi) se iz opravdanih razloga vrši oko

unutrašnje ivice svakog od tih kolovoza. Kod malih podužnih nagiba nivelete ($i_N < 1\%$), iz istih razloga koji su prethodno pomenuti, osovina vitoperenja treba da se izabere na jednoj od podužnih linija u profilu puta, najčešće uz spoljašnju ivicu kolovoza (uz uređaj za podužno odvodnjavanje). Pri tom je kod vitoperenja po pravilu uvek problematičan samo jedan od dva kolovoza. Kod malih nagiba nivelete, naročito na autoputevima, je izuzetno teško da se ispuni uslov koji se

odnosi na nagib za odvodnjavanje kolovoza. Zato je preporučljivo da se već projektovanja trase na lokacijama vitoperenja predvidi zadovoljavajući nagib nivelete ($i_N \geq 1,35\%$).

Ako se položaj osovine vitoperenja u poprečnom profilu promeni, prvo treba da se izvrši „preskok nivelete“ (slika 4.2.42, pogl. 4.4.1.4.3), koji treba da započne i da se završi u području trase sa konstantnim poprečnim nagibom.



Slika 4.2.68: Osovina vitoperenja u poprečnom profilu kolovoza

4.4.5.4.3 Granične vrednosti nagiba rampe vitoperenja (i_{rv})

Pri izvođenju vitoperenja u obzir treba uzeti tri osnovna parametra, i to:

- dužinu prelazne krive (LA),
- razliku između visinskih kota ivice kolovoza na početku i na kraju prelazne krive ($h_1 + h_2$) i
- granične vrednosti relativnog podužnog nagiba ivice kolovoza ($min i_{rv}$ in $max i_{rv}$).

pri čemu h_1 i h_2 zavise od širine krila vitoperenja (b_i) (odstojanje ivice kolovoza od osovine vitoperenja) i od poprečnih nagiba kolovoza u susednim kružnim krivinama (i_{Pi}). Ako postoje dva krila vitoperenja (slika 4.2.68), za definisanje se bira veće ($h_i = b_i \cdot 0,01 \cdot i_{Pi}$).

Relativni podužni nagib ivice kolovoza (RPN) se na području promene poprečnog nagiba kolovoza razlikuje od podužnog nagiba nivelete za vrednost dobijenu izrazom

$$i_{rv} = b_v \cdot (i_{Pk} - i_{Pp}) / L_{rv}$$

gde je:

i_{rv}	[%]	relativni podužni nagib ivice kolovoza (RPN)
i_{Pk}	[%]	poprečni nagib kolovoza na kraju područja vitoperenja
i_{Pp}	[%]	poprečni nagib kolovoza na kraju područja vitoperenja
b_v	[m]	širina krila vitoperenja
L_{rv}	[m]	dužina područja vitoperenja _i

4.4.5.4.3.1 Maksimalni relativni podužni nagib ivice kolovoza (maks. RPN)

Maksimalni relativni podužni nagib ivice kolovoza ($max i_{rv}$) je definisan na osnovu vrednosti promene poprečnog nagiba vozila u zavisnosti od brzine (torziona brzina u %/s), a vrednosti su navedene u tabeli 4.2.36. Kod kolovoza sa više saobraćajnih traka, $max i_{rv}$ iz tabele 4.2.36 treba da se pomnoži sa brojem saobraćajnih traka koje se nalaze na krilu vitoperenja.

Tabela 4.2.36: Maksimalni relativni podužni nagib ivice kolovoza (maks. NIK)

V_r	[km/h]	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$max i_{rv}$	[%]	1,5			1,0		0,9				

Maksimalni RPN je normirana vrednost kojom se proverava zadovoljavajuća dužina uključene prelazne krivine (dužina prelazne krivine – K-kriterijum, pogl. 4.4.3.4.1.2). Ako je normirana vrednost prekoračena, između dve susedne krivine treba da se umetne duža prelazna krivina. Naročito treba paziti pri projektovanju puteva na kojima su pretežno upotrebljeni poluprečnici kružnih krivina koji su po veličini blizu R_{min} .

4.4.5.4.3.2 Minimalni relativni podužni nagib ivice kolovoza (min. NRV)

Kod dugih prelaznih kriva je promena poprečnog nagiba kolovoza relativno blaga. Pre i iza prevojne tačke klotoide (zona infleksije), gde su poprečni nagibi kolovoza manji od minimalnog ($i_{Pi} < i_{P_{min}}$), postoji zona na kojoj je rezultujući nagib kolovoza suviše mali za normalno oticanje vode sa kolovoza. Ta zona, koja se naziva i uže područje vitoperenja, trebalo bi da bude što kraća iz saobraćajno-bezbednosnih razloga. Zato su vrednosti graničnih poprečnih nagiba i minimalni podužni nagib ivice kolovoza propisani.

Granični poprečni nagibi tog područja (na početku i na kraju područja) se nazivaju „kritični“ ($min.kritiP$), a propisana vrednost je

- pri promeni poprečnog nagiba oko osovine kolovoza $min.kritiP = 2,5\%$ i
- pri promeni poprečnog nagiba oko ivice kolovoza $min.kritiP = 1,5\%$.

Minimalni relativni podužni nagib ivice kolovoza (min. RPN) je propisana vrednost i iznosi

- pri promeni poprečnog nagiba oko osovine kolovoza $minirv = 0,2\%$,
- a pri promeni poprečnog nagiba oko ivice kolovoza $minirv = 0,4\%$.

Dužina užeg područja vitoperenja, na kojem je rezultujući nagib kolovoza suviše mali, iznosi prema propisanim vrednostima

- pri vitoperenju kolovoza oko osovine kolovoza $Lov = 45,0$ m po 22,5 m na svaku stranu od prevojne tačke klotoide i
- pri vitoperenju oko ivice kolovoza $Lov = 23,0$ m po 11,5 m na svaku stranu od prevojne tačke klotoide.

Zona sa premalim rezultujućim nagibom kolovoza se nalazi i na razdaljini između poprečnog nagiba $min.kritiP = 1,5\%$ i $i_{P_{min}} = 2,5\%$. Ta dodatna dužina zavisi od dužine prelazne krive, a takođe i od širine kolovoza i poprečnog nagiba u kružnoj krivini koju prelazna kriva povezuje sa susednom krivinom. Kod daljinskih puteva (autoputeva) su poluprečnici krivina (po pravilu) veoma veliki i može da se desi da se voda, uz primenu

$min.kritiP = 1,5\%$, zadržava na celoj dužini prelazne krive. Radi kvalitetnog odvodnjavanja i uzimanjem u obzir neujednačenosti izgrađenog kolovoza, preporučuje se da se kao kritični granični poprečni nagib ($min.kritiP$) u svim slučajevima primenjuje $minIP = 2,5\%$.

U većini stranih tehničkih propisa se kao $min.kritiP$ određuje nagib $i_P = 2,5\%$, dok se i_{rv} određuje u zavisnosti od širine krila vitoperenja i koeficijenta intenziteta vitoperenja (k_v) prema jednačini

$$min i_{rv} = k_v \cdot b_v$$

gde je:

$min i_{rv}$ [%]	minimalni relativni podužni nagib ivice kolovoza
k_v [%/m]	koeficijent intenziteta vitoperenja
b_v [m]	širina krila vitoperenja

Prema nemačkom propisu RAS-L, koeficijent intenziteta vitoperenja iznosi 0,1 %/m. Kod ravničarskih autoputeva, za koje su karakteristične velike dimenzije elemenata, povoljni vozno-dinamički uslovi, estetski izgled i sprečavanje pojave „testere“ postizu se ublažavanjem promene poprečnog nagiba. Iako se dužina sa premalim rezultujućim nagibom kolovoza za odvodnjavanje sa tim jako produžava, u takvim slučajevima je preporučljivo da se vitoperenje izvede sa stepenom intenziteta vitoperenja „k“ 0,03, odnosno najviše do 0,06 [%/m], i da se za odvodnjavanje kolovoza upotrebe specijalne mere (drenažni asfalt, brazdanje), kojima može da se spreči pojava akvaplaninga.

4.4.5.4.4 Uslovi i način za izvođenje promene poprečnog nagiba

Osnovni uslovi za izvođenje promene poprečnog nagiba su navedeni na početku ovog poglavlja. Međutim, dodatni uslov jeste da veličina relativnog podužnog nagiba ivice kolovoza (RPN) kod promene poprečnog nagiba mora da bude

- između poprečnih nagiba kolovoza istog smera u granicama $i_{rv} \leq max i_{rv}$,
- a između poprečnih nagiba suprotnog smera u granicama $min i_{rv} \leq i_{rv} \leq max i_{rv}$.

Na osnovu tog dodatnog uslova, promena poprečnog nagiba kolovoza se izvodi na četiri različita načina:

- sa linearnom promenom poprečnog nagiba sa i_{Pi} na i_{Pi+1} (jednostepeno)
- sa promenom poprečnog nagiba sa (i_{Pi}) na ($- i_{Pi+1}$) vitoperenjem (jednostepeno ili dvostepeno)
- sa preskokom osovine vitoperenja u prevojnoj tački klotoide (kolenasto)

(d) sa krovastom promenom smera poprečnog nagiba kolovoza (dijagonalno)

Kod prva dva načina (a i b), osovina vitoperenja može da bude bilo gde u poprečnom preseku kolovoza, dok u posebnim slučajevima ona može biti čak i izvan njega. Osovina vitoperenja se obično nalazi na osovini puta ili na jednoj od ivica kolovoza.

U trećem slučaju (c), osovina vitoperenja koja se u pojedinačnoj krivini prostire po unutrašnjoj ivici kolovoza, u prevojnoj tački klotoide (kolenasto) preskače na drugu ivicu kolovoza.

U četvrtom slučaju (d), osovina vitoperenja se nalazi na osovini puta, osim na području oko prevojne tačke klotoide, čijeg dužina je zavisna od računске brzine, gde se prostire diagonalno između viših tačaka poprečnog nagiba u obe susedne kružne krivine.

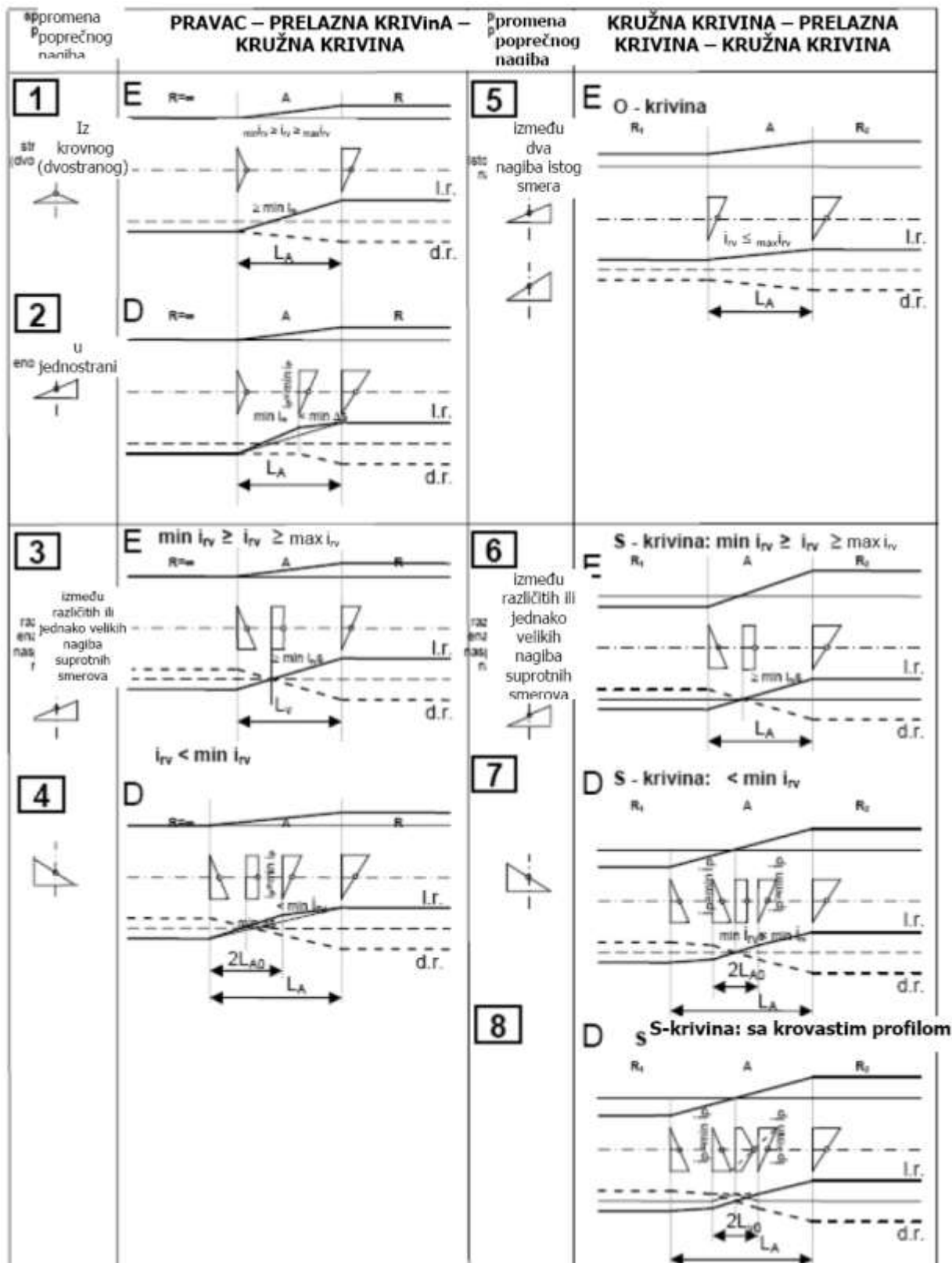
Načini (c) i (d) se na daljinskim putevima mogu primenjivati samo u izuzetnim slučajevima.

