

UDK 625.7 : 624.2/.8

CODEN CSMVB2

YU ISSN 0411-6380

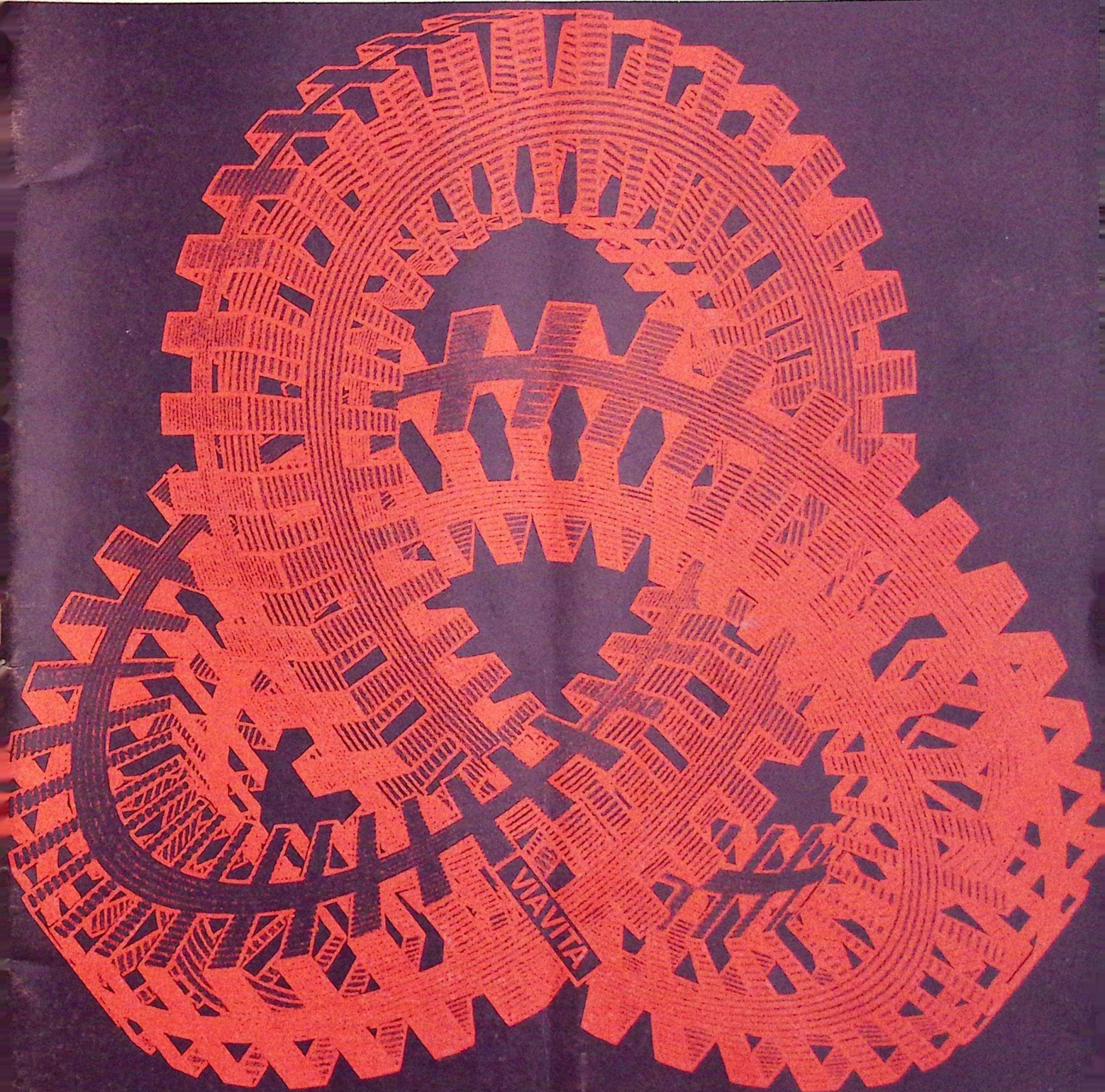
# CESTE I MOSTOVI

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

VOL. 26

Zagreb, 1980.

