

UDK 625.7 : 624.2/8

CODEN CSMVB2

YU ISSN 0411-6380

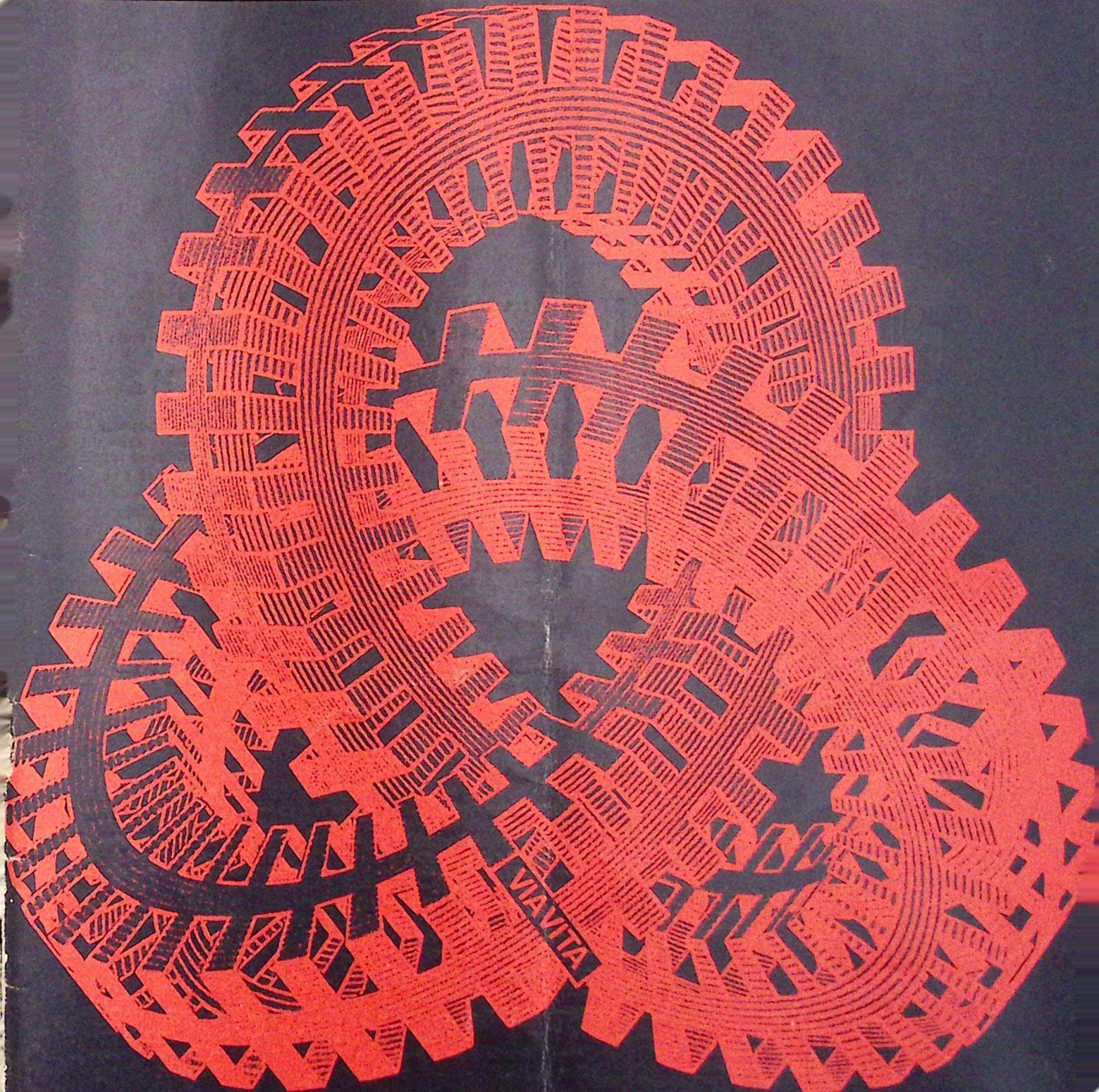
CESTE I MOSTOVI

ČASOPIS ZA PROJEKTIRANJE, GRAĐENJE, ODRŽAVANJE
I TEHNIČKO-EKONOMSKA PITANJA CESTA, MOSTOVA I AERODROMA

Vol. 26

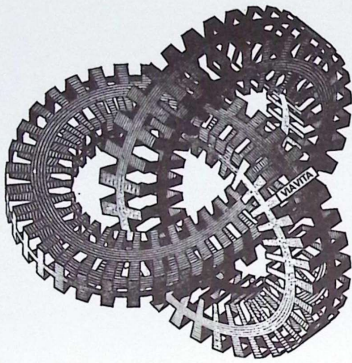
Zagreb, 1980.

Broj 4



CESTEMOSIOM

GLASILO SAVEZA DRUŠTAVA
ZA CESTE HRVATSKE I
SAVEZA DRUŠTAVA ZA
PUTOVE JUGOSLAVIJE

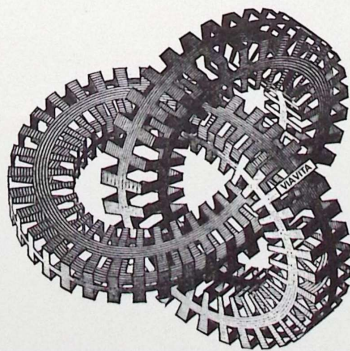


**ČASOPIS ZA PROJEKTIRANJE,
GRAĐENJE, ODRŽAVANJE I
TEHNIČKO-EKONOMSKA
PITANJA CESTA, MOSTOVA
I AERODROMA**

SADRŽAJ

mr Ivan Legac, Zagreb	105
Analiza njerodavnih čimilaca kod odvodnje kolnika u zoni vitoperenja	
mr Ivan Dadić, Split	113
Neki aspekti organizacije prometnih tokova i njihova primjena u praksi	
Vladimir Pejnović Branimir Palković dr Zdravko Ramljak, Zagreb	122
Ujiceaj granulometrijskog sastava kamene smjese na svojstva asfaltnog uzorka	
Kongresi, savjetovanja, izložbe	126
Prikazi	130

CESTEMOSIOM



POZIV NA KOLEKTIVNO UČLANJENJE

Časopis »Ceste i mostovi« izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, član Saveza društava za putove Jugoslavije.

