

Svjetska proizvodnja ceritne legure iznosila je 1953 600...800 t i u stalnom je porastu. Najveći su proizvođači USA, Kanada, Francuska, Austrija i Njemačka.

Čisti metalni cer može se tehnički proizvoditi na načelno isti način kao mischmetal ako se mjesto smjese soli ceritnih zemalja upotrijebe u elektrolizi čiste soli cera. U malom mjerilu može se metalni cer proizvesti redukcijom cer-klorida pomoću natrijuma ili kalcijuma, ili termičkim rastvaranjem amalgama cera.

Upotreba metalnog cera i legurâ cera. Cer i mischmetal legiraju se gotovo sa svim metalima. (Ne miješaju se u tekućem stanju s uranom, pa se stoga mogu upotrijebiti za ekstrahiranje produkata fisije iz upotrijebljenog nuklearnog goriva.) Kad se legure cera taru tvrdom površinom, stvaraju se iskre koje mogu zapaliti gorive plinove i pare. Stoga se od takvih legura, koje se nazivaju *piroforne* (mada nisu piroforne u strogom smislu te riječi, tj. nisu samozapaljive na običnoj temperaturi), izrađuju krešiva za upaljače.

Od piroforne legura ceritnih zemalja s drugim metalima daleko najveću tehničku važnost ima legura mischmetala sa željezom (Auerov metal, njem. Cereisen), koju je prvi opisao Auer von Welsbach 1903. Količina željeza u takvim legurama kreće se od 18 do 30%, uz manje količine Zn, Al, Mg, Cu i Si. Mischmetal za proizvodnju ovih legura treba da sadrži najmanje 35% cera, jer ostali ceritni metali sami ne daju sa željezom upotrebljive piroforne smjese. Ceritne legure sa željezom treba da sadrže ~ 3% magnezijuma; u protivnom slučaju iskre legure vrcaju suviše odvojene jedna od druge, što za većinu upaljača nije poželjno. Legiranje mischmetala sa željezom vrši se pod rastaljenim slojem barijum-klorida uz temperaturu peći od 1050...1200 °C. Dobivena legura lijeva se ili presuje u željene oblike. Pirofornost legure je to veća što se masa pri ulijevanju u kalupe polaganije hladi; pri sporom hlađenju, naime, stvaraju se lakše kristaliti spojeva ceritnih metala sa željezom (CeFe_2 , Ce_2Fe_3), a od tih kristalita zavise piroforne svojstva produkta.

Za rudarske lampe upotrebljavala se pirofora legura mischmetala sa 15...20% cinka, koja ima višu temperaturu zapaljenja (300 °C). Ceritne legure s olovom, manganom, bakrom i antimonom danas više nemaju tehničkog značenja.

Ukupna svjetska potrošnja piroforne legura sa cerom iznosi preko 200 t godišnje. 1 kg kamenčića za upaljače stoji u SR Njemačkoj 60...70 DM (1953).

Višestрана je primjena cera i ceritnih legura u metalurgiji. Mischmetal se mnogim legurama dodaje radi oplemenjivanja. Dodan u malim količinama legurama nikla, kroma, aluminijuma i magnezijuma, mischmetal povećava njihovu otpornost prema oksidaciji. U USA se proizvodi legura magnezijuma EZ33A koja sadrži 3% mischmetala, 2,7% cinka i 0,5% cirkonijuma; legura ZE10A sadrži 1,25% cinka i 0,17% mischmetala. Značajna je upotreba ceritne legure u industriji željeza, osobito pošto je uspjelo bitno smanjiti njenu zapaljivost. Dodan u količini od 0,002%, mischmetal povećava duktilnost željeza time što na zaslada još neobjašnjen način prevodi čestice grafitu u lijevanom željezu iz lisnatog u kuglasti oblik. Do 1,5% mischmetala u lijevanom željezu smanjuje štetnost sumpora i povećava čvrstoću metala; time se ujedno smanjuje viskoznost taljenog željeza i poboljšavaju mogućnosti za njegovo oblikovanje. 2 kg ceritne legure dodane na tonu čelika povišuju čvrstoću čelika za 13...25%. Međutim, zbog razmjerno visoke cijene ceritne legure, u industriji čelika uspješno joj konkurira znatno jeftiniji magnezijum i njegove legure.

Legure cera u finom praškastom stanju mogu se upotrijebiti za skupljanje ostataka plinova u vakuumskim cijevima. Legura od čelika sa 14% cera upotrebljava se za svjećice eksplozivnih motora, jer je postojana prema sumpornim plinovima. Za različite svrhe cer se legira i s bakrom, molibdenom, volframom i barijumom.

SPOJEVI CERA

Cer (IV)-oksid, CeO_2 , u čistom stanju bijel prah, nastaje sagorijevanjem cera, a proizvodi se žarenjem oksalata ili hidroksida cera. Obično je žuto do smeđe obojen od onečišćenja drugim rijetkim zemljama, osobito praezodim-oksidom. Netopljiv je u kiselinama. Zbog visokog tališta (~ 2600 °C) CeO_2 se upotrebljava u tehnološkim postupcima na visokim temperaturama (staklarstvo, keramika, legiranje). Najvažnija mu je primjena u industriji op-

tičkog stakla, za brušenje leća, ogledala i sl. Dodatak hidratiranog oksida cera, $\text{CeO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ ($x = \frac{1}{2} \dots 2$), znatno poboljšava abrazivna svojstva CeO_2 . Hidratirani oksid dodaje se staklu zajedno s drugim supstancijama (natrijum-nitratom, kobalt-oksidom, didimijum-karbonatom, selenijumom) i radi uklanjanja boje. S titanom cer daje staklu žutu boju od cer-titanata. U USA se godišnje troši ~ 300 t CeO_2 za poliranje stakla i ~ 50 t hidratiranog oksida kao dodatak staklima. Osim toga, za brušenje se godišnje troši u USA i oko 400 t smjese oksida rijetkih zemalja (sa ~ 50% CeO_2). CeO_2 i oksidi ceritnih zemalja pomiješani s drugim materijalima daju, zagrijani, veoma intenzivno svjetlo, pa se s ugljikom upotrebljavaju za električke lukove reflektora, kinoprojektora i sl. Auerova mrežica za plinsku rasvjetu sadrži uz tor-oksid i 1% CeO_2 . *Cer (III)-klorid*, CeCl_3 dobiva se otapanjem karbonata ili hidroksida cera u solnoj kiselini. Heptahidrat, $\text{CeCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, nastaje zasićenjem koncentrirane otopine CeCl_3 solnom kiselinom ili isparavanjem otopine CeCl_3 do sirupaste konzistencije i hlađenjem. Bezvodni CeCl_3 i smjesa ceritnih klorida upotrebljavaju se za elektrolitičko dobivanje cera i ceritne legure. U USA se u tu svrhu utroši godišnje ~ 230 t ceritnih klorida. *Cer (III)-nitrat*, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, bezbojna masa, vrlo lako topljiva u vodi i alkoholu, dobiva se kristalizacijom iz otopine cer(III)-karbonata u dušičnoj kiselini. Upotrebljava se kao ispirać u fotografiji. *Cer (IV)-sulfat*, $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2$, žuti kristali, dobivaju se grijanjem CeO_2 sa koncentriranom sumpornom kiselinom. Djeluje kao jako oksidacijsko sredstvo. Služi u volumetrijskoj analizi (cerimetriji), u fotografiji kao ispirać, kao reagens na neke organske spojeve (santonin, strihnin). *Cer (III)-oksalat*, $\text{Ce}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, bijel kristalan prah, teško topljiv u vodi; nastaje djelovanjem oksalne kiseline ili topljivih oksalata na otopine soli cera. Djeluje kao sredstvo protiv povraćanja i morske bolesti. Budući da se zbog teške topljivosti sporo resorbira, u medicini se upotrebljava u obliku kompleksnog koloidnog spoja (Peremesin). Ceritni *oleati* i *stearati* služe u tekstilnoj industriji za izradu nepromočivih tkanina. *Naftanat* cera upotrebljava se kao sušilo za tinte i boje.

U USA je 1962 proizvedeno ~ 900 t spojeva cera, računato kao CeO_2 ; od toga je jedna trećina bila u obliku spojeva samog cera a dvije trećine u obliku smjese spojeva ceritnih zemalja. Cijene tih spojeva kretale su se od 25 ¢/lb za smjesu ceritnih spojeva do nekoliko dolara po funti za čiste spojeve cera.

LIT.: D. M. Yost, H. Russell, C. S. Garner, The rare earth elements and their compounds, New York 1947. — R. C. Vickery, The chemistry of the lanthanons, London 1953. — J. A. Gibson et al., The properties of the rare earth metals and compounds, Columbus 1959. — F. H. Spedding, A. H. Daane, The rare earths, New York 1961.

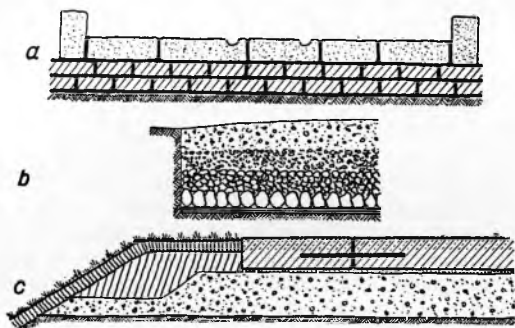
Lj. Grlić

CESTA (drum), kopneni put koji je smišljenom i svjesno usmjerenom akcijom osposobljen ili stvoren za obavljanje kolnog saobraćaja. S istim značenjem upotrebljava se i riječ *put*, koja u širem smislu znači saobraćajnu liniju bilo koje vrste, a u najširem smislu, pravac kretanja.

Prve putove čovjek je naslijedio od životinja, koje su svojim redovnim odlascima na vodu ili periodskim seljenjima stvarale utabane tragove i staze. Na isti način je i čovjek najprije nesvjesno stvarao putove u prethistorijsko vrijeme; kasnije je u sve većoj mjeri svjesno ulagao svoj rad u poboljšanje postojećih i građenje novih putova, tražio povoljne prelaze preko vodotoka, počeo stvarati primitivne mostove, itd. U tu epohu historijskog razvika ceste treba ubrojiti često spominjano čaju i svilenu «cestu» (iz Kine ka Crnom moru), solnu «cestu» (preko Hadramauta kroz Arabiju prema Maloj Aziji) i jantarske «ceste» (od Sjevernog i Baltičkog mora do Jadranskog i Sredozemnog mora). To nisu bile ceste u današnjem smislu, nego uglavnom samo smjerovi kojima se odvijala tadašnja razmjena dobara, a koji su tek djelomično bili ljudskom akcijom osposobljeni za tadašnje potrebe putovanja pješaka i tovarne stoke. Zanimljivu kariku u lancu historijskog razvika ceste predstavlja kineska putna mreža koju je dao (oko ~ 2300) sagraditi car Yau. To je već bila planski raspoređena mreža kopnenih putova (možda u najširem smislu te riječi, tj. pravaca kretanja) koja je povezivala pojedine vodene putove. Zanimljiva je i perzijska cesta od Sardesa preko Ninive do Suze, s krakom do Ekbata, koja je sagrađena u vrijeme kralja Darija I, tj. na prelazu od ~ V na ~ IV st. Taj je put na dužini od ~ 2500 km imao 111 izgrađenih stanica, konačišta, zdenaca i čuvarnica, ali o načinu kako je izgrađen ne zna se više nego o kineskim cestama. Jasnija je slika o kame-nom taranacnoj cesti izgrađenoj na Kreti vjerojatno oko ~ 1500. Na taj se put već može primijeniti naziv «cesta» u punom današnjem smislu te riječi.

Kako se vidi iz navedenih primjera, nivo razvoja cestogradnje bio je u pojedinim historijskim epohama u različitim krajevima svijeta vrlo različit. Najstarije poznate ceste u Babilonu potječu otprilike iz godine ~ 3000, bile su taracane (sl. I a), a prema nekim historičarima, na Istoku su u to isto vrijeme bili primjenjivani čak i prvi oblici asfaltnih kolovoza; u kontinentalnoj Evropi prvi od onih sasvim primitivnih putova kojima se danas daje ime Jantarske ceste pojavljuju se otprilike hiljadu godina kasnije, a spomenuta cesta na Kreti hiljadu i po godina kasnije; ceste peruanskih Inka, prvi — koliko znamo — planski izgrađeni putovi u Americi, sagrađeni su jedno tri hiljade godina poslije ceste na Kreti. Pre poznate cestovne građevine (mostovi, vijadukti, usjeci u stijenama itd.) pojavile su se nekako istovremeno u Kini (za dinastije Han) i u rimskoj imperiji.

Epohu izgradnje rimskih cesta treba svakako smatrati najznačajnijim periodom u historijskom razvoju cestogradnje. Najmarkantniji dio tog perioda pada u vrijeme od nešto prije godine 300. Via Appia počela se graditi 312 do kraja II st. Rimska cestovna mreža obuhvaćala je ~ 150 000 km cesta, a protezala se preko gotovo svih zemalja centralne Evrope, pa čak i u sjevernije dijelove zapadne Njemačke. Gradnja i eksploatacija tih cesta različitih kategorija i konstrukcija bila je već solidno i smišljeno organizirana, počevši od planiranja pravaca prema njihovom značenju, preko tehničkog trasiranja pojedinih linija, odabiranja konstruktivnih detalja ceste, izgradnje cestovnih objekata, pa sve do organiziranog cestovnog saobraćaja i održavanja cesta. Debljina cestovne konstrukcije i konstruktivni detalji (vrst kolovoza i podloge) odabrani su prema značenju ceste i karakteristikama terena. Kolovozi su rađeni od šljunka ili tucanika, ili pak u obliku taraca od kamenih ploča. Cestovna podloga izvedena je od nekoliko slojeva kamenog materijala, a počivala je na ležištu krupnijeg kamenog materijala (često učvršćenog mortom) ili na drvenom roštilju i šipovima (u podvodnim i močvarnim krajevima). Cjelokupna debljina cestovne konstrukcije dosizala je, za najvažnije ceste, čak i do 1 m.



Sl. 1. Presjeci cesta u vremenskom rasponu od oko 5000 godina. a) cesta građena u Babilonu (za procesije) prije 5000 g. Podloga je izrađena od dva reda pečene opeke debljine oko 12 cm. Spojnice široke oko 3 cm zalivene su asfaltnim mortom. Kolovoz od kamenih ploča ima uklesane tragove za svedena kola; b) jedan od karakterističnih presjeka rimskih cesta građanih prije otprilike 2000 godina. Konstrukcija ceste bila je debela oko 1 m. Slične konstrukcije, samo s manjim debljinama građe se još i danas; c) karakterističan presjek savremene ceste s betonskim kolovozom. Betonske ploče kolovoza, debele oko 22 cm, položene su na 30...60 cm debeli sloj šljunka

Klasična shema presjeka cestovne konstrukcije sadržavala je četiri sloja, i to: *statumen* (najdonji sloj lomljenjaka na ležištu zbijenog tla), *uderatio* (sloj krupnog tucanika — šakavca), *nucleus* (tucanik od kamena ili opeke) i *summa acrusta* ili *sumum dorsum* (kolovozni sloj šljunka, ili pijeska, ili sitnog tucanika, ili pak tarac od kamenih ploča). Cesto su donji slojevi (a ponekad i najgornji sloj) bili vezani vapnеним mortom (sl. 1b).

Visoki stupanj cestogradnog umijeća tog perioda odrazio se također u veličini i u tehnici izvođenja cestovnih objekata. Rimljani su za svoje ceste gradili savršene mostove, propuste, potporne zidove, galerije za zaštitu od lavina, pa čak i tunele (tunel Posillipo bio je dug 770 m, širok 6 m i visok 4...8 m, a imao je i nekoliko okana za osvijetljenje).

Nakon perioda rimskih cesta nastaje u evropskoj cestogradnji zastoj koji traje cijeli srednji vijek, pa i u prvim stoljećima novog vijeka. Naslijeđene ceste nisu dovoljno održavane, a nove su ceste građene sa zemljanim kolovozom, koji je bio sposoban za saobraćaj samo u suho vrijeme. Taracane ceste izvođene su samo u nekim gradovima (prva oko 850 u Córdoba, zatim 1184 u Parizu, itd.).

U historijskom razvoju cestogradnje u to vrijeme značajno mjesto zauzima intenzivnija cestogradska djelatnost peruanskih Inka u Južnoj Americi. U XV st. oni su na svom području izgradili dobro organiziranu cestovnu mrežu u dužini od preko 10 000 km s poštanskim stanicama na svaka 2...3 km i odmaralištima na svakih 20...30 km. Karakteristika tih cesta je vođenje njihovih trasa, pri kojemu skoro nisu uzimane u obzir visinske razlike terena. Neke od tih cesta (koje su bile građene od porfirnog kamena) služe još i danas saobraćaju.

Neodrživo stanje evropske cestovne mreže toga vremena urodilo je, konačno, tek u XVIII stoljeću, potrebom da se za tu granu građevinarstva postave naučne osnove. God. 1747 osniva se u Francuskoj *École des Ponts et Chaussées*, a mnogo kasnije, tj. 1829, dobiva cestogradnja katedru i na londonskom univerzitetu. Time je stvorena solidna podloga za ponovni razvitak evropske, a i van-evropske, cestogradnje u naprednom smislu.

Viđnu i značajnu epohu u historijatu cestogradnje predstavlja Napoleonovo doba. Njegove za ono vrijeme dobro građene ceste protezale su se kroz sve njemu potčinjene evropske zemlje.

Konačni poticaj za sadašnji rapidni napredak cestogradnje i nauke o cestama dat je izumom automobila i naglim razvojem industrije tih vozila. Mekane, neravne i prašnave ceste nisu odgovarale za brzo i relativno teško cestovno vozilo kao što je automobil, pa već koncem XIX st. počinju se u Francuskoj i Italiji prskati ceste tekucim katranom, da bi se učvrstila površina kolovoza i smanjila prašina koju dižu automobili.

Masovnija proizvodnja automobila nakon Prvog svjetskog rata prouzrokovala je nagli porast cestovnog saobraćaja, a time i potrebu rekonstrukcije postojećih i gradnju novih, suvremenijih cesta. Prvi specijalni autoput u dužini od ~ 10 km izgrađen je 1921 kraj Berlina, a služio je uglavnom za eksperimentalne svrhe. 1929 gradi se autoput Köln-Bonn, i to je u stvari početak izgradnje sistema velikih njemačkih autoputova i općenito evropske mreže modernih putova namijenjenih isključivo brzom automobilskom saobraćaju. U vrijeme ekonomske krize tridesetih godina rješava se u USA problem nezaposlenosti ostvarenjem velikih javnih radova, među kojima gradnje modernih autoputova zauzimaju značajno mjesto. Nakon Drugog svjetskog rata sve evropske i brojne van-evropske zemlje ulazu u golemu sredstva u izgradnju mreže modernih autoputova, jer to iziskuje nagli razvoj međunarodnog automobilskeg transporta i nova privredna grana: automobilski turizam. Posebna međunarodna tijela i udruženja, kao npr. Stalno međunarodno udruženje kongresa za ceste (Association Internationale Permanente des Congrès de la Route, osnovano 1908), Komitet za unutrašnji saobraćaj Ekonomske komisije za Evropu OUN, Međunarodni turistički savez, itd., određuju pravce glavnih međunarodnih putova i donose propise o načinu njihove gradnje i opreme.

Ceste se mogu klasificirati prema različitim kriterijima, pa se tako razlikuju: *tehničko klasificiranje*, kojeg su kriteriji: broj saobraćajnih traka, vrsta i kvalitet kolovoza i karakter terena; *saobraćajno-ekonomsko klasificiranje*, kojeg su kriteriji: karakter saobraćaja, težina ili gustoća saobraćaja, vrsta vozila; *klasificiranje za specijalne svrhe*, kojeg su kriteriji: administrativno-upravni momenti, vojni zadaci i dr.

Službena klasifikacija cesta u pojedinim zemljama, pa tako i kod nas, dana je odgovarajućim propisima.

Za pojedine regulative predviđaju propisi i dva tehnička kriterija: karakteristike terena (4 kategorije), vrste kolovoza (za određivanje poprečnih nagiba).

Dakako, pri obradi pojedinih materija iz područja cestogradnje ili pri projektiranju pojedinih cesta često je potrebno uzeti u obzir i mnoge druge kriterije za klasificiranje, van onih koji su navedeni u našim tehničkim propisima. V. Bedeković

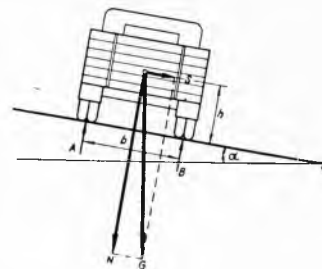
KRETANJE MOTORNH VOZILA PO CESTAMA

Ceste treba projektirati i graditi tako da potpuno udovoljavaju saobraćajnotehničkim zahtjevima za sigurno i brzo kretanje vozila. Motorna vozila stavljaju znatne saobraćajnotehničke zahtjeve prema kojima se mora odrediti trasa, konstrukcija i oprema ceste; zato je posebno posebno razmotriti kretanje tih vozila.

U cestovnom saobraćaju se upotrebljavaju različita motorna vozila: motocikli, motocikli s prikolicama, osobni automobili, teretni automobili, autobusi, trolejbusi, tramvaji, traktori s prikolicama, lokomobili itd. Pri projektiranju i građenju cesta treba naročito uzeti u obzir kretanje osobnih i teretnih automobila kao glavnih cestovnih motornih vozila.

Normalan položaj vozila na ravnoj cesti (u pravcu) je horizontalan. U tom položaju je vozilo simetrično opterećeno i vožnja je u tom položaju najudobnija. Kako cesta u pravcu radi odvodnjavanja ima poprečni nagib,

vozilo skoro nikad nema priliku da dođe u horizontalan simetričan položaj. To je moguće jedino kod dvostranog (krovnog) nagiba kolovoza ako vozilo vozi sredinom ceste, no u tom položaju ono zauzima dio cestovne površine koja je određena za vozilo suprotnog smjera. Upravo zbog toga, da bi se izbjegla takva nepropisna vožnja, izvodi se jednostrani poprečni pad i u pravcima. Iz sl. 2 vidi se da su lijevi i desni točkovi vozila u takvom položaju opterećeni različito pa je trošenje guma nejednolično. Reakcije na lijevim i desnim točkovima dane su jednadžbama:

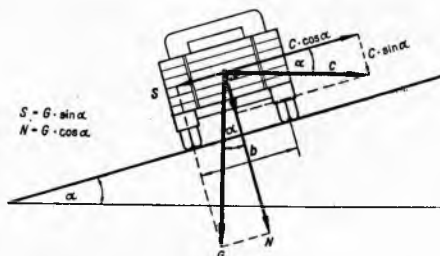


Sl. 2. Sile na vozilu pri vožnji u pravcu

$$A = \frac{N}{2} - \frac{Sh}{b}, \quad B = \frac{N}{2} + \frac{Sh}{b}.$$

Značenje pojedinih oznaka vidljivo je iz sl. 2.

Komponenta S uzrokuje ne samo povećanje opterećenje nego može prouzrokovati i klizanje vozila. Tom se klizanju opire trenje između gume i vozne površine. Veličina tog trenja ovisi o komponenti N i koeficijentu trenja μ , koji je različit za različite materijale i za iste materijale pod različitim okolnostima (kad je materijal suh, vlažan, mastan, prašan itd.), a mijenja se i sa promjenom brzine vozila. Najveću vrijednost ima u početnom stanju gibanja, a s povećanjem brzine se smanjuje.



Sl. 3. Sile na vozilu pri vožnji u krivini

U krivini (zavoju) vozilo ima skoro isti položaj kao i u pravcu, ali uslovi gibanja nisu isti. U krivini se pojavljuje još i centrifugalna sila C . Iz sl. 3 se vidi da je djelovanje centrifugalne sile u smjeru vanjske strane krivine, tj. suprotno od komponente sile teže (gravitacije) $S = G \sin \alpha$. Komponenta S umanjuje djelovanje centrifugalne sile, i to toliko više koliko je veći poprečni nagib. Međutim, poprečnim nagibom ne može se djelovanje centrifugalne sile posvema eliminirati, nego razliku između komponente S i suprotno djelujuće komponente $C \cdot \cos \alpha$ treba da preuzme trenje.

U cestovnom saobraćaju motornih vozila razlikuju se dvije vrste trenja smicanja među pneumaticima i kolovozom i dvije vrste klizanja točkova. Jedno je trenje smicanja i klizanje u smjeru vožnje (uzdužno), koje utječe na pokretanje i zaustavljanje vozila, pa zahtijeva da se odredi ispravna udaljenost za sigurno kočenje i zaustavljanje vozila; drugo je trenje smicanja i klizanje okomito na smjer vožnje (poprečno), koje utječe na kretanje vozila u krivinama pa iziskuje ispravnu brzinu vožnje i odgovarajuće polumjere krivina za sigurnu vožnju pri mijenjanju smjera vožnje i proti opasnosti poprečnoga klizanja vozila.

Koeficijenti trenja smicanja imaju, po tabeli R. A. Moyera, na mokrim cestama, s novim pneumaticima, pri brzini 65 km/h ove vrijednosti:

na kolovozu	šljunčanom	μ	uzdužno	0,71,	poprečno	0,63
"	"	betonskom	"	0,37,	"	0,66
"	"	blatnom	"	"	"	"
"	"	betonskom	"	0,57,	"	0,25
"	"	asfaltnom	"	0,32,	"	0,88

Matematički izraz za centrifugalnu silu glasi:

$$C = m \cdot \frac{v^2}{R} = \frac{G v}{R} \quad (1)$$

gdje je m masa vozila, v brzina vozila, R radijus kružnog luka ceste, G težina vozila.

Za sigurnost saobraćaja potrebno je ispuniti uvjet:

$$\mu (G \cos \alpha + C \sin \alpha) > (C \cos \alpha - G \sin \alpha),$$

gdje je α kut poprečnog nagiba kolovoza.

Sila $(C \cos \alpha - G \sin \alpha)$ uzrokuje radijalnu akceleraciju p . Ona se pri vožnji u krivini osjeća kao bočni pritisak, a na prelazu iz pravca u krivinu kao bočni udar. Radijalna akceleracija iščezava kada je $C \cos \alpha = G \sin \alpha$, tj.:

$$C \cos \alpha - G \sin \alpha = 0. \quad (2)$$

Uvrstivši u (2) vrijednosti za centrifugalnu silu prema jednadžbi (1) dobiva se konačni oblik:

$$\frac{v^2}{R} - g \tan \alpha = 0 \quad (3)$$

Kad bi se samim poprečnim nagibom, uz brzinu v , eliminiralo cijelo djelovanje centrifugalne sile na krivini radijusa R , taj bi nagib, prema tome, morao iznositi: $\tan \alpha = v^2/Rg$.

Kad je izraz $(C \cos \alpha - G \sin \alpha)$ različit od nule, upravo je ta razlika izraz za veličinu sile koja prouzrokuje radijalnu akceleraciju p . Na taj način dobiva se temeljna formula za radijalnu akceleraciju, koja je uz određeni radijus i nagib kolovoza funkcija brzine:

$$p = \frac{v^2}{R} - g \tan \alpha. \quad (3a)$$

Za pravac je $R_1 = \infty$, pa je prema tome:

$$p_1 = \frac{v^2}{R_1} - g \tan \alpha = 0 - g \tan \alpha.$$

Na početku krivine radijusa R_2 vrijednost radijalne akceleracije uz istu brzinu i isti poprečni nagib iznosi:

$$p_2 = \frac{v^2}{R_2} - g \tan \alpha.$$

Razlika između radijalnih akceleracija u prvom i drugom slučaju jest:

$$p_2 - p_1 = \frac{v^2}{R_2} - g \tan \alpha + g \tan \alpha = \frac{v^2}{R_2}.$$

Prema tome, radijalna akceleracija vozila koje dolazi iz pravca u krivinu mijenja se u jednoj tački za veličinu v^2/R_2 , što uz-

rokuje vrlo neugodan bočni udar. Da bi se taj udar ublažio, potrebno ga je rasteretiti na izvjesnoj dužini, na kojoj će se zakrivljenost postepeno mijenjati od $r = \infty$ do $r = R$, tj. do predviđenog radijusa zakrivljenosti. Prelazna krivina ima dakle zadaću da se na njoj dužini rastereti udar koji nastaje uslijed djelovanja centrifugalne sile zbog promjene radijusa zakrivljenosti. Umetanjem *prelaznice* između pravca i kružne krivine ili između dviju krivina istog smjera a različitih radijusa zakrivljenosti ne eliminira se djelovanje radijalne akceleracije, nego se samo ublažuje početak njenog djelovanja.

Brzina. Brzina vožnje je danas osnovni element za trasiranje savremene ceste. Idealna bi bila cesta na kojoj bi se moglo stalno voziti istom brzinom. U tom slučaju podudarala bi se postignuta brzina s prosječnom brzinom. Međutim, to je nemoguće postići iz više razloga, kao što su: mimoilaženje s vozilom iz suprotnog smjera, prestizanje sporih vozila, križanje s drugim saobraćajnicama, itd. Brzina prema kojoj su računati i izvedeni elementi trase zove se prema našim propisima *računska brzina*, a u nekim zemljama zovu je »građevna brzina« i »osnovna brzina«. To je dakle ona vrijednost kojom se proračunavaju geometrijski elementi trase neke ceste, kao i svi ostali elementi potrebni za oblikovanje buduće ceste. Njome su određeni minimalni radijusi, maksimalni usponi, poprečni nagibi u krivinama, minimalne dužine prelaznica, potrebne dužine preglednosti i ostali elementi trase. Premda iz raznih razloga računaska brzina ne može biti konstantna na čitavoj dužini trase, nastoji se da pojedine dionice s istom računskom brzinom budu što dulje. Drugim riječima, poželjno je da bude što manje dionica sa različitim računskim brzinama, a u idealnom slučaju da bude samo jedna dionica. Tom se cilju približavaju jedino autoputovi.

Računska je brzina ovisna o kategoriji puta, o veličini budućeg saobraćaja i vrsti terena. U savremenom trasiranju računaska brzina je dominantan element isto toliko koliko je to u prošlosti bio pravac. Tablica 1 prikazuje prema najnovijim (1963) njemačkim smjernicama RAL (Richtlinien für den Ausbau von Landstrassen) preporučene računске brzine za moderne ceste

Tablica 1
RAČUNSKE BRZINE

Stepen težine predjela	Računska brzina, km/h, uz saobraćajno opterećenje, vozila na dan			
	≤ 1000	> 1000... ...2000	> 2000... ...3000	> 3000
Ravni ili blago brežuljkasti predjeli bez većih suženja uslijed izgrađenosti saobraćajnica, vodnih tokova itd.	50	60	80	100
Jače brežuljkasti predjeli ili češće zapreke uslijed izgrađenosti itd.	40	50	60	80
Brdoviti predjeli nepovoljne konfiguracije ili vrlo jaka izgrađenost itd.	30	40	50	60
Planinski predjeli	30	30	40	50

za motorni saobraćaj, u zavisnosti od prirode terena i gustoće saobraćaja.

Osim računске brzine postoje i druge brzine, koje imaju svoje specifično značenje. Tako npr. pojam *prosječne brzine* znači vrijednost koja se dobiva računskim putem tako da se prevaljeni put podijeli s vremenom utrošenim da se on prevale. Prosječna brzina ovisna je o maksimalnoj brzini koja se može postići na pojedinim dionicama ceste, a ova je opet ovisna o vremenskim uslovima s obzirom na sigurnost vožnje (magla, polemica i dr.).

Eksploatacijska brzina (komercijalna brzina) je uvijek manja od prosječne brzine jer se prevaljeni put ne dijeli samo s utrošenim vremenom vožnje nego i s vremenom utrošenim za utovar i istovar robe, itd.

Ekonomična brzina je ona pri kojoj su troškovi prevoza najmanji. Za različite vrste vozila ona je različita. Njezina vrijednost

kreće se između 50 i 70 km/h. U računu troškova treba uzeti u obzir potrošnju goriva i guma, utrošeno vrijeme, riziko oštećenja i trošenje vozila.

Za svaku nadvišenu krivinu postoji brzina uz koju su parovi točkova jednako opterećeni, a to je ona brzina pri kojoj radijalna akceleracija iščezava. Ta se brzina zove u stručnoj literaturi nulta brzina ili *najbolja brzina* i označuje se sa v_0 . Najbolja se zove zato što je s tom brzinom vožnja u krivini najugodnija. Neke države uzimaju upravo nju za proračun nadvišenja tako da se unaprijed odredi njezin omjer s računskom brzinom. Tako, na primjer, američki propisi određuju omjer $v_0 = \frac{3}{4} v$, odnosno $v = 1,33 v_0$, a njemački $v = 1,414 v_0$. To u stvari nije ništa drugo nego razgraničenje onog dijela centrifugalne sile koji preuzima trenje od dijela koji otpada na poprečni nagib, tj. na komponentu sile teže (gravitacije). Našim propisima nije izravno propisana najveća dopuštena vrijednost radijalne akceleracije, nego je grafikonom dan odnos između računске brzine, poprečnih nagiba i radijusa zakrivljenosti za autoputeve, a posebno za puteve sa mješovitim saobraćajem. Gornja dozvoljena granica poprečnog nagiba u prvom slučaju je 10% a u drugom slučaju 8%.

Kočenje. U saobraćaju motornih vozila mogu nastati različite zapreke vožnji, a posebno ove: a) vozilo A naiđe na vozilo B koje stoji na istoj stazi, a iz suprotnog smjera na drugoj stazi kolovoza nailazi vozilo C; b) vozilo A sretne na svojoj stazi vozilo B koje dolazi iz protivnog smjera »režanjem« krivine, što je doduše zabranjeno, ali se može u saobraćajnoj praksi dogoditi; c) vozilo naiđe na nisku zapreku, npr. stablo koje je palo preko ceste i blokiralo cijelu širinu kolovoza.

Zbog ovakvih i sličnih slučajeva susretanja motornih vozila u cestovnom saobraćaju mora konstrukcija i oprema ceste biti takva da svuda, a naročito u krivinama i na bregovitom ili brežuljkastom terenu, postoji dovoljna preglednost ceste, kako bi vozač pravovremenim kočenjem izbjegao sudar.

Kočenje vozila je osim toga potrebno kad vozilo nailazi na krivinu ili se kreće nizbrdo, kad vozač nema dovoljan pregled, ili kad vidi ili čuje zaustavni ili drugi saobraćajni signal itd. Koči se normalno tako da se vozilo zaustavi umjereno i polagano, a iznimno tako da se vozilo zaustavi iznenadno i usiljeno. Iznenadno zaustavljanje nepovoljno djeluje na putnike, na vozilo (karoseriju, pneumatike i dr.), na osjetljiv tovar i na kolovoz ceste.

