

# VITOPERENJE KOLOVOZA NA DEONICAMA AUTOPUTEVA SA MALIM REZULTUJUĆIM NAGIBIMA

**Vladan Ilić, mast.inž.građ.<sup>1</sup>**

Docent, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

**Dejan Gavran, dipl.građ.inž.**

Vanredni profesor, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, [gavran@eunet.rs](mailto:gavran@eunet.rs)

**Sanja Fric, dipl.građ.inž.**

Docent, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, [sfric@grf.bg.ac.rs](mailto:sfric@grf.bg.ac.rs)

**Filip Trpčevski, mast.inž.građ.**

Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, [frpcevski@grf.bg.ac.rs](mailto:frpcevski@grf.bg.ac.rs)

**Stefan Vranjevac, mast.inž.građ.**

Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, [svranjevac@grf.bg.ac.rs](mailto:svranjevac@grf.bg.ac.rs)

**Miloš Lukić, mast.inž.građ.**

Asistent, Univerzitet u Beogradu - Građevinski fakultet, [mlukic@grf.bg.ac.rs](mailto:mlukic@grf.bg.ac.rs)

**Rezime:** Osovine autoputeva, a naročito onih u ravničarskom terenu, sastoje se od dugačkih horizontalnih kružnih i prelaznih krivina. Po pravilu podužni nagibi na ravnom terenu su blagi, i u kombinaciji sa poprečnim nagibima bliskim nuli u zoni infleksije, stvaraju loše uslove za oticanje vode sa površine kolovoza. Dakle, u zonama gde su i podužni i poprečni nagibi bliski 0%, nalaze se površine na kojima se može očekivati zadržavanje vode. Postoje dve metode za rešavanje ovog problema. Prva se odnosi na primenu krovastog vitoperenja, sa dijagonalnim slemenom u preseku ravni kolovoza koje ide od leve do desne ivice kolovozne ploče autoputa, obezbeđujući da u zoni infleksije nijedan poprečni nagib ne bude manji od 2%. Ovakav način vitoperenja kolovoza mora da se obavi na dovoljnoj dužini, kako bi se minimizirao uticaj na dinamiku vozila. Druga metoda bazira se na primeni dvostepenog vitoperenja kolovoza. Veći nagib rampe vitoperenja koristi se u samom središtu zone infleksije (blizu tačke infleksije), čime se skraćuje dužina poteza kolovoza sa nedovoljnim poprečnim nagibom. U srpskim propisima za projektovanje puteva apsolutno minimalni podužni nagib ivica puta koji se zahteva za površinsko odvodnjavanje ograničava se na 0.3%. Osim srpskih, u radu je prikazano kakva rešenja za problem vitoperenja i dreniranja infleksione zone autoputa nude nemačke i švajcarske smernice i propisi za projektovanje puteva.

**Ključne reči:** rezultujući nagib, dvostepeno vitoperenje, krovasto vitoperenje, poprečni nagib, podužni nagib

## PAVEMENT SUPERELEVATION ON MOTORWAY SECTIONS WITH LOW TOTAL GRADIENTS

**Abstract:** Motorway horizontal geometry, especially when constructed in flat terrain, are composed from large circular and transition curves. Naturally, longitudinal grades in flat terrain are shallow and, when combined with the cross grades nearing 0% in the inflection zones, produce poor drainage condition of pavement surface. So, zones with both longitudinal and cross grades close to 0%, are areas where standing water might be expected. There are two methods of resolving this problem. The first one is to deploy crowned pavement, with the diagonal crown line, running from left to right pavement edge, providing that no cross grade lesser than 2% could be found in the inflection zone. This kind of pavement transition is to take place on the sufficiently long stretch of pavement, thus minimizing effect on the vehicle dynamics. Second method is based on variable superelevation rate. Higher rate of superelevation is to be used in the very heart of the inflection zone, thus shortening the stretch of pavement with insufficient cross grade. In the Serbian road design standards, the absolute minimum longitudinal grade of road edges regarding rain water drainage requests is limited to 0.3%. In addition to the Serbian ones, the paper presents how the German and Swiss road design guidelines and standards address the problem of superelevation and pavement drainage in the motorway inflection zone.

**Keywords:** total gradient, variable superelevation rate, crowned pavement, cross grade, longitudinal grade.

---

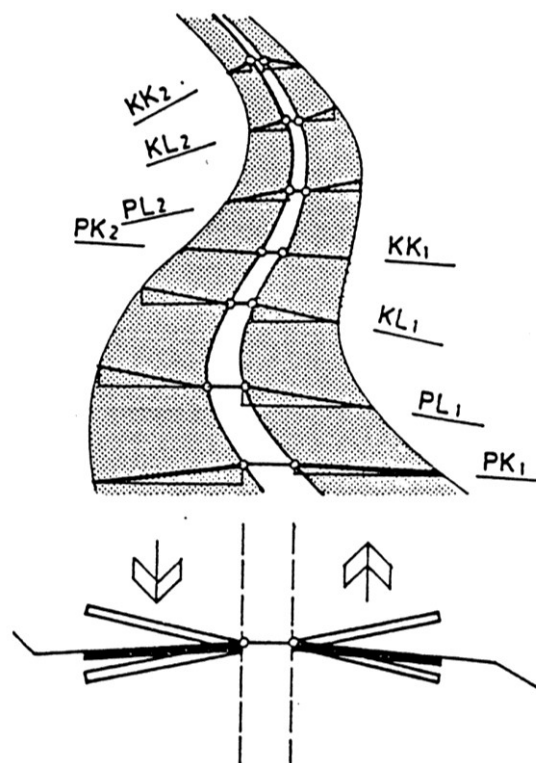
<sup>1</sup> Autor zadužen za korespondenciju: [vilic@grf.bg.ac.rs](mailto:vilic@grf.bg.ac.rs)

## 1. UVOD

Vitoperenje kolovoza na autoputevima predstavlja jedan od najdelikatnijih zadataka za inženjere projektante trase autoputa, bilo da se radi o projektovanju novog ili rekonstrukciji postojećeg autoputa. Pored voznodinamičkih zahteva koje nameće sama geometrija osovine autoputa kao najkapacitetnije saobraćajnice, treba obezbediti i sve uslove za sigurnu i udobnu vožnju. U tom kontekstu, poseban problem predstavlja dreniranje kolovoza autoputa, naročito ako je autoput projektovan sa malim podužnim nagibom nivelete, što nije redak slučaj, posebno u ravničarskim terenima. Na takvim terenima, horizontalni radijusi i prelazne krivine osovine autoputa najčešće su znatno veći od propisanih minimalnih vrednosti ( $R_{min} = 800 \text{ m}$  i  $A_{min} = 300 \text{ m}$  za računsku brzinu  $V_r = 130 \text{ km/h}$  [1]). To po automatizmu uslovljava primenu manjih vrednosti poprečnih nagiba u kružnim krivinima, što dalje za posledicu ima veoma male vrednosti nagiba rampi vitoperenja. Pošto je zbog karaktera terena podužni nagib nivelete autoputa mali i najčešće blizak nuli, rezultujući nagibi kolovoza, posebno u zonama infleksije, nisu dovoljno veliki da obezbede efikasno odvođenje vode sa površine kolovoza. Zanemarivanje ovog "geometrijskog" problema može kasnije imati neželjene posledice, naročito po bezbednost saobraćaja, ako se dobro zna da zarobljena voda na površini kolovoza predstavlja rizik za pojavu efekta "Aquaplaninga" [2].