Načini izvođenja promene poprečnog nagiba kolovoza su, za elemente osovine puta u sastavu „kružna krivina – kružna krivina“ i u

sastavima „pravac – prelazna krivina – kružna krivina“ i „kružna krivina – prelazna krivina – kružna krivina“, prikazani na slici 4.2.69.

4.4.5.4.4.1 Promena kod nagiba istog smera

Promena poprečnog nagiba kolovoza između dve kružne krivine ili između prave linije i kružne krivine sa nagibima kolovoza istog smera je potrebna kod redosleda geometrijskih elemenata osovine puta u obliku O- i C-krivine, kao i kod kombinacija ta dva redosleda. Vrednost relativnog podužnog nagiba ivice kolovoza (i_{rv}), koji nastaje pri promeni poprečnog nagiba kolovoza sa i_{p_i} na $i_{p_{i+1}}$, ne sme da bude veća od maksimalne ($i_{rv} \leq \max i_{rv}$). Ako je maksimalna vrednost prekoračena, krivine treba da se razmaknu i da se umetne dalja prelazna krivina. Promena poprečnog nagiba kolovoza može da se izvede ili oko osovine puta ili bilo koje druge podužne linije puta, obično oko ivice kolovoza. Na slici 4.2.69 je za te svrhe nacrtana šema pod brojem 5 (jednostepeno).



Slika 4.2.69: Tipiski načini promene poprečnog nagiba kolovoza

4.4.5.4.4.2 Promena kod nagiba suprotnog mera

Promena poprečnog nagiba kolovoza između dve kružne krivine sa nagibima kolovoza suprotnog smera je potrebna kod redosleda geometrijskih elemenata osovine puta „pravac – prelazna krivina – kružna krivina“, u obliku S-krivine i kod kombinacija ta dva redosleda. Granični uslov koji utiče na izbor načina izvođenja te promene je relativni podužni nagib ivice kolovoza (RPN).

Kod redosleda „pravac – prelazna krivina – kružna krivina“, promena poprečnog nagiba u svim slučajevima se u celini izvodi (samo) na dužini prelazne krive. Kada je kolovoz u pravcu u krovastom nagibu prvo treba da se izvede promena krovastog nagiba u jednostrani (jedna polovina krovastog kolovoza ili jednog od dva kolovoza na autoputu), da se izjednači sa nagibom druge polovine kolovoza (ili jednog od dva kolovoza AP) koji iznosi $\min i_{Pi} = 2,5\%$.

U zavisnosti od graničnih vrednosti RPN (i_{rv}), važi da se

- prelaz iz krovnog u jednostrani nagib u krivini (slika 4.2.69, šema 1), pri uslovu $\min i_{rv} \leq i_{rv} \leq \max i_{rv}$, u celini izvodi linearno na dužini prelazne krive (jednostepeno),
- kod prelaza iz krovnog u jednostrani nagib u krivini (slika 4.2.69, šema 2), pri uslovu $i_{rv} \leq \min i_{rv}$, prvo izvodi vitoperenje, dok se preostala visinska razlika do ivice kolovoza u kružnoj krivini povezuje linearno (dvostepeno),
- prelaz iz jednostranog nagiba u ravnoj liniji u jednostrani nagib suprotnog smera u krivini (slika 4.2.69, šema 3), pri uslovu $\min i_{rv}$

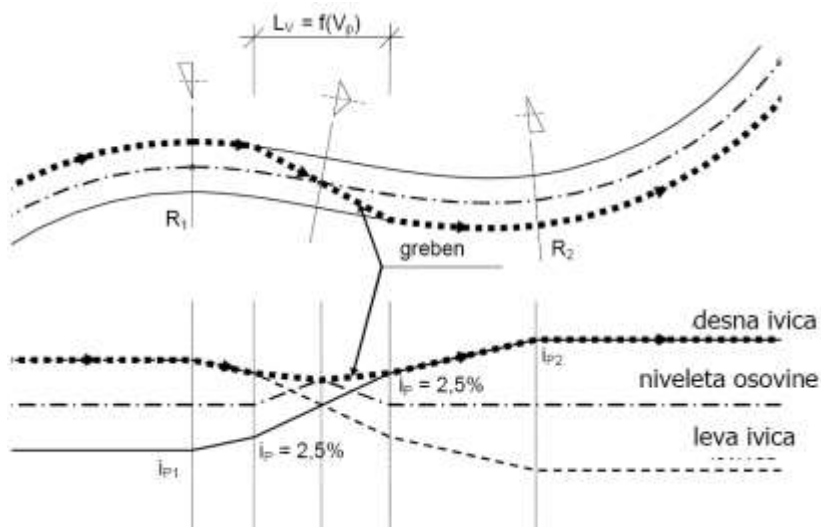
$\leq i_{rv} \leq \max i_{rv}$, u celini izvodi na dužini prelazne krive (jednostepeno),

- pri prelazu iz jednostranog nagiba u ravnoj liniji u jednostrani nagib suprotnog smera u krivini (slika 4.2.69, šema 4), pri uslovu $i_{rv} \leq \min i_{rv}$, prvo izvodi vitoperenje, dok se preostala visinska razlika do ivice kolovoza u kružnoj krivini povezuje linearno (dvostepeno).

Kod redosleda geometrijskih elemenata osovine puta u obliku S-krivine, promena poprečnog nagiba se u celini izvodi na dužini klotoide koja povezuje susedne kružne krivine. U zavisnosti od graničnih veličina RPN (i_{rv}), važi da se:

- prelaz između dva jednostrana nagiba suprotnih smerova (slika 4.2.69, šema 6), pri uslovu $\min i_{rv} \leq i_{rv} \leq \max i_{rv}$, u celini izvodi linearno na dužini prelazne krive (jednostepeno),
- pri prelazu između dva jednostrana nagiba suprotnih smerova (slika 4.2.69, šema 7), pri uslovu $i_{rv} \leq \min i_{rv}$, prvo izvodi vitoperenje, dok se preostala visinska razlika do ivice kolovoza u priključenim kružnim krivinama povezuje linearno (dvostepeno).

Kod veoma blagih nagiba nivelete ($i_{rv} < i_{Nmin}$), u slučaju promene poprečnog nagiba kolovoza vitoperenjem, po pravilu dolazi do stvaranja neestetskog izgleda linije ivice kolovoza („lepeza“) i pojave „testere“. Da bi se takvo rešenje izbeglo, promena poprečnog nagiba može da se izvede sa diagonalnom osovinom vitoperenja i primenom krovastog profila na određenoj dužini (slika 4.2.69, šema 8).



Slika 4.2.70: Promena poprečnog nagiba kolovoza sa krovastim profilom

Prelazni deo kolovoza na području između $\pm \text{min}i_p = 2,5\%$ (L_k) može da se izvede krovnim profilom, kod kojeg se teme dijagonalno pomera sa jedne više ivice kolovoza do druge (slika 4.2.70). Zona sa krovnim profilom kolovoza treba u temenu da se zaobli (slika 4.2.66). Dužina prelaznog dela zavisi od projektne brzine (V_p) i širine kolovoza (B_v) i u nekim stranim tehničkim propisima (npr. RAS-L) je data izrazom

$$L_k = 0,1 \cdot B_v \cdot V_p$$

gde je:

L_k	[m]	dužina područja krovastog nagiba (između $\pm \text{min}i_p=2,5\%$)
0,1	[h/km]	intenzitet bočnog pomeranja temena krovnog profila
B_v	[m]	koeficijent intenziteta vitoperenja
V_p	[km/h]	računska brzina

Minimalne dužine područja sa krovastim nagibom su navedene u tabeli 4.2.37 (izvor: Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju objekti i drugi elementi javnog puta (Sl. glasnik RS, 50/11)).

Tabela 4.2.37: Minimalne dužine područja sa krovastim nagibom kod promene poprečnog nagiba

V_p	[km/h]	50	60	70	80	90	90	100	110	120	130
L_k	[%]	-	40	50	60	70	80*	100	125	135	150

(*) važi za kolovoze sa više saobraćajnih traka

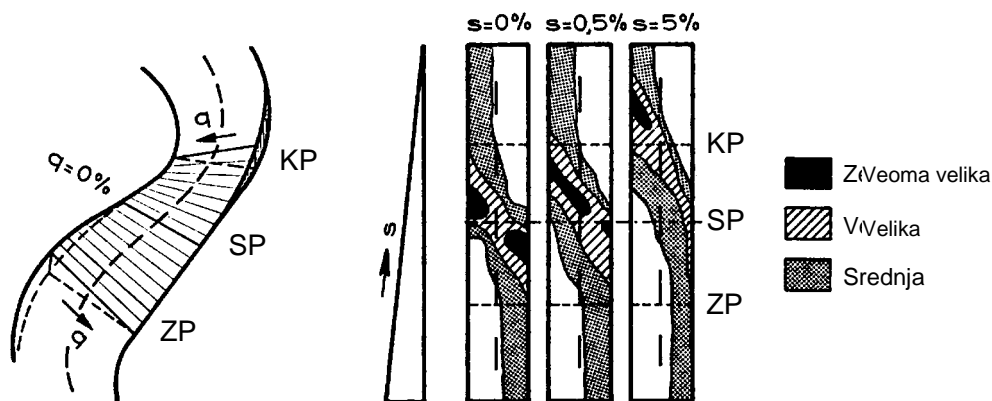
Zbog nejedinstvenog nagiba saobraćajnih traka unutar područja koje je uređeno dijagonalnim „klizećim“ krovnim profilom, taj način promene poprečnog nagiba kolovoza se ne preporučuje na putevima za najveće brzine vožnje (> 100 km/h).

4.4.5.4.5 Akvaplaning

Akvaplaning je pojava na površini kolovoza, na kojoj usled premalih nagiba te površine ili oštećenja na njoj dolazi do zadržavanja površinske vode. Od brzine vožnje zavisi na kojoj dubini zaostale vode će doći do gubitka kontakta pneumatika sa podlogom i time do klizanja vozila (akvaplaning).

4.4.5.4.5.1 Uslovi za pojavljivanje

Na užem području vitoperenja nije uvek i u celini obezbeđeno oticanje vode sa površine kolovoza. Kada na nekom delu puta dođe do podudaranja podužnih i poprečnih nagiba, koji su u oba slučaja manji od minimalnih, rezultujući nagib (i_{rezult}) je manji od minimalnog i voda sa površine kolovoza ne može normalno da otiče. Zato se takav deo i naziva kritična deonica.



Slika 4.2.71: Debljina vodenih filmova na području vitoperenja oko osovine kod različitih nagiba nivelete (izvor: Herring, 1980)

Na kritičnom području menjaju se pravac i intenzitet vodenih tokova na kolovozu (slika 4.2.71), a u krajnjim slučajevima se voda na kolovozu i zadržava (zaostala voda). U oba

slučaja se na kolovozu stvara „vodeni film“. Njegova debljina zavisi od intenziteta pljuska, dužine kojom voda po kolovozu otiče, nagiba u pravcu toka oticanja i dubine teksture

(hrapavosti) vozne površine, a posredno i od neravnina na kolovozu, saobraćaja na kolovozu i vetra iznad kolovoza. Na tom delu kolovoza se javlja i voda koja u zavisnosti od veličine podužnog nagiba kolovoza dotiče po kolovozu i koja se zbog promene poprečnog nagiba kolovoza vraća na ishodišnu stranu kolovoza (povratna voda). Mehanizam oticanja vode po kolovozu u užem području vitoperenja je prikazan na slici 4.2.72.