Prema tome razlikuje se usiljeni (forsirani) i normalni zaustavni put. Usiljeni zaustavni put jest put što ga vozilo prevale pri usiljenom kočenju. Razmjerno je kratak i ne smije se uzeti kao osnov za određivanje preglednosti ceste. Normalni zaustavni put dobiva se iz uvjeta koji uzimaju u obzir osobine prosječno izvježbanih vozača, umjereno brzo rukovanje kočnicama, rad kočenja koji su kočnice kadre da preuzmu, udobnost putnika (da ne osjete trzaje kočenja) i čuvanje karoserije, guma i kolovoza.

Zaustavni put se sastoji od tzv. pripremnoga puta (R) i puta kočenja (L_k). Pripremini put je put što ga prevale vozilo od trenutka kad vozač opazi zapreku pa do trenutka kad počinje djelovati kočenje vozila, a put kočenja je put od tog trenutka do zaustavljanja vozila. Vrijeme od trenutka kad vozač opazi zapreku vožnje do trenutka kad počinje kočiti jest vrijeme vozačeve reakcije t (normalno se računa da iznosi 1 sekundu). Prema tome, pripremini put iznosi: $R = v \cdot t$, gdje je v brzina vozila.

Dužina puta koju vozilo prođe od trenutka kad vozač opazi zapreku pa do zaustavljanja vozila jest cjelokupna dužina kočenja L . Put kočenja L_k , tj. put usporenog kretanja od početka do kraja kočenja, različit je prema vrsti vozila, broju i stanju kočnica, koeficijentu trenja, vrsti i stanju ceste (kolovoza). Trzaj, tj. nagla promjena brzine (usporenje vožnje) pri kočenju ne smije premašiti $1 \dots 2 \text{ m/sec}^2$ za osobne automobile u kojim putnici sjede, a $0,5 \dots 1 \text{ m/sec}^2$ za autobuse u kojima putnici sjede i stoje. Put kočenja se izračunava po jednadžbi:

$$L_k = \frac{v^2}{2g \cdot (f \pm s)}$$

gdje je v brzina vozila, g ubrzanje sile teže, f koeficijent trenja između točkova i kolovoza (činjenica da pritisak točkova na poprečno nagnut kolovoz izaziva samo dio težine vozila, tj. komponenta okomita na kolovoz, uzima se u obzir time što se u gornju jednadžbu uvrsti smanjeni koeficijent trenja; u gru-

bom prosjeku se može uzeti da je $f = 0,2$), s uzdužni nagib ceste (tangens kuta nagiba; predznak »+« je za slučaj uspona, a predznak »-« za nizbrdicu). Cjelokupna dužina kočenja jest:

$$L = R + L_k = v \cdot t + \frac{v^2}{2g \cdot (f \pm s)}$$

Iz te jednadžbe izračunava se da na ravnici, pri $t = 1 \text{ sek}$, $s = 0$, dužina kočenja iznosi približno:

pri računskoj brzini v , km/h	40	60	80	100	120	140
celokupna dužina kočenja L , m	45	90	150	230	320	420

Običaj je u literaturi saobraćaja da se brzina označuje sa v kad je izražena u m/sec a sa V kad je izražena u km/h. Ako se, u skladu s modernim nacelima, fizičke jednadžbe pišu kao veličinske, nezavisne od sistema mjera, upotrebi različitih oznaka za istu veličinu nema mjesta.

Pretjecanje vozila. Naiđe li motorno vozilo A na vozilo B koje pred njim stoji ili se kreće u istom smjeru i na istoj stazi kolovoza, može se vozač vozila A odlučiti da preteče vozilo B ako ima dovoljnu preglednu dužinu kolovoza (najmanje dvostruku cjelokupnu dužinu kočenja) i ako vozilo B ima najmanje za $15 \dots 20 \text{ km/h}$ manju brzinu nego vozilo A. Ako se na drugoj stazi kolovoza pojavi vozilo C (koje vozi u protivnom smjeru), mora se vozač vozila A odmah (za 1 sekundu) odlučiti za pretjecanje ili za kočenje. Dužina puta pretjecanja L_{pr} , u metrima, izračunava se po jednadžbi:

$$L_{pr} = (1,36 + \frac{a+b}{\Delta v}) \cdot (v + \Delta v),$$

gdje je a dužina vozila A, b dužina vozila B, oboje u metrima, v brzina vozila B, $(v + \Delta v)$ brzina vozila A pri pretjecanju, oboje u km/h.

Pregledne dužine za pretjecanje jesu otprilike ove:

računska brzina vozila, km/h	100	80	70	60	50
normalna pregledna dužina, m	900	610	520	420	330
smanjena pregledna dužina, m	570	450	410	350	310

Normalna pregledna dužina za pretjecanje jest najmanja udaljenost na kojoj vozač vozila A mora ugledati vozilo C u momentu kad se odlučuje da preteče vozilo B; smanjena pregledna dužina, koja se smije upotrebljavati za trasiranje na težim terenima, jest najmanja udaljenost na kojoj vozač vozila A mora ugledati vozilo C u momentu kad je, već na lijevoj traci, upravo sustigao vozilo B. M. Fućkan V. Sajko

TRASIRANJE CESTE

Trasirati cestu znači odrediti njezin položaj u prostoru. Linija koja spaja središnje tačke kolovoza (kolnika) u svim poprečnim profilima ceste naziva se *os (osa) ceste*. Kad je ta os utvrđena i ucrtana na projektu ili iskolčena na terenu, da posluži kao polazni element za izgradnju ceste, ona se zove *trasa ceste*. U nacrtima trasa je prikazana i prostorno određena pomoću dviju projekcija: horizontalne (tlocrtne), koja se naziva *situacioni plan*, i vertikalne, zvane *uzdužni profil* ceste. Situacioni plan izrađuje se obično u

Tablica 2
RAČUNSKI ELEMENTI TRASIRANJA

Elementi		Granične vrijednosti elemenata za računsku brzinu, km/h					
		30	40	50	60	80	100
Min. radijus krivine, m		35	70	120	180	350	600
Min. uzdužni nagib, %		12,0	10,0	8,0	6,5	5,0	4,0
Min. poprečni nagib u krivini, %		7,5	6,3	5,8	5,5	4,9	4,5
Minimalni radijus zaobljenja loma nivo-lete, m	konkavnog	500	1000	1500	2000	3000	5000
	konveksnog	1000	1500	2000	3000	5000	9000
Minimalna dužina prelaznice, m		26	29	30	35	41	67
Minimalna vidljivost, m					350	450	800

trase, u generalnom projektu svi profili koji se među sobom razlikuju.

Geometrijski elementi trasiranja. Pravac i kružnica. *Pravac.* Najkraća udaljenost između dviju tačaka je spojica u pravcu. Na tom principu trasirani su putovi u prošlosti sve do naših dana. On se primjenjivao ne samo u ravnim terenima, nego i na padinama planinskih terena. Postoje ostaci starih rimskih cesta koje se produžuju pravcima i po nekoliko desetaka kilometara. U dolini Rajne i Majne postoji »kameni put«, ostatak »vinske ceste«, koja je trasirana u ravnoj liniji dužine ~ 35 km. Kao dominantan element trasiranja zadržan je pravac još i danas pri trasiranju željeznica. Tamo on ima svoje opravdanje zbog toga što su otpori kretanja u pravcu manji nego u krivini, a osim toga kretanje vozila usmjeruju tračnice a ne vozač. Pojavom motornih vozila došlo se do saznanja da povezivanje dvaju mjesta najkraćim spajem nije uvijek i najekonomičnije rješenje. Izgubljeni padovi (mjestimični prekidi dugog uspona nivelete spuštanjem i ponovnim dizanjem), veliki usponi, slabija preglednost itd. znatno utječu na potrošnju goriva i na brzinu kretanja motornog vozila, pa stoga srednja brzina kretanja može biti veća a utrošak goriva manji na duljoj relaciji nego na kraćoj varijanti.

Već u samom početku razvoja motornog saobraćaja iskustvo je pokazalo da postoji opasnost od dugih pravaca. Oni zamaraju vozača, a noću reflektori vozila iz suprotnog smjera zaslijepljuju vozača, pa on mora smanjiti brzinu vožnje. Vožnja u zavoju pruža veću preglednost, što je naročito važno kad se prestiču sporija vozila. U krivini se može lakše ocijeniti brzina i udaljenost vozila koje dolazi iz suprotnog smjera. Pri preticanju sa unutarnje strane zavoja skraćuje se put preticanja, a pri preticanju u pravcu put vožnje se produžuje. Kad vozilo pretiče na cesti s dvostranim nagibom, ili na cesti s jednostrano nagnutim kolovozom koji se spušta nalijevo, komponenta sile teže djeluje u istom smjeru kao i centrifugalna sila, pa se sumiranjem nepovoljnog djelovanja obiju komponenata ugrožava sigurnost vožnje. Poprečni nagib ceste u zavoju obično je veći nego u pravcu, pa je odvođnjavanje kolovoza povoljnije. Iz estetskih razloga cestu treba smjestiti u terenu skladno, bez nasilnih zahvata, a takav nasilni zahvat može predstavljati duga cesta u pravcu. Zbog svega toga se u

suвременom trasiranju brzih saobraćajnica (autoputova) nastoji sasvim napustiti pravac kao element trasiranja i voditi trasu u stalnoj zakrivljenosti tako da je i lijepa i pregledna.

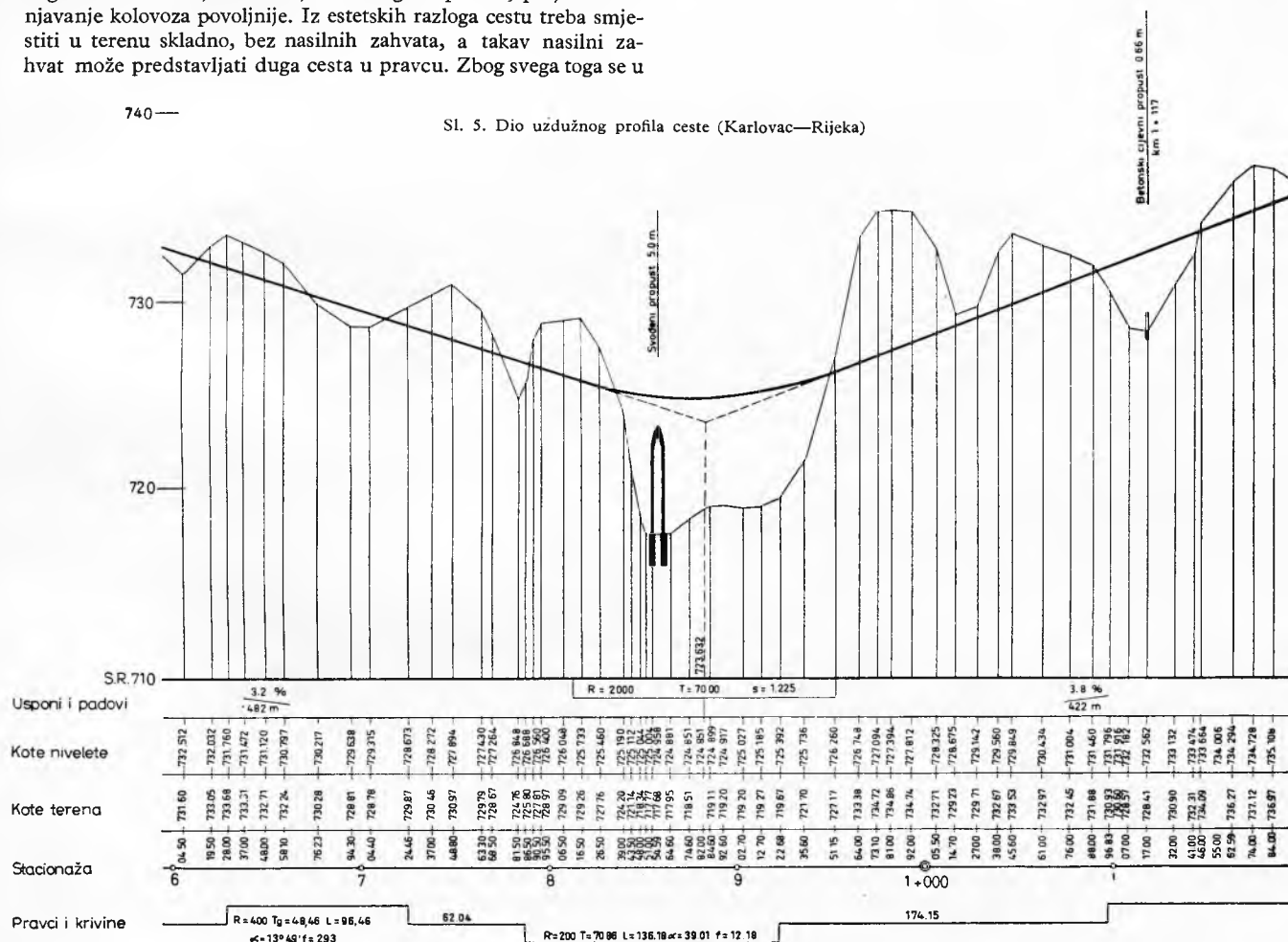
Važno je istaći i vizuelno (optičko) vođenje trase tako da vozač već unaprijed zna kuda skreće i onda kada nije vidljiva čitava vozna površina. To se postiže zasadivanjem drvoreda na pogodnoj strani zavoja, ili vođenjem trase uz rub šume ili skupine drveća. (Istu svrhu ima i ličenje svijetlom bojom sredine i rubova kolnika, postavljanje smjerokaza, odbojnika itd.) Nasad na vanjskoj strani zavoja ne umanjuje preglednost, a noću olakšava vozaču upravljanje vozilom. Optičko vođenje trase naročito je važno na prelazu preko vododjelnice i planinskih sedla, gdje vozač nema pregled nad čitavom voznom površinom kolovoza zbog konveksne zaobljenosti nivelete.

Kružni luk. Promjena smjera pravca izvodi se u kružnom luku. U prošlosti, zbog malih brzina vožnje, lukovi su bili malenih radijusa. Sa povećanjem brzina vozila povećali su se i radijusi kružnih krivina. Za današnje brzine motornih vozila od 100 km/h i više radijusi kružnih krivina iznose i do nekoliko hiljada metara, a tamo gdje kružna krivina zamjenjuje pravac još i više. Radi prilagođivanja trase terenu često se upotrebljavaju i složene krivine, tzv. košaraste krivine. To su krivine istog smjera sa različitim polumjerima, koje u dodirnoj tački imaju zajedničku tangentu.

Promjena poprečnog nagiba pri prelazu od pravca do krivine izvodi se postepeno na dužini koja se zove *prelazna rampa nadvišenja*. Prilikom rekonstrukcije starih cesta koje su građene bez prelaznica izvodi se polovica prelazne rampe u pravcu, a polovica u zavoju. Danas se sve ceste trasiraju s prelaznicama jer se sve ceste projektiraju za motorni saobraćaj, pa se nadvišenja izvode u prelaznici. Na taj način propisi o izvođenju nadvišenja uvjetuju i dužinu prelaznice. Pri iskolčenju kružnog luka sa prelaznicom karakteristične se tačke uvijek moraju iskolčiti. One imaju ove oznake: PP početak prelaznice (ili PPK početak prelazne krivine),

740—

Sl. 5. Dio uzdužnog profila ceste (Karlovac—Rijeka)

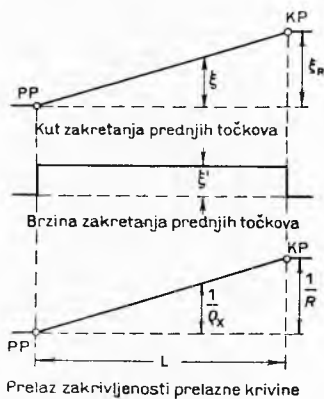


PK početak kružnog luka (ta je tačka ujedno i kraj ulazne prelaznice), KK kraj kružnog luka (to je ujedno i početak izlazne prelaznice), KP kraj prelaznice (ili KPK kraj prelazne krivine). Međutačke iskolčuju se prema karakteristikama terena tako da se u uzdužnom profilu dobije što vjernija slika terena. Kružna krivina upotrebljava se ne samo za iskolčenje trase na terenu nego i za zaobljenje preloma nivelete u projektu.

Iskolčenje pojedinih tačaka kružnog luka može se provesti na više načina: pomoću koordinata, prelaznom metodom, metodom pomicanja s obzirom na tangentu, metodom pomicanja s obzirom na tetivu, četvrtinskom metodom. Priručnici za iskolčavanje kružnih krivina sadrže obično podatke za sve ove metode. Metoda se odabire obično na licu mjesta prema terenskim prilikama jer je u jednom slučaju povoljnija jedna, a u drugom slučaju druga metoda. Otkad se predviđaju krivine velikih radijusa, sve se više napušta klasična metoda »prosijecanja tangenata« i zamjenjuje metodom pomicanja, koja je naročito pogodna u obraslom terenu. Prosijecanjem tangenata ne samo da se povećava posao oko prosijecanja, nego se prave i štete daleko izvan trase, što kod iskolčenja metodom pomicanja nije slučaj. Poprečni nagib u kružnoj krivini prema našim propisima iznosi najviše 10% za autoputeve, a 8% za ostale ceste mješovitog saobraćaja.

M. Fućkan

Prelaznica. Prelaznica (prelazna krivina ceste) je krivulja kojom trasa ceste prelazi iz jedne zakrivljenosti u drugu, npr. iz pravca u kružni luk ili iz jednog kružnog luka u istosmjerni kružni luk drugog polumjera. Polumjer zakrivljenosti prelaznice treba da se lagano i postepeno mijenja od $r = \infty$ (pravac) do $r = R$ (kružni luk), i to po određenom zakonu zakrivljenosti. U svojoj krajnjoj tački prelaznica treba da s kružnim lukom ima zajedničku tangentu. Primjenom prelaznice se ne samo odovoljava vozno-tehničkim zahtjevima već se prelaznicama odgovarajuće dužine ispunjavaju i psihološki i estetski zahtjevi. Zakrivljenost prelaznice može se mijenjati linearno (polumjer zakrivljenosti se mijenja prema zakonu pravca) ili nelinearno (polumjer zakrivljenosti se mijenja prema zakonu neke krivulje). U prvom slučaju brzina zakretanja prednjih točkova vozila je malena i konstantna, a kut zakretanja prednjih točkova je maleno, a brzina zakretanja polagano raste do svog maksimuma na sredini prelaznice, nakon čega se opet polagano smanjuje (sl. 7). Vozilo se u oba slučaja kreće konstantnom brzinom. Prednost



Sl. 6. Dijagram kuta zakretanja i brzine zakretanja prednjih točkova vozila u prelaznici kojoj se polumjer zakrivljenosti mijenja linearno



Sl. 7. Dijagram kuta zakretanja, brzine i ubrzanja zakretanja prednjih točkova vozila u prelaznici kojoj se polumjer zakrivljenosti mijenja nelinearno

je prelaznice čija se zakrivljenost mijenja nelinearno da je odmak kruga potreban za umetanje prelaznice upola manji nego u slučaju prelaznice linearne zakrivljenosti.

Na cestama primjenjuju se prelaznice s linearnom promjenom zakrivljenosti, pa krivulja prelaznice može biti lučna radioida (klotoida), apscisna radioida ili tetivna radioida (lemniskata, Bernoullijeva petlja). Polumjer zakrivljenosti prelaznice može

se smanjivati od vrijednosti $q = \infty$ (pravac) do $q = R$ (kružni luk) srazmjerno lučnoj dužini krivulje, srazmjerno apscisi krivulje ili srazmjerno tetivi krivulje.

Zakonu zakrivljenosti $L_x \cdot Q_x = C$, gdje znači L_x lučnu dužinu krivulje od njenog početka do neke tačke, Q_x polumjer zakrivljenosti u toj tački i C konstantu, odgovara lučna radioida (klotoida) (sl. 8) koja se kod nas primjenjuje kao prelaznica na cestama.

Njena je jednadžba:

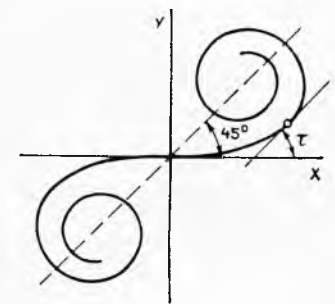
$$x = \sqrt{\frac{C}{2}} \cdot \int_0^\tau \frac{\cos \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau, \quad y = \sqrt{\frac{C}{2}} \cdot \int_0^\tau \frac{\sin \tau}{\sqrt{\tau}} d\tau,$$

gdje je $\tau = \frac{L_x^2}{2C}$. Jednadžbe sadrže tzv. Fresnelove integrale,

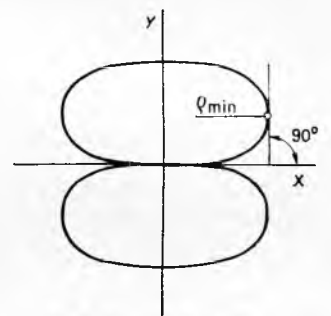
koji se mogu riješiti samo približno razvijanjem u redove. Područje primjenljivosti klotoida je neograničeno. Budući da je klotoida matematički složena krivulja za čije iskolčavanje ranije nije bilo tablica, bila je nadomještana kružnim lukom sa dvostrukim polumjerom glavnoga luka. Taj nadomjestak klotoida se danas više ne primjenjuje.

Zakonu zakrivljenosti $x \cdot Q_x = C$, gdje x znači apscisu tačke na krivulji a Q_x polumjer zakrivljenosti, odgovara apscisna radioida (sl. 9), koja ima jednadžbu:

$$y = \int_0^x \frac{x^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{x^2}{2C}\right)^2}} dx$$



Sl. 8. Klotoida



Sl. 9. Apscisna radioida

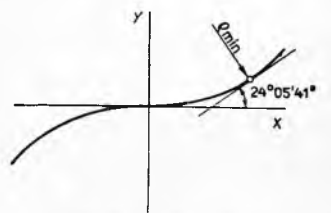
I ta je krivulja komplicirana jer joj jednadžba sadrži eliptičke integrale, koji se mogu riješiti samo približno razvijanjem u redove. Područje primjenljivosti apscisne radioide je $\tau = 0 \dots 90^\circ$, ali se kao prelaznica ne upotrebljava.

Jednadžba apscisne radioide može se pojednostavniti tako da se u njenu diferencijalnu jednadžbu uvrsti $\frac{dy}{dx} = 0$, pa se dobije jednadžba kubne parabole (sl. 10), koja se već preko sto godina upotrebljava kao prelaznica za željezničke pruge. Jednadžba kubne parabole jednostavnog oblika glasi:

$$y = \frac{x^3}{6 R l}$$

Budući da se ta parabola smije primjenjivati samo za umjerene dužine prelaznica, korigirao ju je godine 1937 Max Höfer i dobio popraavlenu jednadžbu:

$$y = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2R}\right)^2}}{6 R l} \cdot x^3,$$



Sl. 10. Kubna parabola

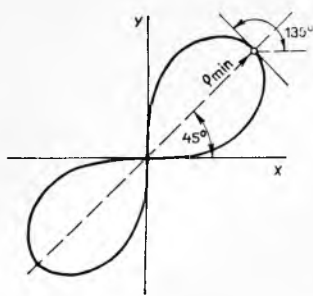
u kojoj znači l apscisnu dužinu prelaznice a R polumjer kruznoga luka u koji prelazi prelaznica. Područje upotrebljivosti kako jednostavne tako i korigirane kubne parabole proteže se od $\tau = 0$ do $\tau = 24^\circ 05' 41''$.

Zakonu zakrivljenosti $t_x \cdot Q_x = C$, gdje znači t_x tetivu tačke u kojoj je polumjer zakrivljenosti Q_x , odgovara tetivna radioida (lemniskata, Bernoullijeva petlja) (sl. 11). Ta se krivulja primjenji-

vala u nekim zemljama kao prelaznica. Njen tok još najbolje slijedi tok klotoide. Jednadžba lemniskate je:

$$(x^2 + y^2)^2 = 6Cxy.$$

Područje primjenljivosti lemniskate je $\tau = 0 \dots 135^\circ$.



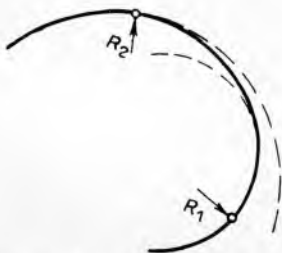
Sl. 11. Tetivna radioida (lemniskata)

Ako se s obje strane kružnog luka umetnu prelaznice jednake dužine, dobija se simetrična krivina (sl. 12 a). Ako su pak obostrane prelaznice različite dužine, krivina je nesimetrična (sl. 12 b). Kružni luk može i sasvim da otpadne pa se krajevi obostranih prelaznica dodiruju (sl. 12 c).

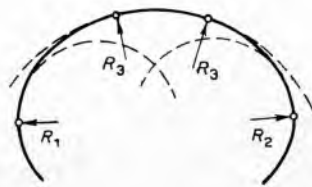
Između dva istosmjerna kružna luka različitih polumjera umeće se prelaznica ako je odnos polumjera oba kružna luka $R_2/R_1 > 1,2 \dots 1,5$. Ne umeće se, dakako, cjelokupna prelaznica od $\varrho = \infty$ do $\varrho = R$, već samo njen dio od $\varrho = R_2$ do $\varrho = R_1$. Razlikuju se dva slučaja: a) kružni luk manjega polumjera leži unutar kružnog luka većeg polumjera pa se prelaznica umeće izravno (sl. 13); b) kružni lukovi su jedan pored drugoga ili se sijeku, pa kao prelaznica služi pomoćni kružni luk (sl. 14).

Prelaznica između pravca i krivine u stvari je samo poseban slučaj prelaznice među dvjema istosmjernim krivinama, pri čemu je veći polumjer beskonačno velik. U tom slučaju se umeće cjelokupna dužina prelaznice (sl. 15).

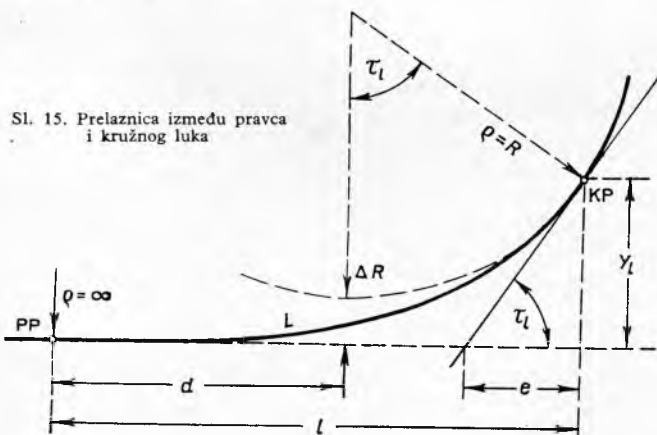
Dužina prelaznice. Budući da psihološki i estetski uslovi zahtijevaju razmjerno duge prelaznice, mjerodavan je za odre-



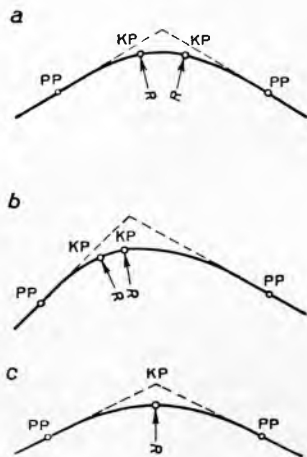
Sl. 13. Izravno umetnuta prelaznica



Sl. 14. Prelaznica u obliku pomoćnog kružnog luka



Sl. 15. Prelaznica između pravca i kružnog luka



Sl. 12. Krivine s prelaznicama. a simetrična krivina, b nesimetrična krivina, c krivina bez kružnog luka

đivanje minimalne dužine prelaznice voznotehnički uslov, pri čemu su važna dva kriterija: minimalna dužina vitoperenja kolovoza i porast bočnog potiska pri prelazu iz pravca u krivinu.

Minimalna dužina vitoperenja poprečnog profila (prelazna rampa, rampa nadvišenja) zavisa je od dopuštenog porasta bočnog potiska koji nastaje uslijed promjene poprečnog nagiba kolnika, a taj porast ovisi o brzini vožnje. Prelaz poprečnog nagiba u pravcu u poprečni nagib u krivini mora se izvršiti isključivo između početka i kraja prelaznice. Relativni uspon rampe nadvišenja ne smije preći određenu granicu koja je prema različitim propisima različita. Prema našim propisima, relativni uspon rampe nadvišenja ne smije biti veći od 0,8% a ni manji od 0,3%. Prema nekim stranim propisima ta je granica različita za različite brzine. Veća je za manje brzine i obratno, pa za brzine od 80...100 km/h iznosi 0,5%.

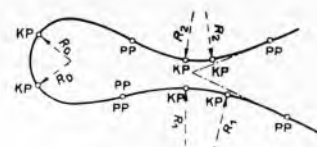
Porast bočnog potiska nastaje uslijed radijalne akceleracije pri prelazu iz pravca u krivinu. Veličina radijalne akceleracije linearno je srazmjerna zakrivljenosti i brzini vožnje, a u neku ruku jedan je od faktora udobnosti vožnje. Prema našim propisima prirast radijalne akceleracije na smije preći 0,5 m/sec³.

Dakle, pri određivanju minimalne dužine prelaznice treba uzimati u obzir porast zbira obiju komponenti bočnog potiska. Dužina prelaznice ima, međutim, i svoju gornju granicu, i to zbog različitih konstruktivnih razloga.

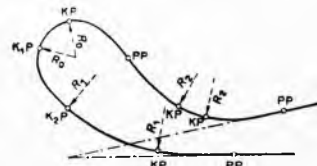
Osim voznodinamičkih prednosti, prelaznica pruža i povoljnije oblikovanje ceste u estetskom pogledu, pa se izvodi i kod velikih radijusa, gdje voznodinamički uslovi više ne dolaze toliko do izražaja. U takvim slučajevima razlike su poprečnih padova malene ili skoro nikakve, pa se rampa nadvišenja izvodi na kraćoj dužini nego što je dužina prelaznice.

Serpentina. Serpentina je cestovna krivina sastavljena od glavnog kružnog luka malog polumjera a velikog središnjeg kuta ($> 108^\circ$) i od dva priključna kružna luka, koji mogu da budu protusmjerni ili istosmjerni. Između kružnih lukova serpentine treba uvrstiti prelaznice odgovarajućih dužina, kako bi se trasa ceste što bolje prilagodila stvarnoj putanji vozila koje se kroz serpentinu kreće određenom smanjenom brzinom.

S obzirom na smjer priključnih lukova razlikuju se serpentine I reda (sl. 16) kojima su priključne krivine suprotnog smjera i serpentine II reda koje imaju istosmjerne i protusmjerne priključne kružne lukove (sl. 17).



Sl. 16. Serpentina I reda



Sl. 17. Serpentina II reda

Serpentine se primjenjuju samo na teškom terenu gdje nema dovoljne dužine za normalno razvijanje trase. Serpentine su uvijek nepovoljni odsjeci trase koji smanjuju saobraćajnu vrijednost ceste, pa ih stoga treba po mogućnosti izbjegavati. Primjenu serpentine treba uvijek opravdati saobraćajnotehnički i ekonomski, i to naročito ako cesta služi jačem motornom saobraćaju.

Polumjer glavnog kružnog luka određuju lokalni terenski uvjeti i značaj ceste. Najmanji dopušteni polumjer unutarnje ivice kolovoza nalazi se iz uslova da je moguća vožnja s usvojenim tipom vozila a da pri tom vozilo ne prelazi u traku za suprotni smjer vožnje niti da reverzira. Po našim tehničkim propisima o elementima i osnovnim uslovima za projektovanje javnih puteva (1957) polumjer glavnog kružnog luka serpentine iznosi 10...40 m, a za ceste manjeg značaja još i manje, ukoliko se to tehnički i ekonomski opravda.

Polumjeri priključnih kružnih lukova određuju se s obzirom na terenske prilike. Polumjer priključnog kružnog luka trebalo bi da bude bar $2 R_0$, gdje je R_0 polumjer glavnoga kružnog luka serpentine.

Poprečni je nagib kolovoza u serpentinu jednostran i zavisi, kao i u ostalim krivinama, od računске brzine i od polumjera krivine. Po našim propisima najveći je poprečni nagib u serpentinu

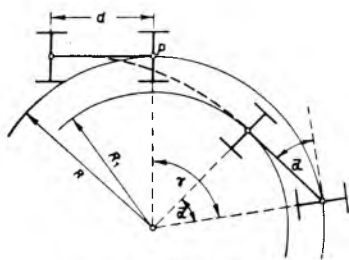
12%. Ako se na cesti odvija znatan zaprežni saobraćaj a poprečni je nagib u serpentinu veći od 8%, mora se poprečni profil kolovoza na unutarnjoj strani serpentine izvesti s manjim poprečnim nagibom da zaprežni saobraćaj bude moguć i siguran.

Uzdužni nagib ceste treba da se u serpentinu smanji tako da rezultanta poprečnog i uzdužnog nagiba ne premaši određenu vrijednost. Obično se preporuča da nagib nivelete u serpentinu ne bude strmiji od 2...3%. Takav nagib treba provesti kako u glavnoj krivini tako i u priključnim krivinama.

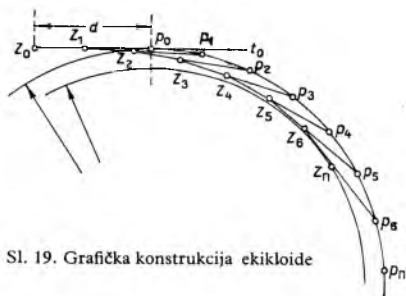
Naročito je važno proširenje kolovoza u serpentinama; ono se može u cijelosti izvesti s unutarnje strane krivine, ili tako da se polovica izvede s unutarnje a polovica s vanjske strane ili pak cijelo s vanjske strane krivine, što zavisi od oblika serpentine, od veličine polumjera glavnoga kružnog luka i od strukture saobraćaja. Po tehničkim propisima o elementima i osnovnim uslovima za projektovanje javnih puteva (1957) proširenje iznosi 1,50...3,50 m.

Za konstruiranje unutarnje i vanjske ivice kolovoza u serpentinama u kojima je brzina vožnje razmjerno mala, a naročito za ceste sa zaprežnim vozilima koje imaju prelaz iz pravca u krivinu prilično nagao, može se primijeniti ekikloida. U ostalim slučajevima više se preporuča klotoida.

Ekikloida je krivulja koju opisuje središte stražnje osovine vozila ako se središte p prednje osovine vozila kreće po kružnom



Sl. 18. Ekikloida



Sl. 19. Grafička konstrukcija ekikloide

luku sa polumjerom R , a pri tome se kut zaokretanja prednjih točkova povećava jednakomjerno od 0 do α . Ekikloida se asimptotički približava kružnici sa polumjerom R_1 (sl. 18).