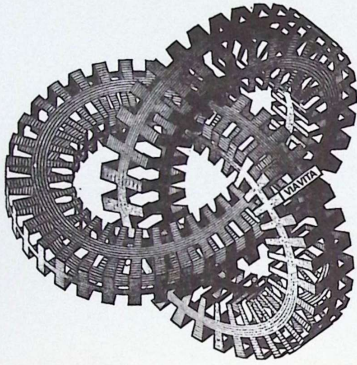
Broj 12





# CESEMOSIOM

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

Doc. dr Aleksandar Cvetanović  
Beograd

Dimenzioniranje fleksibilnih  
kolničkih konstrukcija po  
Shellovoj metodi

341

Branko Percel, Zagreb

Proračun stabilnosti kosina  
homogenih i uslojenih nasipa  
za slučaj vanjskog opterećenja  
i potresa

347

Kongresi, savjetovanja, izložbe

352

Sadržaj godišta

367

### 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 udane u Savez društava za ceste Hrvatske.

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

Kolektivna članarina određuje se srazmjerno veličini 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; primjerci u prodaji 12.— dinara.

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

Cijena oglasa: omočna stranica — 6.000.— dinara; unutarnja — 5.000.— dinara, 1/2 — 3.600.— dinara, 1/4 — 2.500.— dinara; inozemni oglasi: 1/1 — 660 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 Minarić, dipl. inž., Zagreb, zamjenik glavnog i odgovornog urednika, mr Braumir Babić, dipl. inž., Zagreb, mr Jovo Beslac, dipl. inž., Zagreb, Dušan Deković, inž., Rijeka, Krešimir Dugi, dipl. inž., Osijek, Endy Jakšić, dipl. inž., Split, Stanko Kovač, dipl. inž., Zagreb, mr Ivan Lović, dipl. oec., Zagreb, Tomislav Megja, dipl. inž., Zagreb, Josip Novak, dipl. inž., Zagreb, Branka Perović, dipl. inž., Zagreb, Zvonko Pilko, dipl. inž., Zagreb, Franjo Pregorec, dipl. oec., Zagreb, dr Zdravko Ramić, dipl. inž., Zagreb, Josip Sekopeč, dipl. inž., Zagreb, Karlo Telen, inž., Zagreb, Vladimir Weber, dipl. inž., Zagreb. Tehnički urednik: Mirjana Zec, prof. Grafička obrada: Branko Zlamalik.

Časopis izlazi mjesečno.

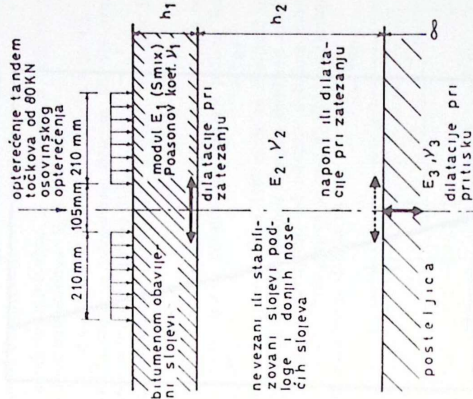
Tisak: NISKO »Vjesnik« — OOUR TMG — Pogon VŠ

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

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

Ova metoda je prvi put objavljena 1963. godine. Kolnička konstrukcija je predstavljena kao linearno elastični višeslojni sistem u kome su karakteristike materijala date Yungovim modulom E i Poissonovim koeficijentom  $\nu$ . Pretpostavlja se da je materijal homogen i izotropan, a slojevi imaju u horizontalnom smislu beskonačne dimenzije. Promet se izražava preko standardnog projektnog opterećenja, koje deluje vertikalno (podjednako raspodijeljeno preko jedne ili više kružnih površina) i horizontalno na površinu. »Vijek trajanja« kolnika se predstavlja kao zbirni broj osovina koje on može prihvatiti u toku svog služenja.

Fleksibilna konstrukcija se u principu sastoji od tri sloja (sl. 1). Najniži sloj, koji je neograničenih dimenzija u vertikalnom pravcu, predstavlja posteljicu. Srednji sloj predstavlja nevezanu gornju i donju podlogu ili cementom i krečom vezane (stabilizirane) slojeve. Gornji sloj predstavlja bitumenom vezane slojeve.



SL. 1 UPROŠĆENA KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA

Kod kolničkih konstrukcija »Full depth« (svi slojevi su bitumenom vezani i direktno postavljeni na posteljicu) uzima se da je debljina podloge od nevezanog materijala nula.

Najvažniji kriteriji za dimenzioniranje su (sl. 1):

- Da prevelike vertikalne deformacije na površini kolnika izazivaju nagomilavanje malih trajnih deformacija na površini zastora, koje kasnije dovode do trajnih deformacija i loma cijele kolničke konstrukcije;
- Da do loma u asfaltnim slojevima može doći zbog ponavljanja opterećenja (umora) i prekoracenja dozvoljenih elastičnih horizontalnih deformacija.

