

# Studija kolničkih konstrukcija za autoceste

**Branimir Babić, Andrija Prager, Tatjana Rukavina, Branimir Palković, Mate Sršen, Zdravko Tomljanović**

## Ključne riječi

kolnička konstrukcija,  
autocesta,  
studija,  
projektiranje,  
izvedba,  
idejno rješenje

## Key words

pavement structure,  
motorway,  
study,  
design,  
construction,  
conceptual design

## Mots clés

chaussée,  
autoroute,  
étude,  
établissement du projet,  
exécution,  
avant-projet sommaire

## Schlüsselworte:

Fahrbahnkonstruktionen,  
Autobahn,  
Studie,  
Entwurf,  
Ausführung,  
Vorentwurf

*B. Babić, A. Prager, T. Rukavina, B. Palković, M. Sršen, Z. Tomljanović*

*Stručni rad*

## Studija kolničkih konstrukcija za autoceste

*Prikazana je studija kolničkih konstrukcija autocesta u Hrvatskoj koju je izradio tim autora iz Građevinskog fakulteta u Zagrebu i Instituta građevinarstva Hrvatske. Prikazane su i analizirane naše izvedene konstrukcije te praksa i najnoviji trendovi u projektiranju kolničkih konstrukcija autocesta u europskim zemljama. Temeljem toga razrađena su i predložena odgovarajuća idejna rješenja kolničkih konstrukcija naših budućih autocesta, koja su u odnosu na dosadašnja, poboljšana.*

*B. Babić, A. Prager, T. Rukavina, B. Palković, M. Sršen, Z. Tomljanović*

*Professional paper*

## Study of pavement structures for motorways

*The study of pavement structures for motorways in Croatia, prepared by the team composed of experts from the Faculty of Civil Engineering, Zagreb, and the Civil Engineering Institute of Croatia, is presented. The authors present and analyze existing structures in Croatia, as well as the current practice and latest trends in the design of motorway pavements in European countries. Based on this information, the authors analyze and propose appropriate conceptual designs for pavement structures of future motorways in our country, which will bring some improvements when compared to current solutions.*

*B. Babić, A. Prager, T. Rukavina, B. Palković, M. Sršen, Z. Tomljanović*

*Ouvrage professionnel*

## Etude des chaussées des autoroutes

*L'article présente une étude des chaussées des autoroutes en Croatie, établie par une équipe d'auteurs de la Faculté du génie civil de Zagreb et de l'Institut croate du génie civil. Nos constructions réalisées sont décrites et analysées, ainsi que la pratique et les tendances récentes dans l'étude des chaussées des autoroutes dans les pays européens. D'après ces faits, des avant-projets sommaires des chaussées de nos futures autoroutes ont été élaborés et proposés, qui apportent des améliorations par rapport aux solutions actuelles.*

*B. Babić, A. Prager, T. Rukavina, B. Palković, M. Sršen, Z. Tomljanović*

*Fachbericht*

## Studie der Fahrbahnkonstruktionen für Autobahnen

*Dargestellt ist die Studie der Fahrbahnkonstruktionen für Autobahnen in Kroatien, verfasst vom Autorenteam der Fakultät für Bauwesen in Zagreb und des Instituts für Bauwesen Kroatiens. Dargestellt und analysiert sind in Kroatien ausgeführte Konstruktionen sowie Praxis und neueste Trends im Entwurf von Autobahnbelägen in europäischen Ländern. Auf Grund dessen sind entsprechende Vorentwürfe für die Fahrbahnkonstruktionen zukünftiger kroatischer Autobahnen vorgeschlagen, die im Vergleich zu den gegenwärtigen verbessert sind.*

Autori: Prof. dr. sc. **Branimir Babić**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Andrija Prager**, dipl. ing. građ.; dr. sc. **Tatjana Rukavina**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb, Kačićeva 26; **Branimir Palković**, dipl. ing. kem.; prof. dr. sc. **Mate Sršen**, dipl. ing. građ.; **Zdravko Tomljanović**, dipl. ing. građ., Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, J. Rakuše 1

## 1 Uvod

Neposredni povod za izradu studije kolničkih konstrukcija naših autocesta, koja se prikazuje u ovom članku, bilo je projektiranje autoceste Bosiljevo - Sveti Rok u dužini oko 140 km, koje je upravo u toku. U projektiranju sudjeluju tri projektne organizacije - Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb (2 dionice), Inženjerski projektni Zavod, Zagreb (1 dionica) i "Rijekaprojekt", Rijeka (1 dionica).

Projektiranje autoceste obuhvaća, razumljivo, i projektiranje svih potrebnih kolničkih konstrukcija, t.j. kolnika za osnovnu cestu, kolnika za čvorišta, prijelaze, područja naplate, tunele, parkirališta i trakove za zaustavljanje vozila.

Iz više je razloga ocijenjeno da bi pristup projektiranju svih tih kolnika trebao biti smislen i studijski kako bi se došlo do najboljih i najsigurnijih, ali i ujednačenih rješenja. S obzirom da ispravne kolničke konstrukcije mogu biti projektirane na više načina, te s obzirom na činjenicu da na projektiranju rade tri projektantske organizacije, ovakav prethodni materijal bio je nužan za orijentaciju projektanata u smislu mogućnosti ostvarenja takvih rješenja.

Pokazalo se je, pored toga, da je usprkos općenito dobrom služenju izvedenih kolničkih konstrukcija naših autocesta, ipak ponegdje na njima dolazilo do pojava koje su tražile povećano održavanje.

Analiza naših izvedenih kolnika kao i analiza prakse i najnovijih trendova u projektiranju kolničkih konstrukcija autocesta u europskim zemljama mogle bi biti dobar temelj i vodič prema možebitnim prilagodbama naših uobičajenih rješenja.

Takva razmatranja trebala bi omogućiti da se idejno osmisle prikladni tipovi kolničkih konstrukcija za autoceste općenito, a napose za cestovni pravac Bosiljevo - Sv. Rok.

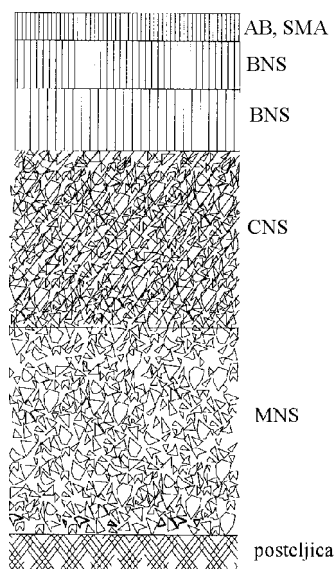
Zamišljen je sljedeći okvirni sadržaj studije:

- prikaz kolničkih konstrukcija autocesta izgrađenih (ili projektiranih) kod nas,
- osvrt na iskustva o ponašanju kolničkih konstrukcija,
- prikaz novije prakse projektiranja kolničkih konstrukcija u Europi,
- razrada rješenja idejnih tipova poboljšanih kolničkih konstrukcija,
- razrada osnovnih tehničkih uvjeta za kolničke konstrukcije.

Studiju je realizirao zajednički tim autora iz Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu i Instituta građevinarstva Hrvatske.