## 2. VITOPERENJE KOLOVOZA AUTOPUTA PO SRPSKIM STANDARDIMA

U Srbiji se kolovozi autoputeva koji su projektovani sa minimalnom širinom srednje razdelne trake ( $R_t = 3.00 - 4.00 \text{ m}$ ) vitopere oko leve ivice kolovozne ploče uz razdelnu traku (**Slika 1**). Na taj način postiže se standardno nivelaciono rešenje srednje razdelne trake koja ostaje u horizontali, što ima kako tehničke tako i estetske prednosti. Kod autoputeva u brdovitom terenu sa samostalno vođenim kolovozima, odnosno kaskadiranim poprečnim profilom, može se preporučiti vitoperenje razdvojenih kolovoznih ploča oko njihovih osovine.



**Slika 1.** Vitoperenje kolovoznih ploča autoputa oko ivica razdelnog pojasa (Izvor: [3])

Jedan od ključnih parametara brzine promene poprečnog nagiba kolovoza, odnosno pokazatelja intenziteta vitoperenja, jeste nagib rampe vitoperenja  $i_v$ . U geometrijskom smislu, nagib rampe vitoperenja  $i_v$  predstavlja razliku između podužnog nagiba ivice vitoperenog kolovoza i osovine oko koje je izvršeno to vitoperenje. Računski se nagib rampe vitoperenja  $i_v$  dobija kao [1]:

$$i_{rv} = b \cdot (i_{pk} - i_p) / L_{rv} \quad [\%]$$

gde je:

$i_{rv}$  - nagib rampe vitoperenja [%];

$b$  - odstojanje ivice kolovoza od osovine vitoperenja [m] - u literaturi se ovo odstojanje često naziva i širinom krila vitoperenja [4];

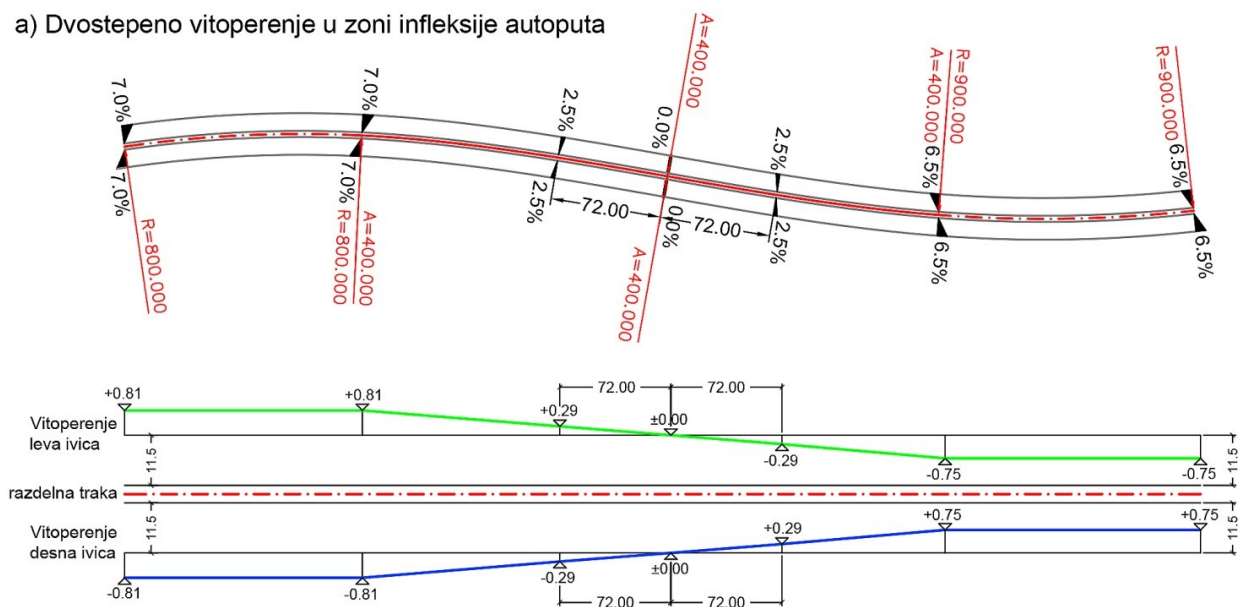
$i_{pk}$  - poprečni nagib kolovoza na kraju područja vitoperenja [%];

$i_p$  - poprečni nagib kolovoza na početku područja vitoperenja [%];

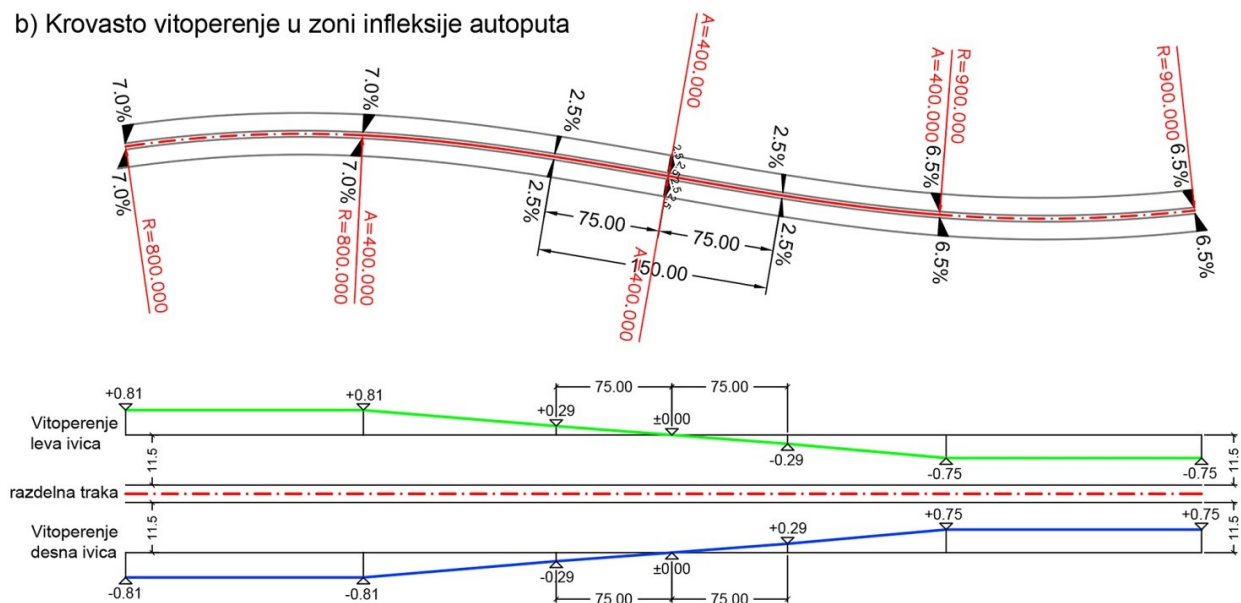
$L_{rv}$  - rampa vitoperenja [m].