Postupak dimenzioniranja se sastoji u izboru takvih debljina slojeva kod kojih neće u kritičnim točkama, pod djelovanjem vozila, biti prekoracne dozvoljene deformacije.



Grafički postupak dimenzioniranja

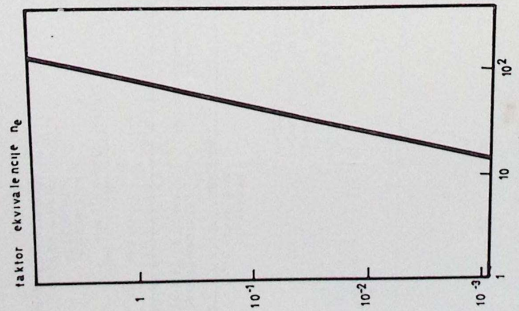
Potrebni podaci za dimenzioniranje pomoću dijagrama su: nosivost posteljice, tip bitumenske mješavine, ponderirana srednja godišnja temperatura zraka i projektno promjetno opterećenje.

Promet

Prometno opterećenje se izražava u ukupnom broju ekvivalentnih standardnih osovina za projektni period (standardne osvine po prometnoj traci po danu).

Standardno vozilo ima 80 kN po osovini. Podrazumi-jeva se da svaka osovina ima po dva tandem kotača ( $4 \times 20$  kN), pri čemu svaki ima kontaktni pritisak od  $6 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup> i radijus kontaktne površine od 105 mm.

Faktori ekvivalencije i rasta prometa čitaju se sa dijagrama na sl. 2 i tabele 1.



SL. 2 FAKTORI EKIVALENCIJE (Diagram L)

Tabela 1: Faktori rasta prometa

Godišnji rast, b/%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Projektirani period B, god.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
g	10	11	12	13	14	15	16	17	17	17
	15	16	16	19	21	23	25	27	29	32
	25	28	33	38	43	50	58	68	79	92
	30	35	41	49	58	70	84	101	122	149
	35	42	51	62	76	93	118	148	186	235
	40	49	62	78	99	127	164	214	280	365
										507

$B = \sum_{i=1}^n \left(1 + \frac{b}{100}\right)^i$   
 B = projektni vijek, godina  
 b = godišnji rast, %  
 i = interval vremena, normalno 1 godina

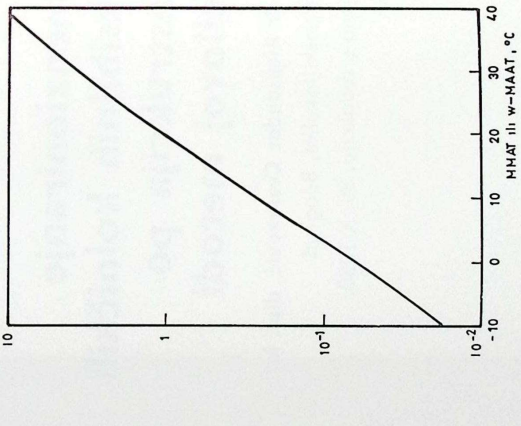
Temperatura

Ponderirana srednja godišnja temperatura zraka (W-MAAT) određuje se iz srednje mjesečne temperature zraka (MMAT). S obzirom na dnevne i mjesečne promjene temperature i njihov veliki utjecaj na osobine bitumenskih mješavina, W-MAAT (ne dobija se kao prosta aritmetička sredina MMAT) se dobija iz MMAT posredstvom krivulje ponderiranih temperatura na grafikonu W (sl. 3). Za svaku vrijednost MMAT očitava se s krivulje faktor ponderiranja. Zatim se na osnovi aritmetičke srednje vrijednosti ovih faktora s krivulje očitava MMAT ili W-MAAT (tabela 2).

Tabela 2: Određivanje ponderiranih temperatura zraka

Mjesec	MMAT °C	Faktor ponderiranja W
Januar	8	0.21
Februar	8	0.21
Mart	12	0.36
April	16	0.62
Maj	19	0.93
Jun	22	1.40
Jul	26	2.35
August	28	3.00
Septembar	22	1.40
Oktoobar	19	0.93
Novembar	12	0.36
Decembar	6	0.16
Zbir		11.93
Prosječna vrijednost		~ 1.0
W - MAAT, °C		19.5 ~ 20

faktor ponderiranja



SL. 3 KRIVA PONDERISANIH TEMPERATURA (Diagram W)

Posteljica

Dinamički modul posteljice  $E_d$  određuje se iz mjerenja dinamičkih ugiba pod opterećenjem pri vlažnosti tla koje će ono imati pod sličnim uvjetima u kolničkoj konstrukciji (na dubini od oko 1 m u prirodnom tlu).