U australijskom priručniku „Road Drainage Design Manual“ (Priručnik za projektovanje

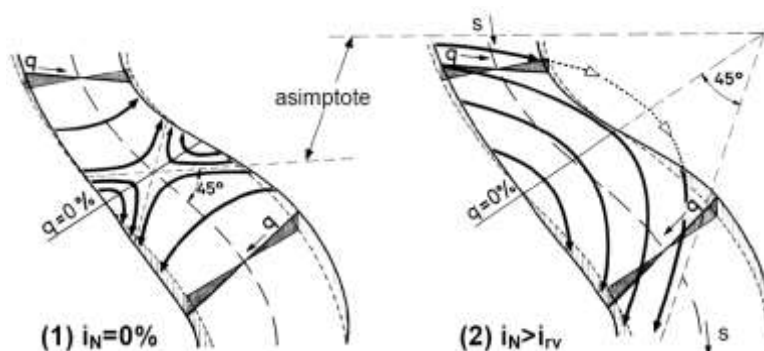
Prema australijskim iskustvima i istraživanjima, dubina teksture na kojoj se postiže optimalno oticanje sa asfaltne površine iznosi $T = 0,4$.

odvodnjavanja puteva), gore navedene veličine su uključene u formulu:

$$D = (0,103 \cdot T^{0,11} \cdot L^{0,43} \cdot I^{0,59} / S^{0,42}) - T$$

gde je:

D	[mm]	debljina vodenog filma
T	[mm]	dubina teksture (hrapavost) kolovoza
L	[m]	dužina linije oticanja
I	[mm/h]	intenzitet pljuska
S	[%]	nagib linije oticanja



Slika 4.2.72: Oticanje vode sa kolovoza na području vitoperenja (izvor: Herring, 1980)

Na slici 4.2.72 je u slučaju (1) prikazano područje na kolovozu sa kojeg voda ne otiče (otiče samo sopstvenim hidrauličkim padom) kada kolovoz nije podužno nagnut. Područje sa kojeg voda ne otiče jeste područje zaostale vode. Na istoj slici je u slučaju (2) prikazano oticanje vode po kolovozu koja na užem području vitoperenja, zbog promene poprečnog nagiba kolovoza, prvo teče u jednom smeru, ali se potom vraća. Povratna voda je na kolovozima uvek prisutna.

W. B. Home je razvio sledeću formulu za određivanje brzine na kojoj vozilo prestaje da „probija“ vodeni film na kolovozu

$$V_{krit} = 60,8 \cdot p^{1/2}$$

gde je:

V_{krit}	[km/h]	kritična brzina kretanja vozila
p	[bar]	inflacioni pritisak u pneumatiku

Pritisak u pneumatiku je kod putničkih automobila u granicama od 1,8 do 2,5 bara, a najčešće je između 1,9 i 2,1 bara, dok kod teretnih vozila obično iznosi 7 bara. Kritične brzine za stvaranje akvaplaninga su:

- putnički automobil ($p = 1,9$ bar) →

$$V_{krit} = 83,81 \text{ km/h (23,28 m/s)}$$

- putnički automobil ($p = 2,1$ bar) →

$$V_{krit} = 88,11 \text{ km/h (24,48 m/s)}$$

- teretno vozilo ($p = 7$ bar) →

$$V_{krit} = 160,86 \text{ km/h (44,68 m/s)}$$

Na brzinama nižim od V_{krit} po pravilu ne dolazi do akvaplaninga. Osim u slučajevima kada je vozilo opremljeno suviše istrošenim pneumaticima. Akvaplaning nije uobičajen za teška vozila i do njega dolazi samo pod zaista neobičnim okolnostima.

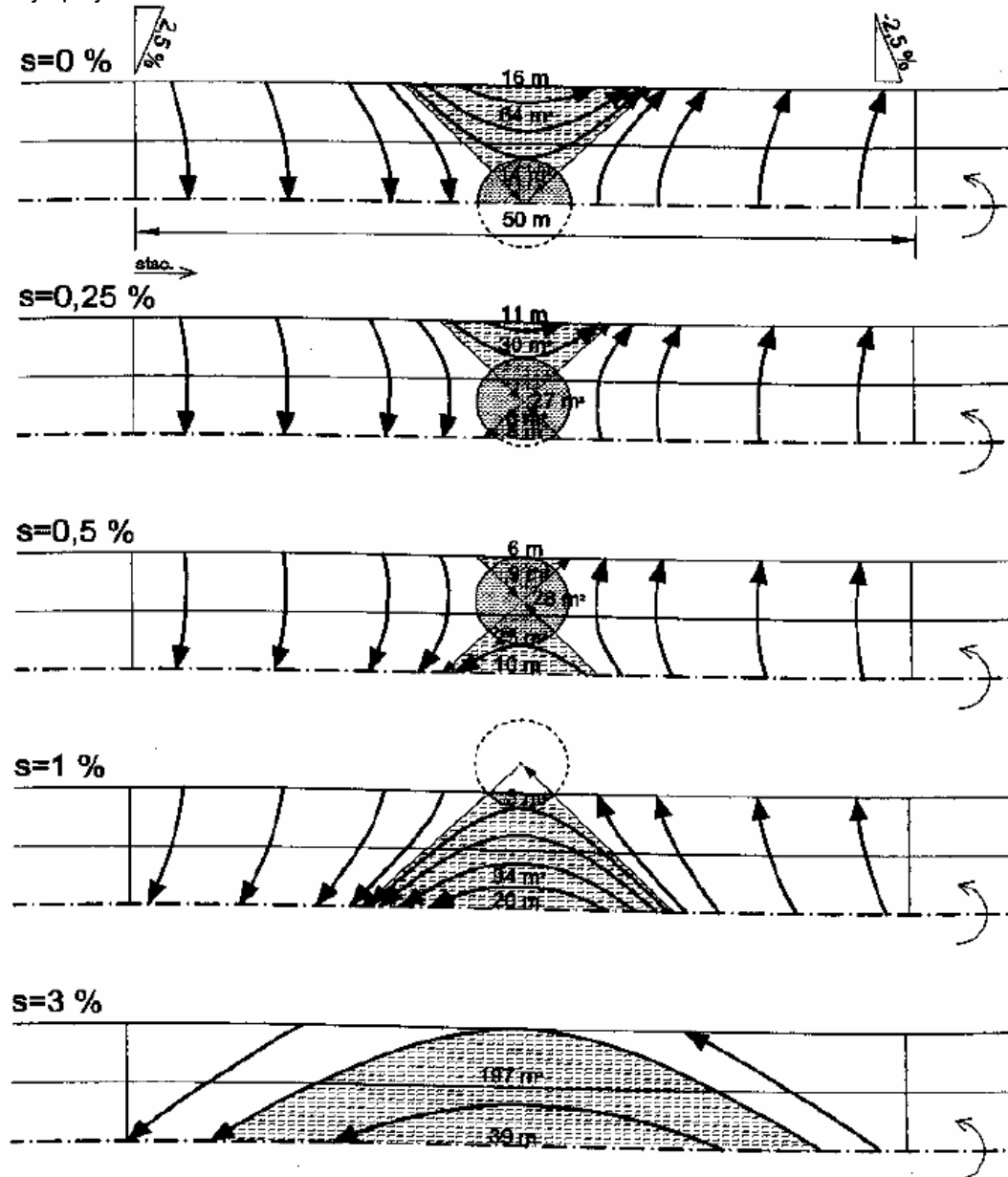
4.4.5.4.5.2 Zaostala voda

Zaostala voda ima na kolovozu koji je u poprečnom i podužnom smeru ravan ($i_N=0\%$, $i_P=0\%$) približan oblik kruga. Pri kritičnom nagibu asfaltirane površine $i_{rezult} = 0,3\%$, poluprečnik tog kruga iznosi $R = 3,0$ m, a površina kruga $28,27 \text{ m}^2$.

Istraživanje koje je sprovedeno u Sloveniji pokazalo je da se zaostala voda sa kolovoza uvek povlači upravno na osovinu puta i da to povlačenje direktno zavisi od veličine promene podužnog nagiba nivelete, veličine promene položaja osovine vitoperenja u poprečnom profilu i od izbora intenziteta vitoperenja k_v (vidi pogl. 4.4.5.4.3.2). Ako se podužni nagib puta

poveća, zaostala voda se sa puta povlači na način koji je prikazan na slici 4.2.73. Povlačenje polja zaostale vode sa kolovoza za 1,0 m postiže se bilo pomeranjem osovine vitoperenja za 1,0 m ili promenom nagiba nivelete za 0,1%. To znači da nagib nivelete na putu sa dve trake i širinom kolovoza 6,0 m mora da bude bar 0,6% da bi se omogućilo povlačenje polja zaostale vode sa kolovoza. A

kod širih kolovoza nagib treba da bude srazmerno veći (slika 4.2.73). Kod blažeg intenziteta vitoperenja k_v (na AP npr. $k_v = 0,06$ %/m) povlačenje polja zaostale vode za 1,0 m postiže tek promenom nagiba nivelete za 0,167%. Koeficijent intenziteta vitoperenja direktno proporcionalno utiče na dimenzije mera za pomeranje polja zaostale vode sa kolovoza.



Slika 4.2.73: Povlačenje polja zaostale vode u zavisnosti od veličine podužnog nagiba nivelete (izvor: PNZ, 2003)

4.4.5.4.5.3 Mogućnosti za eliminisanje pojave

Mere kojima može da se ublaži problem nastanka akvaplaninga na kolovozu su:

- brazdanje (slika 4.2.74) i
- habajući sloj od drenažnog asfalta..

Oba sistema (brazdanje i drenažni asfalt) je moguće proceniti samo uopšteno prema sastojcima i funkcionalnosti, kao i prema tehničkim sposobnostima njihovih elemenata.

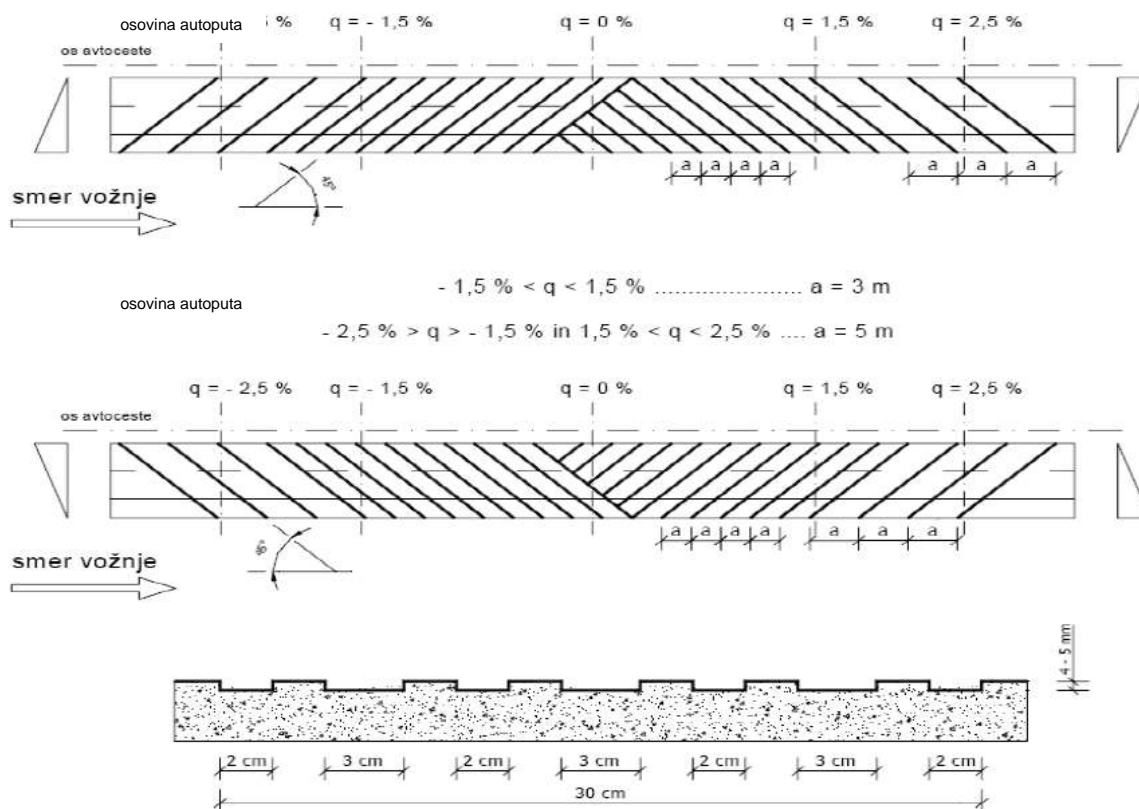
Brazdanje (nagib nivelete > 1%)

- deluje efikasno kod manjih pljuskova, a posle većih pljuskova doprinosi oticanju vode sa kolovoza,
- stvara koncentrisano oticanje vode sa povećanjem površine oticanja (oticanje slobodnom površinom),
- stvara ravnomeran pad za oticanje vode i u slučaju manjih neravnina na kolovozu,
- razmak između traka (2,5-5,0 m u smeru stacionaže) je empirijski, iako je poznato da brzina oticanja vode po površini kod manjih nagiba brzo opada,
- problematična je vremenska postojanost udubljenja, naročito u kolotrazima (vučna sila teretnih vozila), koja je na osnovu iskustava srazmerno kratka (obnova na svake dve godine ili čak svake godine, u zavisnosti od količine saobraćaja),
- sistem uzrokuje buku.