Maksimalna vrednost nagiba rampe vitoperenja  $i_{rv,max}$  za autoputni profil i računsku brzinu  $V_r = 130$  km/h za koju se projektuju elementi geometrije autoputa u Srbiji iznosi 0.9 %, dok je minimalni dopušteni nagib rampe vitoperenja  $i_{rv,min} = 0.4$  % [1]. Kod dvostepenog vitoperenja u zoni infleksije, vrednost kritičnog poprečnog nagiba iznosi **krit  $i_p = 2.5$  %**, odnosno **min.krit  $i_p = 1.5$  %**. Najčešće u zonama infleksije, naročito na deonicama sa malim podužnim nagibima nivelete, vrednosti rezultujućeg nagiba kolovozne površine manje su od vrednosti kritičnog nagiba oticanja površinskih voda. Pored primene dvostepenog vitoperenja, u takvim slučajevima može se primeniti i specijalna forma vitoperenja formiranjem krovastog profila kolovozne ploče autoputa u ugroženoj zoni na dužini od min 150.00 m za računsku brzinu  $V_r = 130$  km/h (Slika 2).

a) Dvostepeno vitoperenje u zoni infleksije autoputa



b) Krovasto vitoperenje u zoni infleksije autoputa

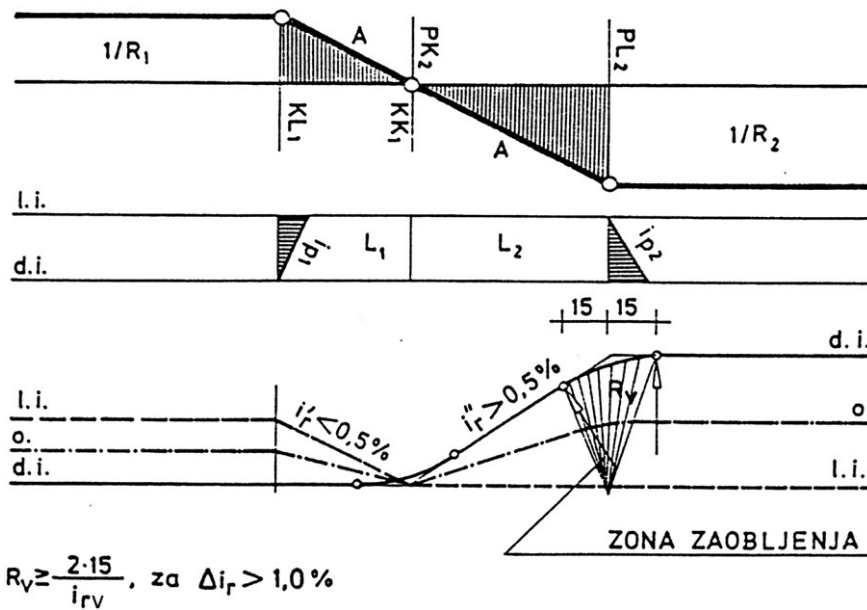


**Slika 2.** Vitoperenje kolovoznih ploča autoputa u zoni infleksije sa malim vrednostima rezultujućih nagiba kolovozne površine: a) dvostepeno vitoperenje; b) krovasto vitoperenje (Izvor: Autori)

Deonica autoputa prikazana kao primer na **Slici 2** ima veoma mali podužni nagib  $i_n = 0.3 \%$ , zbog čega su vrednosti rezultujućih nagiba u zoni infleksije, pre primene dvostepenog, odnosno krovastog vitoperenja, bile manje od kritičnih nagiba neophodnih za oticanje površinske vode. Upravo, kod ovako blagih nagiba nivelete, u slučaju primene strmijih nagiba rampi vitoperenja pri bržoj promeni poprečnog nagiba kolovoza, dolazi do stvaranja neestetškog izgleda linije ivice kolovoza („lepeza“) i pojave „testere“. Po domaćim propisima [1], kod svih preloma rampi vitoperenja oštine veće od  $1.0 \%$  zaobljavaju se ivice kolovoza radijusom zaobljena definisanim sledećim izrazom:

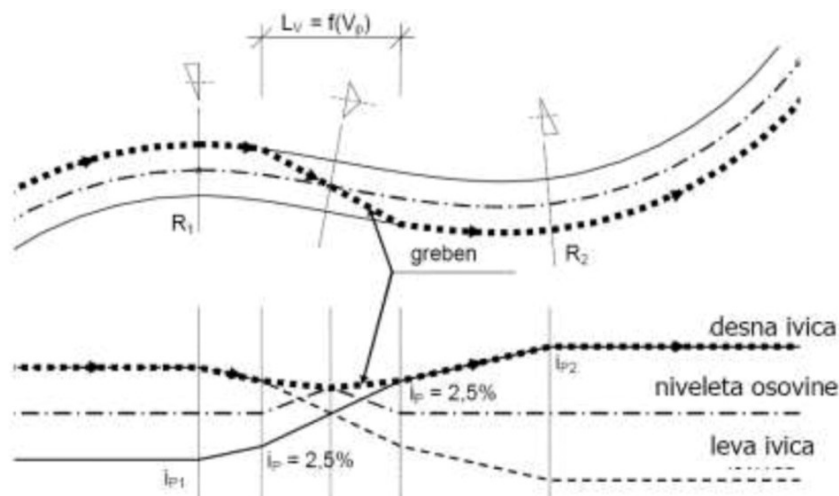
$$R_v = \frac{2 \cdot 15}{i_{rv}} \text{ [m]}$$

Primer zaobljenja krajnjih ivičnih linija kolovoznih ploča kada je oština preloma rampi vitoperenja veća od  $1 \%$  dat je na **Slici 3**.



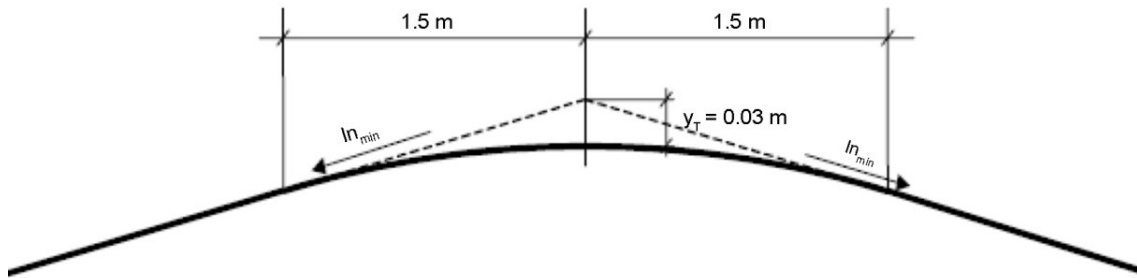
**Slika 3.** Zaobljene ivičnih linija kolovoza kada je oština preloma rampi vitoperenja veća od  $1.0 \%$  (Izvor: [3])

Zaobljene oštrijih preloma ivičnih linija kolovoza usled strmijih nagiba rampi vitoperenja može da se izbegne ako se poprečni nagib kolovoza menja po dijagonalnoj osovini vitoperenja, odnosno, primenom krovastog profila kolovoza na određenoj dužini. Prelazni deo kolovoza u zoni infleksije, na delu između suprotno usmerenih poprečnih nagiba  $\pm$  **krit**  $i_p = 2.5 \%$  ( $L_k$ ), može da se izvede krovnim profilom kod kojeg se teme, opisujući greben krova, dijagonalno pomera sa jedne više ivice kolovoza do druge (**Slika 4**).