## 2 Prikaz kolničkih konstrukcija izvedenih (ili projektiranih) kod nas od 1970. do 2000. god.

Da bi se mogao izraditi pregled kolničkih konstrukcija projektiranih (i izvedenih) kod nas prikupljeni su odgovarajući podaci za kolničke konstrukcije glavnih trasa autocestovnih pravaca, obilaznica Zagreba, Rijeke i Osijeka te prve autoceste izgrađene u Hrvatskoj - autoceste Zagreb - Karlovac. Za ilustraciju su u tablicama 1., 2. i 3. prikazani podaci za dva karakteristična autocestovna pravca i autocestu Zagreb - Karlovac.



Slika 1. Presjek kolničke konstrukcije voznih trakova glavne trase

Presjek kolničke konstrukcije voznih trakova glavne trase se u većini slučajeva sastoji od slojeva prikazanih na slici 1.

Na slici i u tablicama kratice imaju sljedeća značenja:

- AB – asfaltbeton, SMA – splitmastiks asfalt, BNS – bitumenizirani nosivi sloj;
- CNS – nosivi sloj od cementom stabiliziranog zrnatog kamenog materijala.
- MNS – nosivi sloj od mehanički zbijenog nevezanog zrnatog kamenog materijala.

Iste kratice vrijede i kod ostalih slika u članku.

Tablica 1. Autocestovni pravac: P2 Jadranska autocesta s prometnim opterećenjem (20 godina)  $1,09 \times 10^7$

Dionica	Posteljica	MNS [cm]	CNS [cm]	Zastor - vrsta i debljina [cm]	Napomena
Sv. Rok - Maslenica	CBR $\geq$ 15%	20	20	SMA 11 4 BNS 6 BNS 22 6	u projektu
Maslenica-Zadar 1 stac. 8+344	M <sub>S</sub> $\geq$ 40 MPa	40	-	AB 16 s 6 BNS 32 s 12 BNS 32 s 12	djelomično u prometu cca 2 godine
stac. 8+344 do 12+450	M <sub>S</sub> $\geq$ 35MPa	25	20	AB16 s 6 BNS 32 s 12	u projektu

Tablica 2. Autocesta pravac: P3 - Bregana – Lipovac s prometnim opterećenjem (20 g.)  $2,26 \div 2,87 \times 10^7$ 

Dionica	Posteljica	MNS [cm]	CNS [cm]	Zastor - vrsta i debljina [cm]	Napomena
Bregana-Jankomir	CBR 15%	20	20	AB 11s 4 BNS 22s 2x7	u gradnji
Ivanja Reka-Okučani	šljunak glina + vapno	20 28	22	AB 16 5 AB 22 6 BNS 0/31 11	u prometu preko 30 godina
Velika Kapanica-Županja	postojeći kolnik	-	15 do 50	AB 16s 6 mreža TENSAR BNS32sA 8	u projektu
	novi kolnik CBR 15%	20	25	AB 16s 6 BNS 32sA 12	
Županja - Lipovac	postojeći kolnik	-	20	SMA 3,5 BNS 22s 2x7	u projektu
	novi kolnik CBR 15%	20	20	SMA 3,5 BNS 22s 2x7	

Tablica 3. Obilaznice i autocesta Zagreb –Karlovac (izvedeno stanje)

Obilaznica	Posteljica	MNS [cm]	CNS [cm]	Zastor - vrsta i debljina [cm]	Napomena
Zagreb		pijesak 5 hidroizolac. šljunak 25	22	AB 5 AB 6 BNS 11	u prometu preko 25 godina.
Rijeka	kameni materijal	20	15	AB 11 4 AB 22 5 BNS 0/3112	u prometu oko 25 godina
Osijek	CL/CI M <sub>s</sub> ≥30MPa	šljunak 35	20	AB 11 (topeka) 4 AB 16 5 BNS 0/31 8	projektirano
		pijesak 25	pijesak 20 šljunak 17	AB 16 6 BNS 10	izvedeno 1983. god.
		pijesak 25	pijesak 22 šljunak 15	AB 16 5 BNS 9	izvedeno 1987. god.
autocesta Zagreb-Karlovac		šljunak 60cm	-	AB 2x3,5 BNS 5+9	u prometu preko 30 godine

### 3 Općenita iskustva o ponašanju izvedenih kolničkih konstrukcija naših autocesta s komentarom određenih pojava

Prva naša autocesta Zagreb - Karlovac (oko 40 km) izgrađena je pred oko trideset godina. Od tada je izgrađeno preko 300 km autocesta, od čega znatan dio prije 10 do 20 godina. Prošlo je, znači, dosta vremena u kojem su autoceste bile u uporabi pa je bilo mogućnosti da se prati njihovo ponašanje. Nažalost, sustavnih i organiziranih praćenja u tom smislu nije bilo.

Službe održavanja su, prirodno, djelovale pa su uklanjane nepoželjne pojave koje su se tijekom vremena dešavale i ceste su održavane u stanju dobre (ili prihvatljive) služnosti.

Treba napomenuti da su kolničke konstrukcije naših autocesta u načelu dimenzionirane na projektno raz-

doblje od 20 godina. Projektnim razdobljem smatra se vrijeme u kojem se očekuje da će kolnik doći u loše (ali ne previše loše) stanje i kada ga se još može relativno jednostavnim (i ekonomičnim) zahvatom (npr. pojačanjem asfaltnim slojem) popraviti i osposobiti za neko daljnje razdoblje služenja. Ovo se odnosi na ukupnu kolničku strukturu.

Posebno je, međutim, osjetljiv habajući sloj kolnika, pa su jedno do dva presvlačenja (ili njegove zamjene) tijekom projektnog razdoblja normalno očekivana potreba.

Prateći generalno ponašanje kolničkih konstrukcija autocesta u proteklih dvadesetak godina mogle su se ipak uočiti dvije vrste nepoželjnih pojava koje su imale, moglo bi se reći, sustavni karakter. To su:

- kolotrazi i
- pukotine.

Kolotrazi su uočeni mahom kod konstrukcija koje se sastoje od asfaltnih slojeva ugrađenih neposredno na zrnatu (šljunčanu) podlogu.

Tipičan primjer za to je autocesta Zagreb - Karlovac gdje od izgradnje (1970.godine) nikada "nema mira" s kolotrazima. Iako na pojavu kolotruga svakako utječe sastav asfalta, zna se (sada) da na mogućnost njihovog stvaranja utječe i vrsta podloge (donjih

nosivih slojeva). Nevezani slojevi, a pogotovo oni od oblozrnog kamenog materijala, nedovoljno su otporni na deformacije pod teškim, intenzivnim i kanaliziranim prometom.

Pukotine su uočene najviše kod konstrukcija sa cementom stabiliziranim nosivim slojevima.

Kruti, cementom stabilizirani nosivi slojevi (neka vrsta mršavog betona) uvedeni su upravo zbog sprečavanja nastanka kolotruga uslijed deformabilnosti podloge. Na cestama koje u konstrukciji imaju cementom stabilizirane slojeve uglavnom nisu uočeni kolotrazi tako da je ta pretpostavka potvrđena.