Jednadžba ekikloide glasi:

$$\gamma = \frac{d}{R_1} \log \frac{\left[\frac{R+a}{R-a} \right]^{\frac{1}{2}} + \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\alpha}{2} \right) \left[\frac{R+a}{R-a} \right]^{\frac{1}{2}} - 1}{\left[\frac{R+a}{R-a} \right]^{\frac{1}{2}} - \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\alpha}{2} \right) \left[\frac{R+a}{R-a} \right]^{\frac{1}{2}} + 1}$$

gdje je d razmak među osovinama, $R_1 = \sqrt{R^2 - d^2} = d \cdot \operatorname{ctg} \alpha$, $R = d/\sin \alpha$.

Jednostavna i potpuno grafička konstrukcija ekikloide sastoji se u tom da se odrede njene tačke kao presjecišta dviju susjednih tangenata (sl. 19). U tački p_0 povuče se tangenta t_0 , nanese se od tačke p_0 razmak osovine d pa se dobija tačka z_0 . Vanjska kružnica (polumjera R) od tačke p_0 dalje razdijeli se na odgovarajući broj malih jednakih dijelova ($p_0 p_1 = p_1 p_2 = \dots = p_{n-1} p_n$) i odmjeri se iz tačaka $p_1, p_2, \dots, p_n$ dužina d uvijek na prethodnoj tangenti na ekikloidu. Na taj način dobiju se tačke ekikloide $z_1, z_2, \dots, z_n$.

Ekikloida je samo približno rješenje putanje vozila, jer se prilikom vožnje iz pravca u kružni luk ugao zaokretanja prednjih točkova postepeno povećava od 0 do određene vrijednosti, pa se

stoga središte prednje osovine vozila, stvarno, ne može kretati po kružnom luku kako je to bilo pretpostavljeno za ekikloidu.

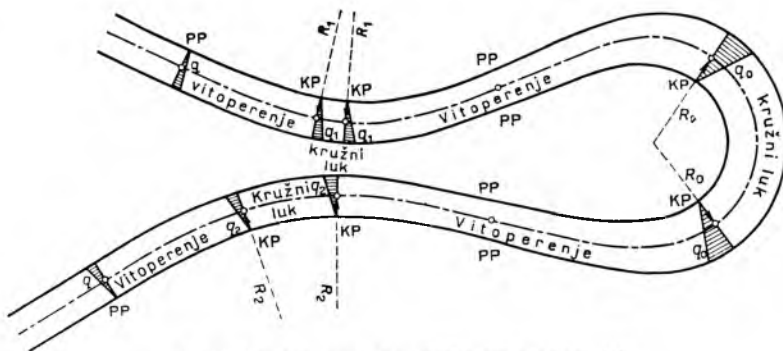
Svaka serpentina predstavlja zaseban problem, koji valja riješiti u skladu s terenskim prilikama i s obzirom na zahtjeve saobraćaja, pa se za oblikovanje serpentina mogu postaviti samo osnovne smjernice. Nesmetan i siguran saobraćaj u serpentinu postiže se slijedećim mjerama: primjenom prelaznica između kružnih lukova serpentine, pravilnim prelazom poprečnog profila (sl. 20), dovoljnom preglednošću, dovoljnim proširenjem kolovoza, smanjenjem uzdužnog nagiba ceste, odgovarajućim poprečnim nagibom i dovoljnom hrapavosti kolovoza. Budući da prilikom vožnje kroz serpentinu brzina vozila nije velika, mogu prelaznice u serpentinama biti kraće nego u ostalim krivinama. Prelaznice uglavnom moraju biti tolike dužine da vozač prilikom vožnje kroz njih ima dovoljno vremena za zaokretanje volana do potrebnog kuta.

Treba nastojati da se broj serpentina što više smanji, što se postiže dužim razvijanjem trase između dvije susjedne serpentine, tj. što dužim granama serpentina. Time se povećava brzina vožnje i sigurnost saobraćaja a uz to se obično i smanjuju troškovi gradnje.

Cestovna ukrštanja. Mjesto gdje se dvije trase sijeku naziva se ukrštanje. Prema vrstama saobraćajnica koje se ukrštavaju razlikuju se: ukrštanja ceste sa željeznicom i ukrštanja dviju cesta.

Ukrštanje ceste sa željeznicom u nivou predstavlja opasno mjesto, pa ga, po mogućnosti, treba izbjegavati. Odluka da li će se ukrštanje izvesti van nivoa zavisi od značaja pruge i ceste kao i od intenziteta saobraćaja.

Cestovno ukrštanje može se izvesti jednostavno ili sa svim potrebnim povezivanjima cesta koje se ukrštaju. Oba ta načina



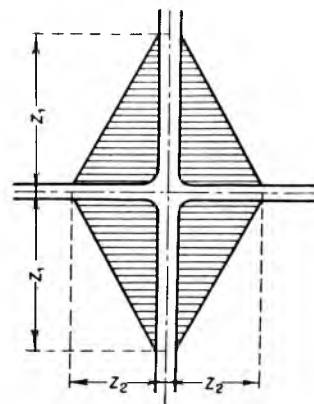
Sl. 20. Promjene poprečnog profila ceste u serpentinu

mogu se izvesti u istom nivou ili u različitim nivoima. Ceste koje se ukrštavaju mogu biti istog ili različitog saobraćajnog značaja, što će svakako utjecati na rješenje ukrštanja.

Ukrštanje dviju cesta u nivou je opasno naročito pri znatnom motornom saobraćaju. Primjenjuje se na cestama manjeg saobraćajnog značaja, a ponekad i na važnijim cestama. Za ukrštanje, odnosno priključak u nivou, prije svega se zahtijeva dovoljna preglednost na obje ceste, određena preglednim dužinama z_1 i z_2 koje se dobijaju iz računskih brzina za obje ceste (sl. 21). Na takvim ukrštanjima treba da se predvide sve potrebne saobraćajno-redarstvene mjere, kako bi se saobraćaj odvijao sigurno. Isto to vrijedi ako se jedna cesta priključuje na drugu.

Za priključke na autoputove kao i za ukrštanja i račvanja autoputova vrijede posebna načela, koja će se prikazati na primjeru autoputa sa dva kolovoza za pojedine smjerove. Sva ta rješenja, međutim, mogu se primijeniti i na autoputeve sa dvosmjernim saobraćajem na jednom kolovozu.

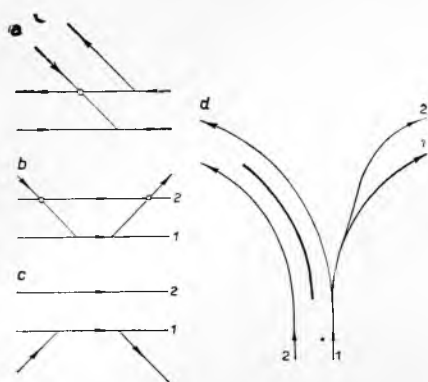
Ukrštanja saobraćaja mogu biti protusmjerna i istosmjerna.



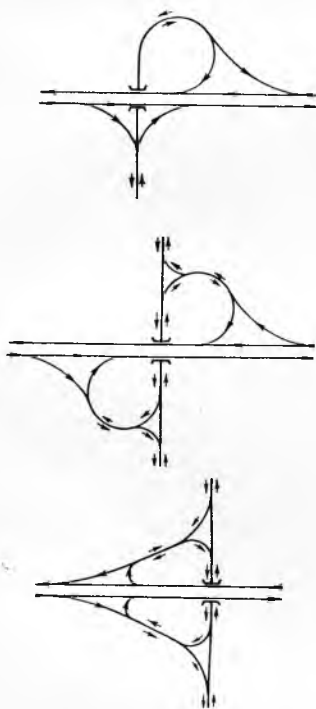
Sl. 21. Ukrštanje u nivou

Protusmjerna ukrštanja (sl. 22 a) jesu tačke opasnosti prvoga reda pa ih na svaki način treba izbjegavati. Istosmjerno ukrštanje nastaje prilikom račvanja ili spajanja saobraćaja. Postoje dva slučaja. U prvom se slučaju vozilo odvaja ulijevo odn. priključuje

samo od glavne trake (pruge) i priključuju glavnoj traci. Svi odvojci u više smjerova, odn. svi priključci iz više smjerova, treba da su po mogućnosti smješteni na jednom mjestu. Cjelokupno ukrštanje treba da bude što preglednije.



Sl. 22. Ukrštanja. a protusmjerno ukrštanje, b istosmjerno ukrštanje s odvajanjem i priključivanjem s lijeva, c istosmjerno ukrštanje s odvajanjem i priključivanjem zdesna, d odvojak cesta jednakog značaja

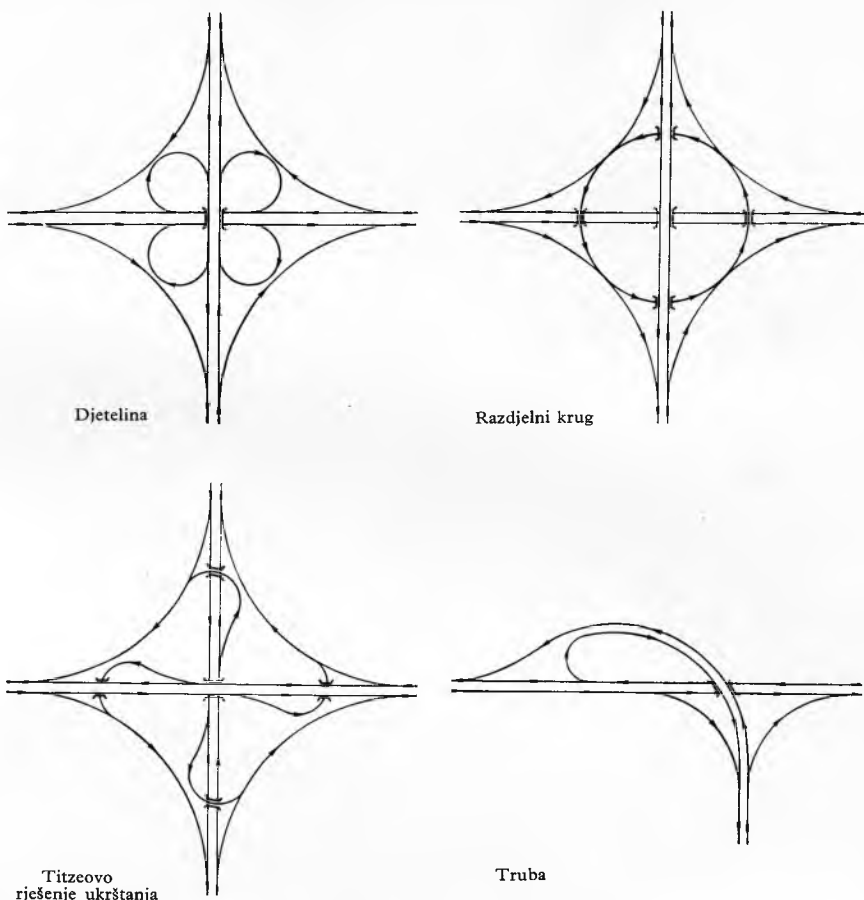


Sl. 23. Priključci na autoputu

ključak glavnom smjeru, mora se uvijek izvesti samo udesno odnosno zdesna. Ako su dvije ceste koje se priključuju ili razdvajaju jednakog značaja, treba cestu smještenu na lijevoj strani uvijek smatrati glavnim smjerom (sl. 22 d).

Priključci na autoput mogu se izvesti na različite načine (sl. 23). Kolovoz autoputa prolazi uvijek neprekidno i nesmanjenom širinom uz priključak, ili, ukoliko je saobraćaj na autoputu znatan, treba kolovoz proširiti još za »treću traku«, s koje će biti ulaz (»udijevanje») u autoput, odnosno izlaz iz njega. Ta »treća traka« mora biti odvojena od glavnog kolovoza. Minimalni polumjeri krivina priključaka iznose $\sim 25 \dots 50$ m. Među kružne lukove i pravce, kao i među istosmjerne kružne lukove različitih polumjera, umeću se prelaznice odgovarajućih dužina. U krivinama priključaka kolovoz mora biti dovoljno proširen. Uzdužni nagib priključnih rampa treba da bude maksimalno $6 \dots 7\%$, ali ga uz neposredni priključak treba u odgovarajućoj mjeri smanjiti.

Ukrštanje dva autoputa mora odgovarati sljedećim zahtjevima. Ne smije biti nikakvog presijecanja smjerova vožnje ni na autoputu ni na priključnim rampama. Vozila treba da se odvajaju uvijek

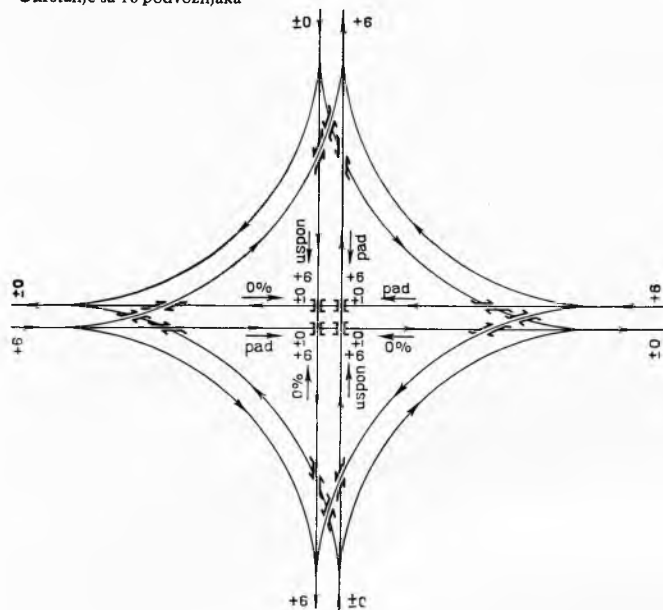


Sl. 24. Ukrštanja autocesta

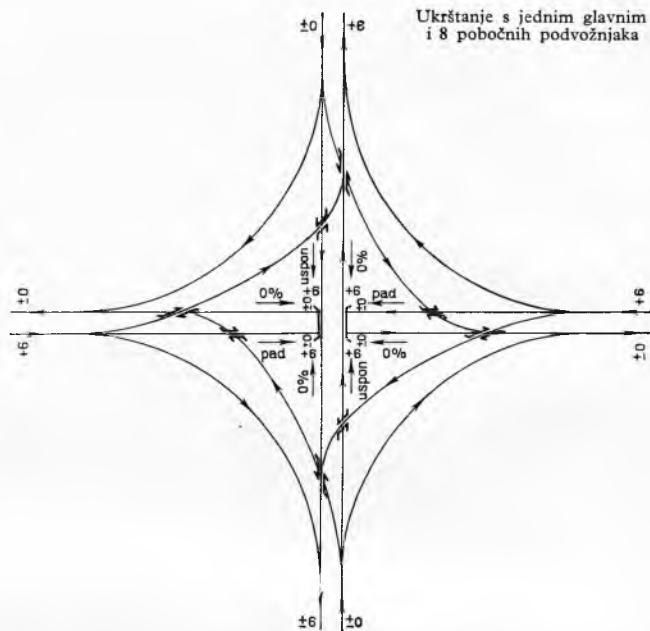
U literaturi su bili iznijeti mnogi prijedlozi za izvedbu ukrštanja dvaju autoputova, od kojih su neki usvojeni u praksi. Na sl. 24 prikazani su najpoznatiji načini ukrštanja: djetelina, razdjelni krug, Titzeovo rješenje i odvojak u obliku trube. Ukrštanje u obliku djeteline i razdjelni krug imaju nedostatak da pri transportu u kolonama na njima nastaju istosmjerna ukrštanja u nivou, i to nastaju pri ukrštanju u obliku djeteline takva ukrštanja u četiri tačke, a na razdjelnom krugu na osam tačaka. Jedno od brojnih rješenja koja su predložena i izvedena radi izbjegavanja tog nedostatka predstavlja Titzeovo rješenje. Sve te izvedbe ukrštanja dvaju autoputova imaju nedostatak da vozač koji se želi odvojiti ulijevo mora krenuti najprije udesno, što stvara izvjesnu nepreglednost ukrštanja i smetnju u orijentaciji. Ovaj se nedostatak može izbjeći vrlo složenim rješenjem koje predviđa 16 podvožnjaka ili nadvožnjaka (sl. 25 a), ili nešto jednostavnijim rješenjem s jednim glavnim i 8 pobočnih podvožnjaka (sl. 25 b). Da bi se mogli izvesti podvožnjaci ili nadvožnjaci, pri oba ova rješenja svaka saobraćajna traka mora biti na drugom nivou, s visinskom razlikom od ~ 6 m među nivoima. Odvojci ulijevo i udesno su direktni, niveleta odvojaka je horizontalna, a niveleta saobraćajne trake za vožnju ravno (pravo) pada ili raste prema glavnom nadvožnjaku. Polumjeri kružnih lukova priključaka su prilično veliki, da bi bila moguća što veća brzina vožnje.

Okretište. Okretišta su saobraćajne površine namijenjene okretanju vozila radi izmjene smjera vožnje. Primjenjuju se ponekad uz parkirališta, na završetku cesta, uz servisne stanice autoputova, uz automobilske garaže, na autobusnim stanicama, teretnim automobilskim stanicama, itd. Da troškovi okretišta ne bi bili previsoki, treba prilikom određivanja njihovih dimenzija uzimati u obzir minimalne mjere koje još omogućuju nesmetanu laganu vožnju. Dimenzije okretišta zavise od vrste vozila koja dolaze u obzir,

Ukrštanje sa 16 podvožnjaka



Ukrštanje s jednim glavnim i 8 pobočnih podvožnjaka



Sl. 25. Složeni tipovi ukrštanja autoputova

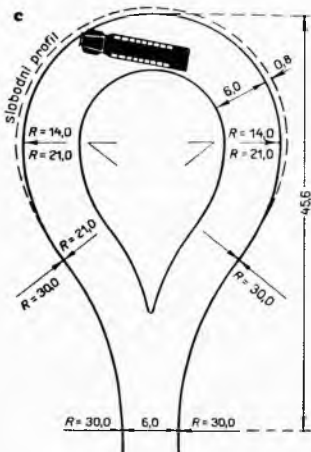
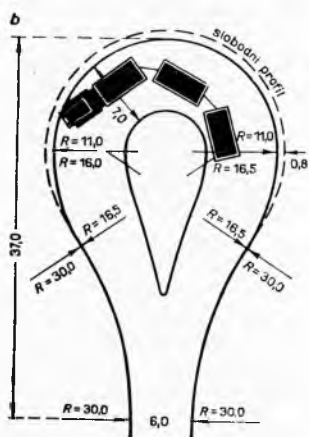
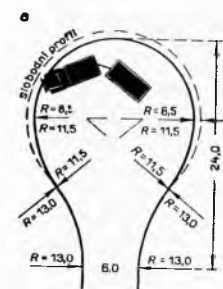
prije svega od njihove veličine i okretljivosti. U pogledu dimenzija okretišta, pri zaprežnom saobraćaju najveće zahtjeve stavljaju kola za prijevoz dugih balvana, a pri motornom saobraćaju veliki autobusi i teški teretni automobili s prikolicom. Putnički automobili s pogonom na prednje točkove imaju veći minimalni polumjer kružnog kretanja nego kola s pogonom na stražnje točkove.

Minimalne dopuštene polumjere krivina za pojedine vrste i tipove automobila obično određuju same tvornice. Praktični pokusi su pokazali da su stvarne vrijednosti minimalnih polumjera bar za 5...10% veće od onih koje daje tvornica.

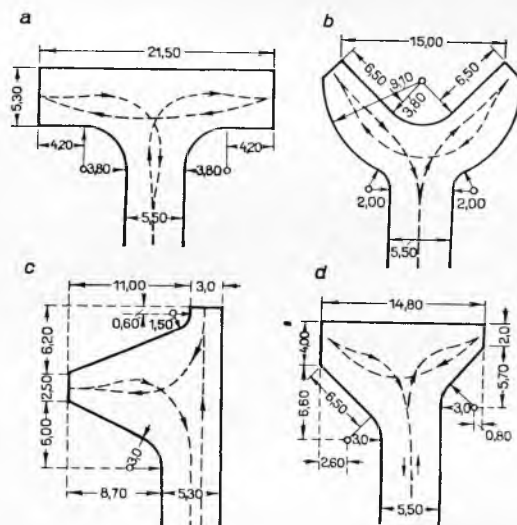
Slično kao u slučaju serpentina, i za okretišta se preporuča umetanje prelaznica odgovarajućih dužina, jer one znatno olakšavaju vožnju.

Razlikuju se okretišta za okretanje neprekidnom vožnjom u vidu kružne plohe (»lopata«, sl. 26 a) ili kružne trake (»petlja«, sl. 26 b i c) i okretišta za okretanje reverziranjem (sl. 27). Ova posljednja se izvode za motorna vozila bez prikolice, a izgrađuju se obično ako je prostor skučen (npr. među zgradama, na nagnutom terenu, i dr.).

B. Žnidarić



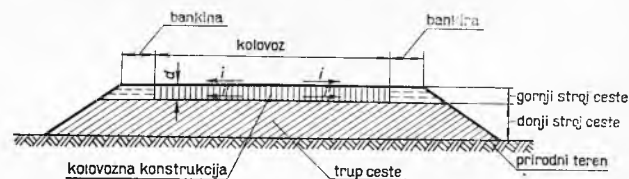
Sl. 26. Okretišta za okretanje neprekidnom vožnjom. a polukružna ploha (lopata), b i c kružna traka (petlja)



Sl. 27. Okretišta za okretanje reverziranjem

TRUP CESTE

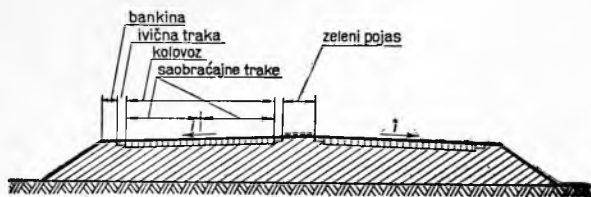
Kretanje vozila iziskuje obrađenu površinu s određenim poprečnim i uzdužnim nagibom u odnosu na os ceste. Ta površina dobiva se izradom donjeg stroja na prirodnom terenu i polaganjem gornjeg stroja na donji stroj (sl. 28). Glavni sastavni dijelovi gornjeg



Sl. 28. Poprečni presjek kroz cestu s jednom saobraćajnom trakom

stroja su kolovoz i bankine. Kolovoz je pojas na cesti po kojem saobraćaju cestovna vozila, a bankine su pojasi s obje strane kolovoza koji zaštićuju ivice kolovoza i na kojima se postavljaju saobraćajni znakovi i objekti za osiguranje bezbjednosti saobraćaja. Na bankinama se vozila mogu skloniti i lakše mimoći kad je kolovoz uzak. Za bolju zaštitu ivica kolovoza postavljaju se duž njih ivične trake. Po njima se može vršiti saobraćaj. Ceste s velikim

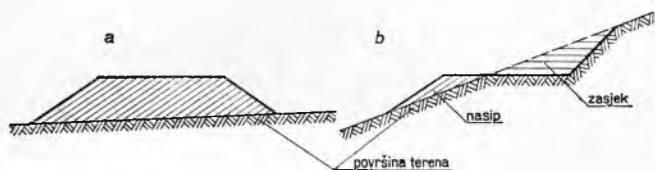
motornim saobraćajem mogu imati za svaki smjer vožnje poseban kolovoz; kolovozi su onda odvojeni zelenim pojasom (sl. 29), elastičnim odbojnicima i dr. (Pobliže o tome vidi slijedeće poglavlje ovog članka). Donji stroj ceste naziva se njezinim trupom (*trup ceste*).



Sl. 29. Poprečni presjek kroz cestu sa dvije saobraćajne trake

Dijelovi trupa ceste. Trup ceste je vještačko tijelo izgrađeno na prirodnom terenu. Prema položaju površine terena u odnosu na površinu ceste, trup ceste može biti u nasipu, zasjeku, usjeku, galeriji i tunelu. Trup ceste može biti izveden i kao objekt (propust, most, vijadukt, i dr.).

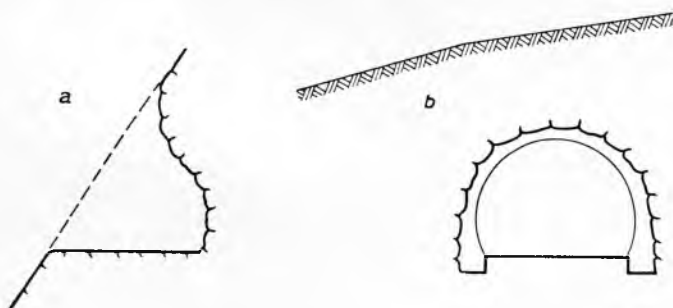
Nasip se izvodi ako površina ceste mora biti iznad površine okolnog terena (sl. 30 a). *Zasjek* s nasipom se pravi kad je površina ceste dijelom iznad a dijelom ispod terena (sl. 30 b). *Usjek* se izvodi ako je površina ceste ispod površine terena (sl. 31). *Galerija* i *tunel* nastaju ako površina ceste leži duboko ispod površine terena i ako teren nadvišava cestu i nakon izvršenja radova za trup ceste, a trup ceste nije ni zasjek ni usjek. Galerija je djelimično u terenu, a tunel potpuno (sl. 32).



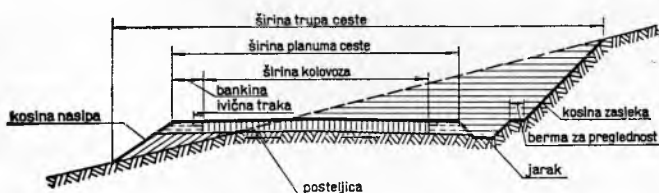
Sl. 30. Nasip i zasjek. a nasip, b zasjek s nasipom



Sl. 31. Usjeci. a otvoren usjek (zasjek bez nasipa), b pun usjek



Sl. 32. Galerija i tunel. a galerija, b tunel



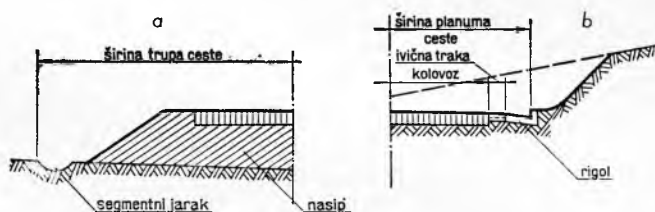
Sl. 33. Elementi poprečnog presjeka ceste

Trup ceste je ograničen planumom ceste, kosinama nasipa, zasjeka i usjeka i površinom terena. Širina trupa ceste određena je presjecima kosina nasipa, zasjeka i usjeka sa terenom

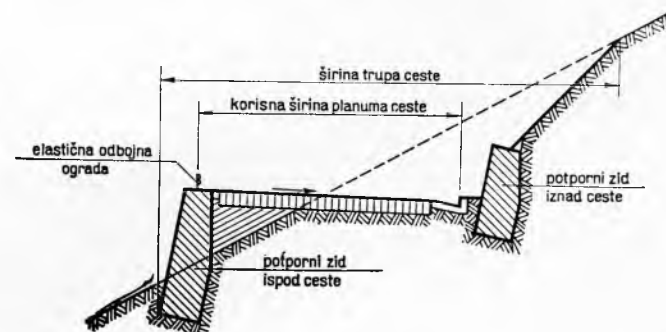
(sl. 33). *Planum ceste* je granična površina ceste koja je okrenuta prema vozilu. Širina planuma ceste određena je zbirom širina kolovoza, ivičnih traka i bankina.

Posteljica je granična površina između gornjeg i donjeg stroja ceste (sl. 33). Izvodi se u nagibu. Nagib posteljice je neophodan i treba da bude tolik da se omogući slivanje vode ispod kolovozne konstrukcije ka stranama ceste.

Jarak služi za odvođenje vode. Sastavni je dio trupa ceste i njegova širina ulazi u širinu trupa (sl. 33 i 34 a). Jarak ima trapezast, trouglast ili segmentni presjek. Postavlja se pored bankine u zasjeku i usjeku i po potrebi pored nožice nasipa. Umjesto jarka rade se i *rigoli* u zasjeku, usjeku i galeriji. Rigol se postavlja neposredno pored kolovoza odnosno ivične trake, ukoliko ona postoji. Rigol može izuzetno služiti i kao saobraćajna površina u slučaju skretanja vozila sa kolovoza. Širina rigola ulazi u širinu planuma



Sl. 34. Segmentni jarak i rigol. a segmentni jarak, b rigol

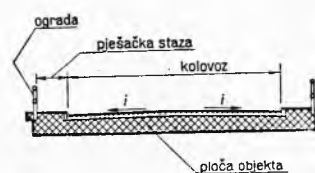


Sl. 35. Potporni zidovi

ceste jer zauzima mjesto bankine koja se u tom slučaju izostavlja (sl. 34 b).

U trup ceste ubrajaju se sva njegova osiguranja, kao, npr., *potporni i obložni zidovi*, *oblaganja kosina* nasipa i usjeka, *drenaže*, *kamena rebra* i dr. Širina trupa ceste određena je u ovom slučaju krajnjim vanjskim površinama trupa ceste, a korisna širina planuma ceste je odstojanje između unutarnje ivice elastičnog odbojnika, ograde i sl. i vanjske ivice rigola ili bankine (sl. 35).

Kao dio trupa ceste računa se i objekti koji služe za provođenje ceste preko prepreka. Takvi objekti su *propusti* kojim protiču površinske vode; *mostovi* i *vijadukti* kojim cesta prelazi rječne tokove, jaruge i doline; objekti kojim se omogućuje ukrštavanje van nivoa ceste sa drugim saobraćajnicama i dr.



Sl. 36. Presjek kroz cestovni objekt

Širina planuma ceste na objektima odgovara širini objekta (pločastog propusta, mosta, vijadukta i dr.). Širinu objekta određuju: širina kolovoza i širina pješačkih staza (sl. 36).

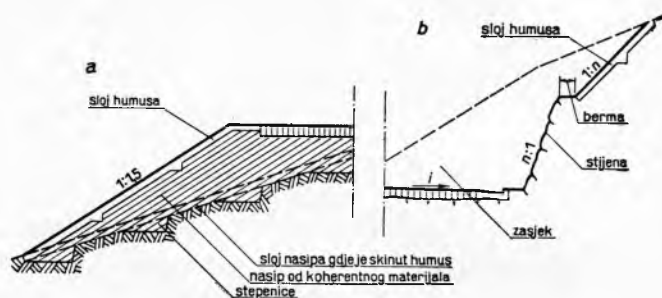
Zemljani trup ceste. Zemljani trup ceste dobiva se izradom nasipa na prirodnom terenu i zasjecanjem ili usjecanjem terena.

Rješenje trupa ceste *nasipom* najčešće je na ravnim predjelima. Na brežuljastim i brdovitim predjelima nasip se upotrebljava za prelaz preko pobočnih dolina, jaruga i sl. Treba nastojati da visina nasipa bude umjerena, jer je visok nasip vrlo složen objekat i njegova izrada zahtijeva mnogo vremena. Nužno je posvetiti posebnu pažnju izboru nasipnog materijala, pripremi tla za fundiranje nasipa i postizanju propisane zbijenosti. U ravnom predjelu

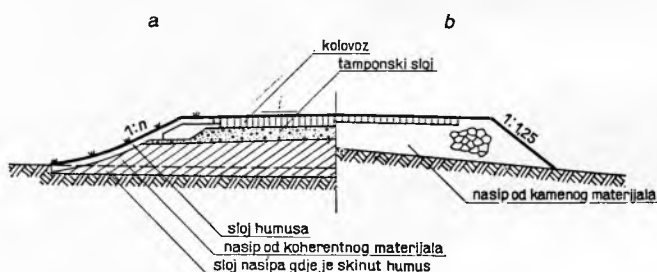
visok nasip često pokriva širok pojas plodnog zemljišta i nepovoljno odudara od okolnog terena. Na strmom terenu visok nasip uslovljava vrlo često obimne radove osiguranja.

Nagibi kosine nasipa ($1:n$) određuju se zavisno od vrste nasipnog materijala i visine nasipa. Nagib mora biti tolik da se ne odronjava ugrađeni materijal. Strmiji nagib može se uzeti u slučaju da se ugrađuje kameni materijal (sl. 37 b) ili ako se radi oblaganja nasipa. Strmina nagiba kosine opada s povećanjem procenta sitnijih zrna u nasipnom materijalu. Nagib kosine nasipa od koherentnog materijala po pravilu iznosi $1:1,5$. Nagibi $1:2$, $1:3$ i blaži određuju se radi povoljnijeg uklapanja trupa ceste u okolni teren (sl. 37) i na visokim nasipima čije nagibe kosina treba ublažiti od vrha ka nožici nasipa. Prije polaganja nasipa treba sa zemljišta na kojem se radi nasip ukloniti humusni sloj, ako postoji, da ne bi uslijed raspadanja organskih materija došlo do slijeganja nasipa (sl. 37 a). Fundiranje nasipa treba izvršiti zavisno od geomehničkih osobina podtla. Komprimiranje podtla, ako

iz zasjeka u samom profilu. Međutim, ugrađivanje nasipnog materijala je otežano uslijed promjenljive širine nasipa. Nedovoljno zbijen nasip ili nedovoljna zbijenost prirodnog tla na dijelu zasjeka



Sl. 39. Nasip i zasjek. a nasip na strmom terenu, b zasjek u stijeni

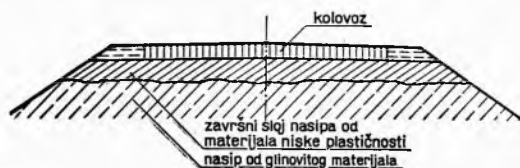


Sl. 37. Trup ceste u nasipu. a od koherentnog materijala, b od kamenog materijala

je potrebno, treba izvršiti odgovarajućom mehanizacijom. Ocjeđivanje podtla pod nasipom je važan dio pripreme za fundiranje nasipa.

Nasip se radi od materijala dobivenog iskopom iz zasjeka i usjeka na trasi ceste. Ako iskop sa trase ceste ne daje potrebne količine nasipnog materijala, ili ako po svojim geomehničkim osobinama ne zadovoljava za izradu nasipa, otvaraju se *pozajmišta* širim iskopom u samom trupu ceste ili van trase. Pored kvaliteta materijala i troškovi transporta utiču na izbor jednog od pomenutih rješenja.