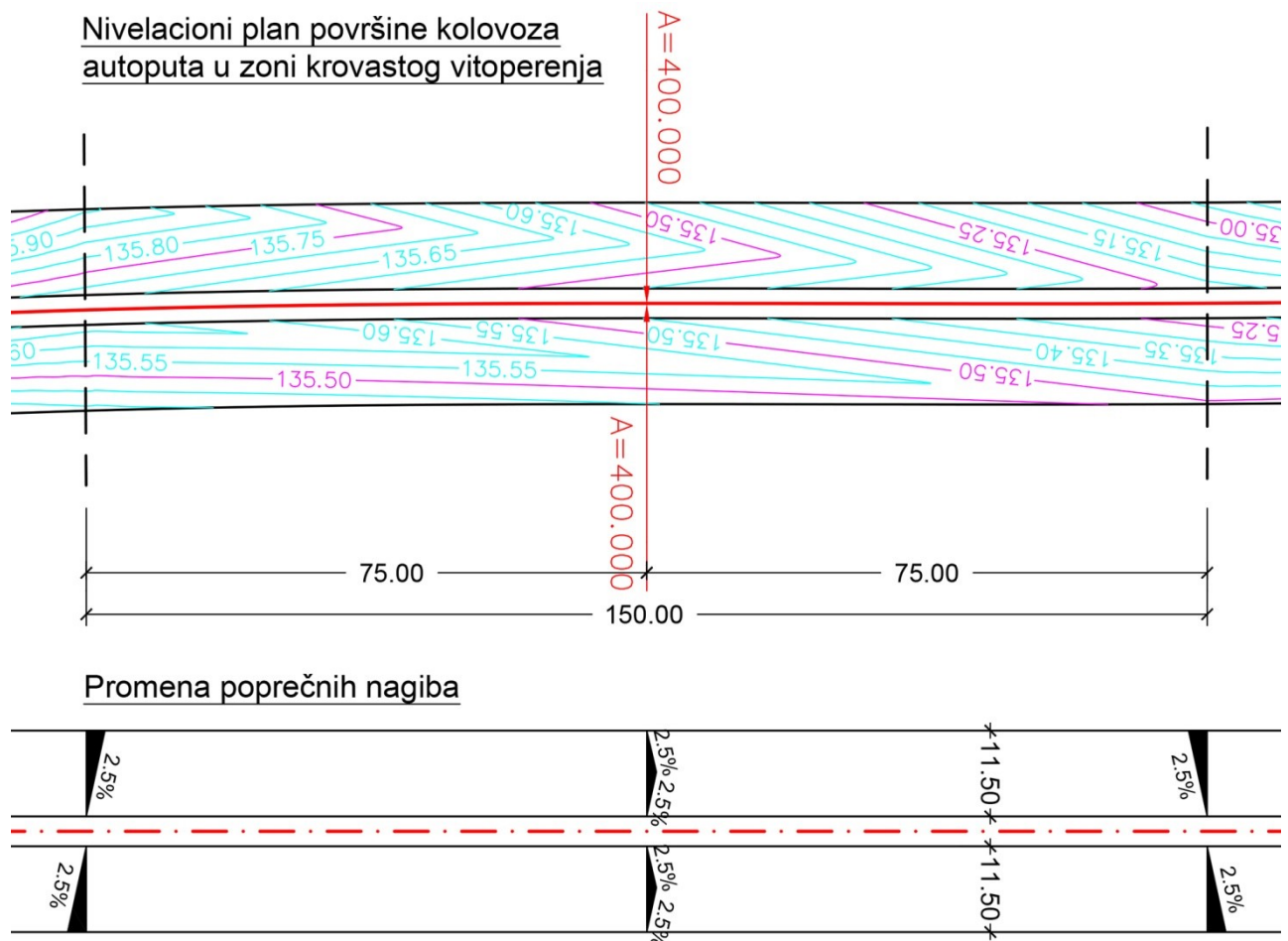
**Slika 4.** Vitoperenje kolovoza sa krovastim profilom (Izvor: [4])

Kako bi se ublažio prelom kolovoza na grebenu po dijagonali krova, zona sa krovnim profilom kolovoza treba da se zaobli u temenu kao na **Slici 5**.



**Slika 5.** Zaobljenje kolovoza po grebenu krova u zoni krovastog vitoperenja kolovoza (Izvor: [4])

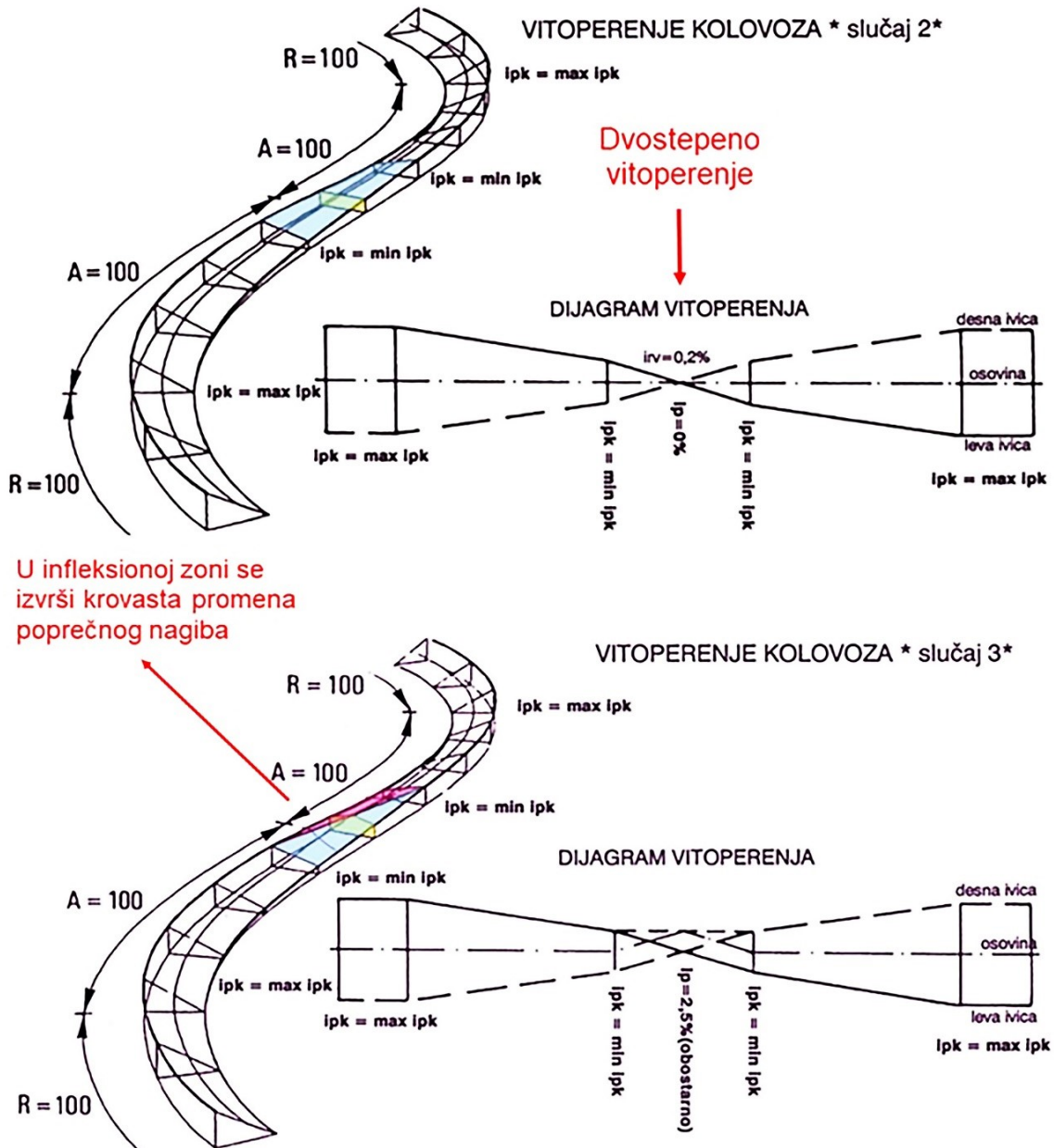
Uprkos zaobljenju kolovoza po grebenu, vožnja preko ovako vitoperenog kolovoza nije prijatna, naročito pri brzinama iznad 100 km/h, kakve su uobičajene na autoputu. Zbog dijagonalnog "lomljenja" površine kolovoza na dve ravni sa suprotno usmerenim poprečnim nagibom od 2.5%, na delu površine svake od dveju kolovoznih ploča autoputa u zoni infleksije saobraćajne trake nemaju jedinstven poprečni nagib. Ovo se jasno vidi po "lomovima" izohipsi na nivelacionom planu površine kolovoza autoputa u zoni infleksije gde je primenjeno krovasto vitoperenje. Nivelacioni plan površine kolovoza autoputa sa krovstvim vitoperenjem prikazan je u krupnijoj razmeri na **Slici 6** na primeru autoputa iste geometrije osovine kao na **Slici 2b**.