Ti slojevi imaju, međutim, nedostatak da se u njima javljaju pukotine. Oni se rade bez prekida a njihova se čvrstoća "drži" u određenim granicama kako ne bi bili previše kruti i pucali u obliku širokih (otvorenih) pukotina.

Uske pukotine cementom stabiliziranih slojeva normalno su njihovo svojstvo i ne očekuje se njihova (znatnija) refleksija kroz asfalt. Slojevi su, međutim, osjetljivi na greške u izvedbi, pa ako su "prečvrsti" pucaju u obliku širih pukotina. Glavni razlog nastanka pukotina su termički utjecaji. Takve šire (otvorene) pukotine preslikavaju se kroz asfaltne slojeve.

Uspoređujući te dvije pojave - kolotrage i pukotine može se ustvrditi da su kolotrage ipak veće zlo. Oni predstavljaju opasnost za sigurnost (stabilnost) vožnje a pogotovo su nepovoljni po kiši kada se u njima nalazi voda.

Pukotine nemaju zapravo utjecaja na sigurnost (i udobnost) vožnje. One predstavljaju pri vožnji možda jedino estetski nedostatak, ali su ipak nezgodne jer kroz njih u kolnik može ulaziti voda i s vremenom ugroziti kolničku konstrukciju. Svakako traže održavanje.

Činjenica je da kod nas (a ni u svijetu) ne postoji idealan materijal za nosive slojeve (podlogu) kolničkih konstrukcija. Materijal za njih morao bi imati umjerenu krutost i biti dovoljno nesklon pucanju. U inozemstvu se, kako je vidljivo iz poglavlja 4., na nevezanim podlogama cesta rade vrlo debeli asfaltni slojevi (30 do 40cm), što nama ne bi odgovaralo.

Debeli asfalti, koji se ljeti jako zagriju i akumuliraju mnogo topline, skloni su trajnom deformiranju. Ne treba zaboraviti da je Hrvatska jedna od najjužnijih europskih država s visokim ljetnim temperaturama. Osim toga, asfalt je razmjerno skup cestograđevni materijal.

U postojećoj situaciji smatramo da bi i dalje u kolničkim konstrukcijama naših autocesta i cesta za teško prometno opterećenje trebalo predviđati cementom stabilizirane slojeve (osim možda ne u sasvim kamenim terenima), ali uz određene prilagodbe o kojima će biti više riječi u poglavlju 5.

U studiji je prioritet dat odabiru materijala (prvenstveno asfaltnih) koji će u najvećoj mjeri omogućiti dobro ponašanje u odnosu na najčešća oštećenja savitljivog tipa kolnika a to je prije svega trajna deformacija u obliku kolotrage. Da bi se postigla ravnoteža između učinkovitosti cestovnog prijevoza i oštećenja ceste, utjecaj osovinskog opterećenja i konstrukcije teških teretnih vozila s ekonomskog stanovišta treba biti pažljivo ocijenjen. To podrazumijeva odgovarajući kontrolu koju treba uvesti i koja može rezultirati određenim zahtjevima za smanjenje preopterećenja kolnika. Snimanje klimatskih prilika, što znači raspona, učestalosti i trajanja temperature kojoj je izložena površina ceste, također je potrebno kako bi se ovi čimbenici mogli točnije uzeti u obzir za projektiranje asfaltne mješavine.

#### 4 Prikaz novije prakse projektiranja kolničkih konstrukcija autocesta u europskim zemljama

Ovaj je prikaz načinjen na temelju dostupne literature i propisa pojedinih zemalja. U tom je pogledu bilo važno ocijeniti kakvo će biti prometno opterećenje predmetne autoceste kako bi se mogla birati i ocijeniti sukladna rješenja iz inozemne prakse.

##### 4.1 Prometno opterećenje

Prometno je opterećenje važan čimbenik koji jako utječe na potrebnu debljinu strukture kolnika. Oštećenje što ga vozila čine cesti vrlo striktno ovisi o opterećenjima osovina vozila. Na točnost ovog odnosa utječe ne samo vrsta strukture cestovnog vozila nego i način na koji se kolnik pogoršava. Pravilo pogoršanja "četvrt potencije" u tom pogledu daje prihvatljivu aproksimaciju za većinu praktičnih primjena. Sva osovinska opterećenja pretvaraju se u ekvivalentni broj 82 kN (8,157 tona), koje se nazivaju standardnim osovinama. Ta se pretvorba obavlja putem funkcije:

$$ESOO = \left( \frac{P}{82} \right)^n$$

gdje je:

ESOO – ekvivalentno standardno osovinsko opterećenje

$P$  – opterećenje osovine u kN

$n$  – eksponent koji se uzima da je 4,0 ili 4,2

ESOO jest broj 82 kN jednostrukih osovinskih opterećenja koja uzrokuju istu količinu oštećenja kolnika kao i mješoviti promet do momenta kada je potrebna rehabilitacija kolnika.

Opterećenja osobnih vozila ne pridonose značajno strukturnom pogoršanju kolnika uslijed djelovanja prometa. Za potrebe strukturnog dimenzioniranja kolnika stoga se razmatra samo broj teretnih vozila i njihovih osovinskih opterećenja.

Prognozu prometnog opterećenja za autocestu Bosiljevo – Sv. Rok, izradio je Odsjek za promet Zavoda za prometnice IGH u okviru "Prethodne studije opravdanosti" (veljača 1999.), a još ranije (lipanj 1996.) u okviru "Optimalizacije autocestovnih veza u prostoru Zagreb – Rijeka – Split".

Uz usvojeno projektno razdoblje od 20 godina prognozirano prometno opterećenje kreće se u rasponu od  $7 \cdot 10^6$  do  $1,1 \cdot 10^7$  ekvivalentnih osovina.

Prometno opterećenje prognozirano za naše autoceste koje idu od Zagreba prema Jadranskom moru iznosi 1,0 do  $1,2 \cdot 10^7$ . Kod ostalih autocesta to je 0,7 do  $2,9 \cdot 10^7$  ekvivalentnih osovina. Na temelju toga razumno je prihvatiti da se na ovoj autocesti računa s prometnim opterećenjem od oko  $1,0 \cdot 10^7$  ekvivalentnih osovina. To znači da se radi o kategoriji "vrlo teškog" prometnog opterećenja

(to je i logično jer se inače ne bi ni planirala izgradnja te autoceste). Takav promet je i općenito primjeren za naše autoceste.

U ovom su poglavlju, stoga birane i razmatrane prvenstveno konstrukcije koje odgovaraju takvim opterećenjima. Proučene su međutim i slabije konstrukcije radi čvorišta, putnih prijelaza i sl.

#### 4.2 Europska praksa

Jedan dosta cjelovit pregled prakse projektiranja kolničkih konstrukcija u europskim zemljama dan je u članku [16] izrađenom na Sveučilištu Nottingham u Velikoj Britaniji.

Zaključeno je da se praksa projektiranja kolničkih konstrukcija u europskim zemljama jako razlikuje, djelomično i iz historijskih razloga.

