

# PUT – POTENCIJALNI UZROK DOGAĐANJA SAOBRAĆAJNIH NEZGODA

Vojo Anđus

*Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu*

**Rezime:** Rad se bavi opštom analizom sistema Vozač-vozilo-okolina sa posebnim osvrtom na elemente putne geometrije i bezbednost puteva.

**Ključne reči:** Bezbednost puteva, sistem vozač-vozilo-okolina, putna geometrija.

## ROAD – POTENTIAL CAUSE OF TRAFFIC ACCIDENTS

**Abstract:** This article deals with general analysis of Driver-Vehicle-Environment system with especially emphasis on road geometry and road safety.

**Key words:** Road Safety, Driver-Vehicle-Environment System, Road Geometry.

### 1. UVOD

Automobil je iz osnova promenio čoveku život, on je simbol slobode kretanja i individualnih osobnosti, a ujedno predstavlja i lični i privredni prestiž pojedinca i zemlje u celini. On pomaže u obavljanju raznih aktivnosti, on pripada porodici i ima značajan status u njoj. Može se sa sigurnošću reći da današnji kvalitet života svakog pojedinca značajno zavisi od automobila.

Navedene prednosti, koje često vlasnici automobila i nesvesno preneglašavaju, moraju se kritički razmotriti u svetlu negativnih efekata od kojih se mogu posebno izdvojiti:

- saobraćajne nezgode, koje od početka prate razvoj automobilizma, izuzetno ugrožavaju zdravlje ljudi, posebno mladih, i predstavljaju najviši nivo rizika u odnosu na ostale uzroke smrti,
- automobil je jedan od najizrazitijih zagađivača životne sredine (buka, aerozagađenje, zagađenje voda i tla, i sl.),
- izgradnjom puteva zauzima se prostor i razara pejzaž koji je nepovratno izgubljen za bilo koju drugu svrhu, i to za veoma dugi period vremena (koridori E-puteva se najčešće poklapaju sa pravicima rimskih puteva i zauzimaju najplodnija zemljišta).

Kada se radi o saobraćajnim nezgodama, u Srbiji se tokom jedne godine dogodi oko 60.000 u kojima nastrada od 15.000 do 18.000 lica sa oko 1.000 poginulih. Ono što posebno zabrinjava kada je reč o ovim nezgodama nisu samo apsolutni pokazatelji o povređenim i poginulim već i nivo (ne)bezbednosti saobraćaja na našim putevima u funkciji mobilnosti, što Srbiju svrstava u najugroženije zemlje Evrope. Navedeni podaci su dovoljno alarmantni, s obzirom na činjenicu da su manje-više konstantni u dužem vremenskom periodu, da izazovu širu nacionalnu zabrinutost kako sa stanovišta ugrožavanja zdravlja nacije, tako i sa stanovišta negativnih efekata po nacionalnu ekonomiju u celini (oko 2% nacionalnog dohotka).

Osnovno pitanje savremenog projektovanja puteva jeste kako uključiti zahteve bezbednosti u proces projektovanja i na koji način valorizovati primenjene projektne elemente sa stanovišta

bezbednost vožnje? No, pritom treba voditi računa i o ostalim, bitnim, zahtevima koje jedan put mora da ispuni kao što su: minimum investicionih ulaganja za izgradnju i održavanje, maksimalna protočnost (kapacitet) i minimum ekoloških posledica. Kao što se vidi, radi se o jednom složenom višekriterijskom problemu optimizacije koji se mora osmišljeno voditi od prvih planerskih razmatranja, pa sve do izrade projekata za izgradnju datog putnog pravca.