**Slika 6.** Izohipse na nivelacionom planu kolovoza autoputa u zoni krovastog vitoperenja (Izvor: Autori)

Osim povećanih dinamičkih uticaja na sistem oslanjanja, a posredno i na vozača vozila pri većim brzinama, precizno izvođenje kolovoza sa krovstvim profilom nije jednostavan građevinski poduhvat, pre svega zbog dijagonalnog "lomljenja" poprečnog nagiba kolovozne ploče autoputa.

Zbog nejedinstvenog nagiba saobraćajnih traka unutar područja koje je uređeno dijagonalnim „klizećim“ krovnim profilom, taj način promene poprečnog nagiba kolovoza ne preporučuje se na putevima za najveće brzine vožnje (> 100 km/h). Komfortnije rešenje u odnosu na krovasto vitoperenje svakako je dvostepeno vitoperenje (Slika 7). Međutim, ovaj vid vitoperenja kolovoznih ploča autoputa, zbog rezultujućih nagiba kolovoza manjih od 1.5% često nije moguće primeniti u dugačkim zonama infleksije autoputnih deonica u ravničarskom terenu. U Srbiji dosada još nije urađeno eksperimentalno istraživanje koje bi ponudilo jasan odgovor na pitanje, da li je rezultujući nagib od 1.5% zaista neophodan u infleksionim zonama autoputeva sa povoljnim površinskim karakteristikama kolovoza (mikrotekstura i makrotekstura) sa aspekta odvodnjavanja.

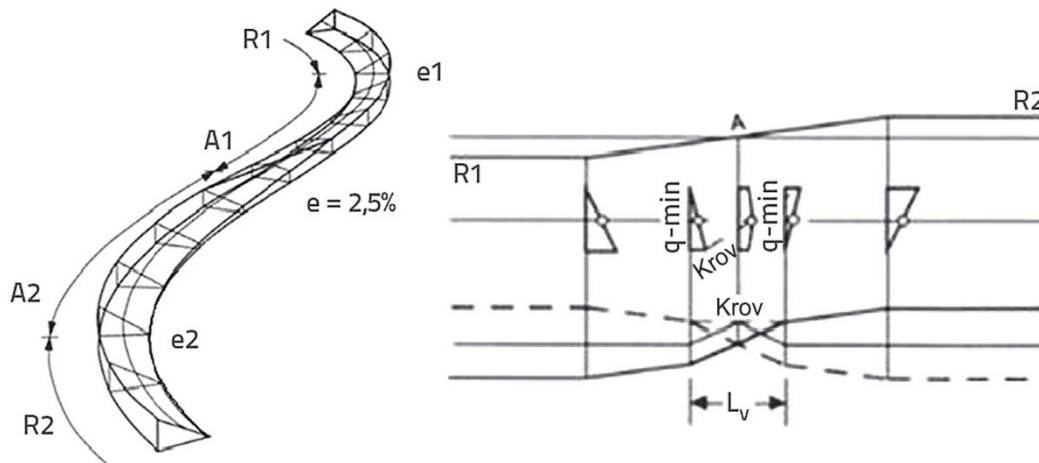


Slika 7. Trodimenzionalni prikaz dvostepenog i krovastog (dijagonalnog) vitoperenja kolovoza (Izvor: [1])

### 3. PRIMENA KROVASTOG VITOPERENJA U NEMAČKOJ, AUSTRIJI I ŠVAJČERSKOJ

Relevantne studije u razvijenim evropskim zemljama jasno su pokazale da je zona infleksija S krivih sa poprečnim nagibima bliskim nuli rizična zona sa stanovišta bezbednosti saobraćaja, odnosno zona koja je najviše podložana riziku od pojave "Aquaplaninga" efekta. Kako bi se u zoni infleksije eliminisao poprečni nagib kolovoza jednak nuli, u Nemačkoj i Austriji takođe se koristi krovasto vitoperenje kolovoza u zoni infleksije. I ovde se prilikom krovastog vitoperenja greben u preseku kolovoznih ravni sa poprečnim nagibom od 2.5% vodi po dijagonali koja spaja suprotne ivice kolovoza, tako da karakteristični poprečni profil, isečen

tačno na mestu tačke infleksije, ima oblik krova sa dvostranim poprečnim nagibom kolovoza od 2.5%. Primer krovastog vitoperenja zajedno sa šemom poprečnih nagiba kolovoza u zoni infleksije prikazan je na **Slici 8**.



**Slika 8.** Zona infleksije sa krovastim vitoperenjem kolovoza na nemačkim putevima (Izvor: [5])

Iako se krovasto vitoperenje kolovoza pominje u nemačkim propisima za projektovanje puteva RAS-L [6] i autoputeva RAA [7], samo je u propisima za projektovanje autoputeva RAA data formula za proračun dužine  $L_v$  na kojoj treba da se izvrši krovasto vitoperenje. Dužina  $L_v$  se računa u funkciji širine kolovoza i računске brzine  $V_r$  kao:

$$L_v = 0.1 \cdot B \cdot V_r$$

gde je:

$L_v$  - dužina krovastog (dijagonalnog) vitoperenja [m];

$B$  - širina kolovozne ploče autoputa [m];

$V_r$  - računska brzina [km/h].