Za teški i vrlo teški promet primjenjuju se (za naše pojmove) često i vrlo velike debljine asfalta - od 18 cm do 44 cm (!). Ukupna debljina konstrukcija kreće se od 60 cm pa i do 120 cm (!). Još noviji prikaz dan je u materijalu [6].

Prostudirana su projektna rješenja struktura kolnika u zemljama Europske zajednice, te Hrvatske, Mađarske, Rumunjske i Švicarske.

Svaka je zemlja dala primjere najčešćih struktura kolnika za prometno opterećenje od 1, 10 i 100 milijuna prijelaza standardnih 80 kN osovina i za posteljicu s CBR=5%. Austrija je dala strukturu kolnika projektiranu u odnosu na tamo najčešće tlo posteljice s nosivosti CBR=7%, a Francuska u odnosu na modul stižljivosti tla posteljice od  $M_s=20$  MPa.

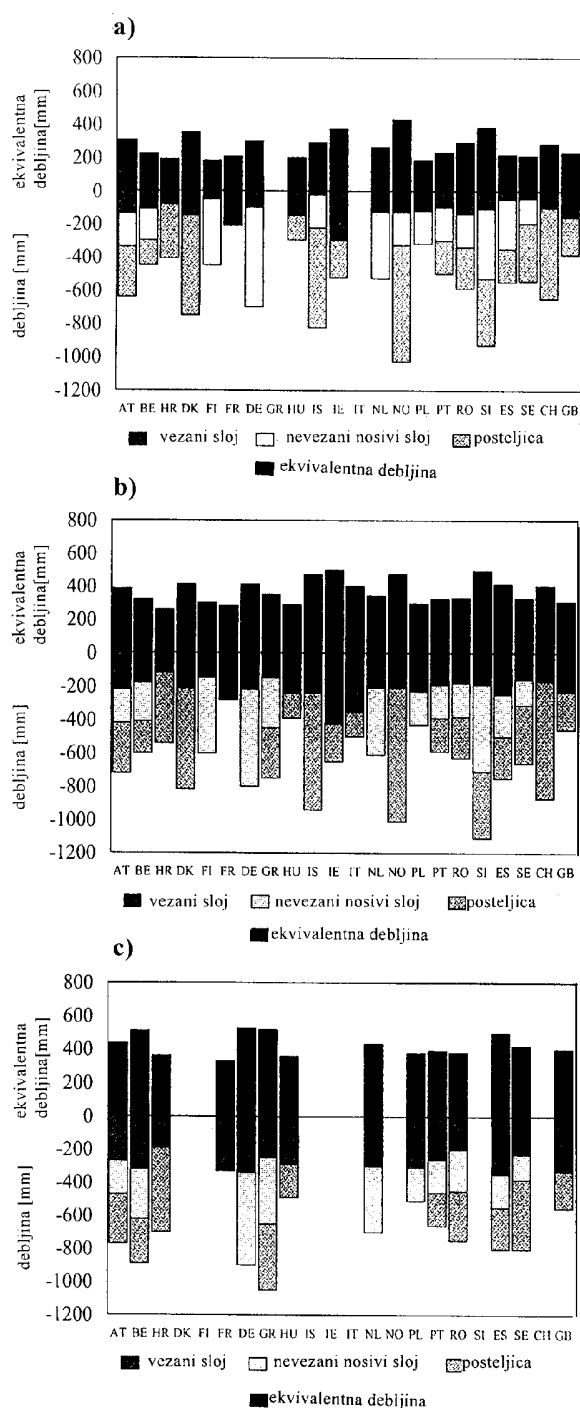
#### Saviljivi tip kolnika

Na slici 2. prikazane su strukture saviljivih kolničkih konstrukcija za pojedina prometna opterećenja u navedenim europskim zemljama.

U tablici 4. prikazane su prosječne, maksimalne i minimalne ekvivalentne debljine, debljine asfalta i ukupne debljine kolničke konstrukcije u odnosu na volumen prometa.

Tablica 4. Zbirni prikaz prosječnih, maksimalnih i minimalnih debljina saviljivih kolnika

Debljina kolničke konstrukcije i slojeva		Prometno opterećenje		
		$1 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$	$100 \cdot 10^6$
Ekvivalentna debljina [mm]	prosjeak	261	354	392
	maks.	383	497	527
	min.	140	260	320
Debljine asfaltnih slojeva [mm]	prosjeak	128	222	295
	maks.	300	425	375
	min.	25	150	190
Ukupna debljina kolnika [mm]	prosjeak	529	618	626
	maks.	1030	1110	1050
	min	210	280	330

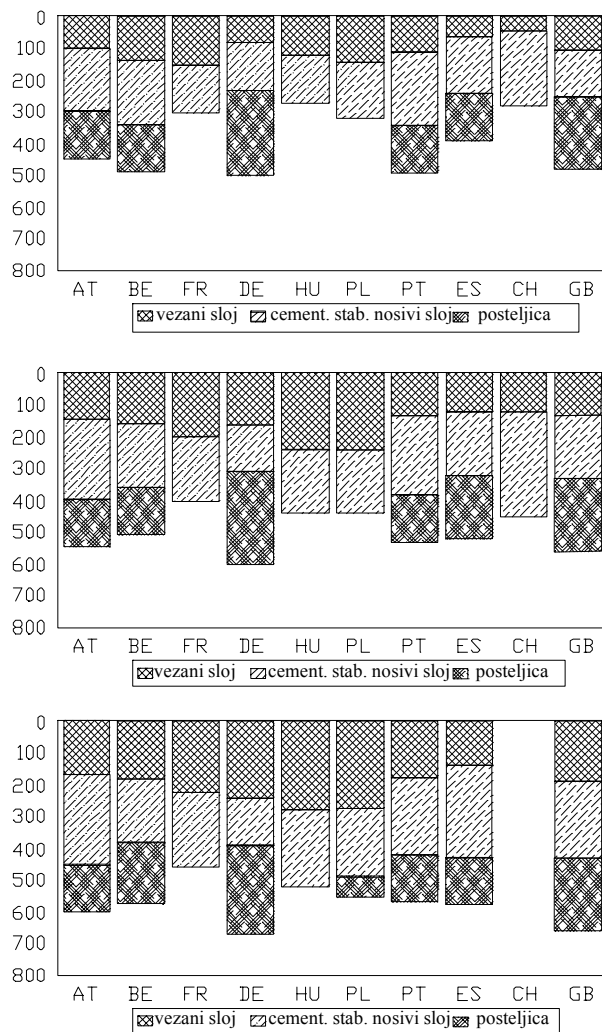


Slika 2. Struktura saviljivih kolničkih konstrukcija za prometna opterećenja

#### Polukruti tip kolnika

Na slici 3. prikazane su strukture polukrutih kolničkih konstrukcija za pojedina prometna opterećenja u navedenim europskim zemljama.

U tablici 5. prikazane su prosječne, maksimalne i minimalne debljine asfalta i debljine cementom stabilizirane mješavine kamenog zrnja u odnosu na volumen prometa.