Pozivamo sve kolektive čija je djelatnost vezana za područje cestogradnje, mostogradnje i cestovnog prometa općenito da se učlane u Savez društava za ceste Hrvatske.

Osnovna je svrha časopisa »Ceste i mostovi« da upoznaje članstvo s najnovijim dostignućima i iskustvima u projektiranju, građenju, održavanju i svim akcijama na unapređenju cestovne mreže.

Kolektivna članarina određuje se srazmjerno voljiti i značenju poduzeća — kolektivnog člana, a najniža može iznositi 1.600 dinara.

Kolektivni članovi, uplatom članarine, besplatno primaju časopis. Godišnja pretplata: za poduzeća — 600.— dinara; za ostale pretplatnike — 120.— dinara; za inozemstvo — 60 US dolara.

Pojedini primjerci: za poduzeće — 50.— dinara; primjerek u prosudbi 12.— dinara.

Članovi Saveza društava za ceste Hrvatske uplatom članarine, stječu pravo na besplatno primanje časopisa. Godišnja članarina je od 120.— dinara.

Člarena oglaš: omočna stranica — 6.000.— dinara; unutarnja 1/1 — 5.000.— dinara, 1/2 — 3.000.— dinara, 1/4 — 2.500.— dinara; inozemni oglaš: 1/1 — 600 US dolara, 1/2 — 500 US dolara, 1/4 — 350 US dolara.