Za razliku od srpskih propisa, gde se minimalni podužni nagib ivica kolovoza puta ograničava na vrednost minimalnog hidrauličnog pada, odnosno 0.3%, u nemačkim propisima RAS-L [6], apsolutno minimalni podužni nagib ivica puta ograničava se na 0.2%. Takođe, u nemačkim propisima primena ovako malog podužnog nagiba ivica kolovoza dozvoljava se samo u izuzetnim slučajevima, dok se kao minimalna preporučena vrednost navodi podužni nagib od 0.5%.

U švajcerskim normama za poprečne nagibe i vitoperenje kolovoza puteva SN 40120 [8] minimalna dužina zone sa krovastim vitoperenjem data je u tabelarnoj formi:

**Tabela 1.** Dužine zone sa krovastim vitoperenjem

Računska brzina $V_r$ [km/h]	120	100	80
$L_{\text{min-krov}} (p = 3\%)$ [m]	12 B	10 B	8 B

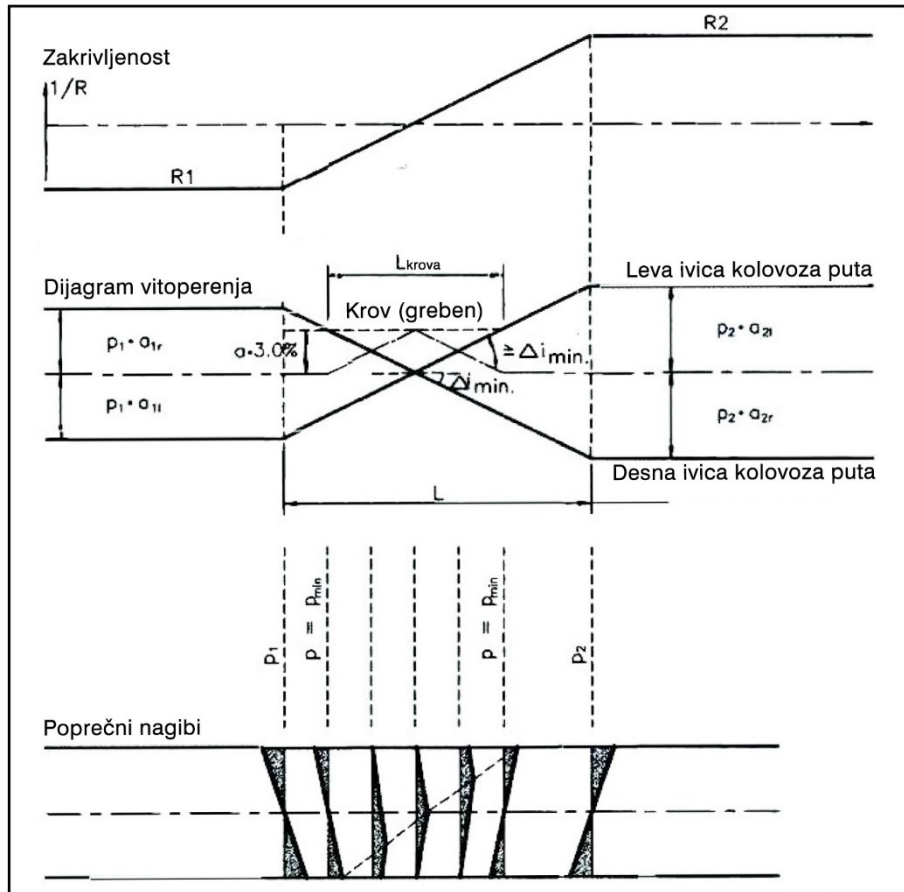
Izvor: SN 40120 [8]

gde je  $B$  širina kolovoza u [m].

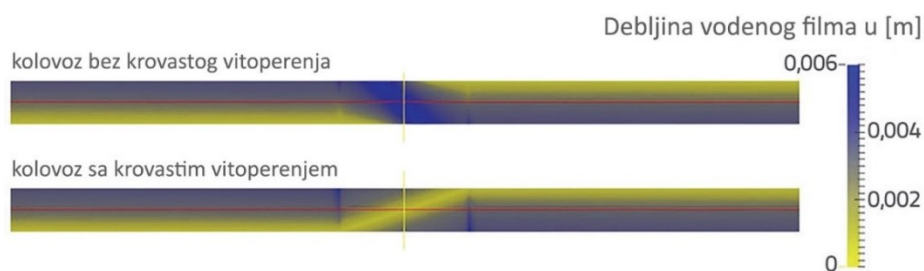
Kada se uporede dužine zone sa krovastim vitoperenjem dobijene na osnovu prethodne formula iz nemačkih propisa sa istim tim dužinama datim u **Tabeli 1** za švajcerske propise, vidi se da se u suštini dobijaju slične vrednosti dužina za izvođenje krovastog vitoperenja. Najveća razlika je što je u Švajcerskoj uslovljeno da poprečni nagibi kolovoza na početku i na kraju zone sa krovastim vitoperenjem moraju biti po 3 [%], kao što se vidi na **Slici 9**.

Grupa autora [9] uradila je kompjutersku simulaciju oticanja vode sa površine krovasto vitoperenog kolovoza autoputa u zoni infleksije koristeći softver PSRM (Pavement Surface Runoff Model). PSRM softver je razvijen na Tehničkom univerzitetu u Štutgartu i najviše se primenjuje za modeliranje oticaja vode sa kolovoznih površina različitih karakteristika, kao i za proračun debljine vodenog filma za onu količinu vode koja se

zadržava na kolovozu. Dobijeni rezultati simulacije pokazali su da je krovasto vitoperenje veoma povoljno za brzo uklanjanje viška vode sa površine kolovoza u zoni infleksije autoputa sa malim podužnim nagibima. Kao što se vidi i na **Slici 10**, debljina vodenog filma koji se zadržava na krovasto vitoperenom kolovozu autoput je mala, pogotovo u poređenju sa kolovoznim površinama u zoni infleksije autoputa gde nije izvedeno krovasto vitoperenje. Istovremeno, kao glavni nedostatak krovastog vitoperenja, autori su ukazali na brojne teškoće prilikom izvođenja kolovoza sa takvim sistemom vitoperenja na terenu.