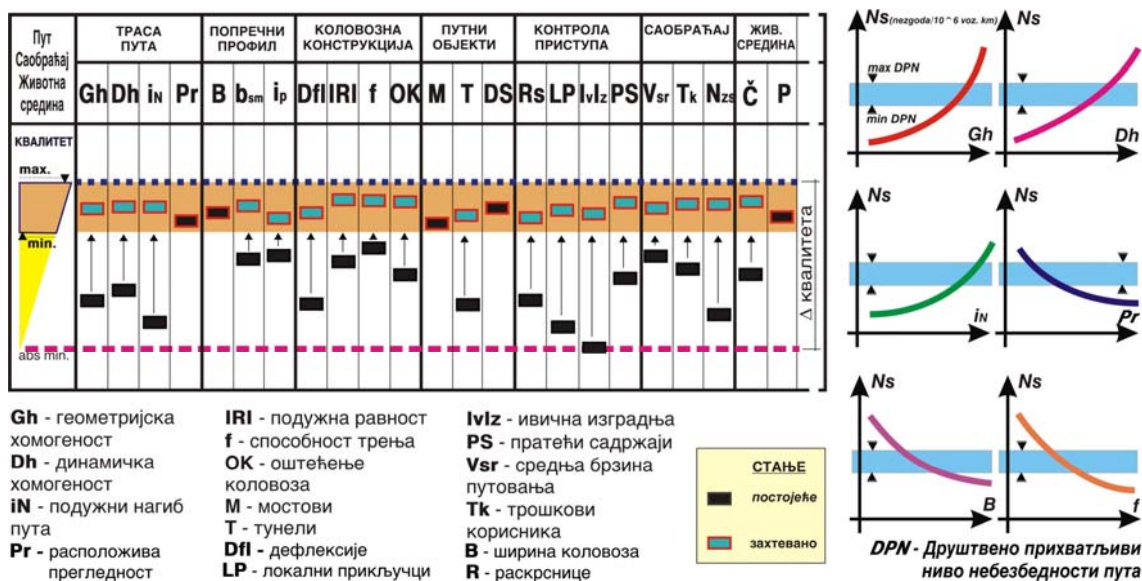
U projektovanju puteva, pre svega kod dimenzionisanja elemenata situacionog i nivelacionog plana, susrećemo se sa problemom funkcionalnog pristupa u normiranju i dimenzionisanju navedenih elemenata sa značajno izraženim nivoom nebezbednosti od oko 130 poginulih na 1 milion stanovnika. Osnovni problem je u formiranju proračunskih modela koji umnogome predstavljaju idealizaciju realnih događanja. Ovaj zadatak se u poslednjih četrdesetak godina pokušava rešiti analizom kompleksnih kibernetičkih modela, sistema vozač-vozilo-okolina (V-V-O) kojima je moguće, posebnou teorijskom smislu, uspešno opisati događaje u saobraćaju. Osnovni problem se javlja u kvantifikaciji pojedinih elemenata sistema, pre svega u kvantifikaciji informacionog sadržaja u vidnom polju vozača i uspostavljanju analitičkih postupaka i metoda za dimenzionisanje elemenata plana i profila puta na osnovu tog sadržaja. Navedeni problem nije u potpunosti rešen i danas se njemu pristupa sa različitih aspekata uz primenu eksperimentalnih (in situ i simulacionih) i teorijskih postupaka. Važno je istaći da visok nivo nebezbednosti nije posledica samo jednog elementa sistema (vozač, vozilo, okolina) već sinergije sva tri elementa na događanje saobraćajnih nezgoda.

Osnovni parametar koji služi za dimenzionisanje elemenata projektne geometrije puta jeste brzina, koja dominira i u, može se reći, svim analizama uzroka saobraćajnih nezgoda na vangradskim putevima. Stoga je problem definisanja merodavnih brzina u projektovanju puteva jedno od ključnih pitanja bezbednosti saobraćaja na putevima, odnosno projektovanja puteva po meri čoveka.

Presudnu ulogu u analizi bezbednost putne deonice ima homogenost nivoa bezbednosti, a ne nivo bezbednosti pojedinačnog (izolovanog) elementa puta. Usklađivanjem nivoa bezbednosti svih elemenata može se značajno uticati na smanjenje broja i težinu saobraćajnih nezgoda. Ovaj problem se relativno jednostavno rešava kod novoprojektovanih trasa primenom iterativnog postupka projektovanja i valorizacije projektne rešenja prema unapred definisanoj metodologiji i tehnologiji izrade projektne dokumentacije (L.01). Problem je kompleksniji kod rekonstrukcije i rehabilitacije postojeće putne mreže, i predstavlja veliki izazov i zahteva znanje i veštinu projektanta često veću nego za projektovanje novih deonica (L.03, 04). Kritička analiza postojećeg stanja (*dijagnoza*) uključujući i podatke o saobraćajnim nezgodama, predstavlja osnovu za izbor adekvatnog nivoa rekonstrukcije ili rehabilitacije (*terapija*). Ne treba posebno isticati negativna iskustva naše prakse gde se neretko događalo da posle izvedene rekonstrukcije ili rehabilitacije broj saobraćajnih nezgoda se poveća, i to posebno onih sa fatalnim ishodom. Iz tog razloga neophodno je, kada su posredi rekonstrukcije ili rehabilitacije postojećih puteva, efekte preduzetih mera analizirati tzv. postupkom pre i posle i verifikovati relevantnim statističkim metodama.