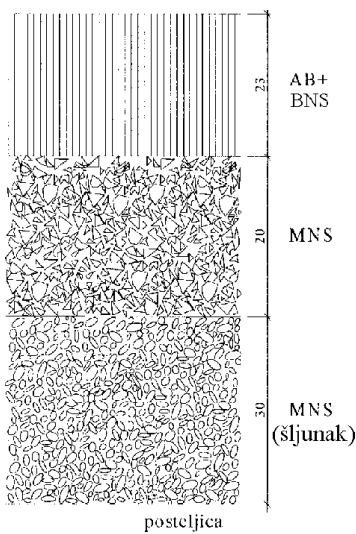
Slika 3. Struktura polukrutih kolnika za prometna opterećenja: a) 1 mso, b) 10 mso, c) 100 mso

Iz tablice 5. se vidi da se za promet od 10 milijuna prijelaza ekvivalentnih osovina u Europi projektiraju kolničke konstrukcije s debljinama asfaltnih slojeva u rasponu od 12 do 24 cm i debljinama slojeva cementom stabilizirane mješavine kamenog zrnja u rasponu od 15 do 33 cm. Kolničke konstrukcije projektirane u Hrvatskoj nalaze se negdje unutar tih raspona.

Tablica 5. Zbirni prikaz prosječnih, maksimalnih i minimalnih debljina polukrutih kolnika

Debljina kolničke konstrukcije i slojeva		Prometno opterećenje		
		1·10 <sup>6</sup>	10·10 <sup>6</sup>	100·10 <sup>6</sup>
Debljina asfaltnih slojeva [mm]	prosjeak	115	183	222
	maks.	150	240	290
	min.	40	120	150
Debljina cementom izirane mješavine kamenog zrnja [mm]	prosjeak	203	242	234
	maks.	240	330	300
	min.	150	150	150

Podrobniji podaci mogu se dobiti iz regulative pojedinih zemalja. Neke europske zemlje načinile su kataloge kolničkih konstrukcija, čime je projektiranje olakšano.



Slika 4. Tipske savitljive konstrukcije (Austrija)

(Ipak, mnogi smatraju da je bolje ostaviti širu projektantsku slobodu, pa praksa kataloga, premda uvedena u nekim najjačim državama, kao što su primjerice Njemačka i Francuska, nije opće pravilo).

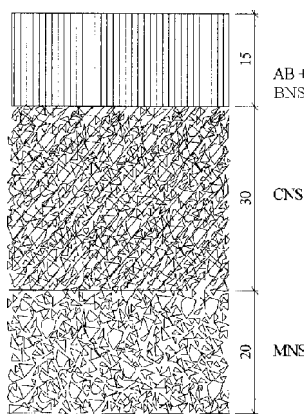
U pogledu kataloških rješenja proučeni su propisi Austrije i Njemačke.

AUSTRIJA

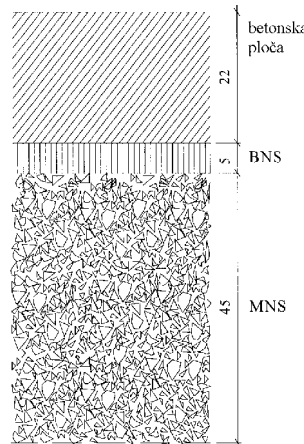
U Austriji postoji katalog savitljivih, polukrutih i krutih kolničkih konstrukcija - RVS 3.63 (1,2) [12].

Kolničke konstrukcije dane su po tipovima za različita projektna opterećenja izražena u 100 kN ekvivalentnim osovinama.

Za projektno prometno opterećenje primjereno budućoj autocesti (projektno razdoblje 20 godina) odgovarali bi tipovi konstrukcija, prikazani na slikama 4., 5. i 6.



Slika 5. Tipske polukrute konstrukcije (Austrija)



Slika 6. Tipske krute (betonske) konstrukcije (Austrija)

Za srednje prometno opterećenje (1 do 4 x 10<sup>5</sup> 100 kN osovina) primjereno čvorištima, prijelazima i sl. debljine vezanih slojeva su manje – asfaltni slojevi kod savitljivih konstrukcije iznose 13 do 16 cm, a cementom stabilizirani slojevi debeli su 20 do 25 cm.

Iz ovog se pregleda vidi da su debljine asfaltnih slojeva za vrlo teško i teško prometno opterećenje 20 do 22 cm, ako je podloga kamena, a 15 cm ako je podloga vezana cementom. Debljina cementom vezanog sloja je, međutim, dosta velika - 25 do 30 cm.

Debljina betonske ploče kod krutih kolničkih konstrukcija je 20 do 22 cm, a zanimljivo je da je međusloj od bitumeniziranog materijala.

## NJEMAČKA

U Njemačkoj su kolničke konstrukcije standardizirane smjernicama R St 086 iz 1986. godine. One su dopunjene u izdanju iz 1989. godine, a 1996. godine izdani su dodatni kriteriji za izbor i upotrebu konstrukcija [1].

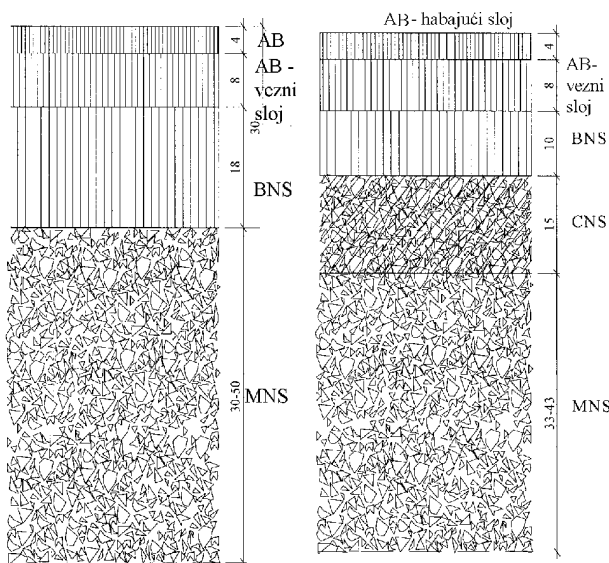
Za naše potrebe zanimljive su kolničke konstrukcije za vrlo teško opterećenje tj. konstrukcije klase I. (konstrukcije klase SV smatramo prejakim za naše prilike, a klase II. ne odgovaraju opterećenju naših autocesta).

Prometno opterećenje za klasu I. definirano je sa 1800 do 3200 komercijalnih vozila (kamiona) dnevno (u prosjeku).

Dopunom smjernica iz 1996. godine traži se da se za habajući sloj primijeni tvrdo lijevani asfalt ili splitmasti asfalt.

Za srednje prometno opterećenje debljine vezanih slojeva (i cijele) konstrukcije se smanjuju.

Debljine asfaltnih slojeva za klasu prometa I. su, kako je vidljivo, 30 cm, ako su na kamenoj podlozi, a 22 cm ako su na cementom vezanoj podlozi (debljina te podloge je 15 cm) i nevezanoj podlozi. Ukupna debljina konstrukcija je 60 do 80 cm (slike 7. i 8.).



Slika 7. Tipične savitljive konstrukcije (Njemačka)

Slika 8. Tipične polukrute konstrukcije (Njemačka)

Potpuno vezane konstrukcije (asfaltni + cementom stabilizirani slojevi na dobro nosivoj posteljici) imaju iste debljine asfaltnih slojeva (20 do 22 cm) kao prethodne, dok je debljina cementom stabiliziranoga sloja 25 cm.