Urednički odbor:

mr Mladen Lamer, dipl. inž., Zagreb, glavni i odgovorni urednik, Darko Milinarić, dipl. inž., Zagreb, zamjenik glavnog i odgovornog urednika, mr Branimir Babić, dipl. inž., Zagreb, mr Jovo Beslač, dipl. inž., Zagreb, Dušan Deković, inž., Rijeka, Krešimir Dugi, dipl. inž., Osijek, Eudy Jakšić, dipl. inž., Split, Stanko Kovač, dipl. inž., Zagreb, Ivan Lovrić, dipl. inž., Zagreb, Tomislav Megla, dipl. inž., Zagreb, Josip Novak, dipl. inž., Zagreb, Branko Perović, dipl. inž., Zagreb, Zvonko Pilko, dipl. inž., Zagreb, Franjo Pregorec, dipl. inž., Zagreb, Josip Sekopeč, dipl. inž., Zagreb, Karlo Telen, inž., Zagreb, Vladimir Weber, dipl. inž., Zagreb.

Tehnički urednik: Mirjana Zec, prof.

Gratička obrada: Branko Zhamalik

Časopis izlazi mjesečno.

Tisak: NISRO »Vjesnik« — OOUR TMG — Pogon VŠ

Crtež na naslovnoj strani: M. C. Escher — Čvorovi (detalji)

Časopis izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, Zagreb, Vondčina ulica 3, tel. 445-422/63, pošt. pret. 673, žiro-račun 30102-678-271

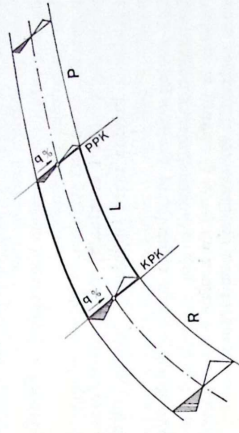
Odvodnja kolnika u zoni vitoperenja

U odredbama za polaganje trase modernih vangradskih prometnica prisutan je nesrazmjeran odnos između reguliranja vožno-dinamičnih zahtjeva i efikasne odvodnje kolnika. Primjedbe se prvenstveno odnose na sektore vitoperenja kolničke površine u horizontalnim protukrivinama, te u područjima s vertikalnim zaobljenjima nivoletu.

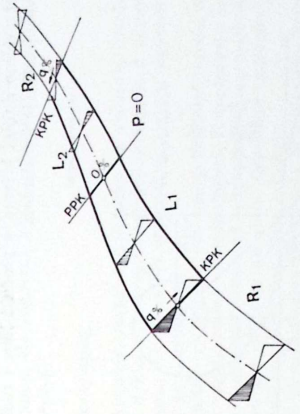
Osnovno pravilo kvalitetne odvodnje sadržano je u zahtjevu da se voda kontrolirano eliminira s kolnika najkraćim putem. Prisustvo vode na kolniku predstavlja latentnu opasnost i osjetivo smanjenje sigurnosti za sudionike u prometu. Za proračun odvodnje mjerodavni su određeni hidrološki podaci i međusobni odnosi između trajanja, učestalosti i intenziteta oborina.

U suvremenom pristupu problematici vezanoj na odvodnju vozne površine uzima se debljina vodnog filma kao polazni mjerodavni parametar. Prekoračenjem kritične debljine vodnog filma uz visoke brzine dolazi se do akvaplaning-efta i nekontrolirane vožnje. Debljina vodnog filma postavlja se u ovisnost od više faktora, kao što su: geometrijske karakteristike kolnika, struktura kolničke površine, stanje pneumatika, intenzitet i trajanje oborina itd. Međusobna zavisnost parametara, koji

a) SEKTOR S KRUŽNIM DIJELOM I PRAVCEM



b) SEKTOR S KONTRA KRIVINOM



Slika 1 — Osnovni načini polaganja prijelaznih krivina

1.2. Dijagonalni nagib kolnika (p)

Prema grubljij aproksimaciji, smjer i brzina otklapanja vode po kolniku određuje dijagonalni nagib (p). Dijagonalni je nagib predstavljen vektorskim zbrojem veličine uzdužnog (s) i poprečnog (q) nagiba:

$$p = \sqrt{s^2 + q^2}$$

Domaći propisi ne reguliraju minimalnu veličinu dijagonalnog nagiba, dok se npr. njemački uputama i smjernicama preporučuje dopuštena veličina $p \text{ min} = 0,5\%$.