Ozbiljnost problema i razmere posledica zahtevaju da se u procesu planiranja i projektovanja puteva (novogradnje i rekonstrukcije) unapred definiše zahtevani nivo (ne)bezbednost, tzv. Društveno prihvatljivi nivo nebezbednost puta - DPN (nezgoda/milion vozila km) koji bi ujedno predstavljao i meru kvaliteta pojedinačnih elemenata. Kvantifikacija navedenog nivoa (ne)bezbednosti treba da predstavlja rezultat najšireg konsenzusa svih zainteresovanih subjekata i mora kao podlogu imati sveobuhvatnu i pouzdanu statističku analizu nezgoda u dužem vremenskom periodu i na dovoljno velikom uzorku elemenata puteva različitih funkcionalnih nivoa, v. sl. 1.

Definisanjem DPN-a u početnim fazama planerskih i projektantskih istraživanja moguće je definisati granične vrednosti projektnih elemenata puta sa stanovišta zahtevanog nivoa (ne)bezbednost i te vrednosti uporediti sa vrednostima dobijenim na osnovu vozno-dinamičkih, optičkih i konstruktivnih kriterijuma. Na taj način bi bilo moguće u početnim fazama izrade projektne dokumentacije (pre svih na nivou izrade Idejnog projekta) identifikovati potencijalna opasna mesta sa stanovišta bezbednosti vožnje i sprovesti neophodne analize, te uskladiti i homogenizovati nivo bezbednosti projektnih elemenata tokom procesa projektovanja. U protivnom, novoizgrađeni put može zahtevati hitne mere rekonstrukcije! Suština ovog koncepta je da se kroz proces projektovanja puteva, od Generalnog, preko Idejnog pa do Glavnog, bezbednost vožnje uključi i kao projektni i kao kontrolni parametar u znatno većoj meri nego što je to danas slučaj.



Sl. 1: Dijagram kvaliteta sa prikazom društveno prihvatljivog nivoa nebezbednosti (DPN)

## 2. SISTEM VOZAČ-VOZILO-OKOLINA

Na sigurnost i efikasnost putnog saobraćaja ravnopravno utiču tri osnovna činioca: vozač, vozilo i okolina. Dejstvo ovih činilaca na događaje u saobraćaju je uzajamno povezano tako da vozač, vozilo i okolina (V-V-O) čine kiberntečki sistem u kome funkciju upravljanja vrši vozač, objekt upravljanja je vozilo, a okolina je izvor informacija.

Upravljanje u sistemu V-V-O vrši se preko tzv. povratne sprege vozilo-vozač.

Međutim, u projektovanju puteva neophodno je, za pojedine korake, izvršiti i određene idealizacije elemenata sistema. Na primer, kada se rade vozno-dinamičke analize, isključuje se uticaj vozača (tj. radi se sa idealnim vozačem), a uticaj okoline ograničava se na neke elemente puta (npr. horizontalne krivine, usponi, padovi, vertikalne krivine). U ovakvim slučajevima signal delovanja kreće se u jednom pravcu - od ulaza ka izlazu, dok se upravljanje ostvaruje bez informacija o vrednostima upravljanih veličina.