Debljina betonske ploče kod krutih konstrukcija je 22 do 24 cm.

## 5 Idejni tipovi kolničkih konstrukcija

### 5.1 Osnovna trasa

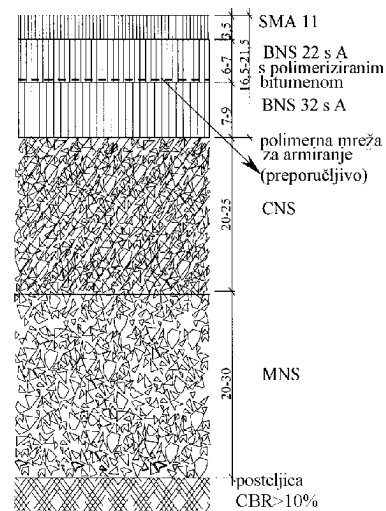
Na tragu prije iznesenih prikaza i razmatranja smatramo da se za definiranje tipa kolničke konstrukcije osnovne trase treba držati ovih načela:

- ukupna debljina asfaltnih slojeva trebala bi biti slična debljini koja je i do sada primjenjivana kod naših autocesta,
- trebalo bi zadržati sloj cementne stabilizacije u kolničkoj konstrukciji,
- trebalo bi poboljšati kakvoću asfaltnih slojeva, osobito habajućeg sloja (koji sukladno tome može biti tanji),
- uvesti troslojni asfaltni dio kolničke konstrukcije (umjesto dvoslojnog, koji se je do sada pretežito radio),
- u asfaltnom dijelu kolničke konstrukcije preporučljivo je predvidjeti polimernu mrežu za armiranje, kako bi se spriječilo (ili odgodilo) reflektiranje pukotina iz cementom stabiliziranog sloja na površinu kolnika
- tamponski sloj mogao bi biti umjerene debljine, ali uz poboljšanje nosivosti posteljice.

Temeljem toga predlaže se kolnička konstrukcija (idejno rješenje) prikazana na slici 9.

### 5.2 Trakovi za zaustavljanje vozila

Kad je riječ o strukturi kolnika zaustavnog traka treba istaknuti da je praktično iskustvo projektiranja i izvedbe ovog dijela poprečnog profila autoceste različito u pojedinim zemljama. Razvijene zemlje počele su



Slika 9. Idejno rješenje kolničke konstrukcije osnovne ceste

također s projektiranjem bitno oslabljene strukture kolnika zaustavnog traka u odnosu na ostale trakove, što je potpuno u skladu s osnovnom namjenom zaustavnog traka (zaustavljanje vozila samo u nuždi). Međutim, tijekom korištenja autoceste pod djelovanjem intenzivnog i teškog prometnog opterećenja, zaredale su češće intervencije radova održavanja na vanjskom i unutarnjem voznom traku. Sve je to uvjetovalo prekomjerno korištenje zaustavnog traka za potrebe gradilišnog i ostalog prometa, radi čega ga je češće trebalo popravljati.

Na temelju takvih iskustava došlo se je do zaključka da su čimbenici koji utječu na projektiranje strukture kolnika zaustavnog traka ustvari slični onima za vozni i preticajni trak. Glavna je razlika u veličini prometnog opterećenja. Realno prometno opterećenje zaustavnog traka znatno je teže predvidjeti nego prometno opterećenje voznog i preticajnog traka. Prometno opterećenje zaustavnog traka može sačinjavati opterećenje koje nastaje uslijed zaustavljanja vozila na zaustavnom traku, opterećenje koje nastaje uslijed "zadiranja" prometa s voznog traka na zaustavni trak, opterećenje koje bi eventualno nastalo uslijed korištenja zaustavnog traka tijekom "vršnog opterećenja", te korištenja zaustavnog traka uslijed održavanja voznog i preticajnog traka.

Temeljem dosadašnjih iskustava u izvedbi zaustavnog traka, a pogotovo u izvedbi zaustavnog traka poluautoceste, u okviru ove studije predlaže se projektiranje nešto jačeg zastora kolnika nego što se to do sada činilo, uzimajući u obzir realne podatke o prometnom opterećenju.

Uz pretpostavku da neće doći do korištenja zaustavnog traka tijekom "vršnog opterećenja" i da će korištenje uslijed održavanja voznog i preticajnog traka biti kratkog trajanja, predlaže se zaustavni trak projektirati na prometno opterećenje koje nastaje uslijed zaustavljanja vozila te prometnog opterećenja koje nastaje uslijed "zadiranja" prometa s voznog traka. Kako je prometno opterećenje uslijed zaustavljanja vozila na zaustavnom traku zanemarivo malo, kao prijedlog određivanju realnog prometnog opterećenja na zaustavnom traku preuzeli smo smjernice koje daju Barksdale i Hicks [2], a na temelju obavljene studije [7], na osnovi tih smjernica i sukladno naprijed navedenim pretpostavkama, kolnik zaustavnog traka predlaže se projektirati za prometno opterećenje koje nastaje uslijed "zadiranja" prometa s voznog traka u volumenu od 1 do 8%, pri čemu se kao minimalna vrijednost uzima 2%.

Kod projektiranja tih trakova nekada su se javljale i dileme treba li na njima raditi istu kolničku konstrukciju kao na osnovnoj cesti ili ne. Naime, to se veže uz eventualna buduća proširenja autoceste kao i tehnološke razloge izvedbe. Mislimo da to u našim sadašnjim uvjetima

ne bi bilo realno. Naša novija praksa bila je sasvim suprotna - da se ide na ekonomična rješenja, koja su se sastojala najvećma u izradi habajućeg sloja (istina, veće debljine - 6 cm) na toj površini. Podloga je u tom slučaju bila načinjena od dobro zbijenog drobljenog znatog kamenog materijala.

Kod kolničke konstrukcije opisane u prethodnoj točki (5.1.) to ne bi bilo moguće zbog smanjene debljine habajućeg sloja. Eventualno bi se moglo razmišljati o produženju (proširenju) i habajućeg i gornjeg bitumeniziranog nosivog sloja na zaustavni trak.

Smatramo, međutim, da bi to bilo skupo jer se sada radi o slojevima poboljšanje kakvoće (a i nepotrebno).

Prijedlog rješenja kolničke konstrukcije zaustavnog traka (idejno rješenje) u ovoj studiji zasniva se na pretpostavci da će prometno opterećenje zaustavnog traka biti 3% ukupnog prometnog opterećenja voznog traka. Mislimo da bi konstrukciju zaustavnih trakova trebalo riješiti neovisno o konstrukciji osnovne ceste i to primjenom jeftinijih materijala (kamenja sitnež sedimentnog podrijetla, standardni bitumen), s tim da bi debljine pojedinih asfaltnih slojeva kolnika zaustavnog traka trebale biti sukladne debljinama asfaltnih slojeva zastora kolnika voznog i preticajnog traka.