2. Voda na kolniku

Zadržavanje i otklapanje voda s površina kolnika posljedica je utjecaja klimatsko-hidroloških okolnosti, geometrijskih elemenata kolnika i strukture kolničkog zastoja.

2.1. Mjerodavna oborina

Polazni parametar za proračun dotoka i vodenog taloga na kolničkoj površini je mjerodavna oborina.

Ona također regulira stupanj mjera nužnih za odvodnju. Za određivanje veličine mjerodavne oborine potrebna je analiza intenziteta oborina u funkciji s trajanjem oborine (t) i periodom ponavljanja (T). Na temelju opsežnih rezultata ombrografskih mjerenja određena je funkcija:

$$i = f(t, T),$$

Pitanje je izbora kriterija za usvajanje mjerodavne oborine, tj. njezinog trajanja i perioda, ponavljanja.

U domaćoj cestogradnoj regulativi o ovom problemu nema detaljnijih odredbi. U uputama za odvodnju gradskih prometnica stoji da je za dimenzioniranje in-terne kanalizacije mjerodavan intenzitet 15-minutnih oborina:

- za prometnice višeg reda, $i = 150 \text{ l/sek/ha}$
- za prometnice nižeg reda, $i = 120 \text{ l/sek/ha}$.

Höcker [6] navodi rezultate istraživanja na tom području (Johansen i njemačka meteorološka služba), koji se mogu sažeti u tri konstatacije:

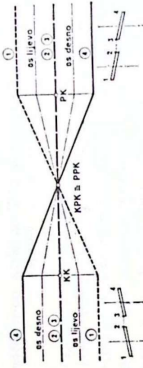
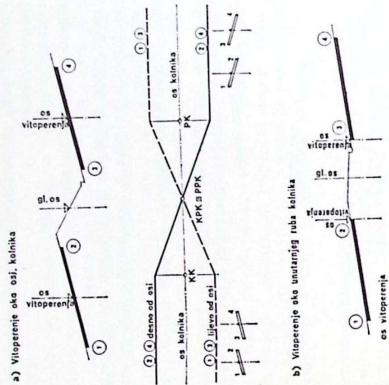
- oborine padaju oko 11—12% ukupnog vremena,
- učestalost kišnih intenziteta slijedi otprilike normalnu razdiobu s maksimumom oko $6 \times 10^{-3} \text{ mm/min}$,
- oko 97% zabilježenih intenziteta kiše leže ispod $0,1 \text{ mm/min}$, što odgovara kišnoj izdašnosti od samo 17 l/sek/ha.

2.2. Akvaplaning

Nastajanje akvaplaning-efteka na mokrom kolniku (engl.: dynamic hydroplaning) predstavlja kod određenih brzina vožnje veliku opasnost u pogledu sigurnosti. Sto je akvaplaning?

U zadnje se vrijeme sve više prometnih nesreća dovodi u najužu vezu s akvaplaningom. U engleskoj i njemačkoj tehničkoj literaturi akvaplaning se, najkraće, definira kao sklizanje na vodi. Određene smjernice za prometnu sigurnost daju ovu definiciju:

Pod akvaplaningom razumijeva se >plivanje< kotača vozila s velikom brzinom (ili kod blokade kotača) na mokrom kolniku zbog nastanka hidrodinamičkog prit-



Slika 3 — Osnovni oblici vitoperenja kolnika auto-ceste

Prema njemačkim smjernicama [5], minimalni nagib rampe vitoperenja određen je iznosom:

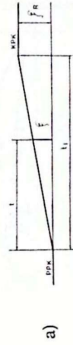
$$\Delta s \text{ min} = 0,3\%$$

Ovom zahtjevu mora biti udovoljeno u zonama prijelaza s kombinacijom duge prijelazne krivine i velikog radijusa (skraćeno loše odvodnjenoj sektora trase).