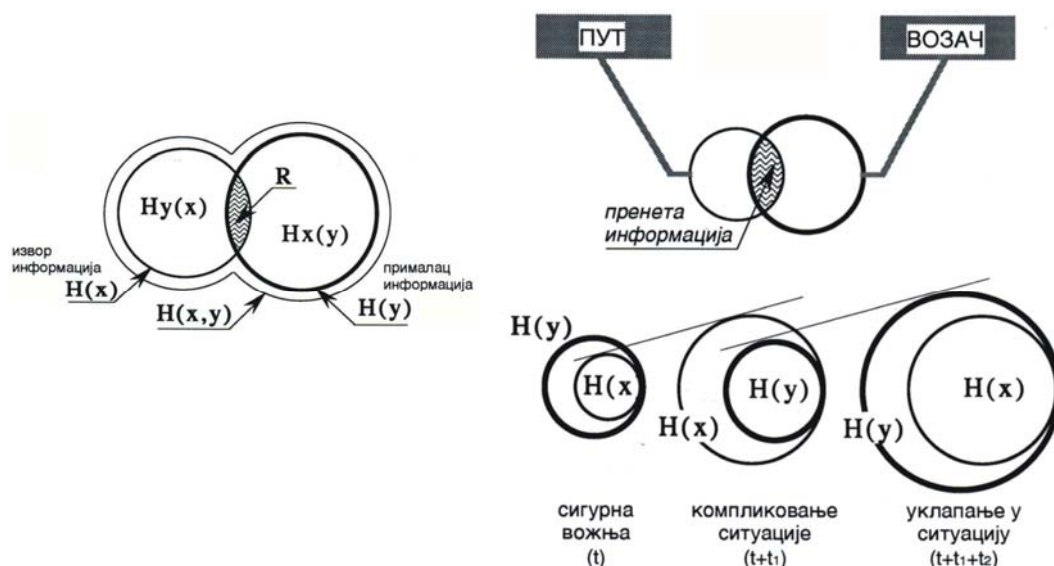
Poseban značaj u ovom sistemu ima pojam okoline koji se može razmatrati od najšire shvaćenih društvenih i političkih uslova odvijanja saobraćaja pa sve do okoline kao jednog strogo izdvojenog elementa i svih uticaja koji iz toga proizilaze po bezbednost i udobnost vožnje. Sa tehničkog aspekta, u užem smislu te reči, okolinu definišu tri globalna činioca: put,

saobraćaj i fizičko-klimatska sredina. Svaki od njih može se analizirati preko niza uticajnih parametara.

Za ispravan projektantski pristup posebno su značajni zaključci o tome kako vozač doživljava put i kako usklađuje svoje ponašanje pri bitno različitim uslovima vožnje (slobodni saobraćajni tok pri nivou usluge "A" i saobraćajni tok pri nivoima usluge "B-E"). S obzirom na ključnu ulogu koju ima u navedenom sistemu, kao organ upravljanja, vozač mora biti u stanju da primi informacije, izvrši njihovu preradu i preko izvršnih organa upravljačkom akcijom, deluje na uspostavljanje stabilnog stanja sistema, odnosno željenog položaja u vremenu i prostoru.

Tokom vožnje vozač prima informacije iz okoline posredstvom svojih čula, od kojih je posebno značajno čulo vida kojim prima više od 95% svih informacija (L. 05, 08, 10). Za pravilno prostorno oblikovanje puta od posebne je važnosti sposobnost vizuelne percepcije vozača koja zahteva obezbeđenje takve prostorne usklađenosti elemenata puta da se uz minimum emocionalnih napreznja ostvari optimalan transfer informacija u sistemu V-V-O. Ključnu ulogu u ovome ima vidno polje vozača (statičko i dinamičko) s obzirom da na osnovu sadržaja u njemu vozač reguliše način vožnje.

U uslovima slobodne vožnje, tj. stanje karakteristično za dimenzionisanje elemenata plana i profila puta, na ponašanje vozača gotovo isključivo utiču informacije o putu i putnom prostoru. Vizure vozača koncentrišu se prevashodno na površinu kolovoza, i to na dužini tzv. "izoštrene vizure preglednosti" (L. 05,10). Više od 75% svih vizura vozača usmereno je na desnu ivicu kolovoza ili na liniju koja obeležava osovinu kolovoza (dvotračni putevi). Stoga je bitno da se kroz projektovanje posebna pažnja posveti oblikovanju i obeležavanju vodećih linija puta. Od obilja informacija koje se nude vozaču tokom vožnje samo će određeni, i to manji broj biti prerađen u mozgu i na osnovu njih će se preduzimati upravljačke akcije. Od ukupne količine informacija koje vozač percipira ( $10^{11}$  bit/s) na podsvesnu i svesnu preradu otpada ( $10^6$  bit/s), odnosno (16 bit/s) respektivno (L. 05, 07). Količina informacija koja će biti prerađena direktno zavisi od nivoa budnosti i gustine nadražaja. Kvalitativno opisivanje prijema i prerade informacija moguće je prikazati pomoću Venovih dijagrama, v. sl. 2.