Nasip se izrađuje u slojevima. Debljina sloja, izbor mehanizacije za zbijanje i vlažnost materijala određuju se zavisno od vrste materijala. Propisna zbijenost nasipnog materijala može se postići jedino mašinskim zbijanjem uz stalnu kontrolu. Ako se završni sloj nasipa radi materijalom visoke plastičnosti (gline) postoji opasnost čestog oštećenja kolovoza kad je kapilarno penjanje podzemne vode više od dubine prodiranja mraza. Kolovoz se štiti od mraza izradom *tamponskog sloja* od granuliranog šljunka ili



Sl. 38. Struktura materijala nasipa

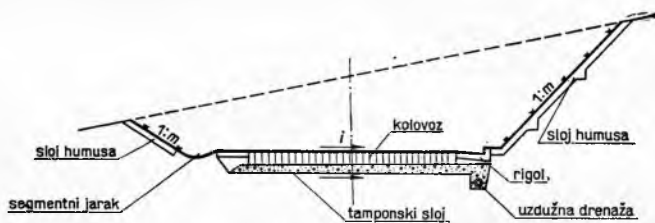
drobljenog kamenog materijala (sl. 37 a), a od onečišćenja glinenim česticama koje se s kapilarnom vodom penju kroz trup ceste zaštićuje se *slojem čistoće* od pijeska. Ako se nasip od glinovitog materijala izrađuje pri kišovitom vremenu, mogu nastupiti teškoće prilikom ugrađivanja. Preporučuje se da se završni sloj izradi od materijala niske plastičnosti (pjeskovitog i kamenitog materijala), čime se omogućava ušteda u dimenzijama kolovozne konstrukcije (sl. 38).

Na brežuljkastim i brdovitim predjelima trup ceste rješava se skoro redovito zasjekom sa nasipom.

Zasjek s nasipom sa gledišta transporta masa najekonomičnije je rješenje trupa ceste jer se veći dio mase za nasip podmiruje

može prouzrokovati oštećenje kolovoza zbog nejednake nosivosti u profilu; to se sprečava pažljivim zbijanjem trupa ceste na cijeloj širini planuma. Nagib kosine zasjeka ($1:m$) određuje se u zavisnosti od vrste tla. U zemljanom tlu kosina zasjeka može biti u nagibu $1:1$ i blažem, zavisno od zbijenosti (vezanosti) materijala. Preporučuje se da minimalni nagib bude $1:1,5$ jer se time omogućuje humusiranje i zatravljivanje. Zasjek u stijeni ima nagibe kosine $2:1$ i strmije, a može biti i vertikalna, što zavisi od čvrstoće i nagiba slojeva stijene (sl. 39 b). Da bi se nasip povoljnije oslonio na strmi teren (nagiba $1:5$ i većeg), potrebno je zasjeci stepenice (sl. 39a). Nastoji se da takvi nasipi ne budu dugački i tanki u profilu, zbog teških uslova građenja i održavanja.

Na kupiranim brežuljkastim i brdovitim predjelima trup ceste je često u *usjeku*. Teži se da dubina i dužina usjeka budu umjerene jer izrada velikog usjeka dugo traje. Pri građenju mogu nastupiti okolnosti koje iziskuju osiguranja radi zaštite od podzemne vode ili od odronjavanja slabo vezanog materijala i sl. Održavanje ceste u dubokom usjeku je otežano jer se vlaga i snijeg dugo zadržavaju, velike kosine usjeka se češće odronjavaju a nailazi se i na druge teškoće. Nagibi ($1:m$) kosina usjeka određuju se kao i kod zasjeka.



Sl. 40. Drenaža tamponskog sloja u usjeku

U zasjecima i usjecima na glinovitom tlu sa visokim vodostajima podzemne vode ugrađuje se tamponski sloj radi zaštite kolovoza od mraza. Voda koja prođe u tamponski sloj odvodi se sistemom uzdužnih drenaža ispod rigola ili jarka i poprečnih drenaža kroz trup ceste (sl. 40).

Metode rada iskopa i izbor mehanizacije zavise od vrste tla, visine i dužine zasjeka, dubine i dužine usjeka i dr. (V. *Zemljani radovi*.)

Površine kosine nasipa, zasjeka i usjeka treba zaštititi od djelovanja atmosfere vode i vjetrova. Zaštita se postiže biljnim pokrivačem na sloju humusa. Ovim načinom postiže se i bolje ukomponovanje ceste u okolni teren. Postoje i drugi načini zaštite kosine.

U planinskim predjelima i kanjanskim riječnim dolinama rješava se trup ceste *galerijom*, i to samo izuzetno, u padini sa strmim nagibom gdje bi rješenje zasjekom iziskivalo nesrazmjerno velik iskop. Galerije se rade samo u padini sa jedrom i kompaktnom stijenom. Čistim otvorom galerije mora se obezbijediti propisani slobodni profil ceste (sl. 41). Metode rada iskopa i izbor mehanizacije zavise od čvrstoće i pada slojeva stijene, visine i dužine galerije i dr. Za zaštitu saobraćaja od padanja kamena, od lavina



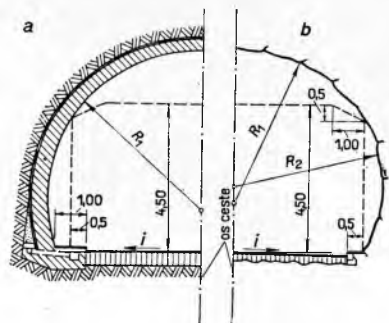
Sl. 41. Poprečni presjek kroz galeriju

i sl. na strmim terenima primjenjuju se vještačke galerije od armiranog betona i drugog materijala.

Rješenje trupa ceste *tunelom* primjenjuje se najčešće u brdovitom i planinskom predjelu, a izuzetno u ravničarskom (u gradovima, ispod rijeka i sl.). Zbog velikih troškova građenja ovakvo se rješenje, u načelu, izbjegava. Primjenjuje se kad su troškovi građenja, eksploatacije i održavanja niži nego za rješenje koje se zasniva na obilaženju prepreka (brda, prevoja i dr.) ili prevođenju preko njih otvorenom trasom.

Tunel se bez obloge radi u čvrstim i postojećim stijenama koje ne izazivaju pritiske u pravcu otvora tunela i koje su bez podzemne vode. U protivnom, potrebna je tunelska obloga sa izolacijom ili bez nje. Tunel bez obloge spada u zemljani trup ceste.

Čistim otvorom tunela mora se obezbijediti propisani slobodni profil ceste (sl. 42). Cestovni tuneli mogu iziskivati posebne mjere provjetravanja i osvjjetljenja zavisno od klimatskih uslova na ulazima tunela, dužine tunela, gustine saobraćaja i drugih uslova.



Sl. 42. Poprečni presjek kroz tunel. a) tunel s izolacijskom oblogom, b) tunel bez obloge

Metoda rada izbijanja tunelskog profila i izbor mehanizacije zavise od vrste tla, prisustva podzemne vode, položaja i dužine tunela i drugih činilaca. (Pobliže o galerijama i tunelima v. *Galerija i Tunel*.)

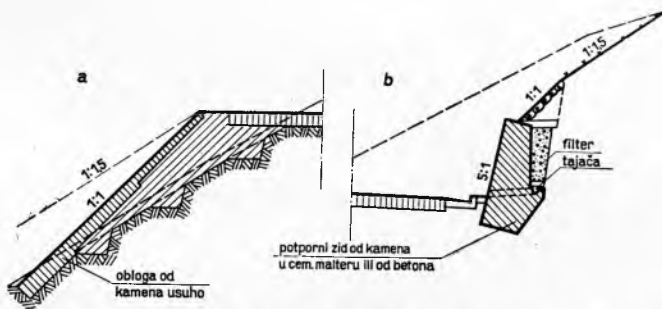
Osiguranje trupa ceste. Kad terenski uslovi nisu povoljni i ne omogućavaju izradu zemljanog trupa ceste, izvode se posebna osiguranja. Osiguranja su potrebna na strmoj padini ako se kosina nasipa i teren uopće ne sijeku ili se sijeku daleko; ako nije moguće osloniti nasip na teren jer postoje prepreke (objekti van ceste, vodotoci i sl.); ako bi se kosinom zasjeka ili usjeka potkopao neki objekt; itd. Kao osiguranja primjenjuju se potporni zidovi, obloge i dr. (sl. 43 a).

Kosine zasjeka i usjeka u rastresitom tlu i trošnoj stijeni treba smanjiti ili osigurati radi zaštite od odronjavanja; površinske i podzemne vode treba kaptirati i kanalizirati da njihovo djelovanje ne bi ugrozilo trup ceste; klizišta, odrone, osuline i dr. koje presjeca cesta treba sanirati i smiriti radi obezbjeđenja trupa ceste. U navedenim slučajevima primjenjuju se kao osiguranja potporni i obložni zidovi i obloge, kamena rebra, drenaže, otvoreni jarci,

filteri sa tajačom i dr. Potporni i obložni zidovi i obloge služe za uspostavljanje ravnoteže padine, poremećene radovima za trup ceste; kamena rebra i drenaže imaju zadatak da prihvate i odstrane podzemnu vodu u cilju ocjeđivanja padine i trupa ceste; otvoreni jarci služe za prikupljanje površinskih voda; filteri sa tajačom za procjeđivanje podzemne vode i njeno odvođenje kroz trup ceste (sl. 43 b).

Osiguranja se izvode od kamena u suho i u cementnom malteru, od betona, armiranog betona, drveta i dr. Izbor materijala zavisi od namjene osiguranja i lokalnih nalazišta materijala. Nagibi vanjske kosine zida i obloge zavise od vrste osiguranja i upotrijebljenog materijala (sl. 43). Dimenzije zidova, obloga i dr. određuju se prema općim tehničkim principima sa gledišta stabilnosti i otpornosti materijala i prema iskustvu. Za dimenzioniranje obično služe razna tipska rješenja i tablice, ali u složenijim slučajevima treba provjeriti dimenzije osiguranja statičkim proračunom.

Izbor rješenja trupa ceste i njegovih osiguranja zavisi od terenskih uslova. Rješenja će biti pouzdana i ekonomična ako se



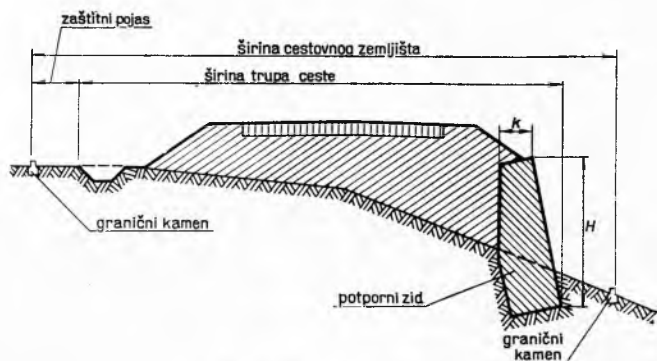
Sl. 43. Osiguranje trupa ceste: a) kamena obloga nasipa, b) potporni zid u zasjeku

prije projektovanja izvrše iscrpna geološka i hidrološka ispitivanja terena, kao i geomehanička provjeravanja osobina materijala. Da bi se trup ceste uspješno izgradio, treba u toku izvođenja radova stalno kontrolirati kvalitet upotrijebljenog materijala i način ugrađivanja.

Cestovno zemljište. Cestovno zemljište je površina terena pod trupom ceste i pod zaštitnim pojasevima pored njega. Na zaštitnim pojasevima ne smiju se postavljati objekti i predmeti koji ne služe cesti. Širina cestovnog zemljišta je odstojanje između vanjskih ivica zaštitnih pojaseva (sl. 44).

Na objektu, cestovno zemljište je površina terena pod donjim strojem ceste (ukoliko cesta ne prelazi preko željezničke pruge ili drugih objekata) i pod zaštitnim pojasevima pored njega.

U cestovno zemljište ulaze i površine terena izvan zaštitnih pojaseva na kojima su izvršena osiguranja trupa ceste, kao, npr., drenaža padina iznad i ispod ceste, uređenje bujica radi ceste, odvodni jarci i sl.



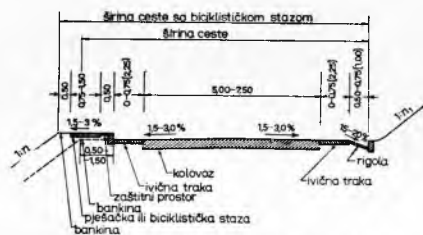
Sl. 44. Cestovno zemljište

Površina terena pod cestarskim i nadzorničkim kućama, pumpnim i servisnim stanicama i drugim objektima potrebnim za cestovnu službu i usluge saobraćaju, ako su smješteni neposredno pored ceste, također su sastavni dijelovi cestovnog zemljišta.

Eksproprijacija zemljišta za cestu obuhvata površinu terena koju zaprema cestovno zemljište. Zemljište koje je eksproprijacijskim postupkom dato na upravljanje cestovnoj službi omeđeno je na terenu trajnim znakovima. A. Kamhi

KOLOVOZ

Kolovoz (kolnik) je pojas na cesti po kojem saobraćaju cestovna vozila i stoga je najvažniji deo gornjeg stroja ceste. Po kolovozu se odvija sav saobraćaj, pa njegova konstrukcija treba da preuzme sva opterećenja izazvana vozilima i da ih prenese na trup ceste. Po pravilu, cesta ima jedan kolovoz za kretanje vozila u oba smera. Ceste sa intenzivnim motornim saobraćajem mogu imati za svaki smer vožnje poseban kolovoz. Osim kolovoza, u gornji stroj ceste se ubrajaju bankine, ivične trake, rigoli, zelena traka koja razdvaja jednosmerne kolovoze autoputeva, pešačke i biciklističke staze koje su smeštene u trupu ceste (sl. 45; v. i sl. 29).



Sl. 45. Poprečni presek gornjeg stroja ceste

Bankine zaštićuju ivice kolovoza. Na njima se postavljaju saobraćajni signali i objekti za sigurnost saobraćaja (parapetni zidovi, ograde, odbojnici itd.), u slučaju potrebe na njih se mogu skloniti vozila da ne smetaju saobraćaju, a izuzetno služe i za mimoilaženje vozila. Po potrebi, duž kolovoza se kao zaštita ivica postavljaju *ivične trake*.

Profil kolovoza. Širina kolovoza zavisi od računске brzine, vrste i broja vozila u proseku, karaktera terena (ravan, brežuljkast, brdovit i planinski), kategorije puta (I–IV reda) i gustine saobraćaja. Za dvosmernu vožnju na cestama II i III reda u brdovitom i planinskom terenu najmanja širina kolovoza je 5,0 m, a na cestama I reda na ravnom terenu najveća širina je 7,0 m, na autoputevima 7,5 m (dve saobraćajne trake po 3,75 m).

Poprečni profil kolovoza može imati dvostrani nagib (dvovodni, krovast) ili jednostrani nagib. U pravoj može imati oba oblika (no preporučuje se, naročito kod savremenih kolovoza, jednostrani nagib), u krivinama je profil uvek s jednostranim nagibom.

Veličina poprečnog nagiba kolovoza u pravoj zavisi od vrste kolovoznog zastora, uzdužnog nagiba ceste, količine vodenog taloga i klimatskih uslova. Minimalni poprečni nagib je 1,5%, a maksimalni 4,0% (za tucanične kolovoze pri uzdužnom nagibu < 2,0%).

Jednostrani poprečni nagib u krivinama zavisi od hrapavosti kolovoza i vrste saobraćaja (motorni ili mešoviti), a određuje se tako da se savladavanje dejstva centrifugalne sile raspoređuje u određenom odnosu na poprečni nagib i i na otpor klizanju f (v. str. 602).

Maksimalni poprečni nagib kolovoza u krivini autoputeva sa hrapavim kolovoznim zastorima iznosi 10%, a cestā za mešoviti saobraćaj sa normalno hrapavim zastorima 6%.

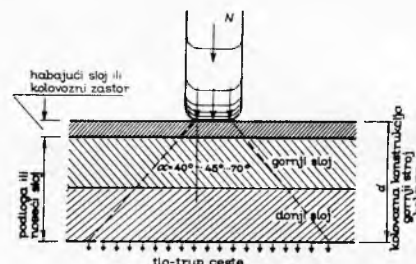
Prelaz dvostranog nagiba kolovoza u jednostrani, ili jednostranog u jednostrani sa suprotnim smerom, ili jednostranog u jednostrani sa većom vrednosti, izvodi se postepenim izdizanjem — vitoperećenjem — spoljne ivice kolovoza na dužini prelazne krivine. Dužina prelazne rampe može biti manja od dužine prelaznice, no najpovoljnije je rešenje kad je dužina rampe jednaka dužini prelaznice (promena nagiba sinhronizuje se sa promenom zakrivljenosti na prelaznici).

Kolovozna konstrukcija sastoji se od dva sloja: habajućeg sloja, zvanog *kolovozni zastor*, i nosećeg sloja, zvanog *podloga*.

Kolovozni zastor prima na svojoj površini sve spoljne sile: vertikalne, tangencijalno-podužne i tangencijalno-poprečne. Po svojoj strukturi treba da bude otporan prema svim meteorološkim

uticajima, a s druge strane treba da je izveden što ekonomičnije, tj. što manje debljine, jer je najskuplji deo u kolovoznoj konstrukciji. Debljina zastora obično je svega nekoliko centimetara (asfaltni zastor 2,5–7 cm, sitna kocka 8–10 cm, cementni beton 5–7 cm).

Podloga u kolovoznoj konstrukciji može biti od jednog, dva ili više slojeva (sl. 46); ukupna joj debljina zavisi od nosivosti tla,



Sl. 46. Teorijski presek kolovozne konstrukcije

saobraćajnog opterećenja i dejstva mraza. Debljina joj se kreće od 8–10 cm (stenovito tlo) do 80 cm (loše tlo i jaki mrazovi). Podloga prenosi na tlo (trup ceste) opterećenja izazvana saobraćajem. Dejstvo vertikalnih sila prenosi pod uglom α koji zavisi od vrste materijala u kolovoznoj konstrukciji ($\alpha = 30^\circ\text{--}70^\circ$). Naponi pritiska u pojedinim tačkama podloge obrnuto su proporcionalni dubini, tj. najmanji su na donjoj površini. Podloga se izvodi od različitih vrsta materijala: šljunka, tucanika, lomljenog kamena, betona, stabilizovanog tla i dr.

Kolovozne konstrukcije se mogu podeliti prema krutosti, vrsti materijala i saobraćajnom opterećenju.

Prema krutosti razlikuju se kruti i fleksibilni kolovozi. *Kruti kolovozi* sastoje se od cementno-betonskih ploča koje u zoni zatezanja mogu da prime velike napone zatezanja. *Fleksibilni (savitljivi) kolovozi* ne mogu da prime napone zatezanja, tj. svaka deformacija u tlu prenosi se na kolovozni zastor, što nije slučaj kod krutih kolovoza. U prvu grupu, pored cementno-betonskih kolovoza, dolaze i svi kolovozi sa podlogom od betona i mešavinā sa cementom, a u drugu svi ostali kolovozi (sa podlogom od tucanika, lomljenog kamena, stabilizovanog tla — izuzev stabilizovanog cementom — i dr.).

S obzirom na materijal, kolovozne konstrukcije se dele prema vrsti spojnog, vezivnog sredstva u kolovoznom zastoru ili podlozi. Postoji više vrsta spojnih sredstava koja, delimično ili potpuno, povezuju različite materijale u homogenu tela, pa se razlikuju ove kolovozne konstrukcije: sa spojnim sredstvom od gline, sa spojnim sredstvom od finijih čestica krečnjaka, sa ugljovodoničnim spojnim sredstvima (bitumenom, putnim katranom, bitumenskim i katranskim emulzijama, mešavinama katrana i bitumena) i sa silikatnim spojnim sredstvima (cementom, vodenim staklom). Glina kao vezivno sredstvo služi u prvom redu za podlogu, a izuzetno i za kolovozni zastor (zemljani putevi). Ostala vezivna sredstva služe kako za podlogu tako i za kolovozni zastor.

S obzirom na saobraćajno opterećenje, konstrukcije se dele prema jačini saobraćaja, u bruto tonama na dan, i gustini saobraćaja, broju vozila na čas. Kolovozi za lak saobraćaj odgovaraju jačini saobraćaja 1000 bruto-tona na dan ili gustini 200 vozila na čas; za srednji saobraćaj u jačini od 1000 do 3000 br. t na dan ili gustini od 200 do 400 vozila na čas; za težak saobraćaj u jačini od 3000 do 6000 br. t na dan ili gustini > 400 vozila na čas i za vrlo težak saobraćaj u jačini saobraćaja većoj od 6000 br. t na dan. Za savremene kolovoze podloge mogu biti različite vrste.

Šljunčana podloga sastoji se od dva ili više slojeva šljunka različite krupnoće zrna, ukupne debljine 15–20 cm. Spojno sredstvo obično je glina, no znatno je bolje neko ugljovodonično sredstvo, koje daje stabilniju podlogu, ali i mnogo skuplju.

Tucanička podloga sastoji se od dva sloja tucanika, ukupne debljine 15–20 cm, pri čemu tucanik može biti i od manje kvalitetnih stena nego za kolovozni zastor. Umesto prosejanog, rešetanog tucanika može se upotrebiti i mešavina kontinualne granulacije. Spojno sredstvo je od fine kamene sitneži. Gornji sloj

tucanika može se natopiti nekim ugljovodoničnim spojinim sredstvom, čime se postiže znatno bolja povezanost zrna tucanika.

Podloga od lomljenog kamena i tucanika ima ukupnu debljinu 21...33 cm (lomljen kamen 15...25 cm, izravnavajući sloj tucanika 6...8 cm). Po kvalitetu znatno zaostaje iza tucaničkog nosećeg sloja. Ekonomičnost se postiže primenom šljunka za izravnavajući sloj, a kvalitet se poboljšava upotrebom cementnog maltera za zalivanje šupljina.

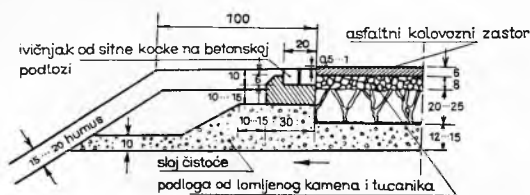
Podloga od cementnog betona najčešće je sa agregatom od šljunkovitog materijala ili od manje kvalitetnih stena. Čvrstoća betona može biti znatno manja od čvrstoće betona za kolovoz ($\beta_p = 200 \text{ kp/cm}^2$, $\beta_z = 25 \text{ kp/cm}^2$). Debljina je 15...25 cm. U sloju se moraju izraditi spojnice, ali zbog njih nastaju naprsline na asfaltnom kolovoznom zastoru. Te se naprsline mogu sprečiti ili smanjiti ako se ugradi asfaltni međusloj.

Podloga od stabilizovanog tla, na principu mehaničke ili hemijske stabilizacije, debljine 15...30 cm, može pri upotrebi lokalnih materijala biti vrlo ekonomična, a naročito tamo gde ima dobrog šljunkovitog materijala.

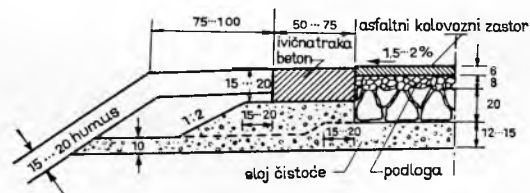
Pored navedenih vrsta, kao noseći slojevi dolaze u obzir: postojeći tucanički kolovozi, turska kaldra i dotrajali savremeni kolovozi (betonski kolovoz i razne vrste kaldra).

Tamponski sloj i sloj čistoće služe za zaštitu kolovoza od štetnog dejstva mraza i drugih štetnih uticaja (v. i str. 612). Debljina ovih slojeva zavisi od dubine dejstva mraza i od toga da li se predviđa delimična ili potpuna zaštita od mraza, kao i od gustine i opterećenja saobraćajem. Najčešće su od peskovito-šljunkovitog materijala, koji treba da ispuni određene uslove (sadržaj gline i prašine kreće se od 3 do 13%, zavisno od količine grubih zrna); u protivnom mora se popraviti granulometrijski sastav. Debljina sloja čistoće je 10...20 cm, a tamponskog 20...50 cm. Oni se ugrađuju različitim vibracionim mašinama. Kako je nabavka šljunčanog materijala najčešće i najekonomičnija, to se povećanjem debljine sloja čistoće ili tamponskog sloja može znatno pojeftiniti kolovozna konstrukcija.

Ovičenje kolovoza na savremenim je cestama neophodno zbog statičkih i konstruktivnih razloga kao i zbog zahteva bezbednosti.



Sl. 47. Ivičnjak od dve kocke u betonu (dimenzije u cm)



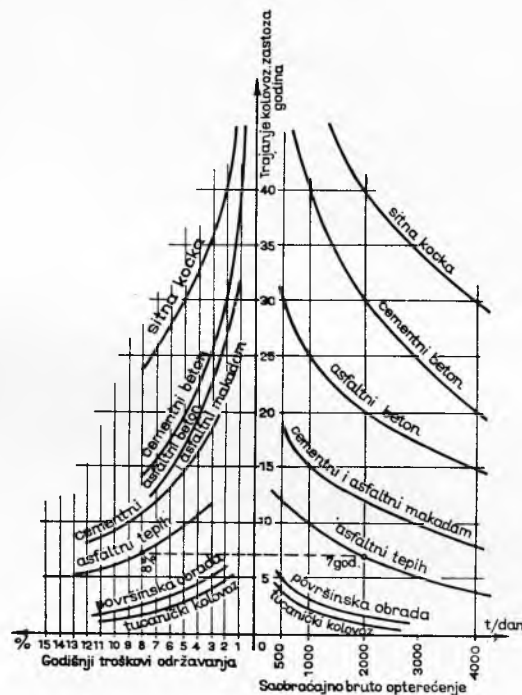
Sl. 48. Trotoarski ivičnjak na betonskoj podlozi

Ono se može provesti ivičnjacima ili ivičnim trakama različite konstrukcije i od različitog materijala (kamena, betona, klinkera i dr.). Ivičnjaci se najčešće grade od 2 kocke u betonu (sl. 47), a ivične trake od betona (sl. 48).

Projektovanje kolovozne konstrukcije vrlo je složen problem jer su izvesni kriteriji (tehnički, saobraćajni, higijenski i ekonomski) često jedni s drugim u suprotnosti. Npr., ono što je tehnički i saobraćajno najpravičnije to je istovremeno i najskuplje. Najbitniji uticaj imaju ovi faktori: karakteristike trase i profila, klima, kvalitet tla, vrsta i veličina saobraćaja, uslovi nabavke materijala i stepen mehanizacije, higijensko-estetski i ekonomski uslovi.

Jedan od bitnih faktora je veličina saobraćaja, izražena u bruto-tonama na dan ili u broju vozila na čas, jer od nje zavisi

trajnost kolovozne konstrukcije, odnosno kolovoznog zastora. Zbog toga treba utvrditi trajnost u godinama pojedinih kolovoznih zastora i godišnje troškove njihovog održavanja u procentima od koštanja građenja. Ovi podaci dobijaju se samo dugogodišnjim osmatranjem i opitima, koji se sređuju u tablicama ili se prikazuju grafički (sl. 49).



Sl. 49. Vek trajanja kolovoznih zastora i troškovi održavanja u zavisnosti od saobraćajnog opterećenja

Ekonomski kriterij pri projektovanju kolovoza je najbitniji jer se s jedne strane odražava u ukupnim građevinskim investicijama: za građenje, rekonstrukciju i održavanje, a s druge strane u troškovima eksploatacije. Najekonomičniji je onaj kolovoz za koji je zbir amortizacije građevinskih investicija i troškova eksploatacije (amortizacije saobraćajnih investicija) najmanji u toku izvesnog perioda.

Ukupni godišnji građevinski troškovi (K_g) za 1 m² kolovoza određuju se po formuli:

$$K_g = G \frac{Z^x (Z - 1)}{Z^x - 1} + R_{kz} \frac{Z - 1}{Z^n - 1} + R_p \frac{Z - 1}{Z^m - 1} + O,$$

gde su G troškovi građenja 1 m² kolovoza; R_{kz} troškovi rekonstrukcije (obnove) 1 m² kolovoznog zastoza izvršene posle n godina; R_p troškovi rekonstrukcije nosećeg sloja izvršene posle m godina ($m > n$); O godišnji troškovi održavanja kolovoznog zastoza; x vreme za koje treba da se amortizuje uloženi kapital;

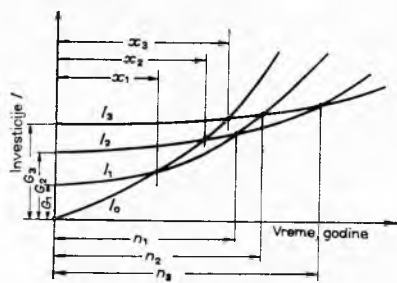
Z kamatni faktor $1 + \frac{p}{100}$; p kamatna stopa.

Eksploatacioni troškovi, tj. troškovi za gorivo, mazivo, gume, amortizaciju i održavanje vozila, osoblje i dr., zavise od stanja kolovoza u celini, a posebno od stanja kolovoznog zastoza. Ukoliko je kolovoz odnosno kolovozni zastor bolji, utoliko su troškovi eksploatacije niži.

Za analizu procentnih sniženja pojedinačnih troškova eksploatacije podeljeni su kolovozni zastori u tri klase. I klasa obuhvata kolovozne zastore visoke vrednosti u odličnom stanju; II klasa kolovozne zastore srednje vrednosti u zadovoljavajućem stanju, III klasa kolovozne zastore male vrednosti u lošem stanju. Ukupni eksploatacioni troškovi (y) po klasama kolovoznih zastoza stoje u odnosima $y_I : y_{II} : y_{III} = 1 : 1,18 : 1,38$.

Prema tome iznosi procentna ušteda pri prelazu sa III klase na II klasu 14,5%, pri prelazu sa II klase na I klasu 15,2%, a pri prelazu sa III klase na prvu 27,5%.

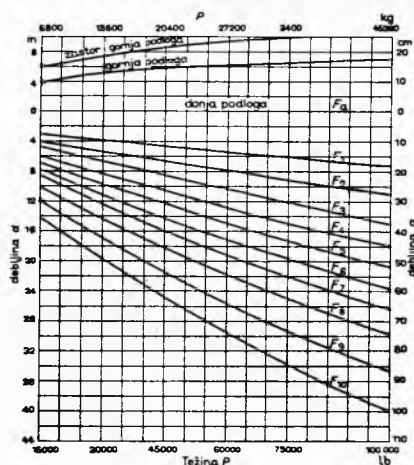
S obzirom na ukupne građevinske i saobraćajne investicije mogu se različite vrste kolovoza upoređivati i grafičkom metodom, kao što je prikazano na sl. 50.



Sl. 50. Upoređenje građevinskih i saobraćajnih investicija. I_0 ukupne investicije na cesti sa tucaničkim zastorom, I_1 ukupne investicije na cesti sa savremenim zastorom za laki saobraćaj, I_2 ukupne investicije na cesti sa savremenim zastorom za srednji saobraćaj, I_3 ukupne investicije na cesti sa savremenim zastorom za težak saobraćaj; x_1, x_2, x_3 vreme amortizacije savremenih kolovoznih zastora u odnosu na tucanički — nesavremeni zastor; n_1, n_2, n_3 vreme amortizacije za koje su pojedine vrste savremenih kolovoznih zastora povoljnije od drugih

Dimenzioniranje kolovoznih konstrukcija. Određivanje dimenzija kolovozne konstrukcije sa ekonomske je tačke gledišta najvažniji problem jer i najmanje smanjivanje debljine konstrukcije može da donese ogromne uštede. (Ali ne treba ispustiti iz vida ni to da nedovoljno dimenzioniranje kolovozne konstrukcije može naneti ogromne štete.) Debljina kolovozne konstrukcije zavisi od sledeća četiri faktora: veličine opterećenja po točku, veličine dodirne površine točka i kolovoza, vrste i jačine saobraćaja i fizičkih osobina tla trupa ceste. Postoji više metoda za dimenzioniranje, no uglavnom se primenjuju ove tri grupe: metode klasifikacije tla, opitne metode i teorijske metode.

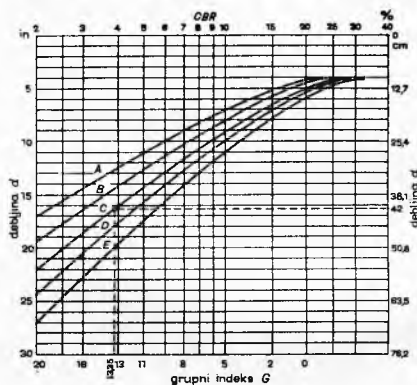
Metode klasifikacije tla uglavnom zavise od kvaliteta tla: koliko je tlo bolje toliko je debljina kolovoza manja. Postoji više klasifikacija tla, kao što su: Public Roads Administration, Air Transport Association of America i dr., na osnovu kojih se, zavisno od opterećenja točka, pomoću tabele i grafikona (sl. 51) određuje debljina kolovozne konstrukcije, tj. zastora i podloge, u koju ulazi i sloj za zaštitu od mraza (sloj čistoće ili tamponski sloj).



Sl. 51. Dijagram »Air Transport Association of America« za dimenzioniranje fleksibilnih kolovoza. P opterećenje točka, d debljina pojedinih slojeva kolovoza. Krive $F_1, F_2, \dots, F_{10}$ odnose se na tla različitih grupa, uz različite uslove odvodnjavanja i mogućnosti zamrzavanja

Opitne metode zasnivaju se na ispitivanju moći nošenja. Ima više metoda, kao što su: metoda konusa, metoda indeksa nosivosti, metoda grupnog indeksa ili metoda Colorado (sl. 52) i dr. Tim metodama se uglavnom dimenzioniraju fleksibilne kolovozne konstrukcije. Po metodi grupnog indeksa kolovozi se dimenzioniraju na osnovu osobina tla, izraženih grupnim indeksom G , jačine saobraćaja izražene brojem vozila na dan, uzimajući u obzir hidrološke prilike i dubinu dejstva mraza. Grupni indeks G zavisi od granulometrijskog sastava, granice tečenja i indeksa plastičnosti materijala, a određuje se laboratorijskim ispitivanjima.

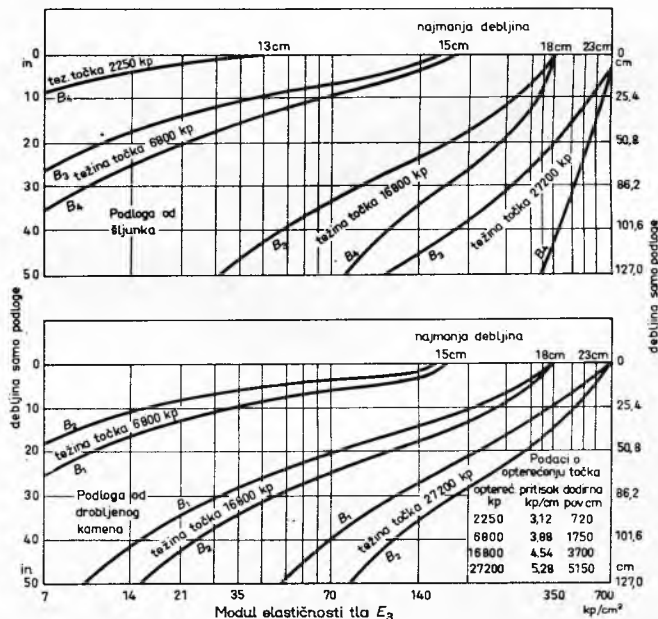
Teorijske metode zasnivaju se na određivanju unutrašnjih naprezanja u kolovozu, koja nastaju usled temperaturnih promena i dejstva saobraćajnog opterećenja. Naprezanja i sleganja prora-



Sl. 52. Dijagram za dimenzioniranje fleksibilnih kolovoza metodom Colorado. CBR — California bearing ratio (Kalifornijski odnos nosivosti tla, određen eksperimentalno), G grupni indeks, izračunat iz eksperimentalno određenih osobina tla, d debljina kolovoza. Krive A, B, C, D, E odnose se na različite zbirne koeficijente koji karakterizuju smrzavanje tla, jačinu saobraćaja i hidrološke uslove

čunavaju se pomoću teorije elastičnosti, a stabilnost na osnovu geomehaničkih ispitivanja. Ove metode primenjuju se za dimenzioniranje fleksibilnih i krutih kolovoznih konstrukcija. Za fleksibilne kolovoze ima više teorijskih metoda: metoda na bazi dopuštenog napona tla (metoda Terzaghija), metoda na bazi opterećenja tla, metoda osnovana na triaksijalnim optima, i dr. Za krute — betonske — kolovoze takode postoji više metoda: metoda Older-Goldbeck, metoda Westergaard, metoda Burmister i dr.