Drenažni asfalt

- deluje efikasno i tokom ozbiljnijeg pljaska,
- neosetljiv je na eventualne neravnine prilikom ugradnje kolovozne površine i na kolotrage,

- sistem u celosti odvaja vodu koja se zadržava (pojavljuje se kod veoma malih nagiba nivelete),
- početak i kraj područja zavise od više parametara, pre svega od intenziteta kiše, kojim se proračunava debljina vodenog filma na kolovozu i kritični nagib (iPkrit),
- informativne najmanje dužine drenažnog habajućeg sloja (proračunato u Sloveniji) za širinu kolovoza od 8 i 10 m (putevi sa razdvojenim kolovozima) date su u tabeli EQP-16,
- propusnost ugrađenog drenažnog asfalta zavisi od sastava materijala (između 14 i 32% šupljina, EN 13108-7)),
- zahteva intenzivnije održavanje u zimskom periodu (češće pluženje zbog bržeg nastanka snežne daske i više soljenja jer slana voda brže otiče) i
- životni vek drenažnog asfalta je kraći od životnog veka drugih habajućih slojeva sa modifikovanim bitumenima.



Slika 4.2.74: Brazdanje (izvor: Asfaltex, 2003)

Iskustva stečena sa obe vrste mera su pokazala da nijedna od njih nije podjednako upotrebljiva u svim slučajevima. Preporučuje

se da se vrsta mere odabere u skladu sa veličinom podužnog profila (Tabela 4.2.38).

Tabela 4.2.38: Područja primene različitih građevinsko-tehničkih mera (izvor: PNZ, 2003)

	Podužni nagib i_N			
	do 1%	od 1% do 2,5%	preko 2,5%	
Poprečni nagib i_{Pi} [%]		tok vode u smeru vožnje	tok vode u suprotnom smeru od smera vožnje	
- $i_{P\text{ krit}}$ do -1,0	drenažni asfalt	brazdanje	drenažni asfalt	bez mere
- 1,0 do +1,0	drenažni asfalt	drenažni asfalt	drenažni asfalt	bez mere brazdanje prema potrebi
+1,0 do + $i_{P\text{ krit}}$	drenažni asfalt	brazdanje	drenažni asfalt	bez mere

U tabeli 4.2.38 je kao granična vrednost poprečnog nagiba kolovoza naveden kritični nagib ($i_{P\text{ krit}}$). Kritični nagib je onaj nagib pri kojem se na različito širokim kolovozima pojavljuje debljina vodnog filma koja odgovara graničnoj debljini za nastanak akvaplaninga za predviđenu (projektnu) brzinu.

Za puteve sa dva kolovoza (autoputevi i brzi putevi) informativno mogu da se primene vrednosti navedene u tabeli 4.2.39 (PNZ,

Slovenija, 2003) kojima su za različitu širinu kolovoza po kojoj voda otiče navedene i dužine kritične deonice za tri moguća intenziteta vitoperenja (pogl. 4.4.5.4.4.2). Na osnovu ovog istraživanja proističe da generalno određen kritični poprečni nagib ($i_{P\text{ min}} = 2,5\%$) kod užih puteva može da bude i manji. Zavisi i od kritične debljine vodenog filma koja je različita za različite brzine vožnje. U ovoj informaciji navedena vrednost je izračunata u Sloveniji.

Tabela 4.2.39: Kritični poprečni nagib i kritična dužina područja prelaza vitoperenja – informativno

Širina kolovoza	Kritična debljina vodenog filma	Kritični poprečni nagib	Stepen intenziteta vitoperenja [%/m]		
			$k_v = 0,10$	$k_v = 0,06$	$k_v = 0,03$
B_v [m]	D_{krit} [mm] pri V_p [km/h]	$i_{P\text{ krit}}$ [%]	Dužina područja sa krit. debljinom vodenog filma L_{krit} [m]		
			$L_{0,10}$	$L_{0,06}$	$L_{0,03}$
8,0	AP 1,75 pri 120	2,00	40,0	66,0	132,0
10,0	AP 1,75 pri 120	2,50	50,0	83,3	166,7
8,0	BP 2,50 pri 100	1,00	20,0	33,0	66,0
10,0	BP 2,50 pri 100	1,25	25,0	41,7	83,3

gde je:

k_v [%/m] koeficijent intenziteta vitoperenja

B_v [m] širina kolovoza sa kojeg otiče voda

D_{krit} [mm] kritična debljina vodenog filma

V_p [km/h] računaska ili projektna brzina

L_{krit} [m] dužina područja sa kritičnom debljinom vodenog filma.

Zbog poteškoća koje nastaju usled pojave akvaplaninga nužno je da se nepovoljan raspored horizontalnih i vertikalnih elemenata

ose puta utvrdi i otkloni već u početnim fazama projektovanja.

4.4.6 USKLAĐIVANJE ELEMENATA PUTEVA

4.4.6.1 Usklađivanje radijusa horizontalnih krivina u pogledu obezbeđivanja manjih promena vozne brzine

Bilo bi idealno kad bi put mogao da se isprojektuje tako da se vozaču na pojedinačnoj dužoj deonici omogući vožnja istom brzinom. Međutim, zbog oblika terena takvi idealni uslovi za puteve izvan naselja ne postoje. Uslovi slični idealnim se mogu postići ako se osovina puta zasnuje sa elementima sa kojima, uprkos tome što neće omogućavati konstantnu brzinu vožnje na dužoj deonici, promene brzine vožnje neće biti veće od onih koje se dobijaju usporenjem sa motorom. To znači – kad bi vozač po takvom putu vozio brzinom koju omogućavaju elementi puta ispred njega (V_p), ne bi morao da koristi kočnice, a takav način vožnje u velikoj meri doprinosi bezbednosti saobraćaja.

U poglavlju 4.4.3.5.0, su grafikonom na slici 4.2.55 prikazani osnovni odnosi veličina radijusa uzastopnih kružnih krivina (R_i i R_{i+1}) koji omogućavaju da se brzina vožnje od krivine do krivine ne menja u većoj meri nego što može da se realizuje usporenjem sa motorom. Ipak, ti odnosi treba da se uzimaju u obzir s velikom merom tolerancije, pošto na veličinu V_p , pored veličine radijusa krivina, utiču i dužina krivine i širina saobraćajne trake. Manji uticaj ima i nagib nivelete, ali on kod savremenih putničkih vozila nije preterano veliki.

Dužina kružne krivine predstavlja značajan element u projektovanju bezbednih puteva, jer krivine različitih dužina vozač može da prihvata na različite načine. Doživljaj krivine zavisi od odnosa između radijusa krivine i dužine krivine. Za veće krivine važi da je krivina primetna kada je odnos $R:L_{KL} = 20:1$ ($\alpha = 3^\circ$), dok se za manje krivine uzima da njena dužina mora bude tolika da vozač po njoj vozi bar 2 sekunde (pogled vozača), a još bolje 5 sekundi. Dužina krivina kod uzastopnih krivina treba da bude približno jednaka i trebalo bi da se menja postepeno. Naime, dužina krivine značajno utiče na veličinu projektne brzine (V_p odnosno $V_{85\%}$) i kod kraćih krivina ona je znatno veća nego kod dugačkih.

Pošto način vožnje kroz krivinu i brzina koju vozač u njoj ostvaruje zavise od vozačevog

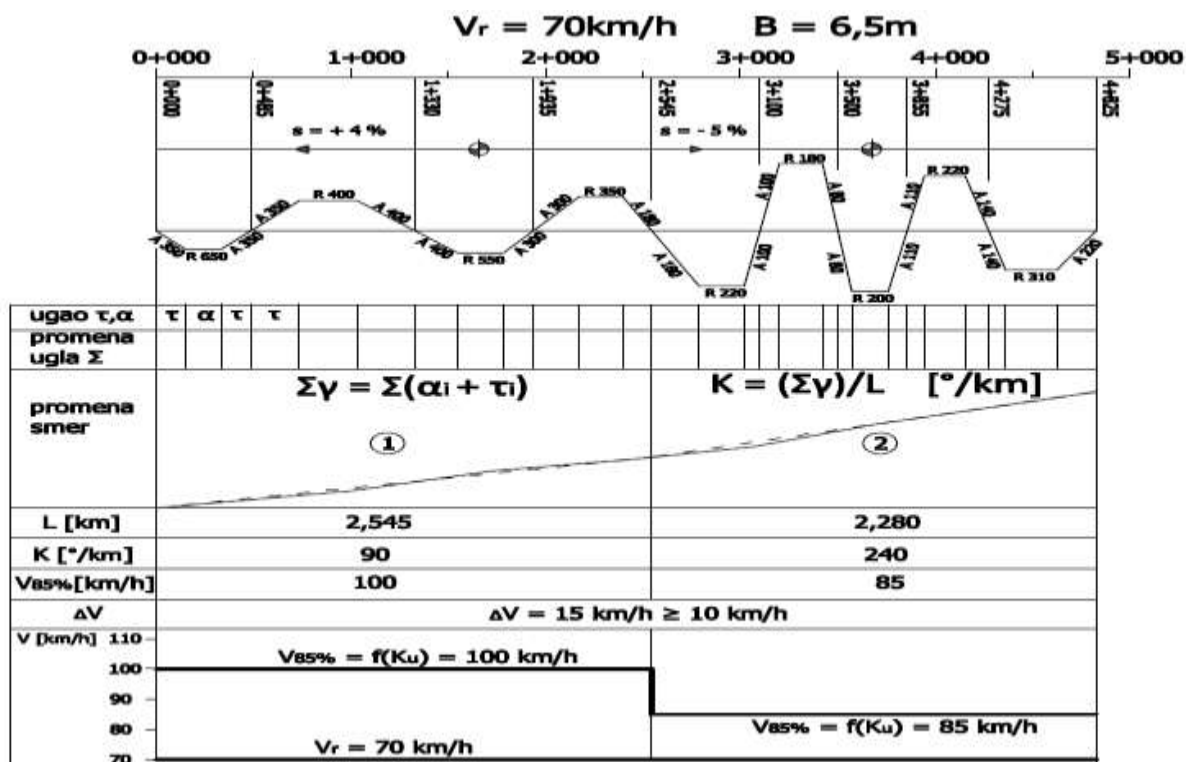
pregleda nad putem (obezbeđena preglednost na putu i vidno polje vozača u zavisnosti od brzine vožnje), racionalno je da se upotrebljavaju dužine kružnih krivina kod kojih vozač pre ulaska u krivinu može da vidi i izlazak iz nje. Ako je krivina duža (vozač fizički ne vidi kraj krivine), potrebno je da se postavi odgovarajuća saobraćajna signalizacija (znak za opasnu krivinu plus znak preporučena brzina). U krivinama sa kružnim lukom $R \geq 400$ m (na dvotračnim putevima) nisu potrebne posebne mere.

Kod puteva sa kolovozima razdvojenim prema smeru upravljanja, elementi osovine puta po pravilu treba da budu toliki da svi omogućavaju brzinu vožnje koja je zakonom određena (100 i 120 odnosno 130 km/h). Zato kod tih puteva značajniju ulogu imaju estetski izgled, efekti na pejzaž i primena u prostoru kroz koji je put trasiran nego vozna dinamika.

