

UDK 625.7 : 624.2/8

CODEN: CSMVB2

YU ISSN 0411-6380

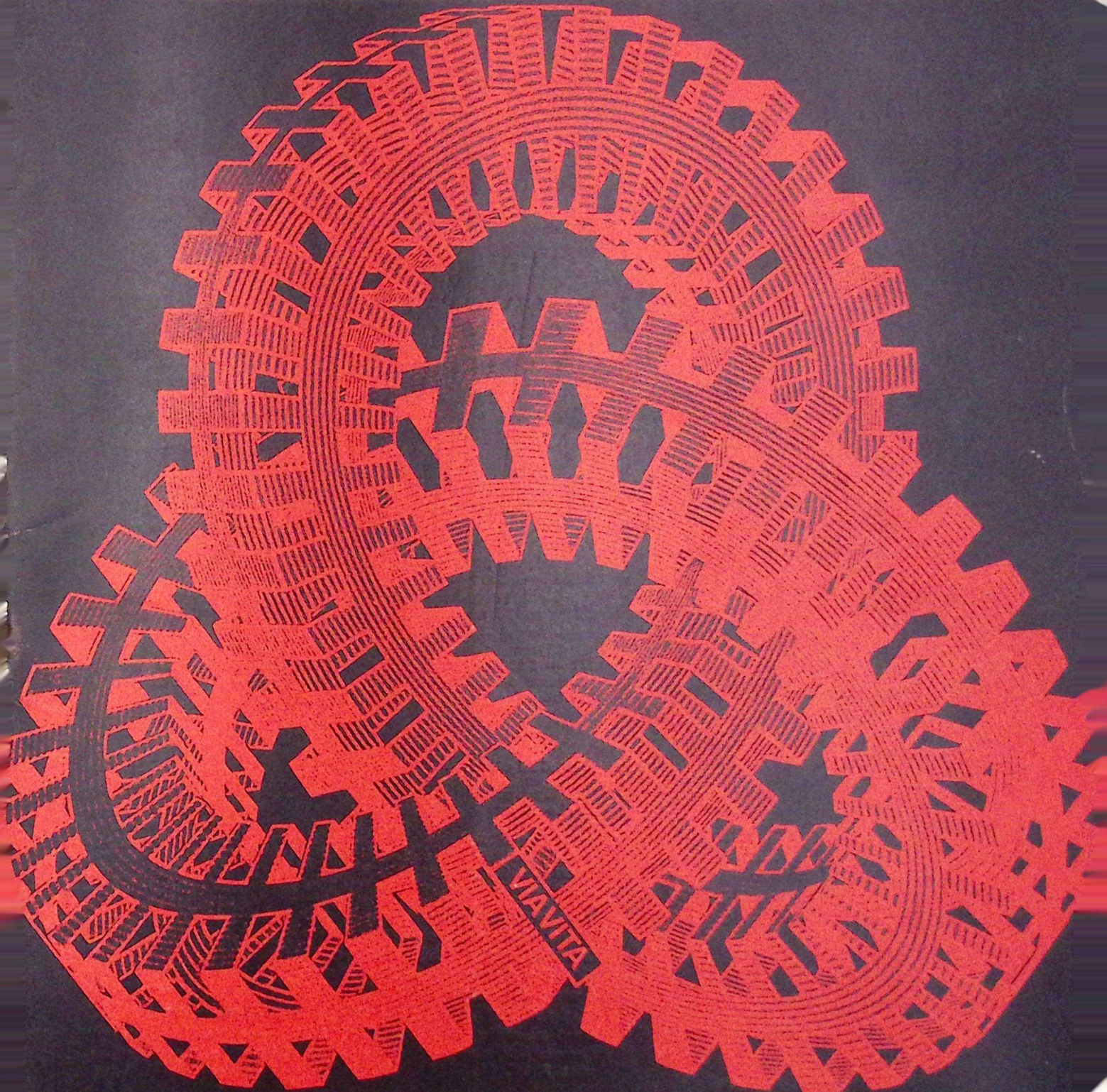
CESTE I MOSTOVI

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

Vol. 26

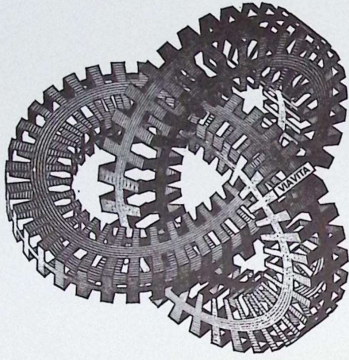
Zagreb, 1980.

Broj 2



ČESEMOSIOM

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



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

SADRŽAJ

Krešimir Sirovec, Zagreb Zbijanje bitumeniziranih mješavina na vibracijama	45
Dr ing. László Gáspár Suvereni nosivi slojevi kolničkih konstrukcija izrađeni od otpadnih materijala iz kamenoloma i šljunčara i pristrodnih drobnina dolomita i granita	52
Vladimir Marić, Zagreb Razvoj javnog gradskog putničkog prometa u Zagrebu	56
Delimir Vuletić, Zagreb Neke razmišljanja u vezi s donošenjem zakona o javnim cestama	61
Generálni prometni plan grada Zagreba — javne rasprave	66
Kongresi, savjetovanja, izložbe	71

1. Uvod

U ovom napisu obradeno je teoretsko djelovanje vibracija i primjena vibriranja na zbijanje bitumeniziranih mješavina.

Zbijanje bitumeniziranih mješavina vibracijama danas je u svijetu vrlo rašireno.

Kod nas se do sada nije posvećivala osobito velika pažnja zbijanju bitumeniziranih slojeva vibracijama.