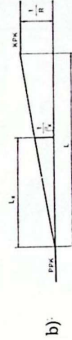
Osiguranje odvodnje u usjeku i s kolnikom u neznačajnom uzdužnom nagibu (s) određeno je zahtjevom:

$$s \geq \Delta s (\%)$$

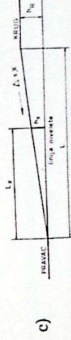
PUT ODRAMA PREDNJI VODICA



UNIA ZAKRIVLJENI PRLAZNE RMPNE

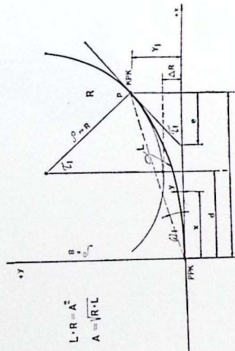


NAGIB RAMP VITOPERENJA



Slika 4 — Analitički prikaz rampe vitoperenja

b) OSNOVNI PODACI ZA IŠKOLNICE



Slika 2 — Prikaz lučne radioide (klotoida)

$$L_x \cdot q_x = C$$

odnosno, za $C = A^2$ (prema novijem obilježavanju, ref. 2)

$$L \cdot R = A^2$$

$$A = \sqrt{R \cdot L}$$

Parametar klotoida A predstavlja faktor povećanja ili smanjivanja linearnih veličina (R, L, d, ΔR, X, y itd.), dok je vrijednost kutnih veličina nepromijenjena (ob, γ1 i sl.).

Vitoperenje kolnika obavlja se u pravilu duž prijelazne krivine. U praksi se još uvijek primjenjuju poligonalne rampe vitoperenja, budući da eksploatacijske brzinne ne prelaze preko 150 km/sat (sl. 4 d). Kut loma je ublažen relativno velikim duljinama prijelaznih krivina koje se u praksi primjenjuju (od 0,3% do 1,5%). U teoretskim razmatranjima za vrlo velike brzine vožnje (moderni željeznice) umjesan je zahtjev da se lomovi rampe vitoperenja previde sa zaobljenjem u obliku neprekidne krivulje (kubna parabola, npr.). Ne dopušta se zaobljenje lomova rampe na račun nadvoznjaka rubova kolnika. Iznimka može biti samo na sektorima serpentina kod najnižih kategorija prometnica.

Nagib rampe vitoperenja definiran je nagibom ruba kolnika s obzirom na os oko koje se vrši vitoperenje. Ko- relacija između računске brzine (Vr) i dopuštenog nagiba rampe vitoperenja (Δs max) regulirana je domaćim propisima [3,4] i stranim smjernicama [5] prema tabeli:

Vr (km/sat)	40	60	80
Δs max (‰)	1,50	1,0	0,50

Neki osnovni oblici vitoperenja prikazani su na sl. 3. Najmanji dopušteni nagib rampe vitoperenja (zbog odvodnje) određen je našim propisima:

— pri okretanju kolnika oko osi

$$\Delta s \text{ min} = 0,1 \cdot \frac{b}{2} (\%)$$

— pri okretanju oko ruba kolnika

$$\Delta s \text{ min} = 0,1 \cdot b (\%)$$

gdje je:

- a — širina kolnika s voznim trakama,
- b — najmanji dopušteni nagib rampe vitoperenja.

1. Voznodinamički uvjeti

Temeljni podatak za određivanje geometrijskih karakteristika trase i elemenata poprečnog profila predstavlja računska brzina (Vr). Proračunate veličine trebaju u eksploataciji garantirati sigurnost vožnje i udobnost; u ovom slučaju govorimo o zadovoljenju voznodinamičkih zahtjeva.

1.1. Geometrijsko oblikovanje u tlortu

Regulirano je da se prijelaz iz pravca u krivinu ili iz krivine u drugu krivinu (istog ili suprotnog smjera zakrivljenosti) provede prijelaznicom, tj. prijelaznom krivinom.