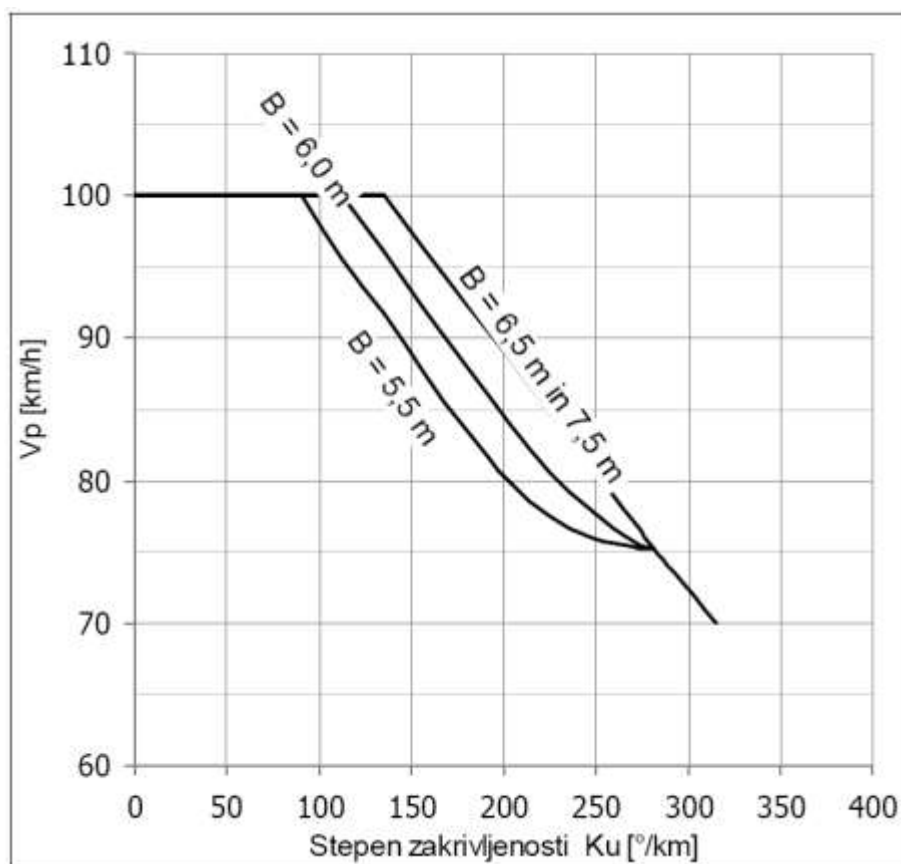
Postupak kojim se u obzir uzima i dužina elemenata osovine puta jeste određivanje krivinske karakteristike (K_u) na dvotračnim putevima. Njim se za pojedinačnu kružnu krivinu i prelaznu krivu (do prevojne tačke klotoide) izračunava stepen zakrivljenosti (K_u u $^\circ/\text{km}$), a na šematski podužni profil puta grafički se unose sumirane vrednosti, izračunate u uzastopnim kružnim krivinama. Na taj način može grafički da se utvrdi dužina puta na kojoj je stepen zakrivljenosti približno jednak i da se na osnovu toga odredi projektna brzina (V_p). Promena brzine unutar te deonice se vrši samo usporenjem motora (ne predstavlja opasnost). Pojedinačne krivine, kod kojih stepen zakrivljenosti značajnije odstupa, treba u nacrtu osovine puta da se koriguju. Primer za taj postupak je prikazan na slici 4.2.75.

Projekta brzina može da se očita sa dijagrama na slici 4.2.76.

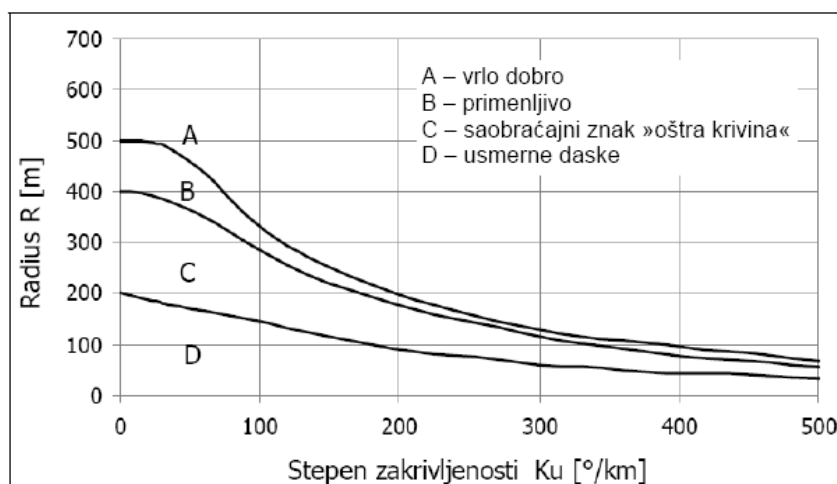
Kada projektant ne može da uskladi radijuse susednih kružnih krivina prema dijagramu na slici 4.2.55, to dovoljno dobro može da se koriguje poboljšanim optičkim vođenjem trase (zasadi, table za usmeravanje), povećanjem poprečnog nagiba i saobraćajnim znacima. Koja od mogućnosti da se izabere, može da se očita sa dijagrama na slici 4.2.77 (preuzeto prema propisima Nemačke RAS-L). Treba je znati, da saobraćajna opasnost raste što je trasa ispruženija (manji K_u) 300–500 m pre krivine sa R_i .



Slika 4.2.75: Određivanje projektne brzine V_p kod dvotračnih puteva (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)



Slika 4.2.76: Projektna brzina V_p u zavisnosti od karakteristike krive K_u (izvor: RAS-L)



Slika 4.2.77: Povoljna veličina R_i u zavisnosti od veličine K_u 300–500 m pre krivine (izvor: RAS-L)

Kod projektovanja veličine R_i kod neke zakrivljenosti osovine puta (K_u), najmanji radijus kružne krivine koji sme da se priključi na deo puta sa tolikom zakrivljenošću može da se očitati sa grafikona na slici 4.2.77. Na kraju dugačke prave je stepen zakrivljenosti $K_u = 0$ [$^{\circ}/\text{km}$] i na kraju dugačke prave sme da se primeni $R \geq 500$ m (područje A), a samo izuzetno 400–500 m (područje B).

4.4.6.2 Usklađivanje horizontalnih elemenata osovine puta u pogledu izbegavanja opasnih mesta

Među saobraćajno opasna mesta na putu (uz raskrsnice, pešačke prelaze i sl), koja su posledica manjkavog projektovanja, spadaju i ona mesta na kojima vozač mora iznenada intenzivno da koči ili da vozi sa prevelikom brzinom kroz sledeću kružnu krivinu. To znači tamo gde dimenzije geometrijskih elemenata osovine puta nisu u dovoljnoj meri, ili uopšte nisu, usklađene sa aspekta izbalansirane veličine projektne brzine kroz susedne krivine. Problem nastaje kod vožnje iz veće u manju kružnu krivinu, gde kroz manju krivinu može da se vozi znatno sporije nego kroz veću.

Vozač pri tome

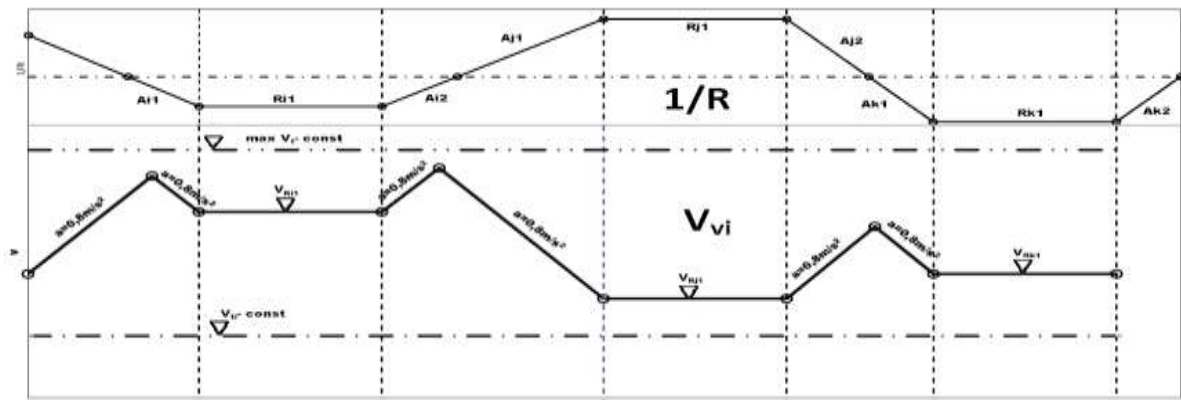
- ili vozi prevelikom brzinom kroz manju kružnu krivinu (prekoračenje $_{\text{dop.proj}}f_R$),
- ili pak ispred manje kružne krivine intenzivno koči (prekoračenje $_{\text{dop.proj}}f_T$),

pri čemu je potrebno da se za date dimenzije kolovoza kao merodavni uzmu koeficijenti trenja koji su propisani kao maksimalni za projektovanje dimenzija elemenata puta ($_{\text{dop.proj}}f_i$).

Na novim kolovozima ne dolazi do proklizavanja. Pošto do prebrze vožnje kroz krivinu ili jakog kočenja stalno dolazi na praktično istim mestima, tamo zbog toga onda dolazi i do bržeg habanja površine kolovoza. Brzina smanjenja sposobnosti trenja kolovoza neposredno zavisi od obima saobraćaja.

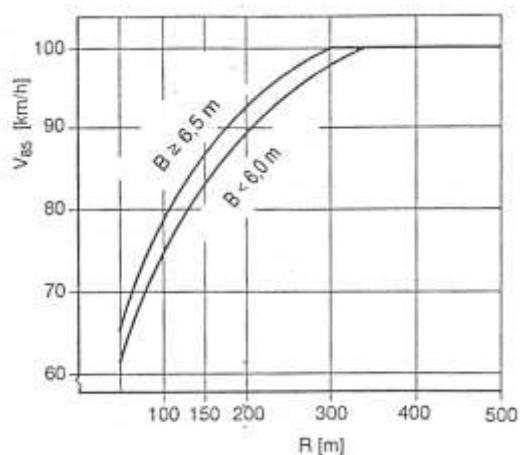
Brzine veće od projektom predviđenih računskih brzina su problematične i zato što se koeficijent trenja na mokrom kolovozu sa povećanjem brzine smanjuje. Uslovi u pojedinačnom slučaju mogu veoma brzo postati kritični. Zato je potrebno da se adekvatnost redosleda radijusa kružnih krivina, koji nije određen prema grafikonu na slici 4.2.55 (pogl. 4.4.3.1.0), proveriti.

Pokazatelj da su odabrani radijusi susednih kružnih krivina nehomogeni jeste veličina projektne brzine koju vozači postižu u pojedinačnoj krivini, a koja se grafički predstavlja na profilu projektne brzine (slika 4.2.78). Profil projektne brzine na dvotračnim putevima treba da se iscrta za oba smera vožnje.



Slika 4.2.78: Profil projektne brzine

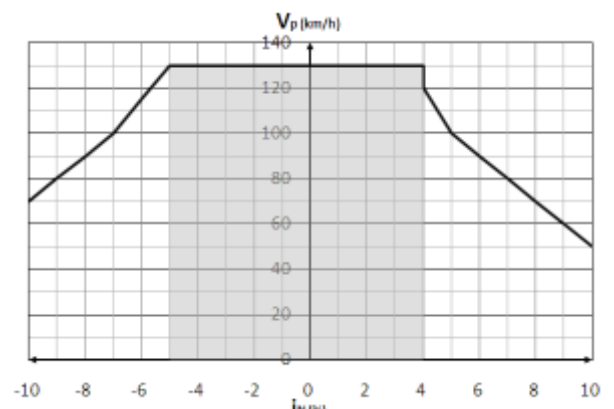
Najzahtevniji zadatak kod izrade profila projektne brzine jeste određivanje projektne brzine u pojedinačnoj krivini. Projektna brzina je empirijski utvrđena vrednost i kod različitih autora se izrazito razlikuje. Najjednostavnije rešenje jeste primena nemačkog propisa RAS-L i upotreba bilo dijagrama na slici 4.2.79, kojim je data veličina $V_{85\%}$ u zavisnosti od širine kolovoza, ili pak dijagrama na slici 4.2.76, kojim je data projektna brzina u zavisnosti od zakrivljenosti (K_u) linije osovine puta. U oba slučaja tako dobijena vrednost treba da se koriguje za uticaj podužnog nagiba nivelete (slika 4.2.80).

Slika 4.2.79: Zavisnost $V_{85\%}$ od širine kolovoza B i radijusa kružne krivine R (izvor: RAS-L)

U profil projektne brzine se brzinama V_p kroz krivine na području prelazne krive dodaje linija promene brzine s ubrzanjem odn. usporenjem motora $a = 0,8 \text{ ms}^{-2}$ (vidi na slici 4.2.78).

Ako je razlika u projektnoj brzini u dve susedne krivine prevelika, vozač će na ulasku u krivinu sa nižom projektnom brzinom kočanjem smanjiti brzinu ili će kroz tu krivinu voziti brzinom V_p' , koja je veća od V_p . Brzina V_p' na dužini prelazne krivine se u dijagramu

projektne brzine utvrđuje tako što se u profil iscrtava linija promene brzine sa usporenjem $a = 0,8 \text{ ms}^{-2}$ od krivine sa većom V_p do početka sledeće krivine, da bi se utvrdila razlika do brzine, koju je moguće kroz ovu krivinu.