**Slika 9.** Krovasto vitoperenje kolovoza u zoni infleksije po švajcerskim standardima (Izvor: [8])



**Slika 10.** Simulacija oticanja vode sa krovasto vitoperene površine kolovoza u zoni infleksije autoputa pomoću PSRM softvera (Izvor: [9])

#### 4. ALTERNATIVNA TEHNIČKA REŠENJA ZA DRENIRANJE AUTOPUTNIH KOLOVOZA SA MALIM REZULTUJUĆIM NAGIBIMA

Pored primene posebnih sistema vitoperenja kolovoza kao što je krovasto vitoperenje, za poboljšanje dreniranja vode sa površine kolovoza autoputa u zonama sa malim rezultujućim nagibima koriste se i druga tehnička rešenja:

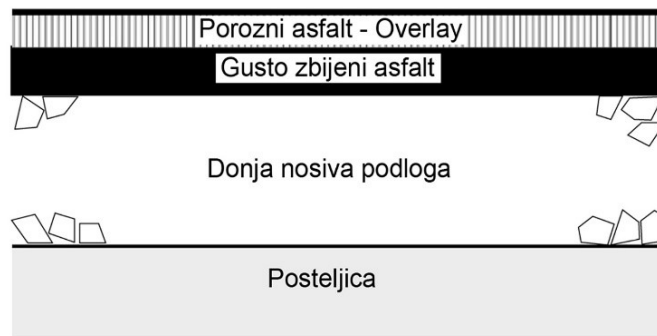
- Porozni asfalti
- Postavljanje poprečnih slivničkih rešetki
- Struganje kolovozne površine



#### 4.1 Porozni asfalti

Sposobnost dreniranja kolovoza, odnosno, smanjenja površinskog oticaja sa saobraćajnih površina kvalifikuje porozne asfalte kao efikasno rešenje za dreniranje kolovoznih površina u zonama infleksije autoputa. Kroz sloj poroznog asfalta na površini kolovoza voda se drenira i odvodi van habajućih slojeva kolovozne konstrukcije, čime se povećava vidljivost u lošim vremenskim uslovima za vreme pljuskova, kao i trenje između pneumatika vozila i površine kolovoza. Pored toga, smanjuju se odsjaj i pojava efekta zaslepljivanja, koji mogu nastati odbijanjem i prelamanjem svetlosti od farova vozila na površini vodenog filma koji nastaje zbog dužeg zadržavanja vode na kolovozu.

Porozni asfalti projektovani za dreniranje kolovoznih površina u zonama infleksije autoputa postavljaju se kao habajući završni slojevi kolovoza na ranije izgrađenu, vodonepropusnu fleksibilnu ili krutu kolovoznu konstrukciju. Ovakav tip poroznih asfalta u literaturi često se naziva "overlay", a u SAD se dosta koristi i termin "Permeable Friction Course - PFC" (Slika 11).



Slika 11. Porozni asfalti izvedeni preko postojećeg fleksibilnog asfaltnog kolovoza - Overlay (Izvor: [10])

Zbog osetljivosti veze između starog nepropusnog kolovoza i novog "Overlay" asfaltnog sloja, ne preporučuje se primena ovog tipa porozne kolovozne konstrukcije u klimatskim područjima sa dugim i oštrim zimama. Troškovi gradnje poroznih asfalta, mereno po jediničnoj površini (1 m<sup>2</sup>), generalno su za 20 % - 50 % veći u odnosu na standardne gusto zbijene asfaltno mešavine. Takođe, zbog potrebe da se kolovoz redovno čisti, veći su i troškovi održavanja. Velika mana je i ograničena trajnost poroznih kolovoza, odnosno, životni vek poroznog "Overlay" sloja uz redovno održavanje ograničen je na najviše 8-10 godina.

#### 4.2 Postavljanje poprečnih slivničkih rešetki

U zonama sa malim rezultujućim nagibima kolovoza, kao što su zone infleksije mogu da se postave poprečne rešetke preko cele širine kolovozne ploče autoputa, uključujući i zaustavne trake. Opravdanje za ovakvo rešenje leži u činjenici da se oticanje vode odvija po hidrauličkom padu koji postoji čak i pri potpuno horizontalnoj niveleti i uvek je veći od nule ako su prelivi (u ovom slučaju slivničke poprečne rešetke) postavljeni na relativno bliskom rastojanju [11]. Na Slici 12 prikazane su poprečne slivničke rešetke ugrađene u zonama infleksije na jednom od sektora autoputa A10 južno od Berlina.



Slika 12. Poprečne slivničke rešetke ugrađene u zoni infleksije na autoputu A10 u Nemačkoj (Izvor: [9])

Kanal sa profilisanim žlebovima za smeštaj rešetke napravljen je od betona, a sama rešetka je zbog težine vozila napvaljena od čelika. Širina rešetke je 30 cm i više, a obavezno se duž zone infleksije postavlja nekoliko rešetki u nizu na minimalnom rastojanju od 5 m kako bi se pojačao efekat susednih preliva. Autori [9] preporučuju da se u zonama infleksije autoputa, zbog njihove veće dužine, postavi 5 i više poprečnih slivničkih rešetki.

Poprečne slivničke rešetke obično se postavljaju na krutim betonskim kolovozima zbog same prirode materijala od kojih se izrađuju. Naime, ugrađivanje slivničkih rešetki na asfaltnim kolovozima može biti problematično zbog različite krutosti materijala od kojih je napravljeno ležište rešetke i asfaltnih slojeva, pa se na delovima habajućih slojeva asfaltnih kolovoza u zonama kontakta sa betonskom konstrukcijom ležišta rešetke vremenom mogu pojaviti ulegnuća i denivelacije kolovoza, koje negativno utiču na udobnost vožnje. Dodatni problem je samo čišćenje i održavanje rešetke i betonskog kanala ispod rešetke, jer je za takve radove potrebno privremeno zaustaviti ili na druge načine regulisati protok saobraćaja na voznim trakama autoputnog kolovoza.

### 4.3 Brazdanje kolovozne površine

Za brzo i efikasno odvođenje vode sa kolovozne površine, pogotovo kod betonskih kolovoznih konstrukcija, često se primenjuje brazdanje (žlebljenje) kolovozne površine. Pomoću specijalnih mašina (freza), opremljenih diskovima sa dijamantskim reznim zubovima, usecaju se uske brazde (žlebovi) na habajućem sloju kolovoza (**Slika 13**). Brazde mogu da se usecaju poprečno, podužno ili pod uglom od 45° u odnosu na pravac pružanja kolovoza. Za asfaltne kolovoze preporuka je da se u zonama infleksije sa malim rezultujućim nagibima usecaju poprečne ili brazde pod uglom od 45° u odnosu na osu kolovoza kako bi se voda što manje zadržavala na kolovozu i time sprečio razvoj aquaplaning-a.



**Slika 13.** Žlebljenje asfaltne kolovozne površine usecanjem uskih brazdi specijalnim mašinama (Izvor: [12])

Usecanje brazdi obavlja se na pravilnom razmaku po unapred definisanom šablonu, a zapremina materijala po metru dužnom kolovoza, nastala usecanjem žlebova, računa se kao:

$$V_c = B_c \cdot T_c \cdot \frac{1000}{S_c + B_c}$$

gde je:

$V_c$  - zapremina žlebova [mm<sup>3</sup>/m];

$B_c$  - širina žlebova [mm];

$T_c$  - dubina žlebova [mm]

$S_c$  - rastojanje između žlebova [mm].

Nemački standardi preporučuju maksimalnu širinu žlebova između 2.4 mm i 2.6 mm za podužne žlebove, zbog njihovog potencijalnog negativnog uticaja na bezbednost motociklista, dok je za poprečne žlebove preporučena maksimalna širina između 6 mm i 10 mm [9]. Ne postoje precizni zahtevi u standardima koji definišu minimalnu dubina žlebova, ali je preporučena vrednost 3 mm. S druge strane, ograničava se maksimalna dubinana oko 5 mm, pošto bi dalje povećanje dubine usecanja žlebova imalo za posledicu i značajno povećanje troškova.