### 5.3 Čvorišta i prijelazi cesta

Čvorišta podnose uvijek samo dio opterećenja osnovne autoceste. Umjesto "teškog" i "vrlo teškog" prometnog opterećenja, ovdje valja najčešće računati sa "srednjim" prometnim opterećenjem.

Slična je situacija i sa cestovnim prijelazima.

Ne isključuju se, međutim, slučajevi i "teškog" prometnog opterećenja.

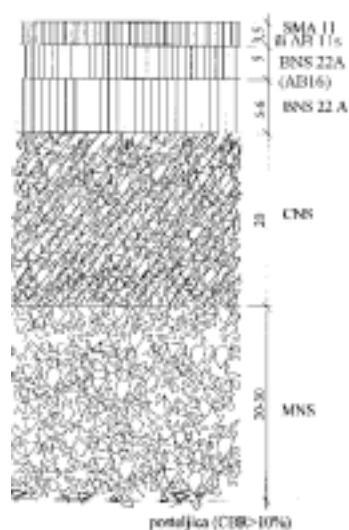
Na tim prometnim površinama valja stoga najčešće projektirati "slabije" konstrukcije nego na osnovnoj cesti.

To je moguće postići:

- smanjenjem ukupne debljine asfaltnih slojeva,
- smanjenjem broja asfaltnih slojeva (sa tri na dva sloja),
- smanjenjem kvalitete asfaltnih slojeva,
- smanjenjem debljine cementom stabiliziranog sloja,
- izostavljanjem cementom stabiliziranog sloja,
- smanjenjem debljine nevezanog nosivog sloja.

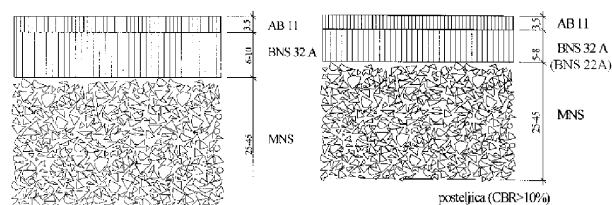
Pri razmatranju idejnih rješenja takvih kolničkih konstrukcija treba ipak voditi računa o tehnologiji radova i jedinstvenosti gradilišta i izvođača (najčešće) na osnovnoj autocesti i na ostalim cestama.





Uzimajući u obzir iznesena načela, našu dosadašnju praksu i inozemna iskustva, predviđena su idejna rješenja kolničkih konstrukcija za čvorišta i prijelaze prikazana na slikama 10., 11. i 12.

Slika 10. Kolnička konstrukcija za čvorišta i prijelaze za "teško prometno opterećenje" (idejno rješenje)



Slika 11. Kolnička konstrukcija za čvorišta i prijelaze za "srednje prometno opterećenje" (idejno rješenje)

Slika 12. Kolnička konstrukcija za čvorišta i prijelaze za "slabo prometno opterećenje" (idejno rješenje)

### 5.5 Parkirališta

Uz autoceste pri uslužnim objektima, kod naplatnih zona i na nekim drugim mjestima predviđaju se parkirališne površine.

One mogu biti namijenjene putničkim vozilima ili teškim vozilima (autobusi, teretna vozila).

Praksa je pokazala da je vrlo teško izbjeći da površine za laka vozila ne "posjete" i teška vozila. U tom slučaju dolazi do oštećenja kolničke konstrukcije (ako je ona predviđena samo za osobna vozila).

Predlaže se stoga, da se na svim parkirališnim površinama predvidi nešto jača kolnička konstrukcija kao na slici 12., ali s kvalitetnijim asfaltom (SMA, BNS 22 s A s polimerom modificiranim bitumenom).

### 5.6 Kolničke konstrukcije u tunelima

#### 5.6.1 Posebne okolnosti kod tunela

U tunelima, u odnosu na vanjsku cestu, vladaju posebni uvjeti pa i kolnici moraju zadovoljavati neke posebne uvjete. To su:

#### Sigurnost prometa

Svaka prometna nezgoda u tunelu, kao zatvorenom prostoru, neusporedivo je opasnija od sličnih događaja izvan tunela (požar, gomilanje vozila, teškoće oko pristupa mjestu nesreće...). Kolnička konstrukcija jedan je od faktora sigurnosti prometa. U tom su smislu vrlo važna svojstva hvatljivosti i ravnosti kolničke površine, pa se preporuča izvedba betonskog zastora ili završni sloj od asfalta visoke hvatljivosti.

van tunela (požar, gomilanje vozila, teškoće oko pristupa mjestu nesreće...). Kolnička konstrukcija jedan je od faktora sigurnosti prometa. U tom su smislu vrlo važna svojstva hvatljivosti i ravnosti kolničke površine, pa se preporuča izvedba betonskog zastora ili završni sloj od asfalta visoke hvatljivosti.

#### Rasvjeta

Tunel mora biti rasvijetljen, a u tom pogledu svjetla površina kolnika omogućuje smanjenje troškova rasvjete. Redoslijed zastora od svjetlije ka tamnijem je:

- novi betonski zastor
- stari betonski zastor
- stari asfaltni zastor
- novi asfaltni zastor.

S tog gledišta povoljan je betonski zastor. Logično je rješenje, međutim, da se u tunelu predvidi isti kolnički zastor kao i na otvorenoj cesti.

#### Nosivost podloge

Za kolničke konstrukcije u tunelu nema problema glede nosivosti podloge, jer se u slabo nosivim materijalima redovito izvodi podnožni svod ili kompletan kružni profil tunela. U dobro nosivim materijalima (kamenja čvrsta stijena) u donjem dijelu tunelske cijevi izvodi se dobro zbijeni kameni nasip. Očito je u oba slučaja podloga izvanredno dobro nosiva. Treća mogućnost, ventilacijski i/ili instalacijski prostori ispod kolničke površine upućuje na kolničku konstrukciju kao na mostovima.

#### Utjecaj temperature i vlage

Promjene temperature u tunelu znatno su manje nego izvan njega. Zbog odsutnosti insolacije i praktički konstantne temperature u unutrašnjosti brdskog masiva pozitivni i negativni ekstremi bliži su nekoj godišnjoj srednjoj temperaturi (oko +10°C do +15°C) nego je to slučaj izvan tunela. Ova činjenica pozitivno utječe na svojstva asfalta (male promjene modula elastičnosti) i na veličinu termičkih naprezanja u betonskom zastoru. U zoni portala ti su efekti nešto manje izraziti nego u središnjem dijelu tunela. Po prirodi stvari je kolnička površina u tunelu često vlažna, što također upućuje na potrebu izvedbe završnog sloja zastora s visokim koeficijentom trenja. Povoljna je okolnost da nema opasnosti od smrzavanja (poledica), osim u neposrednoj blizini portala. Opasnosti od smrzavanja podloge i s tim povezanih deformacija nema, kako zbog svojstava podloge, tako i zbog umjerenih temperatura iznad ništice.