Slika 4.2.80: Zavisnost $V_{85\%}$ od podužnog nagiba nivelete i_N (izvor: Pravilnik... Sl.Glasnik RS, 50/11)

Na osnovu utvrđenih V_p ($V_{85\%}$) odn. V_p' , prema opštoj jednačini $R = f(V, i_i, f_R)$, kod R_i i i_{p_i} poznatih iz projekta za put, izračunava se koeficijent trenja f_{R_i} , koji se potom poredi sa dozvoljenom vrednošću za brzinu V_p odn. V_p' (model Lamm, Nemačka). Po metodu Lamma je izrađen i program u priručniku HSM (Highway Safety Manual, PIARC, 2003).

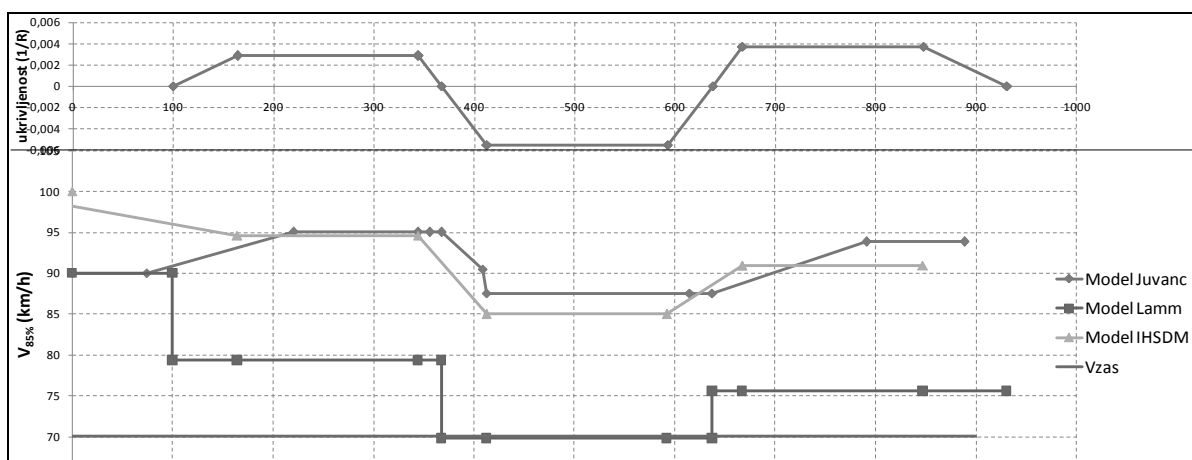
Zbog zahtevne izrade profila projektne brzine (uticaj više parametara) je primereno da se upotrebe računarski programi u koje je većina ključnih parametara već uključena. Takvo izračunavanje imaju i pojedini računarski programi za projektovanje puteva (npr. Gavran, Srbija), ali ne svi.

Određivanje projektne brzine V_p je postupak u kojem treba usklađeno da se razmotre svi parametri koji mogu uticati na rezultat. Iz

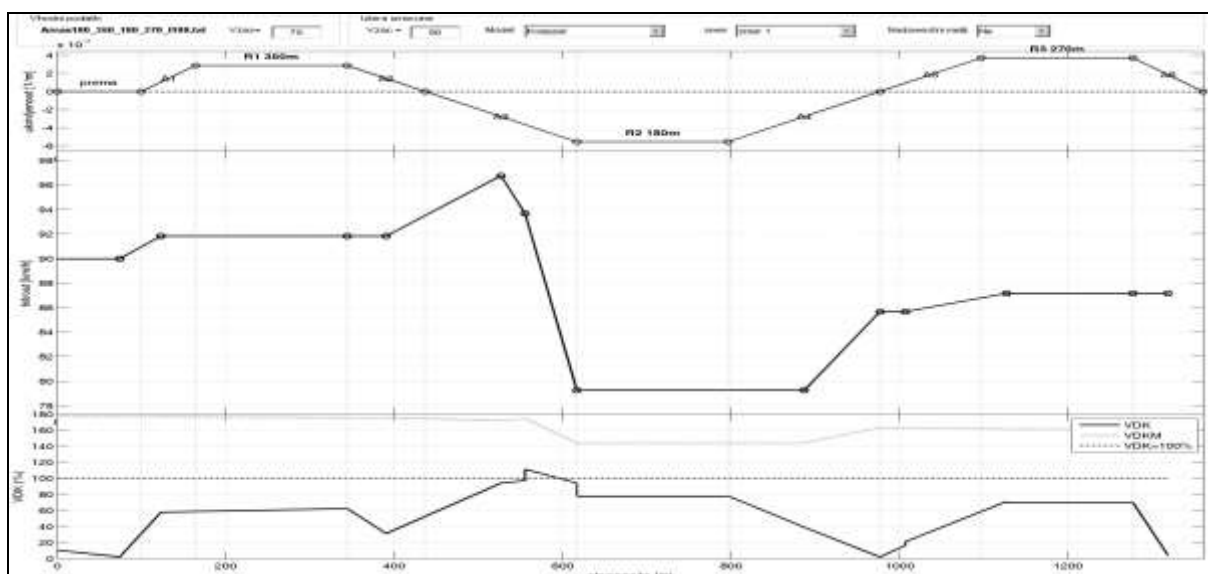
metode po Lammu se vidi da veoma značajnu ulogu u usklađivanju geometrijskih elemenata osovine puta ima i dužina prelazne krive. Ako je predugačka, vozač će na njoj ubrzavati, a ako je prekratka, moraće da koči pre ulaska u manju kružnu krivinu ili da kroz tu krivinu vozi sa (pre)velikom brzinom.

Iz tog razloga su sprovedena dodatna istraživanja i razvijeni su, ili su u razvoju, novi modeli za promenu brzine vožnje, a na osnovu njih i računarski programi koji ulazne parametre preciznije definišu. Razlike kod određivanja V_p odn. $V_{85\%}$ između starijih (Lamm) i novijih programa su znatne (slika 4.2.81).

Trenutno se najviše koristi američki program IHSDM (Fitzpatrick, SAD, 2000).. U Sloveniji je u fazi testiranja program VDK (vozdinamička karakteristika puta), izrađen prema modelu (Juvanc, 1993), koji posebno definiira promenu brzine u zavisnosti od brzine u prethodnoj krivini i dužine prelazne krivine, a kao rezultat pokazuje mesta na kolovozu na kojima će zahtevano trenje nakon habanja biti veće od dozvoljene maksimalne vrednosti (slika 4.2.82). Takođe se može proveriti, da li je moguća sanacija upotrebom silikatnih agregata za habajući sloj kolovozne konstrukcije.



Slika 4.2.81: Profil projektne brzine za modele Lamm, IHSDM i VDK (uzorak)



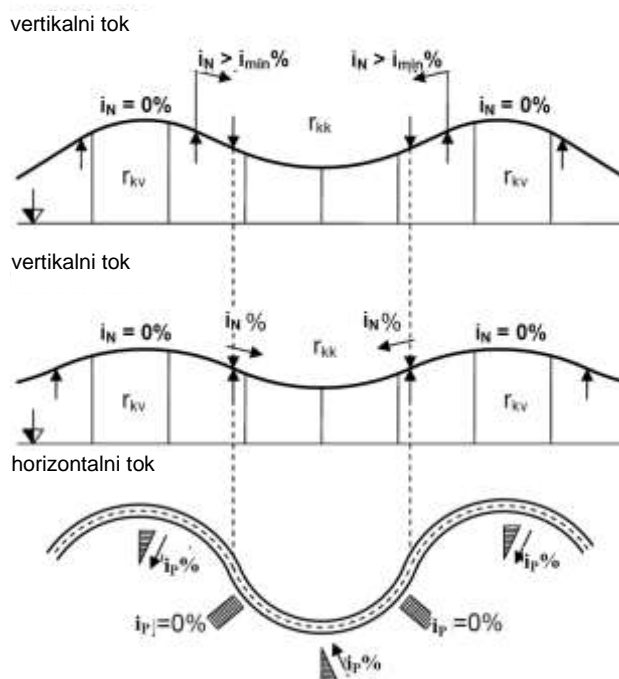
Slika 4.2.82: Profil projektne brzine i smanjenje koeficijenta trenja po modelu VDK (uzorak)

Na osnovu dosadašnjih istraživanja se bez sumnje može zaključiti da je odabir pravilne dužine prelazne krivine element koji utiče na to da li će vozač moći bezbedno da smanji brzinu pre ulaska u kružnu krivinu ili ne (dužina prelazne krivine utiče na intenzitet kočenja). Pravilnim odabirom dužine prelazne krive se bezbedno mogu povezati i susedne kružne krivine čiji radijusi nisu u skladu sa preporučenim odnosom $R_i : R_{i+1} \leq 1 : 1,5$. Utvrđeno je da što je taj odnos veći, to preciznije treba da se odabere dužina prelazne krive. Propisom definirani A_{min} i A_{max} u ovom slučaju uopšte ne dolaze u obzir. Tim vrednostima su dovoljno blizu dužine prelazne krive A_{prep} , koje su navedene u poglavlju 4.4.3.4.1.3, u tabeli 4.2.31 i na grafikonu 4.2.55.

4.4.6.3 Usklađivanje horizontalnih i vertikalnih elemenata osovine puta u pogledu izbegavanja akvaplaninga

Preduslov za kvalitetno odvodnjavanje kolovoza jeste adekvatna usklađenost elemenata horizontalnog i vertikalnog toka osovine puta (slika 4.2.83). Zato je potrebno da se u projektu za put uvek izradi dijagram rezultujućih nagiba kolovoza koji je prvi pokazatelj verovatnoće stvaranja akvaplaninga.

Položaj horizontalnih i vertikalnih elemenata treba da se uskladi tako da se nijedan deo osovine puta, na kojem je poprečni nagib manji od minimalnog ($i_{Pmin} > i_{Pi} > -i_{Pmin}$), ne podudara sa delom nivelete na kojem je podužni nagib manji od minimalnog ($i_{Nmin} > i_{Ni} > -i_{Nmin}$).



Slika 4.2.83: Usklađenost elemenata horizontalnog i vertikalnog toka osovine puta (izvor: Pravilnik.... Sl.Glasnik RS, 50/11)

Akvaplaning je karakteristična pojava na putevima sa minimalnim ili čak manjim podužnim nagibom nivelete i karakterističan je za ravničarske terene. Osim pravilnom usklađenošću horizontalnih i vertikalnih elemenata puta, može se izbeći i

- pravilnim odabirom osovine vitoperenja,
- vitoperenjem po unutrašnjoj ivici krivina ili
- visinsko odvojenim vođenjem nivelete (autoputevi).

Pod pravilnim odabirom osovine vitoperenja se podrazumeva odabir one ivice kolovoza koji će

omogućiti da pri vitoperenju ne dođe do promene predznaka podužnog nagiba ni kod jedne podužne linije na kolovozu (može samo da se povećava).

Vitoperenje po unutrašnjoj ivici sa preskokom osovine vitoperenja u prevojnoj tački s jedne na drugu ivicu kolovoza, koje je inače dozvoljeno, se po pravilu ne koristi, jer stvara loš estetski izgled i probleme kod odvodnjavanja kolovoza (pojava „testere“). A ako se već primeni, uređaji za podužno odvodnjavanje na kritičnim mestima moraju da se rekonstruišu tako da omogućavaju potpuno odvođenje vode sa

kolovoza. Bez obzira na količinu vode, treba da se predvide učestaliji odvodi iz uređaja, a uređajima treba da se odredi njihov sopstveni podužni nagib (unutar dubine uređaja). Na najnižem mestu „testere“ poklopac ulivnog šahta nikad ne sme da se izvede sa rešetkom od livenog gvožđa, nego uvek i samo sa dvostranim čeonim ulivom.

Na autoputu se akvaplaning uvek javlja samo na jednom od kolovoza. Vitoperenje se lakše izvodi sa visinski odvojenim vođenjem nivelete (za svaki kolovoz odvojeno), kod kojeg obavezno dolazi do promene oblika profila u srednjoj razdelnoj traci. Pošto na takvom mestu ne može da se uredi prelaz sa jednog na drugi kolovoz (zatvaranje jednog kolovoza u slučaju nezgode ili održavanja puta), raspored i lokacija tih prelaza treba da se rekonstruišu.