Dimenzioniranje kolničkih konstrukcija

Minimalni potrebni moduli za različite visine nevezanih gornjih i donjih slojeva dati su orijentaciono na dijagramu E (sl. 5) (točnije u priručniku [1]).

Asfalti

Postoji skoro neograničen broj tipova asfaltnih mješavina. S gledišta dimenzioniranja, najznačajnije su dvije osobine: krutost mješavine pri kratkotrajnom opterećenju (dinamički modul elastičnosti  $S_{mod}$ ) i umor.

Dijagrami za dimenzioniranje su urađeni za tipične module (označene sa  $S_1$  i  $S_2$ ), umor ( $F_1$  i  $F_2$ ) i bitumen penetracije 50 i 100 pen (oznaka 50 i 100).

Kao rezultat, pored dimenzije slojeva, dobija se tip mješavine (osam kombinacija),  $S_1-F_1-50$ ,  $S_1-F_2-100$  itd.

Postupak dimenzioniranja

Dimenzioniranje, tj. očitavanje s dijagrama, obavlja se na osnovi parametara:

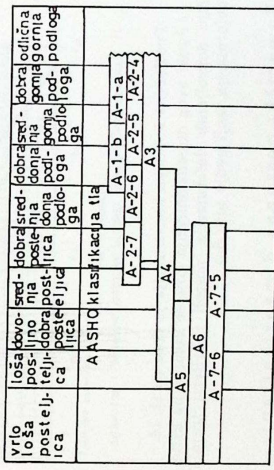
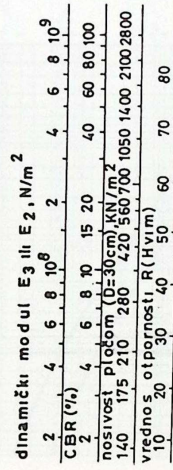
- tipa asfalne mješavine — označene s jednim od osam mogućih kodova:  $S_1-F_1-50$  itd.,
- klime — označene s W-MAAT (4, 12, 20 i 28 °C),
- vijeka trajanja — označen brojem 80 kN standardnih osovina N ( $10^4$  do  $10^7$ ),
- modula posteljice  $E_d$  ( $2.5 \times 10^7$ ,  $5 \times 10^7$ ,  $18^8$  i  $2 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>).

SL. 4 ODNOS DINAMIČKOG MODULA I CBR-a

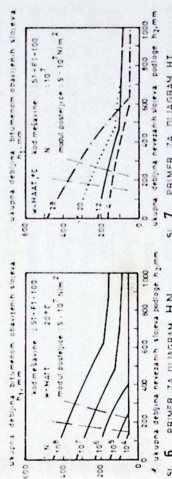
Na sl. 4 su dati odnosi između CBR i dinamičkog modula za posteljicu  $E_d$  i nevezane materijale u podlozi  $E_2$ . Nešto viši moduli, isprekidana gornja linija, važe za višeplastična tla s malim vrijednostima CBR.

Nevezani materijali

Stvarni dinamički moduli nevezanih gornjih i donjih slojeva zavise od njihove debljine i modula posteljice.



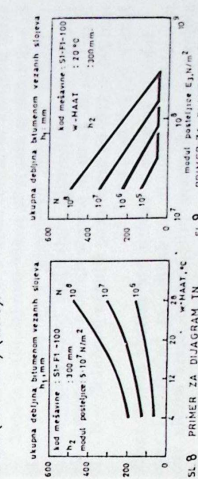
SL. 5 DIJAGRAM E



SL. 6 PRIMER ZA DIJAGRAM HN

Dijagrami HT (1-72) su slični s dijagramima HN, s tom razlikom što je ovdje promjenjiva W-MAAT (sl. 7). Interpolacija vrijednosti između standardnih osovina N i W-MAAT obavlja se na dijagramima (Tn 1-48) (sl. 8) (N je promjenjiva).

Odnos ukupne debljine asfaltnih slojeva i modula posteljice  $E_d$ , gdje je N promjenjiva, dat je na dijagramima (EN 1-48) (sl. 9).