Burmisterova metoda, koja služi i za krute i za fleksibilne kolovoze, pretpostavlja da se kolovozna konstrukcija sastoji od dva ili više elastičnih slojeva sa različitim modulima elastičnosti, koji po pravilu opadaju sa dubinom slojeva. Za krute kolovoze Burmister je usvojio tri sloja: betonsku ploču, podlogu (tamponski sloj odn. sloj čistoće od šljunka ili podlogu od drobljenog kamena) i tlo (trup ceste). Burmister je dao krive linije za dimenzioniranje fleksibilnih i krutih kolovoznih konstrukcija (sl. 53).



Sl. 53. Burmisterove krive za dimenzioniranje podloge krutih kolovoza, za različite kvalitete materijala, odnosno stepene nabijanja, i različite težine točka. B_1 drobljen kamen najboljeg kvaliteta, maksimalno nabijanje; B_2 drobljen kamen dobrog kvaliteta, dobro nabijanje; B_3 dobro granuliran šljunak, maksimalno nabijanje; B_4 oblutak, dobro nabijanje

Kolovozi od stabilizovanog tla sastoje se od peskovito-šljunkovitog materijala ili zemlje čije su čestice međusobno povezane nekim stabilizacionim sredstvom (vezivom). Stabilizovano tlo služi na prvom mestu kao podloga za savremene kolovozne zastore na putevima i aerodromima, a u manjoj meri kao kolovozni zastor, jer ne poseduje dovoljnu koheziju i otpornost na habanje. U ekonomskom pogledu ima prednost nad ostalim konstrukcijama, jer se najvećim delom upotrebljavaju lokalni materijali, a ugrađivanje je potpuno mehanizovano.

Materijal za stabilizaciju je zemlja, pesak i šljunak, koji moraju odgovarati određenim uslovima, i stabilizaciono-spojno sredstvo. Ukoliko lokalni materijali (pesak, šljunak) po svome granulometrijskom sastavu ne odgovaraju, moraju se poboljšati dodavanjem odgovarajućeg materijala ili odstranjivanjem nepodobnog materijala. Stabilizaciona sredstva su različita: glina, kreč, cement, različita ugljovodonična veziva (bitumen, razređeni bitumen, emulzije i dr.), kalcijum- i natrijum-hlorid, prirodne ili sintetske smole, lepkovi od proteina ili ugljenih hidrata, pepeo iz fabrika i dr. Danas se najviše upotrebljavaju glina, cement i ugljovodonična veziva.

Postoje tri vrste stabilizacije: prirodna, mehanička ili granularna i hemijska. Hemijska stabilizacija može se provesti cementom ili bitumenom.

Prirodna stabilizacija tla izvodi se materijalom koji se nalazi na licu mesta, bez ikakvog njegovog poboljšanja. Tako stabilizovane ceste u stvari su zemljane ceste koje nemaju skoro nikakvu saobraćajnu vrednost jer su pri kišovitom vremenu neupotrebljive, naročito ako su od čiste zemlje. Poučljivanjem mogu se donekle poboljšati.

Mehanička stabilizacija zasniva se na principu unutrašnjeg trenja frakcija peska i šljunka i kohezije finih čestica gline koja služi kao vezivo sredstvo, pri čemu voda ili fini vodeni filmovi stvaraju prisnu vezu između finih čestica. Umesto šljunka može se upotrebiti i drobljeni kameni materijal ako je njegova nabavka ekonomičnija. Debljina sloja mehaničke stabilizacije za habajući sloj iznosi 2-3 cm, a za noseći sloj 4-15 cm.

Granulometrijski sastav pojedinih mešavina mora se odrediti prosejavanjem, pri čemu je vrsta i sadržina gline značajna za stabilnost mešavine.

Pesak, šljunak i glina, deponovani u neprekidnu podužnu figuru ili u slojevima, najčešće se mešaju i razastiru grejderom (sl. 54) uz dodavanje optimalne količine vode (6-10% od suve mešavine). Materijal se sabija vibracionim mašinama, gumenim valjcima i glatkim čeličnim valjcima. Zbijenost i nosivost kontroliše se pomoću krute kružne ploče. U sloju debljine veće od 15 cm (noseći sloj za aerodrome) materijal se razastire i ugrađuje u dva ili više slojeva, pri čemu se svaki sloj posebno razastire, nabija i kontroliše.



Sl. 54. Razastiranje materijala grejderom

Tlo stabilizovano cementom sastoji se od zemlje, cementa i vode, pri čemu je najpovoljniji peskovito-šljunkoviti materijal, koji mora imati određeni granulometrijski sastav. Količina cementa zavisi od geomehaničkih osobina materijala; koliko je u mešavini



Sl. 55. Stabilizacija tla cementom sa nabijanjem ježom i gumenim valjkom



Sl. 56. Mašina »Howard« za stabilizaciju tla

veća sadržina gline i prašine toliko je potrebna veća količina cementa; najmanje je cementa potrebno kad je materijal peskovito-šljunkovit. Količina cementa kreće se od 6 do 16% po zapremini. Za sastavljanje najpovoljnijih mešavina moraju se obavljati prethodna ispitivanja, počev od klasifikacije tla, određivanja količine cementa, pa do ispitivanja čvrstoće probnih tela. Postupak izrade stabilizacije zavisi od upotrebljenih mašina. One mogu biti takve da u jednom prolazu izvršuju više operacija: kopanje i sitnjenje materijala iz trupa ceste, dodavanje potrebne količine cementa i vode, mešanje i razastiranje gotove mešavine, a ima i manjih mašina u kojima se materijal u više prolaza sitni i meša. Mešavina se nabija ježevima (ako je materijal koherentan), gumenim (sl. 55) i čeličnim valjcima ili specijalnim čekičima (Howard-mašina, sl. 56). Posle nabijanja mora da se stabilizovano tlo štiti i neguje ~ 7 dana, a tek potom se gradi kolovozni zastor. Debljina tla stabilizovanog cementom, ako ono služi samo kao noseći sloj, zavisi od saobraćajnog opterećenja, od vrste tla, od atmosferskih i klimatskih uslova i dr. Ona iznosi 10-30 cm.

Tlo stabilizovano bitumenom sastoji se od mešavine pretežno peskovito-šljunkovitog materijala i nekog ugljovodoničnog spojnog sredstva. Najpogodniji je materijal koji sadrži ~ 75% peska (0,06-2,0 mm), a materijal sa sadržinom prašine i gline većom od 30-40% nepodoban je. Za ispitivanje podobnosti materijala za stabilizaciju bitumenom zasad je najjednostavnija metoda Hubbard-Field. Tlo je podobno za stabilizaciju samo ako od njega napravljeni uzorci, ispitani na specijalnom aparatu, podnesu opterećenje od 320 kp. Spojno sredstvo je najčešće od razređenih bitumena i emulzija; količina zavisi od granulometrijskog sastava materijala; koliko je veće učešće finijih čestica (gline) toliko je potrebna veća količina spojnog sredstva. Ona se obično kreće od 4 do 5% suve težine materijala. Postupak izrade stabilizacije zavisi i u ovom

slučaju od upotrebljenih mašina. One mogu biti iste kao i za stabilizaciju cementom, no najčešće se upotrebljavaju stabilne ili pokretne mašine koje se upotrebljavaju i za proizvodnju asfaltne mase za različite vrste asfaltnih zastora. Slojevi se nabijaju gumenim ili običnim valjcima, a rede ježevima; gornji sloj se može nanositi i valjati pošto se osuši niži sloj. Zbijenost svakog sloja normalne debljine po 5 cm, ili jednoslojnog debljine 15 cm, treba da iznosi 95% od zbijenosti određene u laboratoriji Proctorovim aparatom.

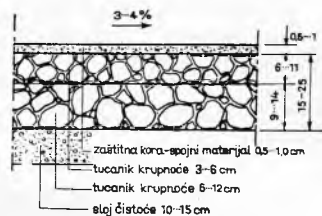
Tucanički i šljunčani kolovozi sastoje se samo od kamenog materijala čija se zrna vezuju malterom stvorenim u procesu valjanja. Zbog toga su ovi kolovozi nepostojani i brzo se deformišu dejstvom saobraćaja, naročito motornog, uz stvaranje nepodnošljive prašine duž ceste; otuda im i naziv »nesavremeni kameni kolovozi«. Oni se dele, zavisno od materijala i načina građenja, u tri vrste: kolovoz od tucanika (makadam), kolovoz od tucanika i lomljenog kamena (šose, Telford) i kolovoz od šljunka.

Materijal je za ove kolovoze lomljen kamen, tucanik, kamena sitnež, spojni materijal i šljunak. Lomljen kamen treba da bude od čvrstih stena postojanih na mrazu. Najčešće se upotrebljava krečnjak sa čvrstoćom na pritisak najmanje 800 kp/cm², a izuzetno i manjom ako se koriste kamenolomi u neposrednoj blizini gradilišta. Oblik kamena treba da bude piramidan, s ležišnom površinom ~ 180 cm² i visinom 15...25 cm. Tucanik takođe mora imati odgovarajuću čvrstoću na pritisak $\sigma_p \geq 1000 \text{ kp/cm}^2$, a sem toga i koeficijent habanja 16...20 cm³/50 cm². Ove čvrstoće naročito su bitne za gornji, habajući sloj, dok u donjem, nosećem sloju mogu biti i manje. Oblik zrna tucanika treba da bude što više kockast, a krupnoća je unutar granica 3...5 i 6...8 cm, izuzetno 6...9 i 9...12 cm u nosećem sloju. Gruba kamena sitnež krupnoće zrna 15...25 mm, za ispunjavanje šupljina u kolovoznom zastoru, od istog je kamena kao i tucanik. Spojni materijal je od krečnih stena, krupnoće zrna 0...3 ili 0...7 mm; prilikom njegovog valjanja uz dodatak vode, stvara se malter koji ispunjava šupljine i donekle vezuje zrna tucanika. Drobljeni materijal — tucanik, kamena sitnež i spojni materijal — proizvodi se mašinskim putem u pokretnim ili stabilnim drobilicama. Šljunak se upotrebljava u prirodnoj mešavini ili kao prosejana mešavina peska i šljunka. Najkrupnija zrna šljunka jesu do 70 mm.

Kolovoz od tucanika, nazvan *makadam* po škotskom inženjeru MacAdamu, sastoji se od dva ili više slojeva tucanika. Gornji sloj predstavlja kolovozni zastor, habajući sloj, a donji noseći sloj, podlogu. Debljina kolovoza je 15...25 cm u uvaljanom stanju. Donja granica je za neznatan saobraćaj, a gornja za laki (do 1000 br. t/dan). Ako je tlo od koherentnog materijala, mora se pojačati noseći sloj upotrebom peskovito-šljunkovitog sloja (sloja čistoće).

Izrada makadamskog kolovoza sastoji se od tri faze: pripreme postelje, ugrađivanja donjeg, nosećeg sloja (podloge) i ugrađivanja gornjeg, habajućeg sloja (zastora). Ako su radovi obimniji, postelja se otkopava i planira mašinama (grejderima ili specijalnim mašinama) uz davanje poprečnog nagiba 3...4%. Valjanje postelje, posle planiranja, obavlja se valjkom težine 8...10 t. Dovoljeno odstupanje ravnosti postelje je do $\pm 1,5 \text{ cm}$. Za odvodnjavanje postelje služe prosci u bankinama na razmaku 10...20 m, ispu-

njeni kamenom ili šljunkom, ili se postavljaju drenažne cevi. Ugrađivanje donjeg sloja tucanika sastoji se u njegovom razastiranju, pomoću različitih uređaja (sl. 57), grejderom ili ručno, i valjanju valjkom ili vibracionim mašinama. Sloj čistoće, debljine 10...15 cm, ako je potreban, ugrađuje se pre polaganja sloja tucanika. Ugrađivanje gornjeg sloja tucanika sastoji se u preciznijem razastiranju i potpunijem valjanju tucanika nego u donjem sloju, pri čemu se u toku valjanja dodaje gruba kamena sitnež, spojni materijal i potrebna količina vode. Uvaljanost se kontroliše pločom ili zrnim tucanika koji se baci pod valjak: ako ga valjak zdrobi, tucanik je dovoljno uvaljan, ako ga utisne, treba nastaviti valjanje. Preko uvaljanog tucanika razastire se i prevalja sloj peska debljine 5...10 mm (sl. 58), koji u prvo vreme štiti kolovozni zastor.



Sl. 58. Poprečni presek makadamskog kolovoza sa slojem čistoće



Sl. 59. Poprečni presek tucaničkog kolovoza sa podlogom od lomljenog kamena

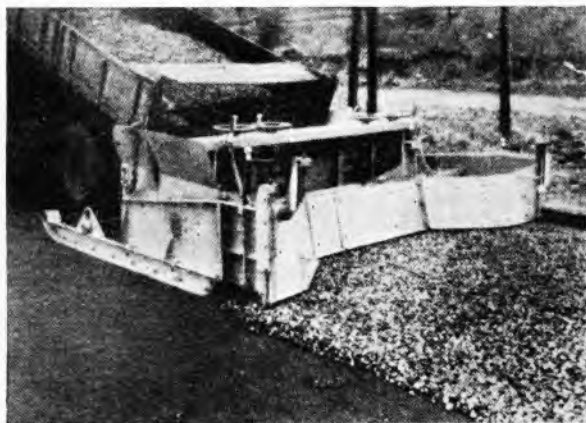


Sl. 60. Poprečni presek kolovoza od šljunka

Kolovoz od tucanika i lomljenog kamena, šose, Telford (prema engleskom pronalazaču), sastoji se od lomljenog kamena i jednog ili dva sloja tucanika. Gornji sloj tucanika, debljine 8...10 cm, predstavlja habajući sloj, a donji sloj tucanika (ako se ovaj upotrebi) i lomljen kamen predstavljaju noseći sloj.

Ukupna je debljina kolovozne konstrukcije 23...40 cm. Ako je tlo od koherentnog materijala, mora se noseći sloj pojačati slojem čistoće debljine 10...15 cm od peskovito-šljunkovitog materijala.

Izrada ovog kolovoza sastoji se od tri ili četiri faze: pripreme postelje, ugrađivanja lomljenog kamena i ugrađivanja tucanika u jednom ili dva sloja. Postelja se izvodi na isti način kao i za makadam. Lomljeni kamen se ugrađuje isključivo ručno, pri čemu se njegova šira strana polaže dole i šupljina ispunjava čivijama od istog kamena. Preporučuje se da se šupljine ispune i slojem od 3...5 cm šljunkovitog materijala. Posle valjanja valjkom od 8...10 t razastire se i ugrađuje tucanik u jednom ili dva sloja, na isti način kao i za makadam (sl. 59). Tucanički kolovoz sa lomljenim kamenom mnogo je lošiji od makadama jer je, zbog



Sl. 57. Uređaj većeg kapaciteta za razastiranje tucanika



Sl. 61. Samohodni pneumatički valjak

velikog procenta šupljina, nedovoljno homogen, a zbog ručnog rada i znatno je skuplji.

Šljunčani kolovoz sastoji se od dva sloja šljunka, debljine 18...25 cm. Oko 80% materijala sačinjavaju zrna krupnoće 10...70 mm, 20% od zrna 0,02...10 mm. Svaki sloj (sl. 60) ugrađuje se posebno, i to prvenstveno vibracionim mašinama ili pneumatičnim valjcima različitih težina (sl. 61).

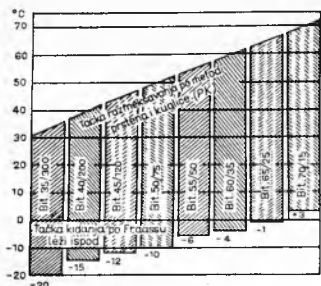
Tucanički kolovozi imaju veoma velike troškove održavanja, jer stalno treba zatvarati i krpiti udarne rupe, a zbog čestih oštećenja saobraćajna vrednost kolovoza je veoma mala. Stoga se tucanički kolovoz često izvodi sa posebnom površinskom zaštitom koja poboljšava ne samo kvalitet već i trajnost kolovoza.

Kolovoz od lomljenog kamena, turska kaldrma, najprimitivnija je vrsta kolovoza, no ipak se upotrebljava za puteve malog značaja (IV reda) i za pristupne puteve. Lomljen kamen, debljine 15...20 cm, postavlja se na sloj peska debljine 10...15 cm. Izrada kolovoza je u celini ručna.

Asfaltni kolovozni zastori najčešće se upotrebljavaju za izradu savremenih cesta, ulica i aerodroma. Sastoje se od dve vrste materijala: kamenog agregata i spojnog (veznog) sredstva. Kamen (mineralni) agregat je prirodan ili drobljen, različite krupnoće zrna, po kojima se naziva: kameno brašno, pesak, šljunak, kamena sitnež različite krupnoće i tucanik. Svaka vrsta odgovara određenim uslovima u pogledu čvrstoće, oblika i krupnoće zrna.

Kameno brašno (filer), najčešće od krečnih stena, ima zadatak da ispuni šupljine u agregatu i da stabilizira spojno sredstvo. Finoća mliva mora biti takva da kroz sito otvora 0,09 mm prođe najmanje 80% mase. Pesak krupnoće zrna 0,09...2 mm i šljunak 2...70 mm moraju biti čisti, bez primesa organskih materija, gline i prašine. Kamena sitnež, fina (2...15 mm) i gruba (15...25 mm), kao i tucanik (25...70 mm), mora biti od čvrstih stena, čvrstoće na pritisak 1000...1500 kp/cm² i s koeficijentom habanja 10...20 cm³/50 cm², zavisno od jačine saobraćaja.

Spojni ugljovodonični materijali za asfaltna zastore jesu: prirodni asfalt, bitumen, razređeni bitumen, bitumenske emulzije, putni katran, mešavine bitumena i katrana i katranske emulzije. Sve vrste spojnih sredstava moraju odgovarati određenim uslovima koji su propisani našim standardima. Bitna svojstva bitumena jesu: moć prijanjanja koja se poboljšava raznim dodacima, stepen plastičnosti, nepropustljivost za vlagu, postojanost i rastegljivost. Za ispitivanje kvaliteta bitumena postoje standardne metode (sl. 62, v. takođe *Asfalt i Bitumen*). Bitumen, putni katran i njihove mešavine, te neke vrste razređenih bitumena upotrebljavaju se u zagrejanom stanju (temperatura 50...200 °C), a emulzije i neke vrste razređenog bitumena upotrebljavaju se u hladnom stanju (tzv. hladni postupak).



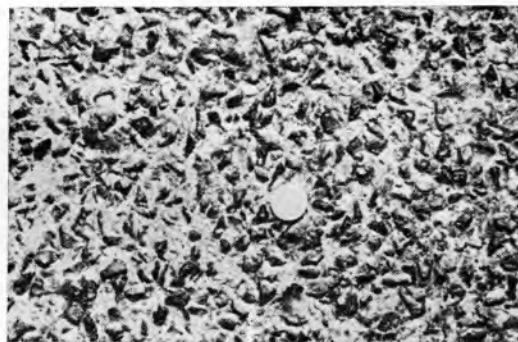
Sl. 62. Granične vrednosti tačke razmekšavanja i kidanja bitumena za kolovozne zastore prema standardu JUS. IM. 3.010

Tehničke uslove za izradu asfaltnih zastora sadrže standardi JUS U. E4. 010 i JUS U. E4. 1014.

Asfaltni zastori mogu se podeliti prema konstrukciji, prema načinu obrade i prema svojstvima s obzirom na saobraćaj. Konstrukcija zastora može biti s velikim procentom šupljina (princip makadama) i sa malim procentom šupljina ili bez šupljina (princip betona). Prema načinu obrade razlikuju se zastori izvedeni penetracijom, zastori izvedeni bituminiziranjem materijala i zastori izvedeni mešanjem materijala i spojnog sredstva, a prema svojstvima s obzirom na saobraćaj zastori mogu biti glatki ili hrapavi i za lak, srednji ili težak saobraćaj. Za lak saobraćaj primenjuje se: površinska obrada i asfaltni mulj; za srednji saobraćaj: asfalt-tepih, penetrisani, zasuti i mešani asfaltni makadam; za težak saobraćaj: valjani, liveni i nabijeni asfalti izvedeni po principu betona.

Površinska obrada je najekonomičnija metoda za zaštitu i modernizaciju tucaničkih kolovoza; ona se sastoji od ugljovodonične prevlake u koju se utiskuje kamena sitnež ili od bituminizirane kamene sitneži. Prva se naziva obična, jednoslojna ili

a druga ojačana površinska obrada. Izrada obične površinske obrade sastoji se u čišćenju površine kolovoza mašinskim putem, prskanju spojnim sredstvom, razastiranju kamene sitneži i valjanju. Jednoslojna je ako se prskanje, razastiranje i valjanje obavlja jedanput, a dvoslojna ako se obavlja dva puta. Sve tri operacije izvode se mašinama različitih konstrukcija, kapaciteta i težine. Dolaze u obzir sve vrste ugljovodoničnih sredstava, a agregat je od eruptivnih i dobrih krečnih stena. Zavisno od vrste spojnog sredstva, postupak može biti hladan ili topao. Za dvoslojnu površinsku obradu količina bitumena kreće se od 2,3 do 3,0 kg/m², a količina kamene sitneži (krupnoće zrna unutar granica 2...5 i 5...15 mm), 25...32 kg/m². Trajnost je 2...4 godine za jači a 3...5 i više godina za slabiji saobraćaj. Površina kolovoza može biti vrlo hrapava (sl. 63).



Sl. 63. Hrapava površinska obrada

Ojačana površinska obrada sastoji se od kamene sitneži obavijene bitumenom, katranom, razređenim bitumenom ili emulzijama; ona se razastire i valja na prethodno očišćenu i poprskanu površinu kolovoza. Količina spojnog sredstva za obavijanje kreće se, zavisno od krupnoće zrna, od 4 do 8% od težine kamene sitneži, a količina obavijenog materijala iznosi 15...30 kg/m². Preko uvaljane kamene sitneži ugrađuje se 3...5 kg/m² fine kamene sitneži, obavijene malom količinom spojnog sredstva.

Asfaltni mulj, mešavina bitumena, kamenog brašna, peska i vode, takođe se upotrebljava za zaštitu tucaničkih kolovoza. Može biti raznovrsnih boja. Razastire se različitim uređajima u jednom, dva ili više slojeva. Količina je 3...4 kg/m² za jedan sloj i 5...8 kg/m² za dva sloja. Slojevi se ne valjaju; posle sušenja prvog sloja, što traje 1...2 dana, nanosi se drugi sloj.

Asfalt-tepih napravljen je od mešavine kamene sitneži i nekog ugljovodoničnog spojnog sredstva u sloju debljine 2,5...3 cm, a izuzetno 4 cm. Služi za srednji saobraćaj. Debljina donjeg, glavnog sloja, koji je od krupnijeg materijala, iznosi 65...75%, a gornjeg, završnog sloja 25...35% od ukupne debljine zastora. Donji sloj se razastire preko podloge dovoljne moći nošenja, dobro očišćene i poprskane spojnim sredstvom (~ 1 kg/m²), najčešće mašinskim putem, a nabija se valjkom težine 8...10 t. Gornji sloj se izvodi



Sl. 64. Ugrađivanje donjeg sloja tepiha

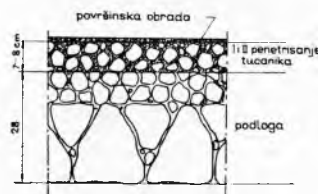
na više načina, no najviše se primenjuje mešavina od sitnijeg materijala, koja se razastire preko donjeg sloja i valja mašinski (sl. 64).

Asfaltni makadami imaju znatno veću debljinu nego ojačana površinska obrada i tepih, te stoga mogu da prime jače srednje opterećenje. Kvalitet kamenog agregata mora zadovoljiti određene uslove, a ugljovodonično spojno sredstvo može biti bilo koje vrste. Zastor se gradi toplim ili hladnim postupkom.

Za ove makadame dolaze u obzir sve vrste podloga: šljunčana, tucanička, od lomljenog kamena i tucanika, cementno-betonska, stabilizovano tlo, podloga od kamenih otpadaka, različitih kaldrma i dotrajalih savremenih kolovoza.

Penetrirani asfaltni makadam sastoji se od sloja tucanika koji se natapa spojnim sredstvom, zasipa kamenom sitneži i jedanput ili dva puta valja, prema čemu se naziva polupenetracija ili puna penetracija. Debljina zastora je obično 7–8 cm. Natapa se obično bitumenom u toplom stanju, a može se primeniti i hladni postupak s bitumenskom emulzijom koji je jeftiniji jer ne zahteva posebnih mašina.

Izrada pune penetracije sastoji se od pet faza: pripreme podloge, razastiranja i valjanja tucanika i kamene sitneži, prvog penetriranja sa razastiranjem i valjanjem kamene sitneži, drugog penetriranja sa razastiranjem i valjanjem kamene sitneži, i površinske obrade. Sve faze se obavljaju mašinski, pri čemu se tucanik valja samo toliko da njegova zrna zauzmu stabilan položaj, a u završnoj fazi celi zastor valja se do potpune zbijenosti. Za punu penetraciju debljine 7–8 cm količina tucanika, krupnoće zrna 35–55 mm, iznosi 110–130 kg/m², kamene sitneži krupnoće unutar granica 12–25 i 8–12 mm, 55–85

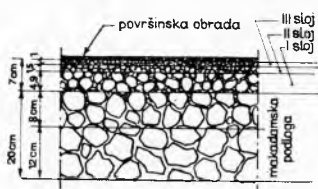


Sl. 65. Puno penetrirani asfaltni makadam

kg/m², bitumena 6,2–7,8 kg/m² (sl. 65). Pri polupenetraciji otpada drugo penetriranje.

Zasuti asfaltni makadam sastoji se takođe od sloja tucanika zasutog prethodno obavijenom kamenom sitneži i završnog sloja koji se površinski obradi. Debljina zastora je obično 7–8 cm. Izrađuje se u šest faza: priprema se podloga, razastire i lako valja tucanik, prska se tucanik spojnim sredstvom u količini 1,2–2,0 kg/m², zasipaju se šupljine obavijenom kamenom sitneži i valjaju se, nanosi se i valja završni sloj i površinski se obrađuje. U principu sve se faze obavljaju mašinski. Umesto završnog sloja od bituminizirane kamene sitneži može se ugraditi sloj debljine 2 cm mešavine prema betonskom principu, u kome slučaju nije potrebna površinska obrada. Količina je kamenog agregata kao za punu penetraciju, ali je utrošak spojnog sredstva nešto manji.

Mešani asfaltni makadam sastoji se od dva ili tri sloja smeđe kamenog agregata i spojnog sredstva, pri čemu su zrna u svakom sloju sitnija nego u sloju ispod njega, a završni sloj se površinski obradi. Debljina dvoslojnog zastora je 5–6 cm, troslojnog 7–8 cm, a može biti i 10 cm. Agregat i spojno sredstvo mešaju se posebno za svaki sloj u običnim ili specijalnim mašinama – mešalicama. Pored drobljenog kamenog agregata upotrebljava se i peskovito-šljunkovit materijal. Količina spojnog sredstva za obavljanje je toliko veća koliko su zrna agregata sitnija.

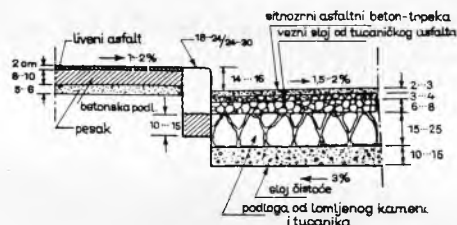


Sl. 66. Mešani troslojni asfaltni makadam

Količina kamenog agregata za mešani asfaltni makadam slična je kao i za dva prethodna, a utrošak spojnog sredstva je za nj najveći. Ova vrsta makadama je najkvalitetnija, jer je obezbeđeno obavljanje

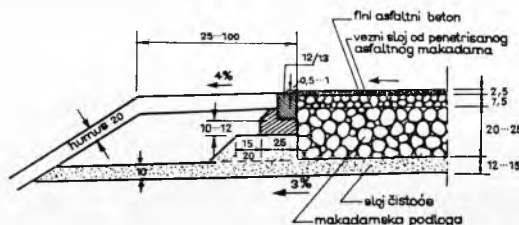
svakog zrna spojnim sredstvom i postiže se potpunije nabijanje zastora.

Asfaltni betoni, gusti ugljovodonični zastori, podobni su, s obzirom na to da imaju minimum šupljina, za težak i najteži saobraćaj. Bitne su karakteristike ovih zastora: granulometrijski sastav kamenog agregata u određenim je granicama, kameno brašno je glavni činišlac u smanjivanju šupljina, količina spojnog sredstva utvrđuje se na osnovu teorijskih metoda, a zbijenost zastora postiže se uglavnom u toku ugrađivanja. Zastori se dele, zavisno od krupnoće zrna kamenog agregata i metoda pripreme i ugrađivanja, na šest vrsta: peščani asfalt, topeka, sitnozrni i krupnozrni asfaltni i katranski beton, liveni i nabijeni asfalt. Prve četiri vrste nazivaju se valjani betoni jer se ugrađuju valjanjem, u potpunosti ili delimično. Kod ovih zastora, kao i svih ostalih asfaltnih zastora, mora se dati uvek odgovarajuće nadvišenje da bi se dobila projektovana debljina zastora.



Sl. 67. Poprečni presek kolovozne konstrukcije sa zastorom od topeke

Peščani asfalt sastoji se od 80% peska i 20% kamenog brašna; u topeki, sitnozrnom i krupnozrnom asfaltu količina peska je 20–70%, kamenog brašna 5–15% i kamene sitneži krupnoće zrna unutar granica 2–8 i 2–25 mm, 20–70%. Količina spojnog sredstva – bitumena ili katrana – iznosi 5–12%, pri čemu je najmanja količina za krupnozrni a najveća za peščani asfalt. Debljina zastora, zajedno sa veznim slojem (binderom) je 5–7 cm. Površina peščanog asfalta i topeke je glatka zbog velike količine sitnih zrna; stoga se ona najčešće ohrapavljuje bituminiziranom kamenom sitneži. Podloga mora biti vrlo stabilna i dovoljne debljine. Dolaze u obzir sve vrste podloga.



Sl. 68. Kolovozna konstrukcija sa habajućim slojem od sitnozrnog asfaltnog betona i veznim slojem od penetriranog makadama

Peščani asfalt, topeka (sl. 67) i sitnozrni asfalt zahtevaju uvek vezni sloj, dok krupnozrni asfalt može da bude i bez veznog sloja. Vezni sloj može da bude od tucaničkog asfalta, penetriranog



Sl. 69. Asfaltna mašina u procesu proizvodnje asfaltna mase

(sl. 68), zasutog asfaltnog makadama ili bitumiziranog šljunka. Asfaltna masa za *valjane asfalte* priprema se u specijalnim mašinama (sl. 69), pri čemu se pesak i kamena sitnež zagrevaju na temperaturu $150\cdots 230^\circ\text{C}$, a bitumen na $150\cdots 190^\circ\text{C}$, tako da asfaltna masa na gradilištu pri razastiranju ima $140\cdots 180^\circ\text{C}$. Doziranje pojedinih frakcija, kamenog brašna i spojnog sredstva obavlja se u tačno utvrđenim količinama, a mešanje traje $1,5\cdots 2$ minuta. Valjani asfaltni beton se ugrađuje polumašinski (ručno se razastire, a valja serijom valjaka) ili mašinski — finišeom (sl. 70) i jednim ili više valjaka težine $5\cdots 15$ t.



Sl. 70. Ugrađivanje asfaltnog betona finišeom »Barber Greenes«

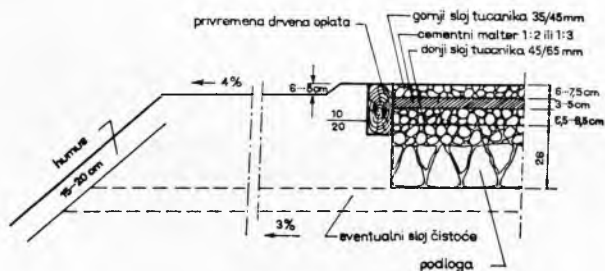
Liveni asfalt razlikuje se od valjanih samo u pogledu pripreme i načina ugrađivanja asfaltna mase, kao i po tome što spojno sredstvo može biti samo bitumen. Šupljine u zastoru su svedene na nulu. Ako je agregat od drobljenog materijala veće čvrstoće, naziva se tvrdo liveni, a ako je od šljunkovitog materijala, običan liveni asfalt. Pored kamenog brašna upotrebljava se i prirodni asfalt. Debljine je $2\cdots 5$ cm, a podloga je najčešće od betona ili tucanička. Asfaltna masa se priprema (kuva) u mašinama različitih konstrukcija, što traje $5\cdots 6$ časova, a u specijalnim mašinama može se svesti na $1\frac{1}{2}$ časa. Ugrađuje se ručno, pomoću specijalnih drvenih gladilica, i to u dva sloja ako je debljina veća od 3 cm, ili pomoću specijalnih finišera.

Nabijeni asfalt sastoji se od mešavine prirodnog asfalta, peska i kamenog brašna, sa količinom bitumena $7,5\cdots 12\%$ od suve mešavine. Površina nabijenog asfalta je veoma klizava pa se zastor od nabijenog asfalta upotrebljavao samo za ulice, a danas se i na njima više ne ugrađuje. Ali kako je ovakav zastor vrlo ekonomičan za težak saobraćaj (dozvoljava korištenje prirodnog asfalta, lako se ugrađuje i održava) nastavljaju se istraživanja sa svrhom da se on učini bezbednijim za saobraćaj.

Cementni makadam savremeni je kolovozni zastor od tucanika i cementnog maltera, debljine $10\cdots 12$ cm, izuzetno i 20 cm. Zahteva takođe solidnu podlogu. Najčešće se iskorišćuju postojeći tucanički kolovozi od makadama i šosea ili se grade nove tucaničke podloge. Primenjuje se na putevima sa srednjim saobraćajnim opterećenjem, na uzdužnim nagibima i do 18%.