Sl. 2: Karakteristični slučajevi prenosa informacija u sistemu V-V-O (prilagođeno prema W. Durth-u)

Proces reagovanja vozača na trenutno nastale situacije u saobraćaju sastoji se od niza kontinualnih događaja (percepcija, identifikacija, procena, donošenje odluke, sprovođenje akcije) u kojima se realizuju donete odluke uz punu koordinaciju pokreta - **tr**.

Radi jednoobraznog tretmana putnih elemenata koji zavise od vremena reakcije, merodavne vrednosti utvrđuju se na vremena izmerena u 85% slučajeva na reprezentativnom uzorku pri uslovima neočekivanog zadatka. Vreme reakcije "tr" koje se primenjuje kod dimenzionisanja elemenata projektna geometrije puta iznosi 2 sekunde.

Čovečiji organizam ne reaguje na brzinu kretanja, već samo na promenu brzine (usporavanje, ubrzavanje) i promenu ubrzanja/usporenja (trzaj). Ovaj efekat vozači i putnici u vozilima osećaju kao dodatni potisak usled reakcije inercijalnih sila. Na veličinu osećaja utiču antropološke karakteristike putnika, konstruktivne osobine vozila, udobnost sedišta i sl. Kao što je istaknuto ranije, akcija vozača po pravilu izaziva promenu pravca ili brzine, odnosno, u oba slučaja javlja se ubrzanje ili usporenje. Prilikom promene pravca javlja se normalno ubrzanje na koje je, prema istraživanjima, čovečiji organizam mnogo osetljiviji, nego na tangencijalna ubrzanja.

U suštini, ovi nadražaji su i osnovni sadržaj povratne sprege u zatvorenom kibernetičkom sistemu vozač-vozilo-okolina, te je neophodno poznavanje njihovih praznih i graničnih vrednosti radi ispravnog kalibrisanja projektnih kriterijuma.

Projektni elementi puta dimenzionišu se za tangencijalna ubrzanja/usporenja u rasponu od 0,25g do 0,5g. Inače, u normalnim uslovima vožnje, vozači veoma retko prelaze vrednost  $u_T=0,30g$ . Što se normalnog ubrzanja tiče, ocenjuje se da je gornja granica udobnosti  $u_N=0,30g$ , a relativna udobnost može se očekivati tek pri  $u_N=0,25g$  pri  $V=40$  km/h, odnosno 0,1g pri  $V=130$  km/h.

Normalizovane vrednosti trzaja na osnovu kojih se dimenzionišu elementi puta kreću se u granicama 0,8-0,3 m/sec<sup>3</sup> za raspon brzina 40-130 km/h, dok se nepoželjnima smatraju vrednosti veće od 1,5 m/sec<sup>3</sup>.

### **3. ELEMENTI PUTNE GEOMETRIJE I BEZBEDNOST VOŽNJE**

Pored funkcionalnih zahteva koji potiču iz vozno-dinamičkih kriterijuma, i kriterijuma stabilnosti, savremeno projektovani put mora da zadovolji i likovne kriterijume koji se zasnivaju na vizuelnim predstavama i doživljaju puta od strane njegovih korisnika, odnosno oblik (forma) puta sledi i u službi je njegove funkcije (L.08, 09).

Ovaj aspekt je od bitnog uticaja na ponašanje vozača, tj. na ljudski faktor od kojeg potiču polazni uslovi za bezbednost saobraćaja. Zato se u savremenom projektovanju puteva, uz čisto tehničke kriterijume i standarde, ravnopravno razmatraju i teme koje tretiraju problem prostorne usklađenosti geometrijskih elemenata trase i uklapanje puta u prirodnu sredinu. Strogo uzevši, ovi problemi nadmašuju znanja klasičnog inženjera-trasera. Na njihovom razrešenju ima prostora za angažovanje mnogih naučnih i stručnih disciplina, kao što su: saobraćajna psihologija, teorija informacija, tehnička kibernetika, perspektiva, pejzažna arhitektura i dr.

Prvi začeci ideje o prostornom trasiranju i oblikovanju puta mogu se naći u radovima nemačkih inženjera početkom tridesetih godina dvadesetog veka (L.08). No, tek početkom pedesetih godina dvadesetog veka ova tema stiže ravnopravan tretman u projektovanju nove autoputske mreže u Nemačkoj i SAD (L. 08, 09).