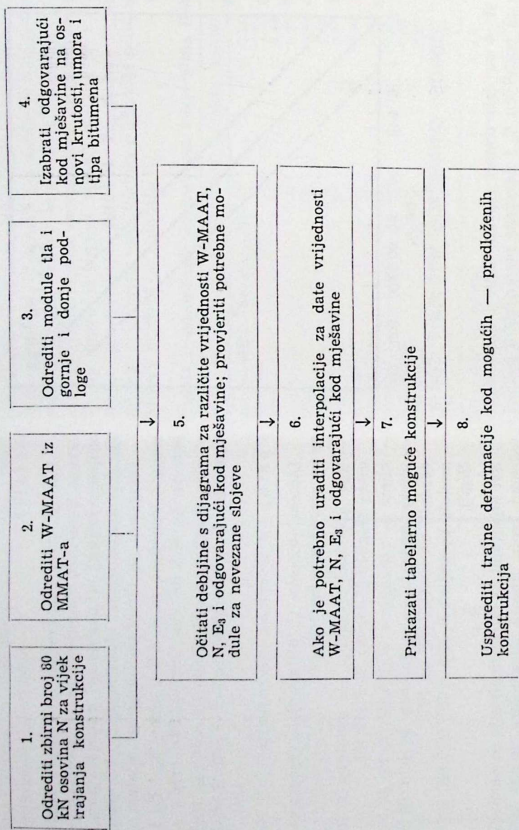


SL. 9 PRIMER ZA DIJAGRAM EN



Točka, u kojoj krivulje naglo mijenjaju pravac, predstavlja mjesto gdje deformacije u slijedećem dijelu konstrukcije postaju velike.

Osnovni koraci u dimenzioniranju su dati shematski na sl. 10.



Sl. 10 — Osnovni koraci dimenzioniranja

Primjer

Dimenzionirati kolničku konstrukciju za opterećenje  $N = 411$  (boz/24 od 80 kN)  $\times 2,09$  (koef. ekvivalencije) = 896 voz/24 h od 80 kN po osovini, odnosno 896  $\times 365$  (dana u godini) = 327040 (voz/god.) po prometnoj traci. Iz tabele 1 faktor rasta prometa ( $b = 4\%$ ) i  $B = 20$  god.,  $g = 31$  Ukupni broj ekvivalentnih standardnih osovina od 80 kN po traci  $N = 327040 \times 31 = 10^7$ . Modul posteljice  $E_1 = 5 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup> (CBR  $\approx 5\%$ ). Nevezani materijali u pod. su drobljeni šljunak s CBR = 80% (dinamički modul  $E_2 \approx 8 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>) i šljunak/pjesak s CBR = 20% ( $E_2 = 2 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>). W-MAAT od 20 °C označava relativno toplo podneblje, za koje je najpogodnija normalna asfaltna mješavina s bitumenom od 50 pen.

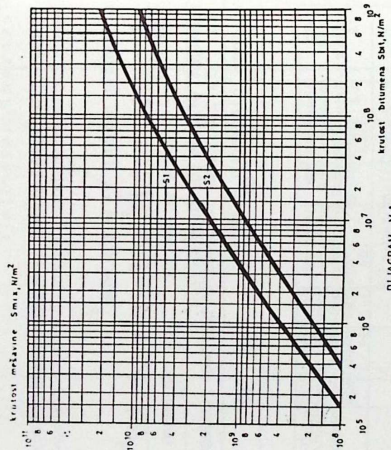
S obzirom na predloženu mješavinu karakteristike krutosti su predstavljene krivuljom S<sub>1</sub> (dijagram M-1) (sl. 11) a osobine umora krivuljom F<sub>1</sub> (dijagram M-3, sl. 12). Prema tome, odgovarajući kod mješavine je S<sub>1</sub>-F<sub>1</sub>-50. Debljina slojeva se čita s dijagrama HN 49. Predložena debljina asfaltnih slojeva  $h_1$  iznosi 260 mm ako je  $h_2 = 0$  i 150 mm ako je  $h_2 = 400$  mm (sl. 13).

Donjih 160 mm nevezanog sloja sastojat će se od šljunkovito-pleskovitog materijala (modul  $E_2 = 2 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>), na sl. 12 to je predstavljeno s  $h_{2-3}$  i gornjih 240 mm (90 + 150) od drobljenog šljunka (modul  $E_2 = 8 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>),  $h_{2-2} + h_{2-1}$ , na sl. 12.

Iako je moguće u okviru ove metode praviti razlike u osobinama asfaltnih mješavina za habajuće i vezne slojeve, u konkretnom primjeru to nema smisla zbog vrlo malih razlika.