Tucanik mora odgovarati određenim uslovima; za gornji, habajući sloj čvrstoća na pritisak mora mu biti ≥ 1200 kp/cm², a koeficijent habanja < 15 cm³/50 cm³, beton razmere 1 : 6, a cementni malter 1 : 3. Spojnice su prostorne, podužne ako je kolovoz veće širine od 6 m i poprečne na razmaku $20\cdots 30$ m.

Postoji više metoda za izradu cementnog makadama, no najčešće se upotrebljava tzv. sendvič-metoda sa cementnim malterom. Preko profilisane i dobro očišćene podloge razastire se donji sloj tucanika uzimajući u obzir potrebno nadvišenje, lako se prevalja valjkom težine $6\cdots 10$ t, zatim se razastire sloj maltera, razmere 1 : 2 : 1 : 3, i na kraju se razastire i valja gornji sloj tucanika (sl. 71). Gornji sloj tucanika se valja sve dok malter ne izbije na površinu kolovoza, što je znak da su sve šupljine u tucaniku



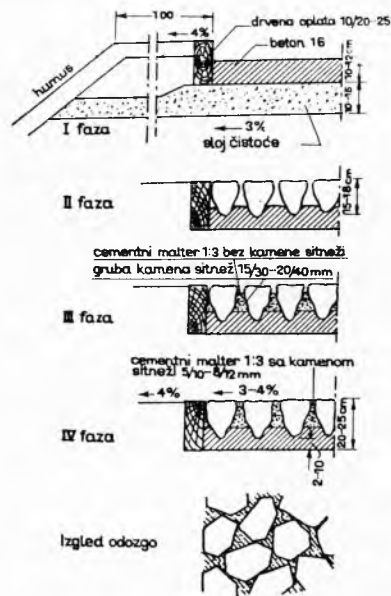
Sl. 71. Kolovozna konstrukcija sa zastorom od cementnog makadama, u fazi izrade zastora

ispunjene malterom. Valjanje se mora završiti pre nego malter počne vezivati. Preporučuje se da se preko kolovoza razastre, pre vezivanja maltera, tanak sloj masnijeg maltera sa kamenom sitneži $5\cdots 12$ mm, jer se tako postiže hrapavija površina. Zastor se mora negovati $7\cdots 14$ dana, tj. dok potpuno očvrstne, i to pokrivajući ga pokrivačem (hasurama, peskom, slamom i sl.) i kvaseći ga vodom.

Kolovoz od konkrelita sastoji se od lomljenog kamena i betona tako povezanih da predstavljaju monolitnu konstrukciju, koja istovremeno služi i kao podloga i kao habajući sloj. Debljine je $20\cdots 25$ cm. Ako je tlo od koherentnog materijala, mora se upotrebiti i sloj čistoće debljine $10\cdots 20$ cm. Ovaj kolovoz se primenjuje za ceste manjeg značaja i za ivične trake.

Kamen treba da ima čvrstoću na pritisak ≥ 1000 kp/cm² i koeficijent habanja < 15 cm³/50 cm³, beton razmere 1 : 6, a cementni malter 1 : 3. Spojnice su prostorne, podužne ako je kolovoz veće širine od 6 m i poprečne na razmaku $20\cdots 30$ m.

Izrada se sastoji od četiri faze prikazane na sl. 72. Rad se izvodi najvećim delom ručno (polaganje kamena, utiskivanje maltera u šupljine, nabijanje drvenim maljevima), što poskupljuje



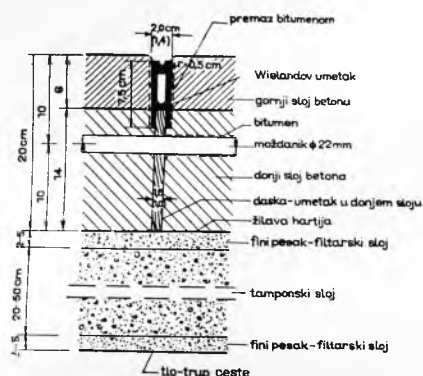
Sl. 72. Kolovoz od konkrelita po fazama izrade

izradu. Ceo postupak izrade mora se završiti pre vezivanja betona i maltera. Negovanje ovog kolovoza, slično kao i cementno-betonskog, traje $10\cdots 20$ dana.

Cementnobetonski kolovoz poseduje neke kvalitete, kao: hrapavost, ravnost i trajnost, zbog kojih se primenjuje u velikoj meri na putevima i aerodromima. Bitna mu je karakteristika što u konstruktivnom pogledu deluje kao celina, tj. istovremeno služi i kao habajući i kao noseći sloj, zatim što ne zahteva specijalni noseći sloj, izuzev tamponski sloj ako je tlo od koherentnog materijala, odnosno za zaštitu od štetnog dejstva mraza.

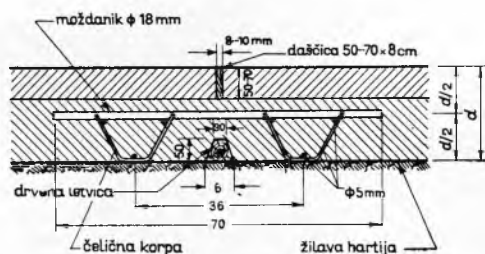
Materijal za cementnobetonski kolovoz propisanog je kvaliteta. Cement, obično portland-cement, aktivnosti 350, mora zadovoljiti određene uslove u pogledu finoće mliva, vremena

što očvršne beton, lako vadi iz spojnice kad se umetak zagrije propuštajući kroz njega paru. Gornji umeci se mogu izostaviti ako se primene specijalne mašine koje u svežem ili očvrslom betonu usecaju spojnici u gornjem sloju betona. Prostorne uzdužne



Sl. 77. Prostorna spoinica sa Wielandovim umetkom

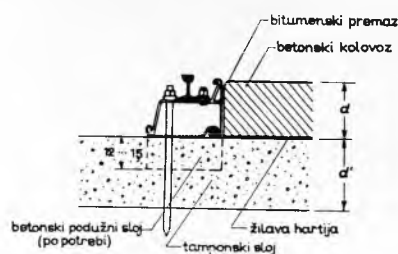
spojnice razlikuju se od poprečnih po tome što je dužina kotvi 1,0 m, prečnik 14 mm, razmak 1,5 m i što kotve nisu premazane bitumenom, tj. pločama ne omogućavaju dilatiranje u poprečnom smislu, već ih samo povezuju. Poprečne prividne spojnice obično dolaze između dve prostorne spojnice, a imaju funkciju da betonu omoguće samo skupljanje. Konstrukcija prividne spojnice (sl. 78) znatno se razlikuje od konstrukcije prostorne spojnice. Spojnica



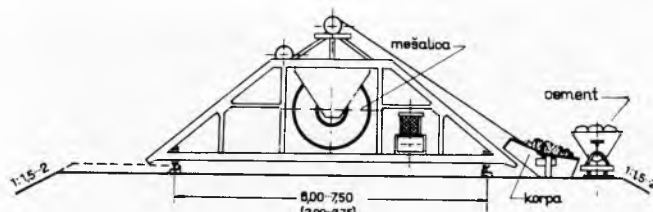
Sl. 78. Konstrukcija poprečne prividne spojnice

ne ide kroz celu debljinu ploče, a na donjoj površini je letvica trapezastog preseka. Uzdužna prividna spojnica se razlikuje od poprečne samo u dužini kotve, koja iznosi 1,0 m. Uzdužna pritisnuta spojnica primenjuje se pri izradi kolovoza na polovini širine i pri izradi ivičnih traka koje omogućuju betonskim pločama samo skupljanje. Širina spojnice u gornjem delu ploče, kao i širina prividnih spojnica, iznosi 8 mm, a dubina 50–70 mm. Površina izrađene ploče premazuje se bitumenom ili se na nju postavlja katranisana hartija. Kotve su dužine 1,0 m, a takođe leže na čeličnim korpama.

Izrada betonskog kolovoza u celini se može mehanizovati, što je velika prednost prema mnogim drugim vrstama kolovoza. Postupak se sastoji u pripremi posteljice, ugrađivanju tamponskog sloja, nameštavanju optate, polaganju žilave hartije, postavljanju uređaja za spojnice, mešanju, razastiranju i nabijanju betona, obradi površine kolovoza, negovanju betona i zalivanju spojnica. Način izrade betonskih kolovoza određen je standardima JUS U. E. 3. 020.



Sl. 79. Specijalna čelična oplata



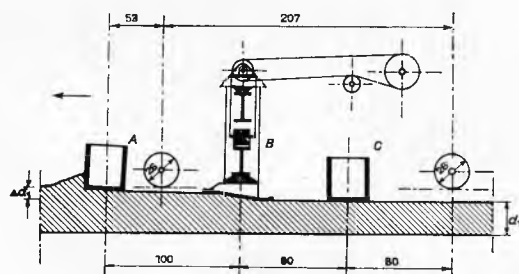
Sl. 80. Mešalica na oplati, dopremanje materiala dekoviljskim kolosekom

Pripremljena posteljica mora biti ravna ± 1 cm; to važi i za tamponski sloj, koji se planira grejderom, a nabija se vibriranim mašinama. Zbijenost se kontrolira pomoću ploče. Opłata je najčešće čelična (sl. 79), no može biti i betonska u vidu ivičnih traka; mora biti vrlo precizno postavljena preko ugrađenog tamponskog sloja. Potom se mašinski ili ručno polaže žilava hartija i to tako da se na sastavcima preklapa. Preko hartije se postave uređaji za spojnice i pričvrste za trup ceste pomoću gvozdениh klinova.



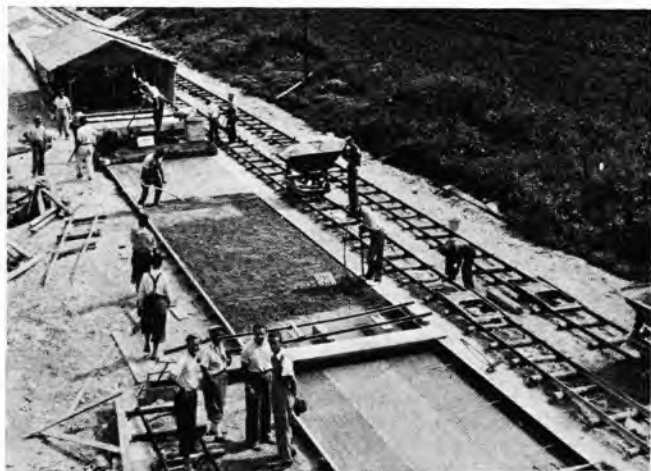
Sl. 81. Razastiranje betona razastiračem pored spojnice

Beton se izrađuje ili u fabrici betona, pa se transportuje kipkacionima, ili na samom gradilištu u samohodnoj mešalici koja se kreće pored kolovoza ili po oplati (sl. 80). Za razastiranje betona služe različite mašine. One su samohodne (sl. 81) ili vezane sa mešalicom, a razastiru beton brzo i ravnomerno. Beton se prvo razastire pored spojnica, a optimala se odredi koliko mora biti nadvišenje svežeg betona (obično je 10...15%) da bi se dobila projektovana debljina kad beton očvrstne. Nabijanje betona je



Sl. 82. Finišer za nabijanje betona vibriranjem. *A* gvozdена greda za ravnanje betona, *B* vibraciona ploča, *C* gvozdена greda za glačanje betona

najbitniji proces i on se mora izvršiti mašinski. Za mali obim radova dolaze u obzir manje mehaničke sprave, a za veći upotrebljavaju se tzv. *finišeri*, koji rade na principu udara ili vibriranja (sl. 82) i koji se uvek kreću po šinama na oplati. Finišer prelazi preko svakog mesta 1-3 puta, što zavisi od konstrukcije finišera, debljine betona i konzistencije betona. Konstrukcije finišera, a takode i mešalice i razastirača, podešene su za izradu betona na polovini ili celoj širini kolovoza, tj. radna širina je 3,0-7,5 m. Ako se betonski kolovoz radi od dva sloja, proces je mešanja, razastiranja



Sl. 83. Zaštitni krovovi

i nabijanja betona zaseban za svaki sloj. Ravnost površine kolovoza kontrolira se pomoću daske duge 4,0 m; dopušteno odstupanje je ± 4 mm, na spojnica ± 2 mm. Završna obrada i negovanje betona sastoji se u obradi površine kolovoza i spojnica i u zaštiti betona, da bi se proces vezivanja i očvršćavanja odvijao pravilno. Beton se najpre štiti zaštitnim krovovima (sl. 83), a posle se pokriva pogodnim materijalom (peskom, šljunkom, strugotinama, hasurama, slamom itd.) i obilno poliva vodom. Zaštita i negovanje ukupno traje 21–28 dana. Posle 3–14 dana, zavisno od vrste umetaka i izrade betona, spojnice se ručno ili mašinski (sl. 84) zaliju asfaltnom masom do dubine od 5 cm.

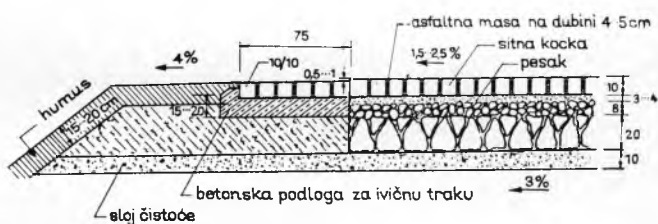
Savremeni kameni i ostali kolovozni zastori. Neki od ovih zastora, a naročito zastori od prirodnog kamena, veoma su trajni i imaju dovoljnu hrapavost, te su pogodni i za najteži saobraćaj. Primenjuju se na cestama, ulicama i trotoarima.

Takvi zastori jesu: od sitne i krupne kocke, prizmi, klinkera, bakarne šljake, drvenih prizmi, gume, metala, stakla i dr. Kocke i prizme su od jedrih eruptivnih stena sa svojstvom cepanja u pravilna tela. Čvrstoća na pritisak im je ≥ 1500 kp/cm², a habanje ≤ 10 cm³/50 cm². Veštački kamen (klinker, keramid i bakarna šljaka) imaju veliku čvrstoću na pritisak, no prve dve vrste su glatke, a kocke od bakarne šljake imaju veliku specifičnu težinu. Drvene

prizme su od borovog drveta, a rede od bukovine (za hale); impregnišu se radi povećanja trajnosti i otpornosti. Asfaltna ploče su presovane, sa spojnim ugljovodoničnim sredstvom i kamenim agregatom. Guma, prirodna ili veštačka, ima veliku elastičnost, malo se haba, a točkovi na takvom kolovozu ne stvaraju nikakvu buku. Metali — čelik i liveno gvožđe — vrlo su trajni i otporni prema habanju. Primena pluta, stakla, pamuka i sličnih materijala za kolovozni zastor u fazi je ispitivanja.

Svi ovi zastori moraju biti na solidnoj podlozi. Sloj čistoće ili tamponski sloj upotrebljava se ako je tlo od koherentnog materijala ili ako postoji opasnost od štetnog dejstva mraza. Kolovozna konstrukcija uvek treba da je oivičena.

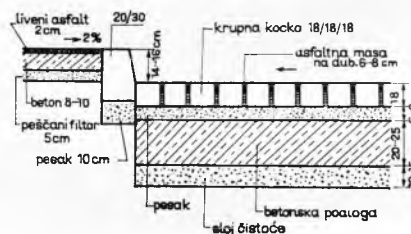
Sitna kocka, s dužinom ivice 8–10 cm, sa tolerancijom ± 1 cm, polaže se na sloj peska debljine 6–8 cm, koji posle nabijanja kocke mora imati debljinu 3–4 cm (sl. 85). Kocke se mogu polagati u različitim oblicima; najčešće u obliku kružnih segmenata, sa dužinom tetive 1,1–1,8 m. Širina kolovoza podeli se na jednak broj delova, a kružni segmenti se postavljaju tako da se uz ivičnjake ili ivične trake lukovi sitne kocke oslanjaju svojim temenom. Kaldrimisanje se vrši ručno, što je i najveći nedostatak. Kocke se polažu tako da su spojnice jednog reda prema spojnica susednog reda



Sl. 85. Kolovozni zastor i ivična traka od sitne kocke

pomerene za 2–3 cm. Prilikom polaganja spojnice se zasipaju peskom a kocke nabijaju ručnim nabijačima i valjkom težine 10–12 t sve dok se kocke ne stabilizuju u sloju peska i dok se ne dobije ravna površina kolovoza. Osim što se spojnice zasipaju peskom, one se mogu zalivati i asfaltom ili cementnim malterom. Najbolje je zalivanje asfaltnom masom i tek tada je ovaj kolovoz savremen u pravom smislu reči. Zaliva se ručno ili mašinski.

Zastor od krupne kocke, s dužinom ivice 16–18 cm, izrađuje se preko solidnog nosećeg sloja (sl. 86), koji može biti i od dobro nabijenog peskovito-šljunkovitog materijala debljine 25–40 cm. Kocka se polaže ručno u redovima, tako da su spojnice u susednim redovima pomerene za polovinu dužine kocke. Sloj peska posle nabijanja kocke mora biti debljine 6–8 cm. Nabijanje, valjanje i zalivanje je jednako kao za zastor sa sitnom kockom. Zastor od



Sl. 86. Kolovozni zastor od krupne kocke na betonskoj podlozi

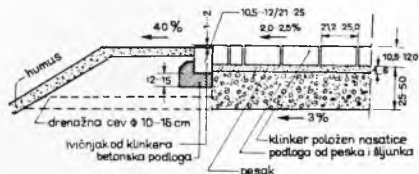
prizmi, širine i visine 14–16 cm, dužine 16–28 cm, izrađuje se na isti način kao i od krupne kocke.

Kad kolovozi od kocke dotraju, oni su odlične podloge za neki asfaltni zastor.

Zastor od klinkera dužine 21–25 cm, širine 10–12 cm i debljine 5,2–7,6 cm, izrađuje se preko svih vrsta podloge, a isto tako i preko peskovito-šljunkovitog materijala debljine 25–40 cm (sl. 87). Klinker se polaže nasatice ili pljoštice na sloj peska, a ako je podloga betonska, stavlja se sloj cementnog maltera debljine 2–3 cm. Ivičnjaci mogu biti i od klinkera. Nabijaju se ručnim

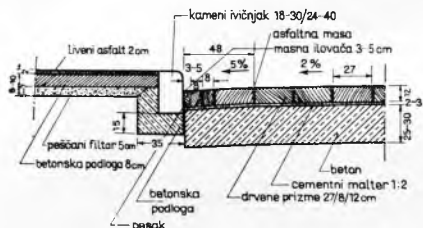


Sl. 84. Zalivanje spojnice mašinskim putem



Sl. 87. Kolovozni zastor od klinkera na podlozi peska i šljunka

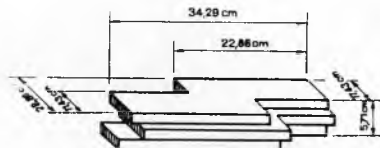
maljevima, a zalivati se mogu peskom, cementnim malterom i asfaltnom masom.



Sl. 88. Zastor od drvenih prizmi na betonskoj podlozi

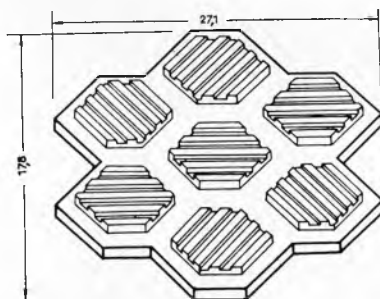
Zastor od drvenih prizmi dužine 17...27 cm, širine 8 cm i visine 10...12 cm izrađuje se na podlozi od betona (sl. 88), premazan cementnim malterom da bi površina bila potpuno ravna. Prizme se postavljaju nasatice u redovima upravno ili koso prema osi ulice. Širina spojnica je 5 mm, ona se izvodi pomoću letvice visine 4 cm. Spojnice od dva susedna reda pomerene su za polovinu dužine prizme. Spojnice se zalivaju asfaltnom masom. Ovaj se zastor, zbog velike klizavosti, danas vrlo malo primenjuje (i to u ulicama), mada je s njime saobraćajna buka minimalna; trajnost mu je 12...20 godina.

Kocka od bakarne šljake, dužine ivice 12...16 cm, ima veoma veliku čvrstoću na pritisak, minimalno habanje, vrlo hrapavu površinu i neograničenu trajnost. Zastor od nje primenjuje se na cestama i ulicama u blizini topionica bakra. Kaldrimiše se na isti način kao i krupnom kockom.



Sl. 89. Specijalna guma za zastor

Zastor od gume, debljine 1...6 cm, zasada još nije našao veću primenu za kaldrimisanje ulica, a za trotoare počeo se upotrebljavati jer izvanredno eliminiše saobraćajnu buku. Guma se lepi za betonsku podlogu. Proizvodi se u vidu tabli, rola ili u specijalnim telima od tri sloja: prvi od mešavine peska i gume, drugi od fine kamene sitneži i gume, i treći, površinski sloj, od čiste gume debljine 1 cm (sl. 89). Spojnice-sastavci zalivaju se emulzijom, smolom ili asfaltnom masom.



Sl. 90. Specijalna metalna ploča za zastor

Zastor od metala može biti u celini od livenog gvožđa i čelika specijalnog oblika (sl. 90) ili je metal samo armatura-okvir betona ili asfalta. Podloga za ovaj zastor je od betona, a ploče se postavljaju na sloj peska ili asfaltnog maltera. Najbolji je asfaltni malter, jer asfalt dejstvom toplote omekšava, čime se povećava prijanjanje metalnih ploča za betonsku podlogu. Takav kolovoz je vrlo ravan, trajan i hrapav, ali i veoma skup. Zasada se malo primenjuje.

Gradevinske mašine za izradu kolovoza. Savremeni kolovozi po pravilu se grade pomoću mašina, jer se time povećava ne samo produktivnost rada i ekonomičnost već i kvalitet radova



Sl. 91. Mehanizovano građenje ceste



Sl. 92. Grejder

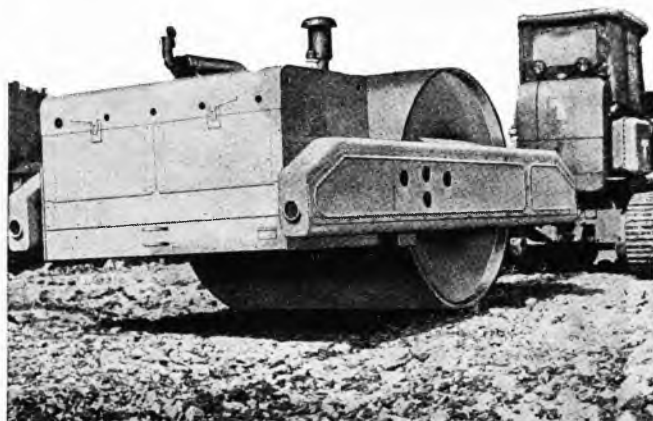
(sl. 91). Neke mašine su univerzalne, a pojedine su specifične samo za određenu vrstu zastora.

Mašine za stabilizaciju tla i za sitnjenje materijala jesu: grejderi, mašine za mešanje materijala i mašine za nabijanje. Najjednostavnija mašina za sitnjenje materijala je tanjirača, sa većim ili manjim brojem diskova. I u različitim specijalnim mašinama postoje uređaji za sitnjenje materijala. Grejder je univerzalna mašina

za građenje cesta, sa snagom motora 30...114 KS, mase 2,5...15 t, dužine 4...8,5 m, sa radnom brzinom 1,5...14 km/h, zavisno od vrste rada (sl. 92). Za mešanje služe različiti tipovi pokretnih i stabilnih mešalica sa snagom motora od 10...320 KS, mase 6...28 t i s učinkom 100...400 m³/h. Mašine za nabijanje jesu: ježevi, mase



Sl. 93. Pločasti vibrator za nabijanje i stabilizaciju tla, peskovito-sljunkovitog materijala i tucanika



Sl. 94. Vibracioni valjak težine 10,5 t

2,5...9 t, gumeni valjci mase 5...180 t, samohodni ili sa vučnom mašinom, pločasti vibratori mase 0,6...2 t (sl. 93), snage motora 6...12 KS, s pločama 700/1000...1000/1650 mm i vibracioni valjci mase 1...6 t, snage motora 8...32 KS, frekvencije 2000...4000/min.

Mašine za tucaničke kolovoze jesu: drobilice kapaciteta 2...200 m³/h sa uređajima za klasiranje materijala po frakcijama, različite vibracione mašine (sl. 94) i parni ili motorni valjci, sa tri ili



Sl. 95. Motorni valjak sa uređajem za transport



Sl. 96. Mašina-elevator za utovar kamenog agregata

dva točka-valjka, mase 7...18 t, snage motora 10...50 KS. Za transport valjka služi specijalni uređaj (sl. 95) ili prikolica s gumenim točkovima.

Za asfaltne zastore upotrebljavaju se mašine za čišćenje podloge, samohodne ili sa vučnom mašinom, širine 1,5...2,5 m; mašine za prskanje spojnog sredstva, sa posebnom vučom ili samohodne sa jednom ili dve ručne prskalice ili sa nekoliko specijalnih prskalica, zapremine 200...7000 l, specijalni uređaji za razastiranje kamenog agregata montirani na kipekamione, zatim ručne ili samohodne mašine kapaciteta 200...3000 kg sa utovarom agregata u kamione pomoću elevatora (sl. 96); mašine za izradu asfaltnih mešavina (sl. 97) i bituminiziranje kamenog agregata sa diskontinualnom ili kontinualnom proizvodnjom, pokretne ili stabilne, kapaciteta mešalice 150...2180 kg, proizvodnje 4,5...200 t/čas, sa jačinom motora 8...420 KS, mase 1,7...8,6 t; finišeri za razastiranje i nabijanje asfaltne mase, širine 2,25...7,5 m, za izradu sloja od 1...15 cm, a za stabilizaciju i do 25 cm, kapaciteta 50...200 t/čas.

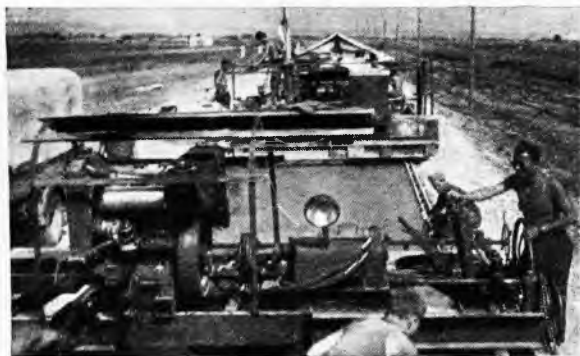


Sl. 97. Mašina za izradu asfaltne mešavine kapaciteta 200 t/h

Mašine za betonske kolovoze jesu: betonske mešalice pokretne ili stabilne, različitih konstrukcija, kapaciteta 500...3000 l; razastirači za celu širinu kolovoza ili polovinu, širine 2,5...7,5 m, sa motorom snage 8...50 KS; finišeri, širine 2,5...7,5 m sa 3000...45 000 vibracija u minutu i snagom motora 8...20 KS, sa radnom brzinom 0,7...3,8 m/min, mase 2,5...6,7 t (sl. 98); mašine za sečenje spojnica u očvrslom betonu, različitih konstrukcija.

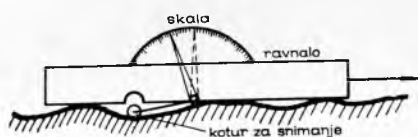
Za održavanje kolovoza služe manje ručne mašine za popravku asfaltnih zastora, mašine za obeležavanje traka na kolovozu i mašine za čišćenje snega, različitih konstrukcija i različitog kapaciteta.

Uređaji za kontrolu ravnosti kolovoza. Pri građenju i popravkama cesta upotrebljavaju se specijalni uređaji za kontrolu ravnosti kolovoza.



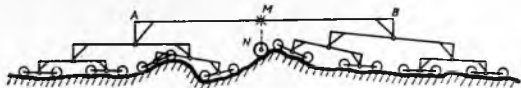
Sl. 98. Razastirač i finiše za polovinu širine kolovoza

Vijagraf je naprava za brzo snimanje uzdužnog profila odnosno za kontrolu ravnosti površine ceste. Kruti vijagraf tipa Stuttgart (sl. 99) sastoji se od ~ 3,5 m dugog ravnala na kojemu je sa donje strane, na poluzi s oprugom, smešten kotur za snimanje.



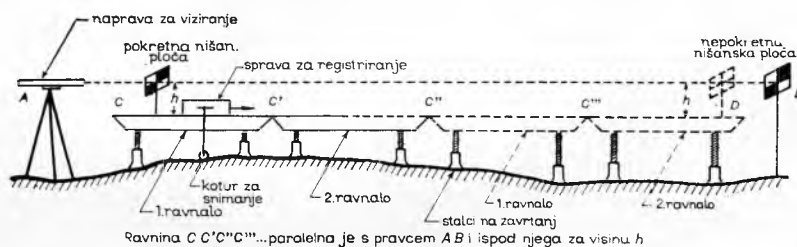
Sl. 99. Kruti vijagraf

Naprava ne može registrirati neravnine koje se protežu na dužini većoj od dužine ravnala. Mnogo je bolji zglobovi vijagraf (sl. 100) dužine ~ 10 m, koji spravom za registriranje beleži promene položaja koturića N u odnosu na sredinu M motke AB . Dovoljna tačnost može se postići i takvom napravom sa svega 8 voznih točkova.



Sl. 100. Zglobni vijagraf

Profilograf je uređaj za precizno snimanje uzdužnih ili poprečnih profila površine ceste radi kontrole ravnosti. Profilograf Pas-de-Calais (sl. 101) sastoji se od dva metalna ravnala dužine 4-6 m koja se pomoću postolja sa zavrtanjima dovode, vrlo tačno,



Sl. 101. Profilograf (tip Pas-de-Calais)

u ravninu CD , paralelnu sa ravninom viziranja AB . Sprava za registriranje kreće se u malim kolima po gornjoj površini ravnala i pomoću kotura za snimanje beleži na papirnu traku profil površine ceste. Snimanje na većoj dužini obavlja se naizmeničnim skidanjem i nastavljajem oba ravnala. Ž. Đukić

OPREMA CESTE

Izradom kolovoza cesta je načelno osposobljena za to da se po njoj kreću vozila, ali za normalan saobraćaj potrebno je cestu opremiti dopunskim sredstvima, bez kojih se savremeni motorni saobraćaj ne bi mogao odvijati nesmetano i bez opasnosti. Ta oprema zavisi od saobraćajnih potreba: od kategorije, stepena izgrađenosti i saobraćajnog značaja ceste.

Opremu ceste čine: daljinske oznake, oznake ceste, saobraćajni znaci, kolobrani i ograde, smerokazi koji se postavljaju na planumu ceste. Zatim u opremu ulaze: zaštitna sredstva i građevine protiv

snežnih zavejavanja i za zaštitu od oburvanja i osipanja strmih padina, koja se izrađuju i postavljaju van planuma ceste. Najzad, oprema su i telefonske i radio-stanice, servisna služba sa organima za snabdevanje vozila i vozača, služba prve pomoći i služba održavanja ceste.

Daljinske oznake su kilometarski belezi za obeležavanje polukilometarske, kilometarske i desetokilometarske stacionaže na jednom cestovnom pravcu. Izrađuju se od kamena, betona, armiranog betona ili drugog pogodnog materijala. Postavljaju se sa desne strane ceste u pravcu kako se cesta službeno vodi i označava. Na svakom kilometarskom i desetokilometarskom belegu ispisuje se arapskim brojem odgovarajući kilometar odnosno desetokilometar, dok polukilometarski belezi dobijaju samo oznaku 5. Na desetokilometarskim belezima, pored rastuće kilometraže, obično se označava i rastojanje do idućeg većeg mesta. Tipovima za kilometarske belege propisuju se njihove dimenzije, kao i položaj u koji se postavljaju u odnosu na planum i kolovoz. Kilometarski belezi su vrlo važne oznake ne samo za korisnike ceste već i za cestovnu službu. Još su Rimljani na svojim cestama postavljali ovu vrstu belega, pa se na ostacima rimskih cesta i danas nailazi na miljokazne belege.

Oznake ceste služe za oznaku njenog broja i kategorije. Kategorija se označuje bojom (ceste I reda crvenom, ceste II reda zelenom bojom). Broj ceste ispisuje se arapskim brojem, crnom bojom. Ceste prvog reda imaju u celoj Jugoslaviji iste brojeve od 1 nadalje. Ceste drugog reda nose posebne brojeve u svakoj republici, i to: u SR Srbiji od 100, u SR Hrvatskoj od 200, u SR Sloveniji od 300, u SR Bosni i Hercegovini od 400, u SR Makedoniji od 500 i u SR Crnoj Gori od 600 naviše. Oznake kategorije i broja ceste izrađuju se kao posebne tablice na sopstvenim stubićima ili na stubićima drugih znakova, a u praksi i na kilometarskim belezima bojenjem njihova gornjeg dela i ispisivanjem broja ceste na tom obojenom delu belega. Za oznaku međunarodnih cestovnih pravaca služe tablice koje imaju na osnovi obojeno zelenom bojom ispisano belo slovo E i broj dotične međunarodne ceste.

Saobraćajni znaci su osnovni i najvažniji elementi opreme cesta svih kategorija. Dele se na znake opasnosti, znake zabrana i naredaba i znake obaveštenja, zatim svetlosne znake, znake na kolovozu i dopunske table uz saobraćajne znake.

Znaci opasnosti korisnicima ceste nagoveštavaju opasnost na izvesnom mestu ili delu ceste. To su: znak opšte opasnosti, znaci krivina, ukrštanja sa drugim cestama ili železničkim prugama, nagiba nivelete, neravnina na cesti, klizavosti kolovoza, mesta na kojima se izvode radovi na cesti, prelaza pešaka, dece, stoke i divljači.

Znaci zabrane i naredaba stavljaju do znanja korisnicima ceste različita ograničenja, zabrane i obaveze kojih se moraju pridržavati u saobraćaju. Znaci se odnose na zabranu saobraćaja u izvesnom pravcu, zabranu skretanja, preticanja, zaustavljanja i parkiranja vozila, zabranu upotrebe zvučnih signala, zabranu saobraćaja za pojedine vrste vozila, naredbu zaustavljanja.

Znaci obaveštenja pružaju učesnicima u saobraćaju potrebna obaveštenja o cesti kojom se kreću, o udaljenosti mestâ kroz koja cesta prolazi, o nazivu tih mesta i druga obaveštenja koja olakšavaju saobraćaj. Znaci za opšta obaveštenja obeležavaju prostor za parkiranje vozila, stanicu za prvu pomoć, bolnicu, radionicu za opravku vozila, telefon, benzinsku stanicu, prvenstvo prolaza u odnosu na vozila iz suprotnog pravca; znaci za raspoznavanje puteva dele se na predznake za raskrsnice i putokaze. Nazive naseljenih mesta obeležavaju posebni znaci.