Naime, tek tada je sazrelo saznanje da uzroke velikog broja saobraćajnih nezgoda treba vezati za pojam "doživljaj puta sa pozicije oka vozača", tj. da "prostorna slika puta" direktno utiče na ponašanje učesnika u saobraćaju i da se mora napustiti princip tzv. "železničkog trasiranja", odnosno da se putevi moraju projektovati (trasirati i oblikovati) po meri čoveka - vozača. Iz istraživanja ponašanja i reakcije vozača na kvalitetno različite vizuelne sadržaje, kao i na osnovu perspektografskih analiza, stvoreni su zaključci o optimalnim odnosima primenjenih geometrijskih elemenata u trasiranju. Takođe je akumuliran širok fond saznanja o optičkom dejstvu pratećih elemenata i detalja koji učestvuju u formiranju likovne predstave puta (L. 05, 07, 08, 09).

Teško je očekivati da se tehničkim pravilima obuhvate raznorodni uticaji, tim pre što svaka trasa ima svoje neponovljive uslove sredine. Ona se od prvih kontura razvija kao unikatni objekt bez mogućnosti umnožavanja. Utoliko je kreativni izazov veći, a veća je i odgovornost projektanta. Njemu predstoji zadatak da iz niza tehničkih elemenata i konkretnih prirodnih uslova stvori skladnu prostornu celinu. Za ovo je potrebno mnogo lične veštine i inženjerskog osećanja. Geometrijsko oblikovanje predstavlja proces skladnog komponovanja projektnih elemenata sa ciljem da se ostvari prostorna slika puta koja u vizuelnom pogledu ostavlja pozitivne utiske i vozačima uliva osećanje bezbednosti.