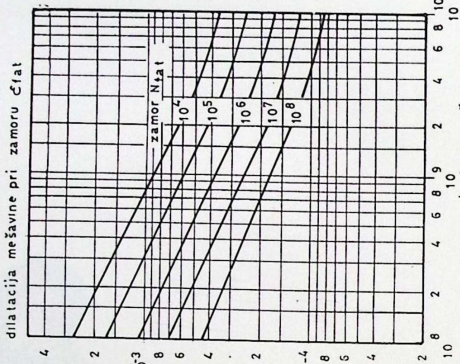
Numerički postupak dimenzioniranja Numerički postupak dimenzioniranja po ovoj metodi izvodi se pomoću programa za računanje BISAR [2]. Ulazni podaci su:

Predložena kolnička konstrukcija je data na sl. 14. Pored ovog dimenzioniranja koje se zasniva na kritériju dozvoljenih deformacija, postoji i kritérij trajnih deformacija, koji ovdje nije dat.



Sl. 11 KARAKTERISTIČNI ODNOSI IZMEĐU KRUTOSTI MEŠAVINE I BITUMENA

— broj slojeva  
— Yungovi moduli slojeva  
— Poissonovi koeficijenti slojeva

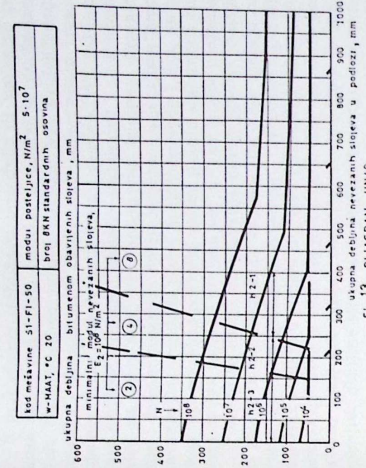


SL. 12 KARAKTERISTIKE ZAMORA MEŠAVINE F-1

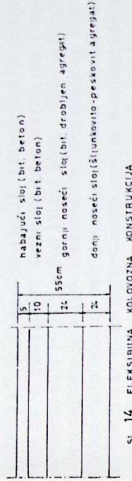
- relativno horizontalno pomjeranje dva sloja u zavisnosti od napona koji djeluju na površini
- broj slojeva
- vertikalna komponenta opterećenja
- horizontalna-tangencijalna komponenta opterećenja i kut koji ova komponenta zaklapa s X-om
- radijus opterećenja
- položaj opterećenja (u pravokutnom-dekartovom koordinatnom sistemu).
- Zahtjevi proračuna su:
- komponente naprezanja, deformacija i pomjeranja
- broj točaka u kojima se traže prethodni podaci
- koordinatne točaka.

Proračunom se dobivaju:

- 1. Za svako opterećenje odvojeno:
  - cilindrične komponente tenzora naprezanja
  - cilindrične komponente tenzora deformacija
  - cilindrične komponente vektora pomjeranja



SL. 13 DIJAGRAM HN49



SL. 14 FLEKSIBILNA KOLNIČKA KONSTRUKCIJA

2. Za kombinirano djelovanje svih opterećenja:

- pravokutne komponente tenzora naprezanja
- pravokutne komponente tenzora deformacija
- osnovne vrijednosti i pravci tenzora naprezanja
- osnovne vrijednosti i pravci tenzora deformacija
- najveća naprezanja pri smicanju
- najveće deformacije pri smicanju
- centar Mohrovih krugova naprezanja
- energija deformacije pri uvijanju
- ukupna energija deformacije.

Zbog obimnosti, obrađeni primjer nije dat u ovom članku. Detaljnije informacije o programu mogu se naći u priručniku za program BISAR i Inženjerskom računskom centru Građevinskog fakulteta u Beogradu.

Literatura

- [1] Shell pavement design manual, Shell International Petroleum Company Limited, London, 1978.
- [2] BISAR (Bitumen Stress Analysis in Roads), AMSR 0006.73 Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam, 1973.

Dr Aleksandar CVETANOVIĆ

DIMENZIONIRANJE FLEKSIBILNIH KOLNIČKIH KONSTRUKCIJA PO SHEELLOVOJ METODI

Metoda je objavljena prvi put 1963. godine. Kolnička konstrukcija je u stvari linearni elastični višeslojni sistem. Priказani su grafički i numerički postupci dimenzioniranja kolničke konstrukcije po Shellovoj metodi, uz odgovarajuće tabele i grafcikone.