Svetlosni znaci služe za regulisanje saobraćaja na raskrsnicama, za označavanje radova na cestama, za označavanje prelaza preko železničke pruge u nivou.

Oznake na kolovozu, uzdužne, poprečne i ostale, obeležene su punim, isprekidanim ili udvojenim linijama-trakama, prema vrsti zabrane prelaza, preticanja; za oznaku mesta gde se mora vozilo zaustaviti, za označavanje prelaza za pešake; dalje, za oznaku mesta za parkiranje i načina parkiranja, za postojanje



Sl. 102. Cesta osigurana kolobranima (Jablanica—Mostar)

izvesnog objekta na kolovozu koji se mora mimoići, za oznaku sužavanja ceste.

Dopunske table uz saobraćajne znake mogu biti: za naznačenje daljine od istaknutog znaka do mesta opasnosti ili drugog mesta ili objekta na cesti na koji se znak odnosi; za naznačenje dužine deonice na kojoj postoji opasnost ili na koju se naredba odnosi; za naznačenje vremena u kome naredba važi ukoliko ona ne važi stalno.

Izrada saobraćajnih znakova (veličina, oblik, simboli, način ispisivanja slova i brojeva, boje, osnove, simbola i ostalog) i način postavljanja tih znakova predviđa se i propisuje Pravilnikom o saobraćajnim znakovima na javnim cestama i Jugoslovenskim standardima za saobraćajne znake.

Kolobrani i ograde služe kao mehanička zaštita vozila ako ono skrene sa kolovoza usled klizavosti kolovoza, kvara vozila, rdave vidljivosti i drugih uzroka; oni sprečavaju vozilo da izađe van planuma. Postavljaju se na visokim nasipima, na potpornim zidovima, uzanim planumima u klisurama, na odmaralištima i stajalištima u brdskom i planinskom terenu. *Kolobrani* se izrađuju od kamena, nabijenog i armiranog betona, gvožđa i drveta, a postavljaju se na propisanim razmacima (sl. 102). *Ograde* se izrađuju od raznog materijala, u različitim oblicima i dimenzijama, prema tome gde se ograda postavlja (na potpornim zidovima od kamena ili betona, na zemljanoj bankini, na steni) i s kakvim se materijalom gde može ekonomično i racionalno raditi. Pri izboru vrste i oblika ograde vodi se računa o tome da ona ne bude uzrok stvaranju snežnih nanosa na putu i da predstavlja objekt koji, pored toga što odgovara svom osnovnom zadatku da doprinosi bezbednosti saobraćaja, i estetski prijatno deluje, prilagođujući se karakteru ostalih cestovnih objekata i prirodi terena kroz koji cesta prolazi.

Ograde mogu biti kamene, betonske, armiranobetonske, gvozdene, limene, drvene, od zasada — žive ograde — ili kombinovane. *Kamene ograde* (parapetni zidovi) izrađuju se kao neprekidni masivni zidovi ozidani lomljenim ili obrađenim kamenom u cementnom malteru, zatim kao zidovi sa manjim ili većim praznim međuprostorima, u obliku stubića između kojih su horizontalno postavljene armiranobetonske gredice, gvozdene cevi, kolosečne šine i drugi gvozdjeni profili, drvene gredice (sl. 103) ili pojedinačno kamenje (obrađeno kao kolobrani ili neobrađeno). U stenovitom terenu lepo deluju i jeftino se postavljaju grubi samci koji imitiraju prirodan stenovit teren. *Ograde od nabijenog betona* izrađuju se kao i kamene ograde. Zbog masivnosti zauzimaju dosta prostora, kao i kamene. *Armiranobetonske ograde* su različitih sistema i oblika, ne smanjuju toliko slobodan profil planuma kao ograde od kamena i nabijenog betona. *Gvozdene ograde* zbog svojih malih dimenzija ostavljaju najviše slobodne širine planuma: mogu biti raznih konstruktivnih kombinacija, prema tome da li su od cevi ili drugih profila. U najnovije vreme na autoputevima se postavljaju sigurnosne ograde (*odbojnici*) od valovite limene trake (sl. 104). Traka od čeličnog lima pričvršćena je na čelične ili armiranobetonske stubiće postavljene u razmacima 3–4 m. Ovakva ograda

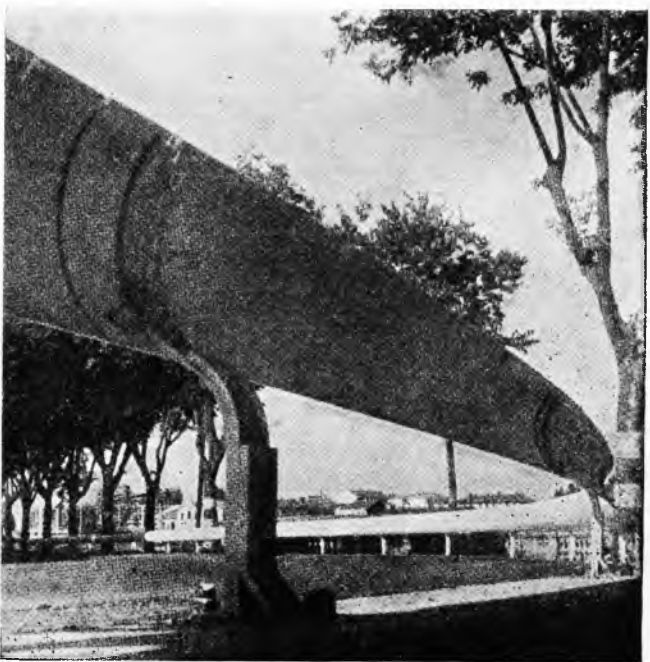
zauzima vrlo malo prostora, a vrlo je elastična, pa ako vozilo u nju udari, udarac se priguši a da se vozilo ne zdrobi kao kad udari o krutu ogradu, niti se preko ograde prevrne. Profili i visina valovite čelične trake određuje se prema maksimalnoj sili udara koja se može očekivati na delu ceste gde se postavlja ograda. Stubići ograde i njihovi temelji moraju biti dimenzionisani tako da silu udara preuzimaju od trake i prenesu na trup ceste. *Drvene ograde* izrađuju se od obrađenog ili neobrađenog drveta, naročito na cestama koje prolaze kroz šumovite krajeve. Armiranobetonske, gvozdene i drvene ograde zahtevaju pažljivo i solidno učvršćivanje u trup ceste.

Živa ograda uz dobru negu i obradu može da zadovolji uz estetske zahteve i zahteve bezbednosti saobraćaja. Elastična je i otporna, pa je sigurnija i manje ošteti vozilo, ako ono skrene s kolovoza, nego kruti tipovi ograde. Ograde, a naročito žive, služe i za to da sprečavaju pristup na put stoci i divljači, a na auto-cestama i pešacima.

Smerokazi su stubići izrađeni od kamena, betona, armiranog betona, gvožđa ili drveta i postavljeni sa strane kolovoza na bankini radi oznake pravca kretanja. Dimenzije, oblik, boje, kao i reflektirajuća stakla ili listići odgovarajuće boje, utvrđuju se tipovima i specijalnim propisima (sl. 105). Postavljaju se na različitim rastojanjima, od 25 do 100 metara (u ostrim krivinama i na



Sl. 103. Kombinirana ograda od kamenog zida i drvenih greda



Sl. 104. Odbojnik od čeličnog lima



Sl. 105. Cesta opremljena smerokazima (Sarajevo—Olovo)

manjem rastojanju). Reflektirajuća stakla ili listići postavljaju se sa obe strane smerokaza u gornjem delu, tako da su stakla jedne boje (crvena) obrnuta prema pravcu vožnje, a druge (siva) postavljena sa zadnje strane smerokaza, čime se noću razlikuju smerokazi na desnoj i levoj strani ceste.

Radi obeležavanja ivice ceste, naročito zimi, da bi se vozači, kao i mašinisti koji čiste sneg, orijentisali o ivici ceste kad je ona pod snegom, privremeno se postavlja obojeno ivično kolje od drveta ili gvozdene cevi i drugih profila.

Zaštitna sredstva van planuma ceste — kao snegobrani, vetrobrani i zaštita od oburivanja i osipanja padina — postavljaju se radi zaštite ceste i obezbeđenja nesmetanog saobraćaja. *Snegobrani* su stalne ili pokretne građevine koje zaštićuju cestu od snežnih zavejavanja regulišući deponovanje snega ispred ili iza ceste. Oni mogu biti stalni zidovi, drvene ograde stalne ili pokretne, pleteri ili kombinacije ovih sa drugim materijalima. Efikasni snegobrani su šumski zasadi. Oni se postavljaju prema mesnim prilikama i dejstvu vetra koji nosi sneg. U ove građevine idu i konstrukcije za zaštitu od usova. Slično snegobranima, na mestima jakih vetrova izrađuju se i *vetrobrani*. Zaštita od oburivanja i osipanja padina obuhvata radove na sanaciji tla, zasađivanju i odvodnjavanju padina, zatim radove na izradi različitih pregrada, rovova, kao i postavljanju žičanih mreža i drugih sredstava koja zadržavaju osuline ne dopuštajući im da ugrožavaju saobraćaj.

Različite službe na cesti vrše telefonske, benzinske i servisne stanice, služba prve pomoći i služba održavanja ceste.

Telefonske stanice u zgradama cestovne službe, kao i posebne stanice pored ceste, služe kako cestovnoj službi tako i korisnicima puta za slučaj saobraćajnog udesa.

Servisne stanice služe za opravke vozila usled usputnih kvarova. One su pored cestā van naselja ili podalje od njih, a imaju i pomoćne pokretne radionice za hitnu opravku na licu mesta, dalje od stanice. U okviru servisne službe mogu biti i stanice za snabdevanje vozila gorivom i mazivom (*benzinske stanice*), ali te mogu biti i samostalne i na drugim mestima. *Služba prve pomoći* je organizovana od priručnih apoteka do specijalnih stanica prve pomoći u okviru servisnih stanica, kao i u okviru cestovne službe ili drugih zdravstvenih ustanova. *Služba održavanja ceste* traži specijalnu organizaciju i opremu za njihovo redovno održavanje, prema njihovom značaju, stanju izgrađenosti, vrsti kolovoza i opštoj opremljenosti (v. naredno poglavlje u ovom članku).

D. Stevanović

Benzinska stanica. Za snabdevanje motornih vozila pogonskim gorivom, najčešće benzinom, služe benzinske stanice ili benzinske pumpe, opremljene naročitim uređajima. One se postavljaju na putovima sa jakim motornim saobraćajem, kao i na pogodnim tačkama naselja. Treba ih smestiti tako da ne ometaju redovne tokove saobraćaja, pa se pri izboru mesta za stanicu izbegavaju jako opterećene zone kao što su saobraćajni čvorovi, veoma opterećene gradske ulice, putevi sa jakim tokovima pešaka i biciklista, kao i ulice sa užim kolovozom, jer tada vozila koja

ulaze i izlaze iz benzinske stanice mogu da u znatnoj meri ometaju i ugrožavaju ostali saobraćaj. Na otvorenom putu, gde je saobraćaj jači, 2000–3000 vozila za 24 časa, benzinske se stanice grade na obe strane saobraćajnice radi povoljnije i sigurnije veze stanice sa vozilima iz oba smera kretanja.

Benzinska stanica se uglavnom sastoji od jedne ili više cisterne za čuvanje tečnog goriva, sa otvorom za punjenje i pregled cisterne, cevni vodova, uređaja za izdavanje goriva snabdevenih meračima izdate količine goriva i, najzad, manje ili veće zgrade, prema lokalnim potrebama. Moderne benzinske stanice imaju i poseban kompresor za punjenje automobilskih guma vazduhom, priključak za punjenje automobilskih hladnjaka vodom, uređaj za izmenu motornog ulja, a eventualno i uređaje za pranje i podmazivanje vozila.

Cisterne za gorivo mogu biti smeštene nad zemljom ili pod zemljom. Danas su cisterne redovito ukopane pod zemljom jer je to mnogo pogodnije i bezbednije. Cisterne su kružnog preseka, izrađene od čeličnog lima zaštićenog premazima, a leže na betonskom postolju u iskopanoj jami (sl. 106). Iznad gornje ivice cilindra postavlja se zaštitni sloj zemlje visok 1,0–1,5 m. Pristup do cisterne je kroz ozidano okno otvora 0,80 × 0,80 m. Na cisterni je kružni otvor prečnika 0,50–0,60 m. Pristup u okno zaštićen je čeličnim poklopcem. Cisterne moraju biti udaljene najmanje 5 m od podzemskih prostorija susjednih zgrada, od kanalizacijskih kolektora ili od bunara, a 1 m od cevi vodovoda, plinovoda ili kanala s električnim kablovima. U slučaju da se ukopava više cisterne, razmak između njih ne sme biti manji od 0,40 m. Kapacitet cisterne varira od 1000 do 50 000 litara, a dimenzije cilindara su standardizirane.

Cevni vodovi polažu se u ozidane kanale.

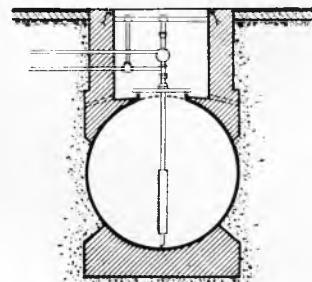
Benzin se utiče u rezervoare vozila posredstvom *pumpi* ugrađenih na betoniranim postoljima. Pumpe su zaštićene limenim sandukom. Gorivo se iz cisterne dovodi do pumpe kroz cevni vod, a od pumpe do rezervoara vozila kroz savitljivo crevo koje je sastavni deo pumpe. Na kraju savitljivog creva nalazi se specijalna slavina. Pumpe mogu da rade na ručni ili električki pogon.

Ručne pumpe obično imaju dva suda sadržine po 5 l, sa kontrolnim prelivnim cevima za utvrđivanje tačnog nivoa. Dovod goriva iz cisterne i istakanje goriva u rezervoar vozila regulišu se pomoću jedne trokrake slavine tako da se jedan od sudova puni dok se drugi sud, prethodno napunjen, prazni u rezervoar. Višak goriva se vraća iz suda u cisternu prelivnom cev. Kapacitet je ručne pumpe 20–25 l/min. Sa električkim pogonom kapacitet se povećava do 50 l/min a istakanje goriva je kontinualno. Količina izdanog goriva se utvrđuje naročitim mehanizmom sastavljenim od merača sa brojačnikom i kazaljka ili brojačnikom s valjcima (sl. 107). Na brojačnici pun obrt velike kazaljke najčešće označava izdatu količinu od 5 l,



Sl. 107. Pumpa za gorivo (»McBa«, Zagreb)

a pun obrt male kazaljke količinu od 100 l. Brojačnik sa valjcima može pored količine goriva pokazivati i cenu izdatog goriva. Pored pogona elektromotorom od 0,5–1 kW predviđa se i rezervni, ručni pogon za slučaj prekida električne struje.



Sl. 106. Podzemni rezervoar za gorivo



Sl. 108. Benzinska stanica

Razmak između pumpi postavljenih u nizu ne treba da bude manji od 4,0 m, kako bi jednovremeno svakoj pumpi moglo da pride po jedno vozilo.

Da se ne bi ometao redovan saobraćaj na putu ili na ulici, do benzinske stanice, koja je po strani, gradi se pristupna traka širine najmanje 6,0 m, na kojoj se zaustavljaju motorna vozila za vreme snabdevanja ili dok čekaju da pumpu napusti prethodno prispelo vozilo. Traka je zaštićena sa strane puta ili ulice ostrvom, obično zatravljenim, dugim ~ 20 m i širokim 1,5–2,0 m. Poluprečnik krivine u osi tog pristupnog puta ne sme biti manji od 6,5 m kad pumpa služi samo za individualna putnička vozila, ili 14,0 m kad je uzeto u obzir i namirivanje autobusa i kamiona. Ceo prostor iznad stanice obično je zaštićen strehom čija visina iznad kolovoza iznosi najmanje 4,0 m, kako bi se omogućio i pristup natovarenih kamiona.

Benzin se najpogodnije doprema do benzinske stanice autocisternama, kojima se kapacitet kreće od 3000 do 5000 litara.

Celokupni prostor benzinske stanice mora biti dobro zaštićen od požara. Kako takve stanice rade i noću, treba predvideti i dobro osvetljenje, pri čemu se onda vodi računa o tome da svetleća mesta budu postavljena tako da ne ugrožavaju saobraćaj na glavnom kolovozu.

M. Crvčani

ODRŽAVANJE CESTA

Održavanje cesta obuhvaća radove na zaštiti cestovne konstrukcije i njezinom čuvanju u takvom stanju da može služiti saobraćaju. Održavaju se kako nove ceste tako i ostale postojeće ceste javnog saobraćaja.

Vrste održavanja. Da bi cesta mogla neprekidno služiti saobraćaju, potrebno je da se stalno, svakodnevno, održava u ispravnom stanju. To je tzv. *tekuće (redovno) održavanje*. Ovamo ide i čišćenje ceste od nečistoća i manji popravci na svim njenim dijelovima: kolovozu, trupu ceste, vještačkim objektima i opremi. Te poslove obavljaju organi službe održavanja, uz eventualnu pomoć manjeg broja radnika koji se za tu svrhu povremeno angažuju. *Velike opravke* se čine svake 3–4, a ponekad i više godina, što zavisi od vrste kolovoza, klimatskih uslova, vrste, težine i intenziteta saobraćaja, kao i od načina i kvaliteta tekućeg održavanja. Te radove obavljaju organi službe održavanja uz upotrebu većeg broja radnika ili organizovanih grupa, prema vrsti posla. *Obnova ceste* se obavlja poslije 7–10 godina, a ako je kolovoz najbolje vrste, poslije 15–20 godina. Obično se cesta obnavlja zbog potpune dotrajlosti kolovoznog zastora. Čest je slučaj da se poslije 10 ili 20 godina težina i intenzitet saobraćaja potpuno promijene, pa paralelno sa obnovom kolovoznog zastora treba također proširivati cestu i objekte, a eventualno i djelomično ispraviti trasu i niveletu ceste.

Tekuće održavanje, velike opravke i obnova obuhvaćaju sve dijelove ceste: kolovoz, trup ceste, nasipe, usjeka, odvodne jarke,

ivičnjake, potporne zidove, ograde, propuste, mostove, signale i saobraćajne znakove, itd.

Tehnika održavanja. Iskustvo je pokazalo da najviše rada i materijala ide na održavanje kolovoznog zastora, a manje na održavanje sistema za odvodnjavanje, održavanje pokosa usjeka i nasipa, uklanjanje snijega i leda i popravak vještačkih objekata i opreme ceste.

Kolovozi od stabilizovanog tla održavaju se krpljenjem. Oštećena mjesta se očiste, sav rasuti materijal se ukloni i zamijeni pripremljenom mješavinom koja se zatim nabija željeznim nabijačima i eventualno polijeva vodom da bi se što bolje zbila. Ako je veći dio zastora oštećen pa krpljenje nije moguće, izbrazda se cijela površina do dna stabilizovanog zastora. Nakon što se doda izvjesna količina novog materijala, pomoću grejdera se dotjeraju poprečni nagib i debljina, i zastor se valja valjcima, uz eventualno polijevanje, sve dok ne bude potpuno zbijen. Često je potrebno primijeniti sredstva za uklanjanje prašine da se smanji gubitak materijala i podizanje prašine. Kao sredstvo protiv prašine upotrebljava se kalcijum- ili natrijum-klorid, ili neko ugljovodonično ulje. Najbolji je kalcijum-klorid koji se u količini od 1,0–1,5% umiješa u materijal, ili se po kolovozu posipa $\sim 0,5$ kg po 1 m^2 . Zbog svoje higroskopnosti kalcijum-klorid noću upija vlagu, a preko dana površinu kolovoza održava vlažnom, što sprečava stvaranje prašine i otkidanje sitnih zrna kamenog materijala iz kolovoznog zastora.

Kolovozi sa tucaničkim zastorom održavaju se na sličan način kao i kolovozi od stabilizovanog tla. Na oštećenim mjestima, oko nastalih rupa na površini kolovoza, isijeku se udubljenja pravilnog četvrtastog oblika sa vertikalnim bočnim stranama pa se dobro očiste. Dopremljeni tucanik, krupnoće zrna 3–5 cm, naspe se u udubljenje u slojevima i, uz dodatak vode, nabija željeznim maljevima, a odozgo se pospe i nabija kamena sitnež i pijesak. Tako krpiti se može i tucanikom koji je prethodno obavljen bitumenskom ili katranskom emulzijom.

Kolovozi sa ugljovodoničnim vezivom, makadamskog tipa (penetracija, zasuti i miješani asfalt ili ter-makadam i tepisi), održavaju se obnovom površinske obrade i popravkom manjih oštećenja u vremenskim intervalima od 1–4 godine. Vremenski interval zavisi od veličine saobraćaja. Postupak je ovaj: najprije se kolovoz očisti i ukloni prašina i sitne čestice materijala, zatim se njegova površina polije niskoviskoznim vezivom u količini 1,5–2,3 kg/m² i ostavi 48 sati. Poslije 48 sati kolovoz se ponovo polije istom količinom veziva i pospe kamenim agregatom u količini 20–28 kg/m² i uvalja. Ako su oštećenja dublja, krpljenje se rupa može obavljati po sistemu penetracije. Rupa se ispuni kamenim agregatom, nabije, i poslije toga polije toplim vezivom pod pritiskom. Površina se zatim pospe kamenom sitneži i uvalja lakim valjkom.

Na *kolovozima tipa asfalt-betona* mogu nastati oštećenja kao: udarne rupe, pukotine, neravnine i dezintegrirana mjesta, slaba mjesta koja vibriraju pod saobraćajem i mjesta klizava zbog velike količine veziva. Oštećenja mogu biti manjeg obima na habajućem sloju ili većeg značaja po veličini i dubini. Manja oštećenja popravljaju se tako da se isijeku pravilne rupe do potrebne dubine. Ako je oštećenje nastalo uslijed slabog tla ispod kolovoza, treba ukloniti slabi glineni materijal, zamijeniti ga tamponskim slojem od šljunkovitog materijala koji se nabija željeznim maljevima ili, još bolje, malim vibracionim pločama. Zatim se izradi podloga od tucanika ili betona i na kraju obnovi asfaltni kolovoz. Za veće zakrpe upotrebljavaju se manji valjci. Dezintegrirana mjesta i nepravilnosti na površini popravljaju se ovako: najprije se površinski grijanjem kolovoz smekša i istruže na dubini 6–30 mm; dok je kolovoz još vruć, nanese se novi materijal i uvalja. Na skliskim mjestima se nakon grijanja ukloni materijal do 6 mm dubine i dok je površina još topla uvalja se u kolovoz kamena sitnež, da bi se dobila hrapava površina. Na isti način se popravljaju mjesta gdje je gorivo koje je iscurilo iz motornih vozila nagrizlo površinu asfaltnog kolovoza.

Na *betonskom kolovozu* potrebno je ispunjavati i zalijevati dilatacione fuge i pukotine, popravljati oljuštena i napukla mjesta, krpiti mjesta gdje je kolovoz provaljen i popravljati područja koja su se slegla ili nadigla. Komprimiranim zrakom se ispuše sav

rastreseni materijal iz dilatacionih fuga i pukotina i one se zaliju novim asfaltnim kitom. Sav materijal otkinut sa kolovoza ukloni se sa oštećenih mjesta, zatim se ta mjesta poliju razrijeđenim vezivom ili emulzijom i pospu kamenom sitneži. Ako je oštećenje doseglo dubinu 4–7,5 cm, popravak se obavlja asfaltnom masom u jednom ili dva sloja. Ponekad se pojedine ploče u cjelini zamijene ili se podignu. U slučaju pojave zvane »pumping«, tj. ako se na pukotinama pojavi raskvašena glina, kroz njih se injektira mješavina zemlje, cementa i vode, ili zemlje, cementa i razrijeđenog bitumena. Kad cijeli kolovoz dotraje, preko njega se postavlja neki asfaltni zastor.

Kaldrme od krupne i sitne kamene kocke održavaju se tako da se uklone kocke sa oštećenog mjesta, obnovi podloga i pješčani sloj pa ponovo polože kocke, a dilatacione fuge se popune i nabiju pijeskom, cementnim malterom ili asfaltnim kitom.

Bankine se održavaju na isti način kao i kolovoz, zavisno od materijala od kojega su izrađene. Pokosi usjeka i nasipa popravljaju se tako da se oštećena mjesta oblože busenom, zasiju travom ili zasade žbunjem (bagremom i sl.). Svako oštećenje na potpornim i obložnim zidovima i mostovima koje ugrožava saobraćaj ili stabilitet tih objekata treba odmah popraviti. Na drvenim mostovima oštećeni se dijelovi zamijene, a željezni mostovi se održavaju povremenim minimiziranjem i ličenjem konstrukcije.

Zimska cestovna služba je dio službe održavanja cesta; njen je osnovni zadatak da omogući nesmetan i neprekinut saobraćaj u zimskom periodu. Ta služba mora raščistiti snijeg sa ceste, spriječiti da se stvaraju sniježni nanosi, posipati cestu da se otkloni poledica i na rijekama uklanjati led nagomilan ispred drvenih mostova.

U cilju pravilnog organizovanja zimske cestovne službe treba raspolagati geografskim kartama na kojima su označene relacije izložene snijegu i poledici. Terenski organi zimske cestovne službe obavještavaju telefonom i radio-vezama centralne organe o padavinama, visini sniježnog pokrivača, temperaturi, poledici i drugim okolnostima. Služba obavještavanja počinje nastupom zime i traje do proljeća. Pored internog obavještavanja organa cestovne službe, javnost se obavještava u dnevnoj štampi i po radiju o prolaznosti pojedinih cestovnih relacija. Na raskršćima se postavljaju natpisi za upozorenje o eventualnom prekidu saobraćaja.

Iskustvo je pokazalo da preventivne mjere imaju prednost nad mjerama zaštite. Već prilikom projektovanja treba obratiti pažnju na to da se trasa nove ceste ne vodi otvorenim terenima i poljima, ni područjima izloženim jakom djelovanju vjetrova. Treba projektovati niske nasipe sa blagim kosinama, usjeke izvesti što blaže, a gornje rubove kosina zaobliti.

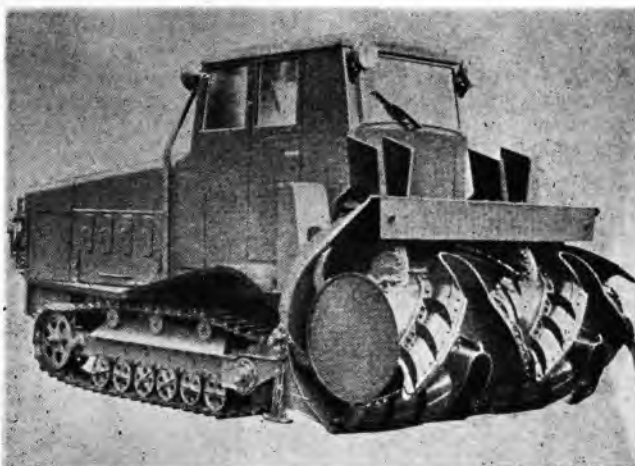
Uklanjanje snijega počinje kada ovaj padne u visini 5–10 cm, a nastavlja se za cijelo vrijeme padanja. Snijeg se uklanja sa cijele površine kolovoza. Ivice kolovoza, odnosno položaj ivičnjaka, i ostali konstruktivni dijelovi pokriveni snijegom označe se motkama oličenim crno-bijelim prugama, profila 5 cm, visine 3,5 m. Manje količine snijega mogu se raščistiti drvenim plugovima širine 2–4 m, koje vuku konji. Ako je snijeg visok preko 30



Sl. 109. Željezni klinasti plug



Sl. 110. Sniježna glodalica (frezer)



Sl. 111. Sniježna glodalica (frezer, teži tip)



Sl. 112. Sniježna glodalica u radu

cm, za vuču se upotrebljava traktor. Pri visini snijega od 40–85 cm upotrebljavaju se željezni plugovi montirani na motornim vozilima (sl. 109). Kada snijeg pređe 1 m visine, i na mjestima gdje su nanosi potpuno zavijali cestu, upotrebljavaju se mehaničke čistilice zvane sniježne glodalice (»frezeri« sl. 110–112).

Stvaranje sniježnih nanosa sprečava se postavljanjem ograda. Ove se obično postavljaju paralelno sa cestom, na udaljenosti koja je jednaka 15-struko visini ograde; praktično to iznosi 20–35 m, jer je visina ograde 1,5–2 m. Ograda je obično montažna, od drveta, a u krajevima gdje ima kamena ona je zidana.

Klizavost se sprečava posipanjem ceste pijeskom, pepelom ili kamenom sitneži. Dodavanjem ~ 60 kg kalcijum-klorida na kubni metar pijeska omogućava se lakše rukovanje pijeskom za

posipanje jer kalcijum-klorid snižava tačku smrzanja; pored toga, pijesak će se bolje utisnuti u zaleđenu koru i neće pod djelovanjem saobraćaja biti odbačen u stranu. Pijesak, pomiješan sa kalcijum-kloridom ili bez njega, drži se u silosima pored garaže ili blizu ugroženih dionica. Posipanje se obavlja iz kamiona, s pomoću specijalnih rotirajućih ploča ili valjaka. Smrznuti kolovozi mogu se posuti kalcijum- ili natrijum-kloridom u količini 10–60 g/m².

Uklanjanje leda ispred mostova dolazi u obzir naročito kad su u pitanju drveni mostovi na drvenim jarmovima u vodotoku, ispred kojih su postavljeni ledobrani. Led se razbija sjekirama i čačkama odbija od ugroženih dijelova mosta. Ako se stvara led na cijeloj širini vodotoka ili nastaju veća gomilanja ledenih blokova, upotrebljava se za razbijanje leda eksploziv. Radi skidanja leda sa kolovoza najprije se led rijačima rasiječe, a zatim se odlomljeni komadi uklone plugom.

Oruđa i mehanizacija. Drveni plugovi uklanjaju snijeg na širini 2,5–3,5 m (izuzetno 4 m). Obično se upregnu dva para, a nekada i tri para konja. Učinak je 300–500 t snijega za sat. Ako je snijeg visok preko 30 cm, sve do 40 cm, za vuču se upotrebljava traktor od 40 KS sa učinkom ~ 1400 t/h. Jednostrani ili klinasti željezni potisni plugovi montiraju se na motorna vozila jačine 40–100 KS; imaju širinu čišćenja 2,0–4,0 m a učinak 1400–14 000 t/h.

Postoji više tipova čistilica-freza (sniježnih glodalica) različitog učinka. Snijeg zahvaćen čistilicom izbacuje se kroz »lule« van ceste bilo na jednu, bilo na obje strane (sl. 112). U gradovima su »lule« na čistilicama zaokrenute naniže, tako da direktno pune snijegom kamion koji prati čistilicu.

Kamion sa uređajem za posipanje pijeska obično se kreće brzinom od 10 km/h, a utrošak pijeska iznosi 70–300 g/m².

I. Papo

JUGOSLAVENSKA CESTOVNA MREŽA

Na području Jugoslavije ceste su u ranijim periodima, sve do 1945, građene prvenstveno prema potrebama drugih zemalja koje su duže ili kraće vrijeme gospodarile pojedinim njezinim teritorijima. Turci posvećuju pažnju vezama ka Carigradu, Austro-Ugarska vodi politiku povezivanja u pravcu Beča i Budimpešte, Italija gradi veze prema Trstu, itd.

Stoga je jugoslavenska cestovna mreža, kakvu je zateklo Oslobođenje, imala mnogo nedostataka što se tiče povezivanja pojedinih područja naše zemlje i Jugoslavije kao cjeline. Prvenstveni je zadatak naše cestogradnje da se grade i urede one ceste koje će otkloniti navedene nedostatke.

Za vrijeme rimskog carstva, kad je izgradnja cesta doživjela ogroman razvoj, prolazile su današnjim područjem Jugoslavije četiri važne rimske ceste: jedna prema sjeveru preko Ptujja za Beč, a druge tri prema istoku, dolinama Drave, Save i duž Jadranske obale. Pored toga sagrađeno je nekoliko transversalnih veza u pravcu sjever-jug (sl. 113).

U srednjem je vijeku na području Jugoslavije sagrađen Dubrovački put do Niša, Vojnički put od Beograda na jug preko Niša u Carigrad, Zetski put od Budve preko Titograda u Bijelo Polje, Kotorski put od Kotora preko Nikšića i Užica u Topolu i Splitski put preko Klisa i Sinja na Ivan-planinu, i neki drugi pravci.

Nakon tog perioda počinje tek u XVIII st. jače oživljavati izgradnja solidnijih cesta za saobraćaj kola. U drugoj polovici tog stoljeća sagrađena je za vrijeme Austrije veća dužina dobrih cesta, među kojima se ističu ove: tzv. Karolinska cesta Karlovac—Vrbovsko—Fužine—Bakar—Rijeka (1728), tzv. Jozefinska cesta Gospić—Karlobag, ceste Jezerane—Vratnik—Senj (1776/7), Senj—Karlobag (1880/90), tzv. Lujzinska cesta Karlovac—Delnice—Rijeka. Za Napoleonova građena je cesta Knin—Sinj—Vrgorac—Metković—Dubrovnik, krajem XIX st. cesta Obrovac—Alan—Lovinac i cesta Slavonski Brod—Doboj—Zenica—Sarajevo—Ivan-planina—Mostar—Metković, koja je kasnije nastavljena preko Stolca u pravcu Crne Gore. Pored toga u Bosni je za vrijeme austrijske



Sl. 113. Rimske ceste na teritoriju Jugoslavije

okupacije sagrađeno ~ 2000 km cesta radi veza sa austro-ugarskom cestovnom mrežom. U Srbiji počinje brza izgradnja cesta nakon 1830, a u Makedoniji je u tom pravcu više urađeno pod kraj turske vladavine (ceste Skopje—Kumanovo, Veles—Štip).