Prijelazna krivina između pravca i dijela s kružnom krivinom postavlja se iz slijedećih razloga:

- a) da bočni potisak x_1 ne nastupi iznenada nego da postupno raste do određene tolerantne granice: $(x_1 \leq 0,14 \text{ m/sek}^2 \text{ za } V_r = 80 \text{ km/sat}, x_1 \leq 0,23 \text{ m/sek}^2 \text{ za } V_r = 120 \text{ km/sat})$;
- b) da se pri prijelazu iz pravca u krivinu prednji kotači okreću kontinuirano do kuta zaokreta koji odgovara vožnji po sektoru kružnog luka;
- c) da se u vožnji pred vozačem trasa razvija u kontinuiranoj (psihološka podobnost);
- d) u pravilu, da se duž prijelaznice obavlja vitoperenje poprečnog profila i eventualno proširenja kolnika.

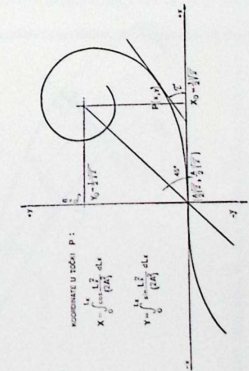
Prijelazna krivina mora ispunjavati osnovne voznodinamičke uvjete [1]:

- 1. Duž svojeg sektora prijelaznica mora slijediti određeni zakon zakrivljenosti.
- 2. Prijelaz iz pravca ($q = \infty$) do kružne krivine ($q = R$) mora se izvršiti kontinuirano i uniformno.
- 3. Prijelaznica mora u svojoj krajnjoj točki tangirati kružni luk.

Ove uvjete zadovoljava Eulerova spiralna krivulja, nazvana još lučna radioida (Leber, 1890) ili klotoida (Cesaro, 1901).

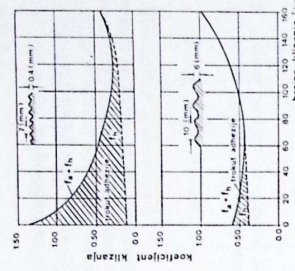
Osnovno svojstvo klotoida jest u tome da se radijus zakrivljenosti u domeni od $q = \infty$ do $q = R$ mijenja srazmjerno duljini krivine, a produkt luka i radijusa u svakoj točki je konstantan.

a) OŠI PRAZ KLOTODE



gumenog naplatka na dvije fizikalne komponente: adheziju i histerezu (sl. 8).

Zajedničko djelovanje adhezije i histereze za dva različita hrpava kolnika prikazano je na sl. 9.



Slika 9 — Odnosi priornjivosti i hrpavosti za dva tipa mokrrog kolnika

Na temelju brojnih ispitivanja ustanovljeno je da suhi kolnik manje hrpavosti i veće kontaktne površine ima veći koeficijent prijanjanja negoli kolnik grublje teksture.

3. Odvodnja kolnika

Postojeća regulativa [3, 4, 5] pruža projektantu samo okvirne upute za odvodnju sektora manjih poprečnih nagiba kolnika. Sve odrednice su bazirane na geometrijskim odnosima vozne plohe bez ukazivanja na vrste zastora, brzine vožnje i hidrodinamičkih karakteristika vodnog taloga na kolničkom kosini.

U svim novijim razmatranjima uzima se debljina vodnog filma kao kriterij ocjene stanja odvodnje. Analiza stanja odvodnje vitoperene plohe u zoni prijelazne krievine podliježe sagledavanju kompleksnih odnosa između svih utjecajnih veličina.

3.1. Teoretske postavke za odvodnju

Izgled površinske odvodnje, odnos zadržane vode i vrijeme trajanja kiše predloženi su shematski na sl. 10. U početnom stadiju kvašenja vozne površine još nema otjecanja. Količina zvezane vode D1 ovisi o svojstvima površine kolnika. U trenutku t1 postaje brzina vode v1 > v2, a povećanje vodne količine D2. U trenu t2 = t1 narasla je količina na iznos D3 = D2, dok za dužinu pada L1 nastaje stanje ravnoteže između dotoka intenziteta i otjecanja q1.

L1 · i · cos α = q1

Budući da su u praksi nagibi kolnika maleni, cos α ≈ 1:

L1 · i = d · v

i = 1 / (2 · R · I)

Prema Chezyu vrijedi: v = c · R · I, odnosno

L1 · i = d · v = d · k0 · (p/100)

metom mnogobrojnih istraživanja (Kalendar, Höcker, Lehnert).