4.4.6.4 Prostorno usklađivanje elemenata osovine puta

Osovina puta je prostorna kriva kod koje elementi osovine i nivelete moraju da budu usklađeni kako bi njena trasa u prostoru bila estetski i vozno-dinamički adekvatna. Projektovanje elemenata u osovini puta se u projektu izvodi odvojeno u horizontalnoj i odvojeno u vertikalnoj projekciji. Kada se elementi u obe projekcije udruže, dobija se, zajedno sa poprečnim profilom, njihov izgled u prostoru. Pravi pogled na nacrt trase puta se dobija kada se u smeru vožnje (pogled vozača) izvrše uzastopni 3-D pogledi. Računarski programi omogućavaju da se za projektovani put pripremi simulacija vožnje ili vizualizacija, kojima prostorna usklađenost elemenata puta može optički da se testira iz različitih uglova posmatranja; u smeru vožnje („view from the road“) i iz ugla spoljašnjeg posmatrača („view on the road“).

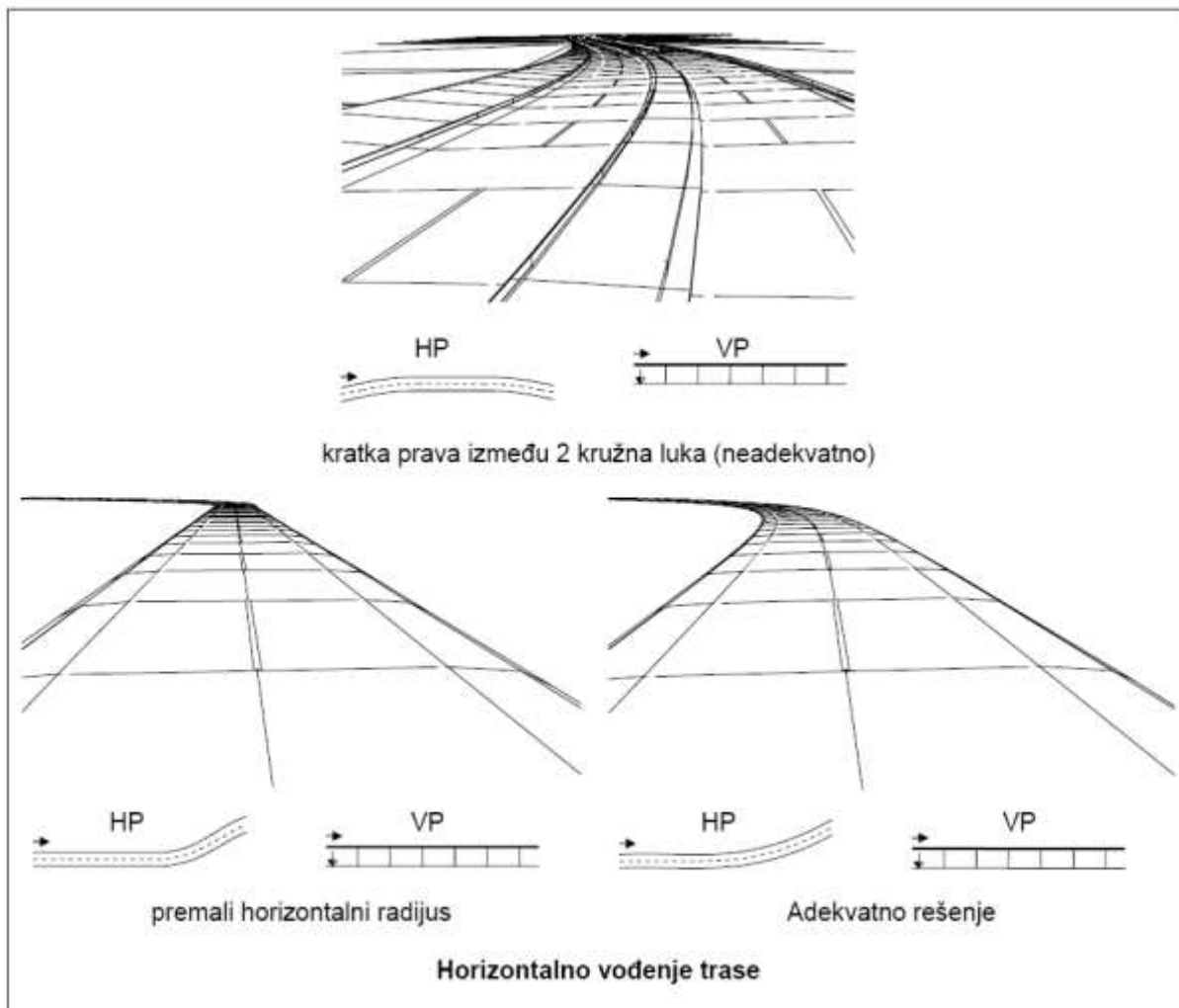
Dobro optičko vođenje trase puta nije bitno samo za odgovarajući izgled u prostoru nego i za veću bezbednost na putu i protok saobraćaja. To može da se postigne ako put ima smirujući efekat i ako pojedinačne promene mogu lako i pravovremeno da se primete. Naročito je značajno vođenje ivica kolovoza i pojedinačnih saobraćajnih traka, koje moraju vozaču da pružaju jasnu orijentaciju tokom vožnje (linije bez optičkih prekida, celovit pregled nad saobraćajnom trakom, pravovremeno uočljiva proširenja i suženja i sl.).

Uz odredbe o obezbeđivanju zadovoljavajućih nagiba za odvodnjavanje vozne površine (sprečavanje akvaplaninga), kod projektovanja puta treba da se ispoštuje i sledeće:

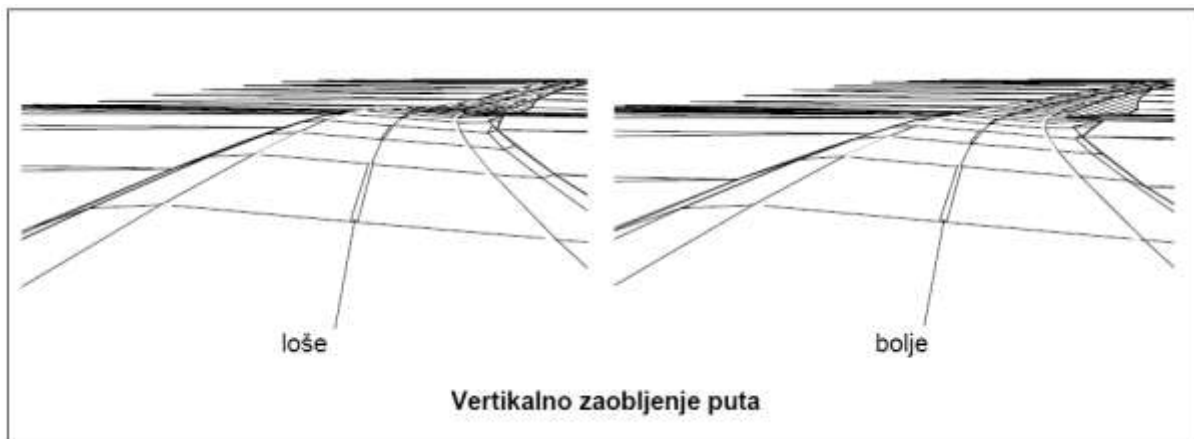
- dugački pravci su upotrebljivi samo u prostoru koji to omogućava, ali ih treba izbegavati, jer zamaraju vozača i teraju ga na povećanje brzine, a negativno utiču i na vozačevu procenu događaja na putu, naročito na procenu brzine drugih vozila
- radijusi horizontalnih krivina treba da budu tim veći što je manja promena pravca
- kod sastavljanja horizontalnih elemenata u O-obliku, manji od dva kružna luka ne sme da se nalazi na nižoj strani nivelete (bezbednost saobraćaja – kolovoz)
- tamo gde se „preklapaju“ horizontalna i vertikalna krivina, odnos između radijusa ($R : r$) obe krivine treba da bude manji ili jednak $1 : 5$ do $1 : 10$
- prevojne tačke horizontalnog i vertikalnog profila osovine puta treba da se nalaze na približno istim stacionažama osovine puta
- dužina vertikalne krivine treba da bude veća od dužine pojedinačnog horizontalnog elementa osovine puta kojem je prilagođena (ne sme da počinje i završava na području istog horizontalnog elementa osovine puta)
- promena smera (vitoperenje) na području konveksne krivine može da počne tek tamo gde vozač dobija zadovoljavajući pregled nad trasom puta u nastavku
- uzastopne vertikalne krivine na dugačkim pravcima mogu da se predvide samo tako da vozač ispred sebe (na dužini slobodne vizure) može da vidi vrh samo jedne konveksne krivine
- na kraju ispruženog dela, gde trasa prelazi u priključnu kružnu krivinu sa manjim radijusom, niveleta mora da bude projektovana tako da konveksna krivina vozaču ne zaklanja pogled na priključnu krivinu (konveksna krivina se proteže u priključnu krivinu)
- u izrazitijem reljefu (veći podužni nagib nivelete) je poželjno da se između dve vertikalne krivine sa različitim smerom zakrivljenosti umetne deonica puta sa konstantnim podužnim nagibom, kako bi vozač mogao da stekne utisak o horizontalnom toku puta ispred sebe, a horizontalna prevojna tačka treba da se nalazi što bliže početku konkavne krivine, kako bi vozač mogao pravovremeno da je primeti
- pozicioniranje dve uzastopne vertikalne krivine sa istim smerom zakrivljenosti u području preglednosti je dozvoljeno samo na putevima funkcionalnih tipova (PP), a na putevima SP samo ako računaska brzina nije veća od 70 km/h
- na putevima visokog funkcionalnog tipa (DP, VP) linije objekata za premošćavanje

- moraju da se prilagode liniji osovine puta i ne obrnuto
- ako se veliki objekti za premošćavanje (vijadukti) na putevima visokog funkcionalnog tipa (DP, VP) nalaze u području vertikalnih krivina, vođenjem nivelete treba da se obezbedi vidljivost (prepoznatljivost) njihovog završetka

Optički efekti nekih najkarakterističnijih (ne)usklađenosti horizontalnih i vertikalnih elemenata osovine puta u kombinaciji sa poprečnim profilom prikazani su na slikama 4.2.84 do 4.2.93. Na svim slikama, oznakom HP je obeležen „horizontalni tok trase“, a oznakom VP „vertikalni tok trase“.



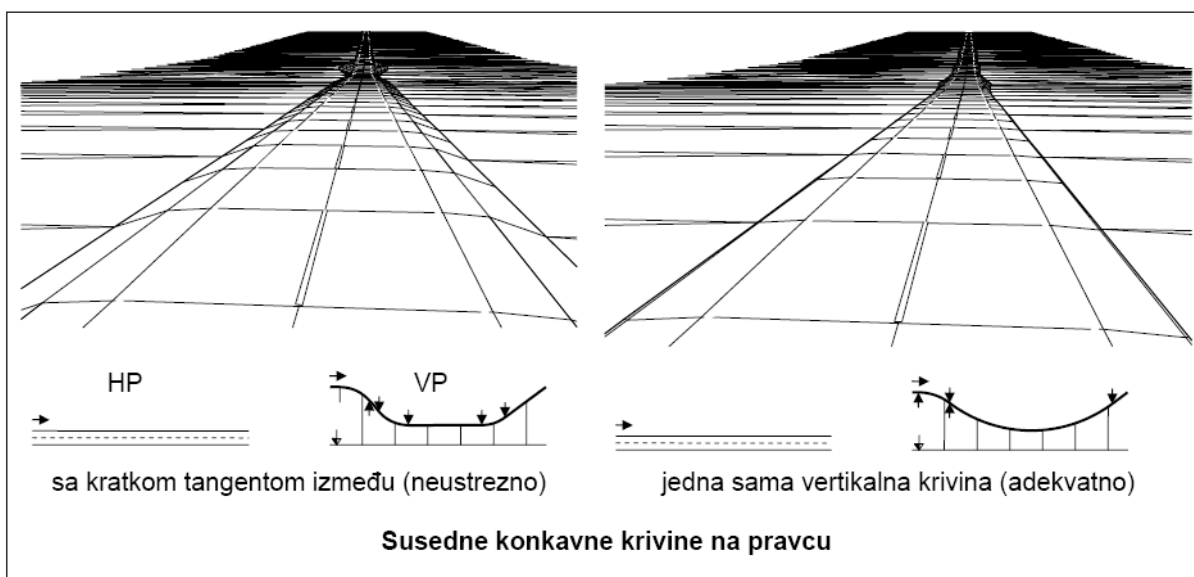
Slika 4.2.84: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D pogledu – horizontalno vođenje trase