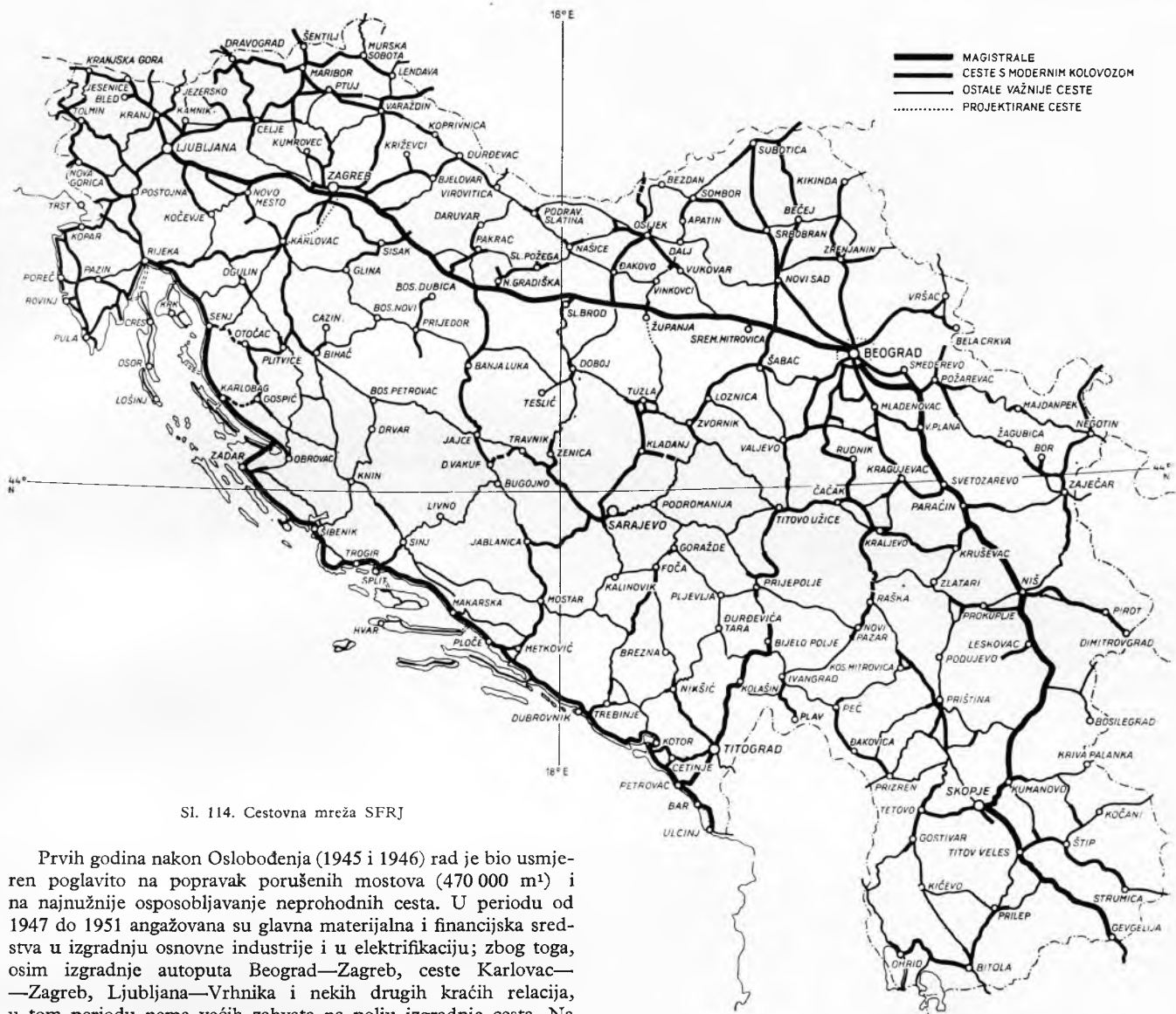
Sve brži razvoj cestovnih motornih vozila s velikim brzinama i opterećenjima nakon Prvog svjetskog rata zahtijevao je preuređenje starih cesta i gradnju novih, koje će odgovarati potrebama brzog motornog saobraćaja. Zato nakon 1920 u cijelom svijetu dolazi do sve brže izgradnje suvremenih cesta s kolovozima od asfalta, betona i drugog otpornog materijala, ali je u staroj Jugoslaviji u periodu između oba svjetska rata izgrađeno dosta malo suvremenih cesta: ukupno 709 km, i to na ovim glavnim relacijama: Ljubljana—Bled, Samobor—Zagreb—Dugo Selo, Rijeka—Novi, Trogir—Split, Horgoš—Novi Sad—Beograd—Kragujevac, Beograd—Pančevo, Sarajevo—Ilidža, Banja Luka—prema Gradiški. U tom istom razdoblju, na onim područjima Hrvatske i Slovenije koja su potpala pod Italiju sagrađeno je 480 km asfaltnih cesta: Planina—Postojna—Sežana, Trst—Rijeka, Trst—Pula, Gorica—Razdrto, Postojna—Rupa, Rijeka—Pula (65%), i još neki kraći potezi.

Za vrijeme Drugog svjetskog rata okupatori su zbog svojih vojnih potreba modernizirali 292 km cesta, i to na relacijama: Maribor—Celje—Rimske Toplice, Maribor—Ptuj—Varaždin—Komin, Ptuj—Ormož, Slovenska Bistrica—Rogaška Slatina, Rijeka—Grobnič, Banja Luka—prema Gradiški, oko Skopja i dr.

Stanje cestovne mreže Jugoslavije u god. 1945 prikazano je u tabl. 3.

Tablica 3
JUGOSLAVENSKJE CESTE 1945

Republika	Ukupna dužina cesta I i II reda km	Ceste sa savremenim kolovozima, km			
		Izgrađene u periodu		Ukupno	
		1918–41	1941–45		
		Jugo- slavija	Italija	za oku- pacije	
Slovenija	2780	80	262	195	537
Hrvatska	8789	154	218	89	461
Srbija	8150	436	1	1	438
Bosna i Herce- govina	5563	38	—	2	40
Makedonija	2345	—	—	5	5
Crna Gora	1764	—	—	—	—
SFRJ ukupno	29391	708	481	292	1481



Sl. 114. Cestovna mreža SFRJ

Prvih godina nakon Oslobođenja (1945 i 1946) rad je bio usmjeren poglavito na popravak porušenih mostova (470 000 m³) i na najnužnije osposobljavanje neprohodnih cesta. U periodu od 1947 do 1951 angažovana su glavna materijalna i finansijska sredstva u izgradnju osnovne industrije i u elektrifikaciju; zbog toga, osim izgradnje autoputa Beograd—Zagreb, ceste Karlovac—Zagreb, Ljubljana—Vrhnika i nekih drugih kraćih relacija, u tom periodu nema većih zahvata na polju izgradnje cesta. Na kraju 1947 ukupna dužina cesta I—IV reda u Jugoslaviji iznosila je 81 400 km, od toga sa savremenim kolovozom 1824 km ili 2%. U periodu od 1951. godine dalje počinje sve brža i intenzivnija izgradnja suvremenih cesta u svim dijelovima Jugoslavije.

Od 1945 do 1965 sagrađeno je i modernizirano 12 882 km cesta i to na ovim glavnim relacijama: Autoput Ljubljana—Zagreb—Beograd—Skopje—Gevgelija (period građenja 1947—1963), Jadranska magistrala (obalni potez) Rijeka—Split—Dubrovnik—Bar (1952—1965) i kontinentalni dio magistrale Petrovac—Titograd—Kolašin—Bijelo Polje (1960—1965), ceste Tuzla—Sarajevo—Mostar—Opuzen (1952—1965), Maribor—Celje—

Ljubljana—Postojna—Koper (1948—1960), Bled—Jesenice—granica, Maribor—Murska Sobota, Maribor—Dravograd, Dravograd—Celje—Radeče, Celje—Rogaška Slatina, Naklo—Ljubelj (1960—1965), Idrija—Tolmin—Vrščič, Rašica—Kočevje, Novo Mesto—Črnomelj, Novo Mesto—Žužemberk, Sesvete—Zelina—Komin (1946), Zagreb—Karlovac (1947/8), Karlovac—Rijeka (1952—1954), Zagreb—Sisak, Popovača—Sisak, Sisak—Petrinja—Glina (1963—1965), Karlovac—Plitvice—Gospić, Dugo Selo—Bjelovar—Đurđevac, Kopanica—Osijek—Beli Manastir (1956—1964), podravska cestovna magistrala

Tablica 4
JUGOSLAVENSKÉ CESTE 1965

Republika	I + II + III + IV reda			I reda km	II reda km	III reda km	IV reda km
	Ukupno km	Od toga sa suvremenim kolovozom km	Suvrem. od ukup. dužine %				
Slovenija	13 169	2 558	19,3	839	1 660	4 098	6 572
Hrvatska	19 162	3 570	18,9	2 229	2 115	7 460	7 358
Srbija	25 948	3 929	15,1	3 854	5 043	6 646	10 405
Bosna i Hercegovina	11 567	1 300	11,2	1 938	1 820	5 250	3 559
Makedonija	6 194	959	15,8	810	1 024	950	3 410
Crna Gora	2 650	566	21,2	627	390	430	1 203
Ukupno SFRJ	78 690	12 882	16,2	10 297	12 052	23 834	32 507

Varaždin—Virovitica—Osijek—Vukovar (izvedeno 50% dužine do 1965), ceste Nova Gradiška—Požega, Novska—Daruvar (1962...1965), Čazma—Ivanič-Grad, Varaždin—Čakovec—mađarska granica, Varaždin—Lepoglava, autoput Podsused—Krapina i veza Kumrovec (1962...1965), cesta Kostajnica—Dvor (1965), dovršenje ceste Opatija—Pula (1954), ceste Umag—Poreč, Split—Klis—Sinj, Vrljika—Hrvace, Metković—Ploče, Dubrovnik—Trebinje, Šibenik—slapovi Krke, Korčula—Veluška (60%), Beograd—Vršac, Beograd—Požarevac, Beograd—Valjevo, Beograd—Čačak—Titovo Užice, Čačak—Kraljevo—Novi Pazar, Apatin—Sombor—Srbobran, Senta—Novi Sad, Kikinda—Beograd, Bačka Palanka—Novi Sad, Novi Sad—Perlez, Požarevac—Petrovac, Novi Sad—Ruma—Šabac—Zvornik, Kosovska Mitrovica—Pristina—Kruševac—Tetovo, Paraćin—Zaječar—Negotin, Zaječar—Knjaževac, Niš—Dimitrovgrad, Lebane—Leskovac—Vlasotinci, Skopje—Tetovo—Gostivar, Kumanovo—Stracin, Titov Veles—Strumica, Negotin—Prilep—Bitola—Ohrid, Nikšić—Titograd, Kotor—Cetinje, Titograd—Cetinje—Budva, Bosanska Gradiška—Jajce—Sarajevo (1954...1965), Zenica—Kavnička Čuprija, Visoko—Sarajevo (1963...1965), Kladanj—Vlasenica, Prijedor—Dubica.

Pored ovih važnijih pravaca modernizirano je i niz drugih kraćih pravaca i spojnih relacija u svim Socijalističkim Republikama.

Stanje jugoslavenske cestovne mreže na dan 31. XII 1965 prikazano je u tabl. 4 i sl. 114.

Tehničke karakteristike glavnih cestovnih saobraćajnica u Jugoslaviji. Glavna cestovna magistrala Jugoslavije, *cesta Ljubljana—Zagreb—Beograd—Skopje—Gevgelija*, sagrađena je potpuno novom trasom i s elementima suvremenih autoputeva, s time da je relacija Zagreb—Ljubljana i Beograd—Gevgelija u tom smislu sasvim dovršena, a na relaciji Zagreb—Beograd naknadno će se izvesti ukrštanje drugih cesta u dva nivoa. Širina planuma ceste Beograd—Zagreb iznosi 12 m, a kolovoza 7,5 m, s bankinama $2 \times 0,75$. Autoput Zagreb—Ljubljana i Beograd—Gevgelija ima širinu planuma 10 m, a kolovoza 7,5 m. Kolovoz je izveden od betona, asfalta i nešto kocke.

Jadranska magistrala na relaciji Koper (Trst)—Pula—Rijeka—Split—Dubrovnik—Budva—Titograd—Kosovska Mitrovica—Skopje ima ukupnu dužinu 1390 km. Od tog je izgrađeno prije rata 150 km, a 1240 km u periodu 1945...1965. Do kraja 1965. godine izgrađen je cijeli obalni pojas, a u toku naredne 3 godine dovršit će se još kontinentalni dio na relaciji Kolašin—Skopje. Širina planuma novog dijela ove ceste iznosi 8...9 m, širina kolovoza 7 m. Kolovoz je izveden sav s asfaltnim zastorom. Na ovoj cesti izveden je znatan broj velikih mostova od kojih se posebno ističu mostovi kod Maslenice i kod Šibenika, most preko Neretve i objekti na relaciji Titograd—Kolašin.

Cesta Županja—Tuzla—Sarajevo—Mostar—Opuzen predstavlja značajan transverzalan vezu na relaciji sjever—jug koja povezuje autoput Zagreb—Beograd s Jadranskom magistralom kroz centralne i jake industrijske predjele Bosne i Hercegovine. Ova cestovna relacija izvedena je dijelom kao rekonstrukcija stare ceste a dijelom kao nova saobraćajnica. Kolovoz širok 6...7 m izveden je u asfaltu i nešto u kocki. Od ove ceste u periodu 1952...1965 izvedena je relacija Opuzen—Metković—Mostar—Sarajevo—Tuzla, a u gradnji se nalazi preostala relacija Tuzla—Županja do autoputa Beograd—Zagreb.

Navedene tri glavne cestovne saobraćajnice povezuju glavne centre svih Socijalističkih Republika Jugoslavije i time je otklonjen najveći nedostatak u našem cestovnom saobraćaju. Ostale suvremene ceste grade se prvenstveno po starim kolovozima uz odgovarajuće najnužnije rekonstrukcije.

Sadanji tempo izgradnje cesta u Jugoslaviji iznosi 1200 do 1500 km godišnje. U budućnosti će se bez sumnje još više ubrzati izgradnja cesta, tako da će se u narednih 10 godina dovršiti modernizacija svih važnijih cestovnih pravaca u SFRJ.

S. Lamer

MEĐUNARODNI PUTEVI

Međunarodni putevi su putni pravci kojima se pretežno odvija međunarodni putni saobraćaj. Postoje dva tipa međunarodnih puteva: obični (normalni) putevi i autoputevi.

Obični putevi dele se u dve kategorije. U I kategoriji su putevi sa jednim kolovozom i dve saobraćajne trake, svaka najmanje širine od 3,50 m. Na ovim putevima može normalno saobraćati do 600 vozila na čas, s tim da je od toga 30% teških vozila, ili 900 lakih vozila na čas. U II kategoriji su putevi sa više od dve saobraćajne trake, najmanje širine od 3,5 m svaka. Na putevima sa tri saobraćajne trake može saobraćati 900 do 1300 vozila na čas, shodno gornjem uslovu u odnosu na teška vozila; a sa četiri saobraćajne trake 1500 do 3000 vozila na čas, takođe sa istim učešćem teških vozila. Na putevima sa tri saobraćajne trake podužno obeležavanje je preko potrebno.

Autoputevi služe isključivo za saobraćaj automobila i nemaju nikakvih ukrštanja u nivou sa drugim saobraćajnicama. Obično su s dva posebna kolovoza za svaki smer vožnje. Svaki kolovoz treba da ima najmanje dve saobraćajne trake minimalne širine po 3,50 m.

Tehnički elementi i propisi. Elementi koje treba da imaju međunarodni putevi određuju se prema sadašnjim i perspektivnim saobraćajnim potrebama za delove puteva van naselja. U načelu, međunarodni putevi treba da obilaze naselja ukoliko ova otežavaju saobraćaj i predstavljaju opasnost.

Bankine, pored kolovoznih traka, ulaze u planum puta sa najmanjom širinom od 2,50 m. Na 1,00 m od ivice kolovoza ne sme se na bankini postavljati ništa što bi predstavljalo smetnju. Pešačke i biciklističke staze na bankinama međunarodnog puta običnog tipa grade se za saobraćaj pešaka i biciklista ako broj ovih iznosi bar 500 na dan. Mesta za zaustavljanje su na autoputevima zabranjena. Bankine na autoputevima sa minimalnom širinom od 2,50 m omogućavaju slučajna (prinudna) zaustavljanja. Na običnim putevima sa preko 1500 vozila dnevno mogu se predvideti mesta za zaustavljanje samo van kolovoza (naročito za autobuse).

Poprečni nagib kolovoza u pravoj može biti jednostran ili obostran, sa maksimalnim padom 3%. Krivine sa poluprečnikom ispod 1000 m treba da su sa nadvišenjem. Maksimalno izdizanje je 8%. Proširenje u krivinama predviđa se za nesmetan prolaz vozila pri mimoilaženju.

Trasa međunarodnog puta treba da ima jednoobraznu karakteristiku na dovoljnim dužinama, a promene tamo gde se ove mogu normalno očekivati (gde trasa prolazi kroz naselja, gde se menja reljef terena).

Osnovne geometrijske karakteristike međunarodnih puteva sastavljene su u ovoj tablici:

Elementi		Računska brzina, km/h			
		120	100	80	60
Najveći nagibi, %		4	5	6	8
Najmanji poluprečnici konveksnih krivina u podužnom profilu, m	Kolovoz u jednom saobraćajnom pravcu	8000	4000	2000	—
	Kolovoz u dvostrukom saobraćajnom smislu	—	6000	2500	1000
Najmanji horizontalni poluprečnici, m		500	300	200	100

Računska brzina od 120 km/h uzima se samo u slučaju odvojenih kolovoza i ako je većina pristupa putu specijalno uređena. Poluprečnici konkavnih krivina su takvi da, za računsku brzinu, ubrzanje ne prede 0,50 m/sec². Kružne i pravolinijske partije trase spojene su prelaznim krivinama.

Prelaz u nivou međunarodnog puta običnog tipa i lokalnog puta sekundarnog značaja po pravilu je zabranjen. Za puteve tipa autoputa predviđaju se prelazi u različitim nivoima, izbegavajući svako ometanje saobraćaja na autoputu. Međunarodni putevi običnog tipa imaju ukrštanja i pristupe u različitim nivoima kada to zahteva važnost i veličina saobraćaja; inače se ovo reguliše preglednošću puteva na delu veze i smanjenjem brzine. Kružna raskršća i svetlosne signale treba uglavnom izbegavati. Prelaze u nivou železničkih pruga i međunarodnih puteva ne treba postavljati.

Slobodna visina za objekte iznad puta iznosi najmanje 4,500 m. Reklamne table su pored međunarodnih puteva zabranjene.

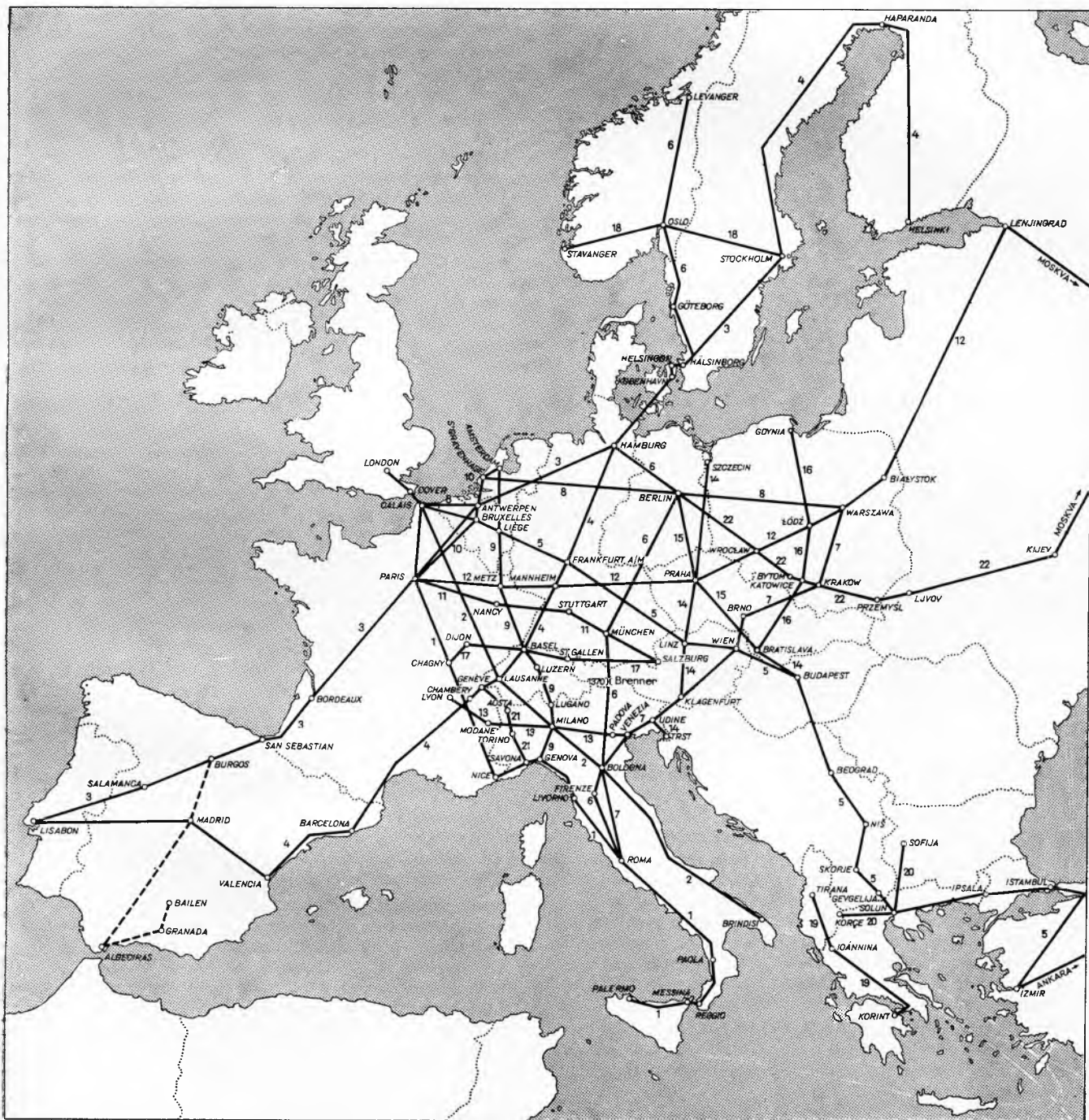
Konstrukcija i instalacije. Međunarodni putevi treba da konstruktivno zadovoljavaju uslove koji su napred navedeni za pojedine elemente. Konstrukcija kolovoza traži prema saobraćajnom opterećenju odgovarajuću moć nošenja tla i svoga nosećeg dela. Kolovozni zastor treba da je savremenog tipa, prilagođen podužnim i poprečnim nagibima, osobinama tla, klimatskim prilikama i saobraćajnim potrebama. Uglavnom, ono što se od kolovoza puteva I reda traži za srednja i teška opterećenja važi i za međunarodne puteve.

Granični prelazi zahtevaju putne instalacije koje omogućuju brzo obavljanje carinskih i pasoških formalnosti uz normalno odvijanje saobraćaja. Te instalacije mogu biti izvedene odvojeno za turistički i za komercijalni saobraćaj ili su zajedničke za celokupni saobraćaj. *Garaže, servisi, mesta za odmor i ugostiteljski objekti* treba da se podižu u blizini međunarodnog puta, naročito u krajevima udaljenim od naselja. *Stanice prve pomoći* postavljaju se duž međunarodnih puteva ako nema dovoljno takvih

stanica u mestima pokraj kojih prolazi put. *Telefonske stanice* za eventualnu pomoć postavljaju se na približno jednakim rastojanjima, sa uputstvima na nekoliko jezika. *Oznake* međunarodnih puteva su tablice sa slovom E i arapskim brojem puta. Natpis je belom bojom na zelenom polju.

Tehničke propise o međunarodnim putevima donela je Ekonomska komisija za Evropu OUN u Deklaraciji o konstrukciji velikih puteva za međunarodni saobraćaj iz 1950 i 1957 godine (Aneks II). Osim ovih propisa o elementima međunarodnih puteva, doneti su i međunarodni propisi o signalizaciji na putevima, zatim propisi o međunarodnom saobraćaju.

U karti na sl. 115 ucrtani su pravci velikih puteva međunarodnog saobraćaja u Evropi (međunarodni putevi E 1 ... E 22). Na njih se u Aziji nadovezuju još dva puta iz te grupe, kroz Tursku do iranske granice: E 23 Ankara-Sivas-Erzurum-Agri i E 24 Kömürler-Urfa-Cizre-Hakkari-Bajirge. Oznake E 31 ... E 100 nose međunarodni putevi druge grupe: ogranci glavnih puteva



Sl. 15. Glavni putevi međunarodnog saobraćaja u Evropi

i njima paralelni putevi. Najveću mrežu međunarodnih puteva u Evropi imaju SR Nemačka sa 7762 km, Italija sa 6015 km, Francuska sa 5782 km i Poljska sa 4780 km. Preko naše zemlje prelazi od međunarodnih puteva prve grupe samo put E 5 sa pravcem: Horgoš-Subotica-Novi Sad-Beograd-Niš-Skopje-Gevgelija, a iz druge grupe putevi: E 92 (granica-) Maribor-Ljubljana (-Trst). E 94 (jugoslovensko-austrijska granica-) Ljubljana-Zagreb-Beograd-Bela Crkva (-jugoslovensko-rumunska granica), E 95 Niš-Dimitrovgrad (-granica) i E 96 Rijeka-Zagreb-Čakovec-Donja Lendava (-jugoslovensko-mađarska granica). Ukupna dužina međunarodnih puteva u našoj zemlji iznosi 2191 km.

D. Stevanović

LIT.: N. Bergier, Histoire des grands chemins de l'empire romain, Paris 1864. — R. J. Forbes, Notes on the history of ancient roads and their construction, Amsterdam 1934. — H. Bolder, Bernsteinstraßen und Römerstraßen, Berlin 1936. — J. W. Gregory, C. J. Gregory, The story of the road, London 1938. — L. I. Hewes, American highway practice, New York 1931/2. — J. Duhm, Linienführung, Planung, Bau und Unterhaltung der Straßen und Wege, Wien 1947. — J. H. Bateman, Introduction to highway engineering, New York 1948. — H. H. Иванов, Строительство автомобильных дорог, Москва 1948. — H. H. Иванов, Ремонт и содержание автомобильных дорог Москва 1948. — В. И. Оболенский, Придорожные насаждения. Практика защитного и декоративного озеленения дорог, Москва 1948. — G. W. Pickels, C. C. Wiley, Route surveying, New York 1949. — B. Žnideršič, Prelazne krivine na putevima i željeznicama, Beograd 1949. — A. Speck, Der Kunststraßenbau, Berlin 1950. — A. G. Bruce, J. Clarkson, Highway design and construction, Scranton 1950. — С. М. Никитин, Механизация дорожных и мостовых работ, Москва 1950. — D. Boutet, L'état actuel de la technique routière, Zürich 1951. — E. Neumann, Der neuzeitliche Straßenbau, Berlin 1951. — L. J. Ritter, Jr., R. J. Paquette, Highway engineering, New York 1951. — H. C. Ives, P. Kissam, Highway curves, New York 1952. — M. Marković, Projektovanje i građenje putova, Beograd 1954. — J. L. Escario, Traité des routes (prevod sa španskog), Paris 1954. — A. A. Арсеньев, В. А. Бочин, Н. Н. Иванов, Строительство автомобильных дорог, 1955. — Fuchs, Linienführung im Straßenbau, Leipzig 1956. — J. Kastl, Der Straßenbau, Leipzig 1957. — F. Loskot, Silnice, Praha 1957. — B. Žnideršič, Zakolichenje prem in krivin, Ljubljana 1958. — E. Y. Yoder, Principles of pavement design, New York 1959. — H. Schreiber, Symphonie der Straße, Düsseldorf 1959 (srpsko-hrv. prevod: Simfonija ceste, Zagreb 1961). — В. Ф. Бабков, Современные автомагистрали, Москва 1961. — А. К. Бируля, Проектирование автомобильных дорог, Москва 1961. — K. B. Woods, Highway engineering handbook, New York 1961. — J. H. Jones, The geometric design of modern highways, New York 1962. — C. H. Ogelsby, L. I. Hewes, Highway engineering, New York 1963.

V. Bedeković M. Crućanin M. Fućkan
Ž. Đukić A. Kamhi S. Lamer I. Pačo
D. Stevanović V. Sajko B. Žnideršič

CESTOVNI SAOBRAĆAJ (putni saobraćaj, drumski saobraćaj), sav saobraćaj koji se odvija na cestama. Svrha je cestovnog saobraćaja prevoz dobara i putovanje osoba radi promjene mjesta ili radi razonode i turizma.

Učesnici u cestovnom saobraćaju jesu pješaci i različite vrste cestovnih vozila. Cestovnu saobraćajnu površinu predstavlja kolovoz po kojem se odvija saobraćaj vozila, a ostalim vidovima saobraćaja služe staze (pješačka, biciklistička i dr.). Dio kolovoza ili staze koji omogućava nesmetano kretanje jednog niza saobraćajnih sredstava naziva se *trakom* (saobraćajnom trakom, pojansom, kolotečinom).

Na cestovni saobraćaj utječe niz činilaca: karakter i potencijal privrede, ekonomska moć, tehnička razvijenost, gustoća mreže i kvalitet saobraćajnica, saobraćajno-geografski uvjeti, saobraćajna politika.

Općenito, za razliku od željezničkog, avionskog i vodenog saobraćaja, cestovni je saobraćaj uglavnom spontan (neplanski), jer se većinom odvija bez ikakvog vremenskog plana (voznog reda) ili prostornog rasporeda (linijâ, stanicâ).

Podjela cestovnog saobraćaja. Cestovni saobraćaj može se podijeliti na različite načine i prema različitim kriterijima.

Prema vrsti saobraćajnog sredstva postoji podjela na: motorni (automobilski) saobraćaj, tj. saobraćaj motornim vozilima, koji se može dalje dijeliti na putnički automobilski saobraćaj (brzim i lakim vozilima) i teretni automobilski saobraćaj (sporijim i teškim vozilima); kolni zaprežni saobraćaj, tj. saobraćaj kolima sa stočnom vučom; stočni saobraćaj, tj. saobraćaj stokom za nošenje i jahanje; biciklistički saobraćaj, tj. saobraćaj biciklima, tricklima, eventualno i mopedima; pješački saobraćaj.

Prema strukturi cestovni saobraćaj se dijeli na jednovrsni (odvojeni, odijeljeni) saobraćaj, npr. motorni saobraćaj na jednom kolovozu, i na viševrsni (miješani, mješoviti) saobraćaj na istom kolovozu.

Prema karakteru postoji podjela na pokretni saobraćaj, koji čine sva saobraćajna sredstva kada se stvarno kreću, i na mirujući

saobraćaj, koji predstavljaju sva zaustavljena saobraćajna sredstva (ostavljena, parkirana) na saobraćajnim površinama.

Prema smjeru cestovni saobraćaj može biti jednosmjerni, ako se na istom kolovozu sva vozila kreću istim smjerom, ili dvosmjerni, ako se na istom kolovozu vozila kreću u oba smjera.

Prema dometu je cestovni saobraćaj prolazni (tranzitni), ako se obavlja na većim daljinama ne zaustavljajući se ili obilazeći naselja i gradove, ili lokalni (mjesni), ako se odvija na kraćim daljinama, između pojedinih naselja i između mjesta značajnih u privrednom ili kojem drugom pogledu.

Prema mjestu cestovni saobraćaj se dijeli na gradski saobraćaj, koji predstavlja sav saobraćaj unutar gradova, i na vangradski saobraćaj, koji je sav cestovni saobraćaj izvan gradskih područja. Uz gradski saobraćaj se redovito nadovezuje prigradski saobraćaj, koji se odvija između većega grada i njegovih predgrada i satelitskih naselja.

Prema nosiocu saobraćaja postoji javni saobraćaj, koji obavlja saobraćajne organizacije a pristupačan je svakome uz naplatu, i privatni saobraćaj, koji pojedinci ili različite organizacije obavljaju vlastitim vozilima za svoje potrebe i za svoj račun.

Različite vrste cestovnog saobraćaja, ukoliko je saobraćaj slab, odvijaju se na istoj saobraćajnoj površini (kolovozu); jak saobraćaj zahtijeva odvajanje različitih vrsta cestovnog saobraćaja na pojedine kolovoze ili staze. Jednosmjerni saobraćaj iziskuje uvijek traku za preticanje.

Saobraćajne veličine. Kvalitativna i kvantitativna svojstva cestovnog saobraćaja prikazuju se tzv. saobraćajnim veličinama, kao što su: intenzitet, kapacitet i gustoća, brzina i volumen saobraćaja, saobraćajno opterećenje, saobraćajni rad i faktor strukture saobraćaja.

Saobraćajne veličine služe pri različitim tehničko-ekonomskim rješavanjima, naročito u cilju analiziranja postojećih cestovnih saobraćajnica i ocjenjivanja budućeg razvoja, da bi se ustanovila rentabilnost investicija, zatim pri ekonomskom trasiranju cestovnih pravaca i mreža, pri rješavanju urbanističko-saobraćajnih problema, pri dimenzioniranju i izboru konstrukcija cesta, i dr.

Intenzitet (tok, protok) saobraćaja je broj vozila koji prođe u jedinici vremena određenom tačkom ceste. Za jedinice vremena uzimaju se sat i dan (24 sata). Obično se intenzitet izražava brojem vozila na 24 sata. Intenzitet se može izražavati ili za sav saobraćaj na jednoj cesti, ili po smjerovima, ili po vrstama saobraćaja.

Kapacitet (propusna moć) ceste je najveći mogući intenzitet saobraćaja na nekoj cesti. Može se izražavati: po satu, po danu, po kolovozu, po saobraćajnom smjeru. Obično se izražava brojem vozila u jedinici vremena, a može se izračunati prema jednadžbi:

$$C = \mu \cdot n \cdot v \cdot L,$$

gdje je C kapacitet ceste, L razmak vozila u nizu, tj. dužina vozila + zaustavni put + sigurnosni dodatak (do 10 m); n broj uporednih saobraćajnih traka; μ redukcijski koeficijent uvjeta (≤ 1), zavisen od strukture saobraćaja i od nagiba, širine i preglednosti ceste; v brzina vozila.

Gustoća saobraćaja je broj vozila koja se u danom trenutku nalaze na jedinici dužine određenog poteza ceste, dakle $D = N/L$, gdje je D gustoća saobraćaja, a N broj vozila na potezu dužine L .

Saobraćajno opterećenje (jačina saobraćaja) je bruto-težina svih saobraćajnih sredstava koja u jedinici vremena prođu kroz izvjesnu tačku ceste. Obično se saobraćajno opterećenje daje u tonama na dan ($t/24$ h). Saobraćajno opterećenje može se iskazivati bilo za sav saobraćaj na nekoj cesti bilo po smjerovima ili vrstama saobraćaja.

Brzina saobraćaja jest brzina kojom se vozila kreću cestom; može se, u odnosu na neku cestu ili njen odsjek, uzeti: prosječna brzina, brzina po smjeru, brzina po kategoriji vozila itd. Izražava se redovito u km/h. Razlikuju se: računska (teorijska) brzina v_r , koja je mjerodavna za proračunavanje elemenata trasiranja; efektivna brzina v_e , koja se u prosjeku ostvaruje ($v_e = 0,5 \dots 1,5 v_r$ u zavisnosti od vrste vozila); putna (komercijalna) brzina v_k , u koju je uračunato i vrijeme čekanja (npr. na ukrštanjima) i stajanja (npr. zbog odmora ili okrepe, na stajalištima).

Volumen saobraćaja (saobraćajni volumen) predstavlja umnožak intenziteta i brzine saobraćaja, dakle: $S = N \cdot V$, gdje je S volumen, N intenzitet a V brzina saobraćaja.