Usecanjem žlebova na površini habajućeg sloja znato se smanjuje debljina vodenog filma u zonama sa malim rezultujućim nagibima kolovoza. Međutim, ovo korisno dejstvo žlebljenja kolovoza smanjuje se tokom zime

zbog mržnjenja sakupljene vode u usečenim žlebovima. Trajnost habajućih slojeva asfaltnih slojeva kolovoza sa usečenim žlebovima često je upitna, pogotovo u klimatskim sredinama da dužim i oštirijim zimama. Još nisu objavljena detaljna istraživanja ili izveštaji koji bi pokazali koliko dubina usecanja žlebovima, odnosno generalno postupak žlebljenja, utiče na trajnost fleksibilnih kolovoznih konstrukcija. Stoga se žlebljenje (brazdanje) kolovozne površine može razmatrati samo kao privremena mera za poboljšanje dreniranja kolovoza u infleksionim zonama autoputa, i treba je primenjivati samo na krutim, odnosno, cement-betonskim kolovozima.

## 5. ZAKLJUČAK

Iako u prvi mah deluje kao jednostavan zadatak, vođenje i oblikovanje geometrije trase autoputa na ravničarskim terenima zapravo je veoma složen poduhvat, pre svega zbog potrebe da se obezbedi efikasno dreniranje svih kolovoznih površina autoputa. Najveći problem predstavljaju dugačke infleksione zone S krivih, gde su mali poprečni nagibi u ravničarskim uslovima najčešće kombinovani i sa malim podužnim nagibima nivelete. To dalje ima za ishod i rezultujuće nagiba kolovoza koji su obično manji od minimalno zahtevanog rezultujućeg nagiba (min irez = 1.5%) za efikasno odvodnjavanje vangradskog puta u domaćim standardima. Za rešavanje ovog problema preporučuju se dve metode vitoperenja kolovoza u zoni infleksije: tradicionalno dvostepeno i krovasto vitoperenje sa dijagonalnim šlemenom. Primena dvostepenog vitoperenja u zonama infleksije sa podužnim nagibima manjim od 0.5% često ne može da obezbedi minimalno zahtevane vrednosti rezultujućih nagiba za efikasno odvodnjavanje, dok primena krovastog vitoperenja u geometrijskom smislu rešava problem i obezbeđuje minimalne vrednosti rezultujućih nagiba. Međutim, primena krovastog vitoperenja u praksi povezana je sa nizom praktičnih problema prilikom izvođenja radova na terenu, od ravnjanja pripreme posteljice, donje i gornje nosive podloge pa sve do izvođenja završnih slojeva kolovozne konstrukcije. Takođe, udobnost i komfor vožnje preko površien autoputnih kolovoza sa krovastim vitoperenjem niža je u odnosu na kolovoze sa klasičnim i dvostepenim vitoperenjem kolovoza, što je i jedan od razloga što se u brojnim zemljama ne preporučuje primena takvog sistema vitoperenje kolovoza na putevima gde se vozila kreću brzinama većim od 100 ili 120 km/h.

Postoje i alternativna tehnička rešenja za dreniranje autoputnih kolovoza u zonama infleksije sa malim rezultujućim nagibima kao što je primena poroznih asfaltnih kolovoza, postavljanje poprečnih slivničkih rešetki i žlebljenje površine kolovoza. Međutim, svako od nabrojanih rešenja, pored povećanja ukupne cene izgradnje, ima i druge nedostatke koji sužavaju polje njihove primene, naročito ako se autoput izvodi sa fleksibilnom kolovoziom konstrukcijom.

Ključni zadatak za buduće aktivnosti kako bi se ovaj problem rešio ili u dobroj meri ublažio u Srbiji, jeste organizovanje eskperimenta u laboratorijskim uslovima i na realnoj deonici puta, gde bi se testiralo da li je zaista neophodno imati rezultujući nagib kolovoza od 1.5% u zoni infleksije autoputa da bi se obezbedilo efikasno odvodnjavanje, ili taj nagib može biti i manji. Za organizovanje jednog ovako kompleksnog istraživanja neophodno je uključiti i inženjere drugih specijalnosti, pre svega hidrotehнике i hidarulike, kao i profesionalce koji se bave projektovanjem kolovoznih konstrukcija i građevinskim materijalima. Rezultati istraživanja će moći da se iskoriste za revidovanje domaćih standarda za projektovanje vangradskih puteva i uveliko će biti od koristi domaćoj projektantskoj praksi.

## Literatura

- [1] JP Putevi Srbije. (2011). Pravilnik o uslovima koje sa aspekta bezbednosti saobraćaja moraju da ispunjavaju putni objekti i drugi elementi javnog puta. Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd. (on-line) available at: [https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/regulativa/Pravilnik\\_o\\_uslovima\\_koje\\_sa\\_aspekta\\_bezbednosti\\_saobracaja\\_moraju\\_da\\_ispunjavaju\\_putni\\_objekti.pdf](https://www.putevi-srbije.rs/images/pdf/regulativa/Pravilnik_o_uslovima_koje_sa_aspekta_bezbednosti_saobracaja_moraju_da_ispunjavaju_putni_objekti.pdf) (7.05.2020)
- [2] Anđus, V.; Maletin, M. (2000). Koeficijent trenja klizanja - osnovni parametar u dimenzionisanju elemenata projektne geometrije puta. Naučno-stručni skup „Pneumatici“, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 1.-3. juna 2000., str. 90-100.
- [3] Katanić, J.; Anđus, V.; Maletin, M. (1983). Projektovanje puteva. Građevinska knjiga, Beograd, str. 208.
- [4] JP Putevi Srbije. (2012). Priručnik za projektovanje puteva - SRDM 4.0: Projektni elementi puta. Javno preduzeće Putevi Srbije, Beograd. (on-line) available at: <https://www.putevi-srbije.rs/index.php/sr/srdm-priru%C4%8Dnik-za-projektovanje-puteva> (20.05.2020)
- [5] TUD. (2013). Vergleich und Bewertung von baulichen Lösungen für zur Vermeidung von abflussschwachen Zonen in Verwindungsbereichen, Technische Universität Dresden, Universität Stuttgart: Zwischenbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Dresden, 2013.
- [6] FGSV. (1995). Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Linienführung (RAS-L), Ausgabe 1995. Köln:

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen.

- [7] FGSV. (2008). Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Ausgabe 2008. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“).
- [8] VSS. (2019). Quergefälle in Geraden und Kurven, Quergefallsänderung, Schweizer Norm (SN) 40 120, Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), Zürich, Schweiz.
- [9] Burlacu, F.A.; Răcănel, C.; Burlacu, A. (2018). Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions. *Građevinar*, 70(12): 1109-1116. DOI: <https://doi.org/10.14256/JCE.1578.2016>
- [10] Ferguson, B.K.: *Porous Pavements*. CRC Press, Taylor&Francis Group, Boca Raton, Florida, USA, 2005, p. 39.
- [11] Maletin, M. (2019). Planiranje i projektovanje saobraćajnica u gradovima, III izdanje, Orion-Art, Beograd.
- [12] POSSEHL Spezialbau GMBH. (2022). Product Range and Services - Grooving & Grinding, Spremlingen, Germany. (on-line) available at: <https://www.possehl-spezialbau.de/en/product-range-and-services/grooving-grinding/> (20.03.2022)