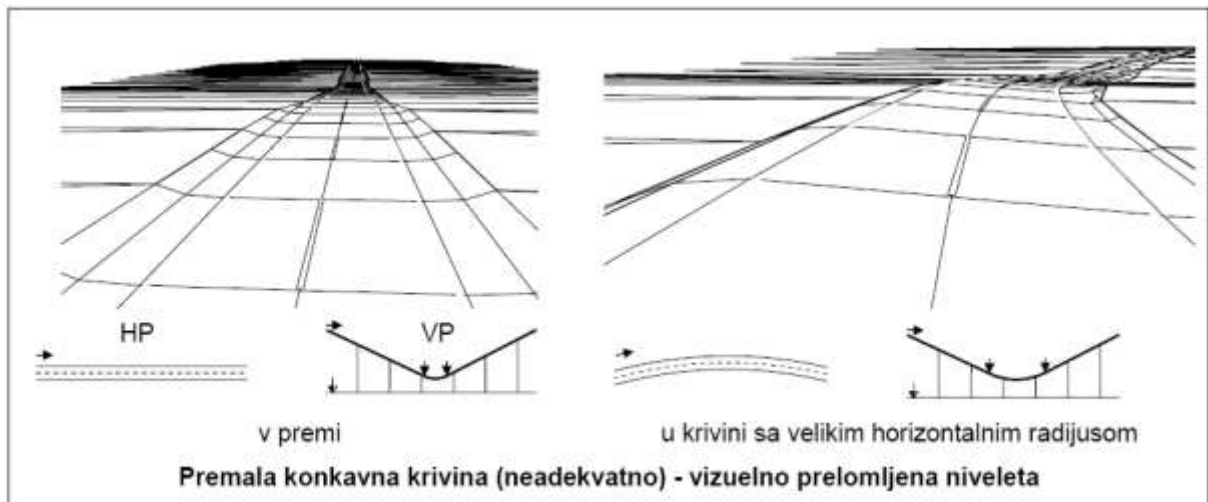
Slika 4.2.85: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – uticaj izbora vertikalnog zaobljenja



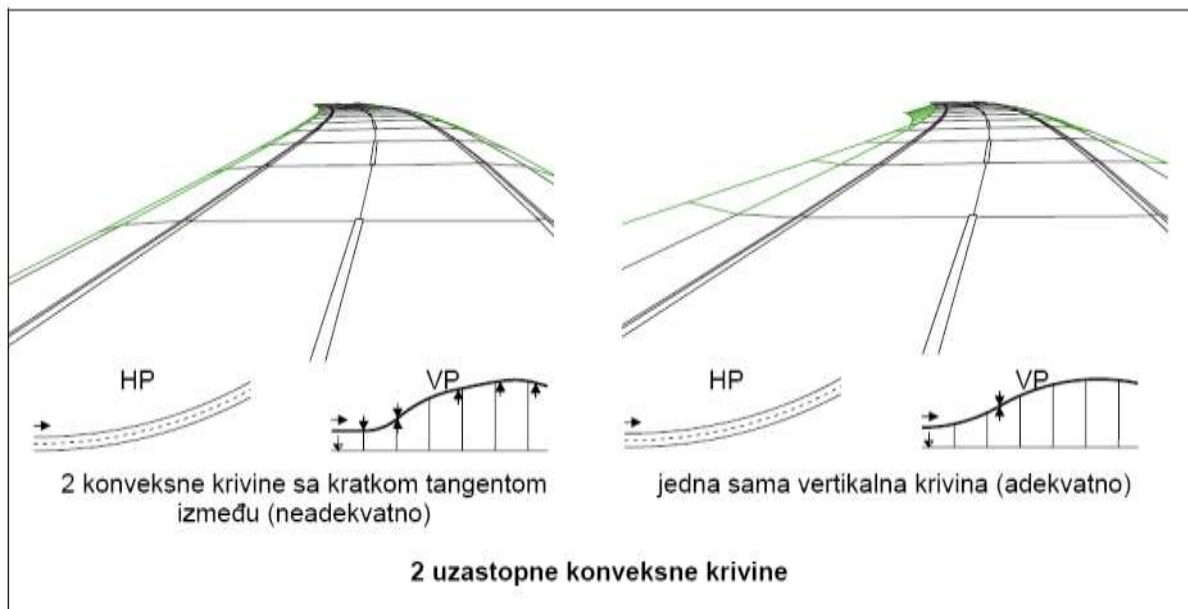
Slika 4.2.86: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – vizura preglednosti u krivini



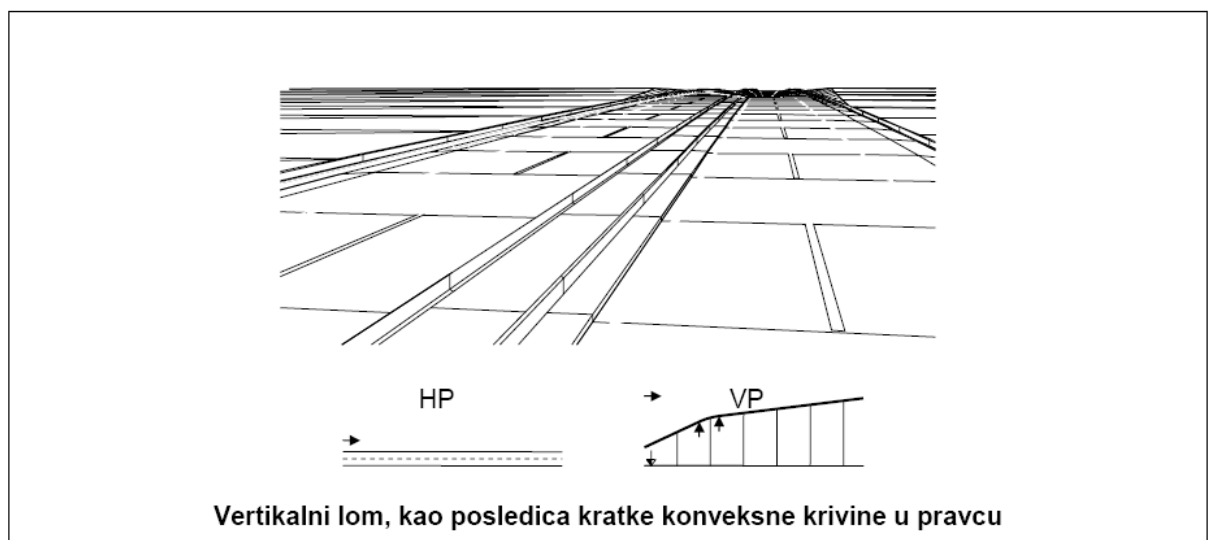
Slika 4.2.87: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – susedne konkavne krivine



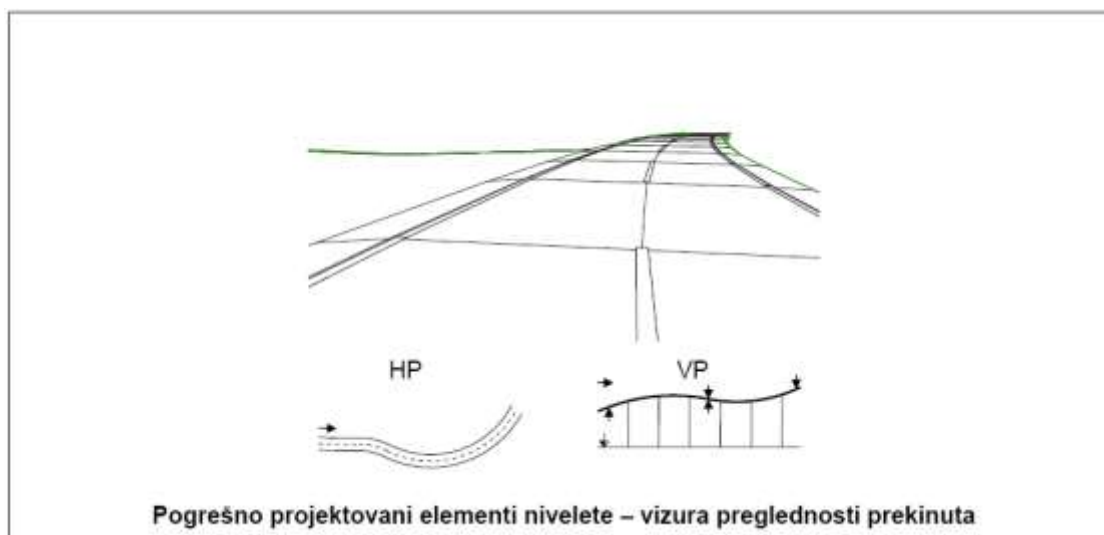
Slika 4.2.88: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – premala konkavna krivina



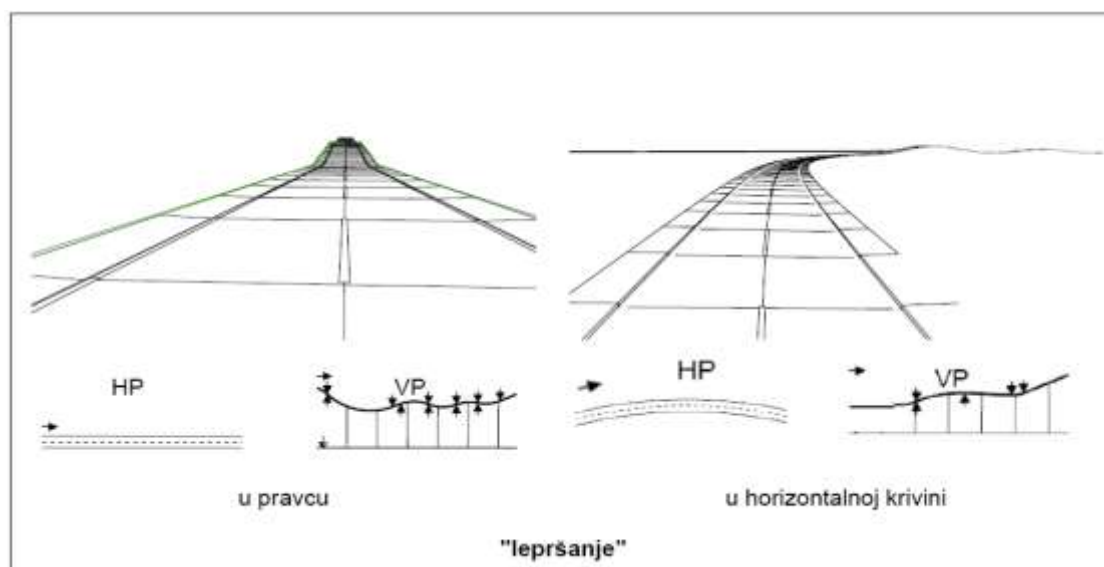
Slika 4.2.89: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – konveksna krivina sa razdelnom pravom



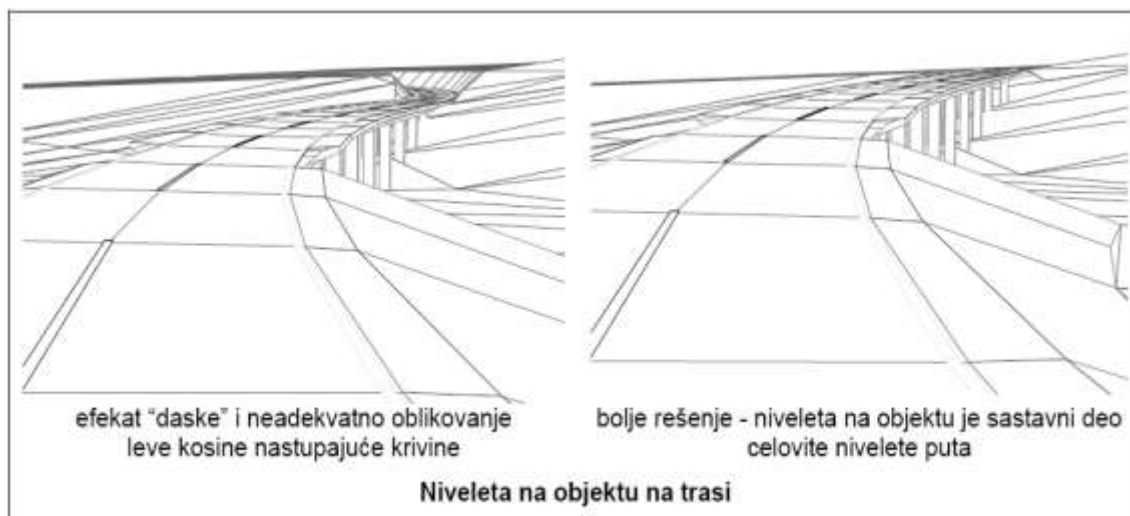
Slika 4.2.90: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – lom niveleta



Slika 4.2.91: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – prekinuta vizura preglednosti zbog konveksne krivine na pogrešnom mestu



Slika 4.2.92: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – lelujanje nivelete



Slika 4.2.93: Karakteristike vođenja osovine puta u 3D prikazu – niveleta i pogled na vijadukt