Höcker je, između ostalog, u svojim eksperimentima istraživao odnos vodnog filma, intenziteta i puta otjecanja za razne vrste zastora (sl. 7). U ovom je slučaju dokazano da pri intenzitetu i = 0,1 mm/min (95%/h) i za glatki asfalbetonski kolnik nastaje mala debljina vodnog filma (d < 0,5 mm). Za iste uvjete tvrdolijevani obravljivi zastor ima samo zatvorenu vodu u hrpavoj površini.

Kalendar [7] je poput Höckera došao do spoznaje da je najmanji poprečni nagib u pravcu qmin = 2,5% opravdan s obzirom na odvodnju i razne vrste hrpavosti modernih kolnika. Minimalni poprečni nagib nužan je bez obzira na uzdužni nagib trase kako bi put otjecanja bio odgovarajuće kratak, a debljina vodnog filma minimalna.

Petrazek je proučavao debljinu vodnog filma pod posebnim uvjetima. Dokazao je da se za neznatne intenzitete kiše i male nagibe vozne površine (pod intervalima vjetra od oko 3 m/sek, suprotno od smjera odvodnje) povećava debljina vodnog filma do 80%/h.

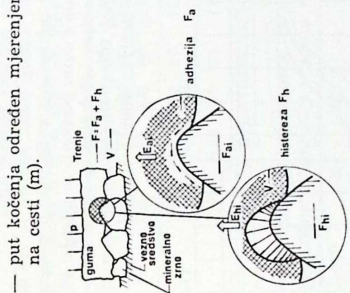
2.6. Priornjivost ili hvatljivost

Vlažnost površine kolnika, tekstura (hrpavost), vrsta kolnika i profiliranje pneumatika vozila najdirektnije utječu na hvatljivost zastora.

Prema našim propisima [3] hvatljivost kolničkog zastora izražava se koeficijentom longitudinalnog otpora klizanja vlažne vozne površine. Pri brzini V = 50 km/sat ovaj koeficijent ne smije prelaziti vrijednost f = 0,6. Mjerenje koeficijenta na gotovom kolniku obavlja se u laboratoriju metodom klizna (Leroux 1961.) i služi u praksi za utvrđivanje dužine zaustavnog puta:

f = 254 · Lk / Vz

gdje je: f — koeficijent uzdužnog trenja, V — brzina vozila prije kočenja (km/sat), Lk — put kočenja određen mjerenjem tragova na cesti (m).



Slika 8 — Prikaz nastanka sile prijanjanja

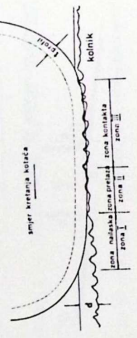
Mehanizam međusobnog djelovanja kotača i vozne podloge, te razjašnjenje same sile prijanjanja (Kraftschluss) dali su američki i njemački autori (Gough, Saal, Meyer, Kummer). Ovi autori svode mehanizam trenja

prije i poslije kiše, te ponašanje raznih vrsta zastora u nabrojenim uvjetima.

2.5. Hrpavost vozne površine

Za osiguranje dovoljne hvatljivosti mora kontaktna površina između kolnika i pneumatika biti neometano i brzo odvodnjena.

Prema trozonskom modelu Gougha (sl. 6), prijelaz pneumatika preko mokrog kolnika sadrži: zonu približavanja (zonu pneumatskog pretklona), zonu prijelaza (prvog kontakta i istiskivanja vode) i pravu kontaktnu zonu (veza sile prijanjanja).