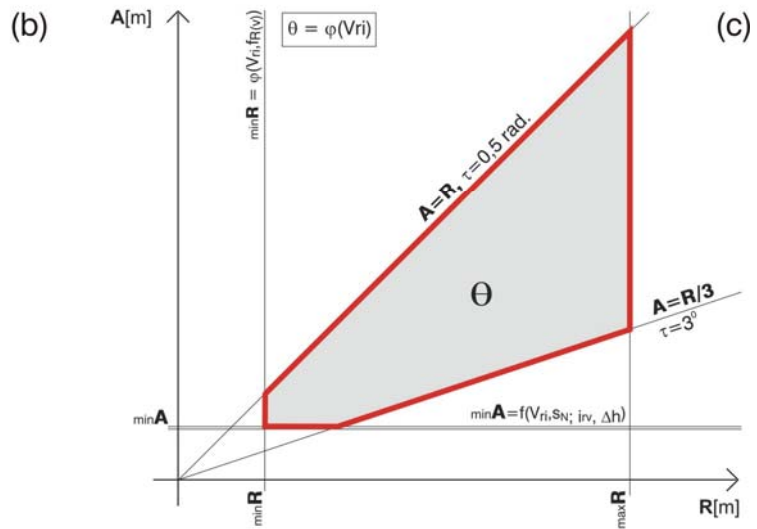
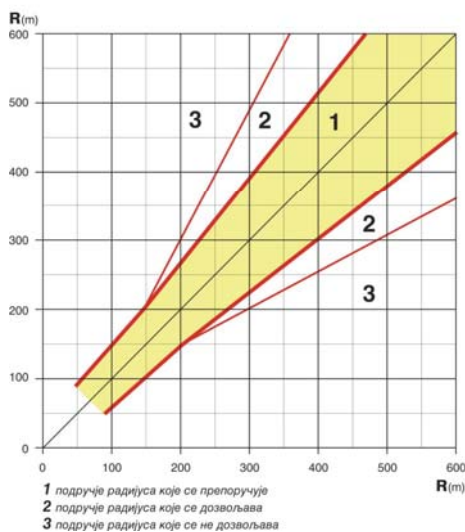
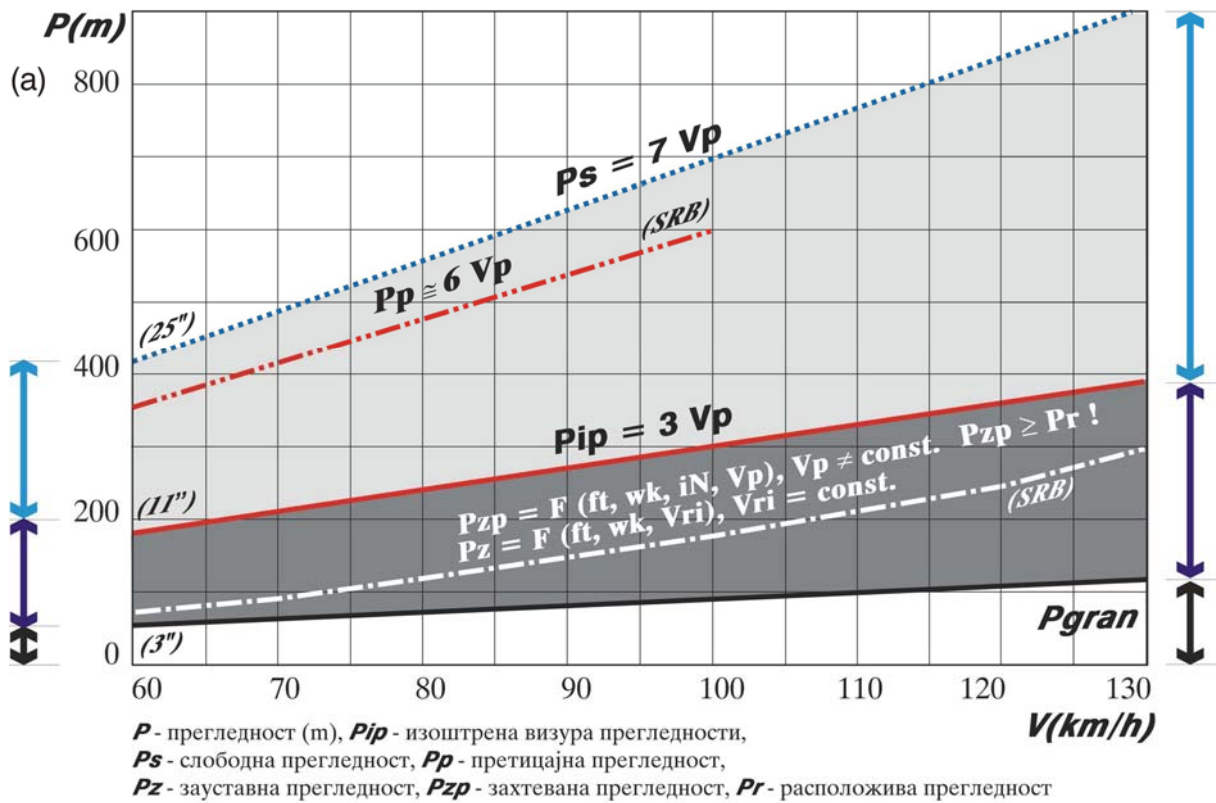
Za dostizanje ovog cilja nije dovoljno da svaki element bude u granicama kriterijuma zavisnih od brzine, već se pokazuje neophodnim da se uspostavi šira međuzavisnost projektnih parametara, kako unutar jedne linijske predstave, tako i u prostornom smislu. Ovaj stav zasniva se na činjenici da se utisci o putu stvaraju iz kontinualnog niza slika koje se javljaju u vidnom polju korisnika puta. To je, dakle, prostorna predstava koju formiraju strukturne linije puta (ivice kolovoza, markacija, zaštitne ograde i sl.) na tzv. slobodnoj dužini preglednosti (Ps).

U okviru slobodne vizure preglednosti – Ps, dužine 7-8 Vp (25-30 sec vožnje), u vidnom polju vozača jednovremeno se može naći više geometrijskih oblika (pravci, kružni lukovi, prelazne krivine i vertikalna zaobljenja) koji zajedno ocrtavaju prostorni tok puta. Utisak koji ovaj kompleksan sadržaj ostavlja na vozača potpuno je različit od jednoravanske predstave puta. U principu, svaki oblik posmatran sa pozicije oka vozača optički je transformisan, kako zbog dubinskog skraćivanja tako i zbog neprekidne promene ugla gledanja. Zato se u trasiranju mora voditi računa i o optičkim svojstvima svakog projektnog oblika i o geometrijskim kombinacijama od kojih se stvara celovita prostorna slika.

Na slici 3 prikazane su neke od granične vrednosti elemenata projektne geometrije koje će se naći u okviru novih tehničkih uputstava za projektovanje vangradskih puteva u Srbiji.