#### Odvodnja

Prvenstveni problem odvodnje kod tunela je drenaža područja izvan tunelske obloge. Neispravna izolacija

obloge i neispravne drenaže mogu, pogotovo ako nema podnožnog svoda, dovesti do prodora vode odozdo u kolničku konstrukciju. Odvodnja površine kolnika nije problematična, jer ta voda, za razliku od ranije spomenute, ne može biti pod tlakom. Sustav kanalizacije mora svu vodu pouzdano odvesti u otvoreni prostor izvan portala, za što su katkada potrebne cijevi značajnih presjeka. Nosivi slojevi kolničke konstrukcije moraju omogućiti dreniranje procjedne vode.

### 5.6.2 Postojeća i predložena rješenja kolničkih konstrukcija u tunelima

Posljednjih se godina kod nas u tunelima projektiraju i izvode asfaltne kolničke konstrukcije koje se sastoje da asfaltnih slojeva (habajućeg i bitumeniziranog nosivog) i dobro zbijene kamene podloge. Ako tunel ima podnožni svod, tada se on izravnava kamenim nasipom. Cementom stabilizirani nosivi sloj praktički se ne predviđa.

Slične debljine asfaltnih slojeva bilježimo i kod nekih tunela u inozemstvu. Podloga je kamena.

Ploča betonskog kolnika kod tunela (u inozemstvu) debela je većinom 16 do 20 cm.

### 5.6.3. Idejno rješenje kolničke konstrukcije u tunelima

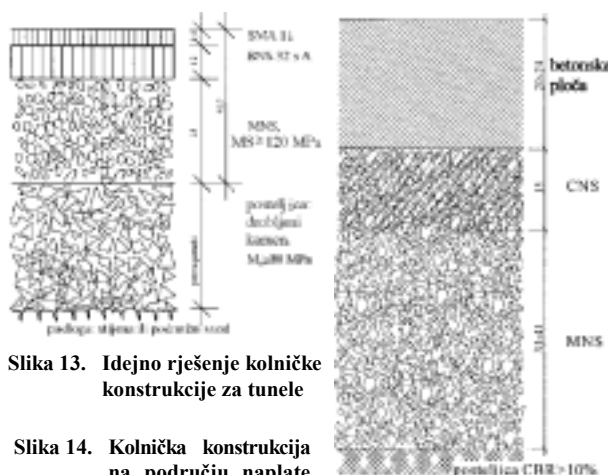
S obzirom na dosadašnju praksu (koja je dala zadovoljavajuće rezultate) kao i na vrstu kolničke konstrukcije cijele autoceste predlaže se idejno rješenje kolničke konstrukcije prema slici 13.

## 5.7 Područja naplate cestarine

Na površinama gdje se predviđa naplata naknade za uporabu autoceste dolazi do vrlo čestog zaustavljanja i pokretanja vozila što ne može dugo podnositi asfaltni kolnik. Stoga se na takvim dijelovima predviđa betonski kolnik.

## LITERATURA

- [1] *Allgemeines Rundschreiben Strassenbau Nr. 5/1996*, Fachgebiet 4.4: Strassenbefestigungen; Bauweisen: Kriterien für Wahl und Bewertung unterschiedlicher Bauweisen R St 086, 1986.
- [2] Barksdale, R. G.; Hicks, R. G.: *Improved Pavement Shoulder Joint Design*, NCHRP Report 202, Transportation Research Board, USA, 1979.
- [3] Babić, B.: *Projektiranje kolničke konstrukcije autoceste Zagreb-Beograd i neki problemi vezani za dosadašnji tok radova*, Ceste i mostovi 25, 6, 1979., str. 213.-224.
- [4] Blab, R.; Litzka, J.; Molzer, C.: *The New Austrian Standard for Pavement Design*, Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway, 1998.
- [5] Božanski, E.; Babić, B.: *Zaštita crpilišta Mala Mlaka od mogućih zagađenja s pojasa zaobilazne autoceste oko Zagreba*, Ceste i mostovi 26, 3, 1980., str. 77.-84.
- [6] *COST 333: Development of New Bituminous Pavement Design Method, Final Report of the Action*, European Commission, Directorate General Transport, Brussels, 1999.
- [7] Emery, D. K.: *A Preliminary Report on Paved Shoulder Encroachment and Transverse Lane Displacement for Design Trucks on Rural Freeways*, Proceedings, ASCE Speciality Conference on Pavement Design for Practising Engineers, pp 6:10 to 6:15., 1975.
- [8] *Flexible Pavements, Proceedings of the European Symposium Euroflex, Lisbon, Portugal*, Edited by A. Gomes Correia, A.A. Balkema, 1996.
- [9] *Heavy Duty Surfaces: The Arguments for SMA*, European Asphalt Pavement Association, Breukelen, The Netherlands, 1998.
- [10] *Optimalizacija autocestovnih veza u prostoru Zagreb-Rijeka-Split*, Odsjek za promet, Zavod za prometnice, IGH, 1996.



Slika 13. Idejno rješenje kolničke konstrukcije za tunele

Slika 14. Kolnička konstrukcija na području naplate cestarine i stanicama za opskrbu gorivom

Betonski kolnik predviđa se i na stanicama za opskrbu gorivom gdje, pored gore navedenih razloga postoji i problem (ne)otpornosti asfaltnog kolnika na možebitno izlijevanje goriva.

Na takvim se površinama, dakle predviđa tip kolničke konstrukcije prikazane na slici 14.

## 6 Zaključak

Ponašanje naših izvedenih konstrukcija i nova europska praksa njihove izvedbe upućuje da bi trebalo uvesti određena poboljšanja u budućim projektima kolničkih konstrukcija, prvenstveno kod asfaltnih slojeva. U tom su smislu razrađena i predložena odgovarajuća idejna rješenja, koja uključuju odabir materijala i struktura kolnika za oštre klimatske uvjete i teško prometno opterećenje. Takva idejna rješenja potrebno je za konkretne slučajeve prilagoditi (odrediti) kako bi zadovoljila zahtjevima specifičnih okolnosti u pogledu prometnog opterećenja i klimatskih utjecaja.

- [11] ÖNORM, RVS 8S.06.23
- [12] ÖNORM, RVS 3.63 (1,2)
- [13] *Prethodna studija opravdanosti*, Odsjek za promet, Zavod za prometnice, IGH, veljača 1999.
- [14] *S naših gradilišta: Poluautocesta Oštrovica – Delnice puštena u promet*, Ceste i mostovi 42, 11-12, 1996., str. 283.-298.
- [15] Sršen, M.: *Sudjelovanje Hrvatske u europskim COST akcijama za ceste (prikaz međunarodnih znanstvenih projekata)*, Građevinar 49 (1997) 6, 333.-342.
- [16] Thom, N. H.: *A review of European pavement design*, Proceedings of the European Symposium Euroflex, Lisbon, Portugal, pp. 249.-255., 1996.
- [17] *Vizualni pregled oštećenja kolnika dionice poluautoceste Oštrovica-Tuhobić- Vrata-Delnice-Kupjak*, Odsjek za kolnike, Zavod za prometnice, IGH, srpanj 1999.
- [18] Vojnić, Ž.; Švabe, Ž.; Bašić, Z.: *Projektiranje i izrada asfaltnog pojačanja kolničke konstrukcije autoceste Ivanja Reka – Lipovljani*, Ceste i mostovi 27, 7-8, 1981., str. 209.-215.