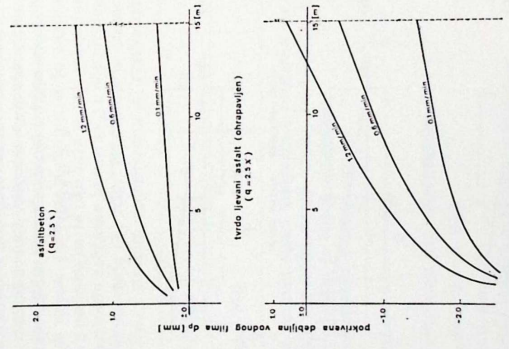


Slika 6 — Trozonski model Gougha za ponašanje naplatka na mokrom kolniku

O prisutnosti zatvorenog vodnog filma ovisi veličina hvatljivosti u kontaktnoj zoni te iznos i djelotvornost zone prijelaza. U zoni prijelaza treba pod pritiskom istisnuti vodu pomoću žljebova (profiliranja) pneumatika i hrpave površine kolnika.

Drenažni je sistem (profiliranje naplatka i tekstura vozne plohe) tokom vremena doživio promjene u obliku i u volumenu. Hrpavost kolnika pri tome ima jači učinak, budući da povećanje hrpavosti ima kao posljedicu veću sposobnost drenažiranja.

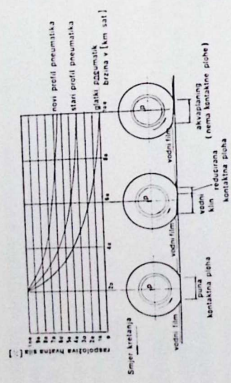
Utjecaj raznovrsnih zastora na odvodnju, debljinu vodnog filma i sposobnost zadržavanja vode bio je pred-



Slika 7 — Ovisnost debljine vodnog filma o vrsti kolničkog zastora

ska koji je veći od međusobnog plosnog pritiska između kolnika i pneumatika. Pojam akvaplaninga opisuje, dakle, stanje koje nastaje kod određene kritične brzine kad je pritisak u vodnom filmu postao tako velik da nosi ukupni teret kotača i vozila.

Nastanak akvaplaninga objašnjava se u ovisnosti o brzini vozila, stanju pneumatika, postotku hvatljivosti kolnika i teksture kolničkog zastora (sl. 5).



Slika 5 — Prikaz nastanka akvaplaninga prema Hofferberthu

Njemački autori Knoll i Nazet uz razjašnjenje ovog efekta daju i načine, odnosno mogućnosti eliminiranja nastanka akvaplaninga:

- a) potrebno je odgovarajuće ponašanje sudionika u prometu, prvenstveno smanjenje brzine kod kišnog vremena;
- b) opremiti vozilo dobro profiliranim pneumaticima na kotačima;
- c) dobro trasirati i projektirati cestu;
- d) izvesti kolničku površinu s dovoljnom hvatljivošću zastora.

2.3. Raspršena voda iza vozila

Nastajanje raspršene vode ili stvaranje vodne zavjese (njem.: Sprühfahnenbildung) iza vozila proizlazi iz zajedničkog djelovanja oslobodne vode od pritiska kotača, usisavanja i strujanja zraka, te izdizanja dijela vodnog filma s mokrog kolnika. Pri tome se voda miješa s prljavštinom na kolniku i kao neprozirna vodena zavjesa određeno vrijeme lebdi u zraku, ometajući vidljivost vozilima u nalisku.

Količina vodene prašine ovisi prvenstveno o debljini vodnog filma i brzini vozila, te o zatvorenosti površine kolnika i istrošenosti pneumatika.

2.4. Sposobnost zadržavanja vode (D)

Uz debljinu vodnog filma, sposobnost zadržavanja vode (njem.: Wasserrückhaltevermögen) je dodatni kriterij za procjenu kvalitete odvodnje kolnika.

Mora se razlikovati otvorena voda (-d) ispod konturne plohe i zatvoreni vodni film (+d). Sposobnost zadržavanja prema Höckeru [6] ovisi o mnogobrojnim faktorima: o jakosti kiše, veličini površine za odvodnju, odnosa među nagibima vozne površine, hrpavosti i glatkoće kolnika, vjetrova i sl. Posebno se ukazuje na značajne zadržavanja vode, pa je mnogobrojnim pokusima ustanovljena međuovisnost nabrojenih utjecajnih faktora. Analizirana je veličina zadržane vode u kolniku