Poznato je da vozač i pri najvećim brzinama registruje u svojoj svesti sadržaje iz neposredne putne okoline (kosine puta, objekti, signalizacija i dr.), čime upotpunjuje opštu predstavu o putu. Kvalitet ovih sadržaja utiče na njegovo emocionalno stanje, što se indirektno odražava kroz ponašanje u vožnji. Osim navedenog, put je izložen i pogledima šireg kruga posmatrača (stanovnici zone, putnici, izletnici itd.), koji njegove likovne vrednosti doživljavaju kao sastavni deo svog životnog prostora. Oba aspekta nameću zadatak oblikovanja putnog pojasa i svih pratećih objekata, prostorna i fizička struktura puta, sa ciljem da se ostvari jedinstvo puta i okoline. Nema sumnje da je ovo i složen i odgovoran zadatak. Složen je zbog raznolikih uticaja i uslova koji se jednovremeno javljaju, a odgovoran zbog toga što se radi o remodeliranju prirodne sredine, čiji se sklad, u principu, remeti svakom novom izgradnjom.

Zato ovaj zadatak zahteva kreativan napor projektanta, da uporedo sa vođenjem projektnih linija trase osmisli i najprikladnija rešenja za uklanjanje puta u pejzaž i oblikovanje putnih objekata.



Sl. 3: Polja izbora osnovnih elemenata projektovanja

- preglednosti
- susednih radijusa horizontalnih krivina u funkciji usaglašenih projektnih brzina -  $V_p$
- klotoida za određenu vrednost računске brzine deonice -  $V_{ri}$

#### 4. ZAKLJUČAK

Neosporno je da je u središtu procesa projektovanja puteva kreativnost projektanta. Nasuprot kreativnoj sposobnosti, analitički postupci u projektovanju puteva su definisani određenim međuzavisnostima: pojedinačni aspekti problema su obično poznati, kao i potreban nivo

numeričkih pokazatelja. Naravno, uslov za sintezu je postojanje određene metodologije, odnosno kao i u mnogim drugim disciplinama i u projektovanju puteva dominantni problemi su metološki (L.01, 03).

No, još jednom treba naglasiti da sam proces projektovanja mora da se bavi analizom posledica predloženih projektnih rešenja, odnosno da formalna primena elemenata koji su definisani propisima ili tehničkim uputstvima nije sama po sebi garant usešnosti rešenja!

Samo primenom iterativnog postupka u projektovanju puteva u utvrđenim fazama izrade projektne dokumentacije (Generalni, Idejni, Glavni i Izvođački projekat) može se uz primenu odgovarajućih simulacionih modela i postupaka ostvariti viši nivo funkcionalnih zahteva i ispuniti osnovni uslov o jedinstvu forme (oblika), funkcije i konstrukcije koji predstavlja osnovu svih graditeljskih poduhvata i garantuje udobnost, bezbednost i efikasnost puteva i putnog saobraćaja.

## LITERATURA

- [1] Anđus, V., Maletin, M.: *Metodologija projektovanja puteva*, GF Beograd, 1993, str.209.
- [2] Anđus, V.: *Projektovanje puteva – sinteza iskustva, racionalnosti i kreativnosti, inauguralno predavanje*, GF Beograd, 1994, str.38.
- [3] Anđus, V i dr.: *Metodologija projektovanje rekonstrukcije puteva*, GF Beograd, 2001, str.96.
- [4] Anđus, V.: *Osnove projektovanja rehabilitacije vangradskih puteva*, Građevinski kalendar 2006, Beograd, 2005, str.513-543.
- [5] Dietrich, K., Rotach, M., Boppart, E.: *Strassen-projektierung, IVT-ETHZ*, Zuerich, 1993, S. 622.
- [6] Katanić, J., Anđus, V., Maletin, M.: *Projektovanje puteva*, Građevinska knjiga, Beograd, 1983, str.428.
- [7] Lamm, R., Psarianos, B., Mailaender, T.: *Highway design and traffic safety engineering handbook*, McGraw-Hill, New York, 1999, p. 895.
- [8] Lorenc, H.: *Projektovanje i trasiranje puteva i autoputeva*, prevod, Građevinska knjiga, Beograd, 1980, str.440.
- [9] Tunard, C., Pushkarev, B.: *Man-made America, Yale University Press*, New Haven and London, 1974, p. 479.
- [10] Weise, G., Durth, W.: *Strassenbau: Planung und Entwurf*, Verlag fuer Bauwesen GmbH, Berlin 1997, S. 436.