Razlog tome je u prvom redu taj što nije bilo potrebe za nekim novim načinom zbijanja bitumeniziranih slojeva, jer je uobičajena shema rada s tri valjka (statički valjak s gumenim kotačima + 2 statička valjka s glatkim kotačima) zadovoljavala.

Naime, bitumenizirane mješavine radene s relativno mekšim bitumenima, bile su takve da su se najčešće mogle sabiti na zahtijevanu zbijenost i bez vibracijskog zbijanja.

Međutim, kada su se zbog povećanog prometa počele projektirati kolničke konstrukcije koje su morale zadovoljavati i zahtjeve za povećanom otpornošću protiv deformacija, došlo je do problema, jer se te nove bitumenizirane mješavine (s tvrdim bitumenom, erupitivnim kamenom, itd.) nisu mogle zbiti u propisanu zbijenost.

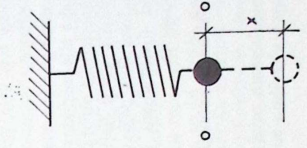
Prigle nekoliko godina prilazi se prvim sistematičnijim istraživanjima i pokusima zbijanja bitumeniziranih mješavina valjcima koji imaju mogućnost rada s vibracijama, a koje su pojedini izvođači radova već posjedovali.

Problem je vrlo aktualan, pa kako do danas o vibracijom zbijanju bitumeniziranih mješavina kod nas nije objavljen tako reći niti jedan napis, sabrao sam novija istraživanja o problemu zbijanja bitumeniziranih mješavina vibracijama iz inozemne literature, te koristeći ono malo vlastitog iskustva sastavio ovaj napis, kako bi svi zainteresirani, u svom radu pošli od nekih već poznatih postavki, a u cilju zajedničkog doprinosa boljoj kvaliteti naših prometnica.

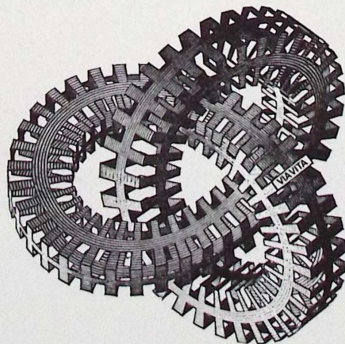
Napis je maksimalno, koliko je to bilo moguće, zbog obimnosti građe, skraćeno sastavljen, a svi oni koji žele opširnije podatke mogu ih potražiti u priloženoj literaturi.

2. Općenito o vibracijama

Ako na neko tijelo djeluje elastična sila, ona nastoji to tijelo, pomaknuto iz položaja ravnoteže, vratiti ponovo u položaj ravnoteže. Ta elastična sila proporcionalna je s otklonom iz tog položaja. Npr., na vertikalnu spiralu



ČESEMOSIOM



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 upozna i objasni s najnovijim dostignućima i iskustvima u projektiranju, gradnji, održavanju i svim akcijama na unapređenju cestovne mreže.

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

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

Pojedini primjerci: za poduzeće — 50.— dinara; primjerak u prodaji 12.— dinara.

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

Cijena oglasa: otno strana — 6.000.— dinara; unutarnja 1/1 — 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 Milinarić, dipl. inž., Zagreb, zamjenik glavnog i odgovornog urednika, mr Branimir Babić, dipl. inž., Zagreb, mr Jovo Bestić, dipl. inž., Zagreb, Dušan Deković, inž., Rijeka, Krešimir Dugi, dipl. inž., Osijek, Enđy Jakić, dipl. inž., Split, Stanko Kovac, dipl. inž., Zagreb, Ivan Liović, dipl. oec., Zagreb, Tomislav Megat, dipl. inž., Zagreb, Josip Novak, dipl. inž., Zagreb, Branko Perović, dipl. inž., Zagreb, Zvonko Pilko, dipl. inž., Zagreb, Frano Pregorec, dipl. oec., Zagreb, Josip Sekopet, dipl. inž., Zagreb, Karlo Telen, inž., Zagreb, Vladimir Weber, dipl. inž., Zagreb.

Tehnički urednik: Mirjana Zec, prof.

Gratička obrada: Branko Zlamalik

Časopis izlazi mjesечно.

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

Crtež na naslovnoj strani: M. C. Escher — Čvorovi (detalj)
Časopis izdaje Savez društava za ceste Hrvatske, Zagreb, Vontuina ulica 3, tel. 445-422/63, pošt. pret. 673, žiro-račun 30102-678-271

obješen je uteg (slika 1) koji je uravnotežen elastičnom silom spirale. Djeluje li neka vanjska sila na taj uteg, ona ga izvodno iz stanja ravnoteže, i uteg će obavljati vibracije.

Diferencijalna jednačba gibanja glasi:

$$\ddot{x} = -w^2x - 2k\dot{x} + f(t) \quad (1)$$

k = koeficijent otpora
f(t) = vanjska sila

Ta jednačba je nehomogena linearna diferencijalna jednačba drugog reda.

Oblik gibanja ovisi o karakteru vanjske sile koja remeti ravnotežu. Pretpostavimo da je ta sila periodična, i to sinusoidna perioda $T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1}$:

$$f(t) = p \sin w_1 t$$

a koeficijent otpora »k« manji od koeficijenta elastičnosti »w«. Diferencijalna jednačba glasi sada:

$$\ddot{x} + 2k\dot{x} + w^2x = p \sin w_1 t \quad (2)$$

Nakon sređivanja, jednačbu (2) dobivamo u obliku:

$$x = A_1 \sin(w_1 t + \varphi) \quad (3)$$

koji predoduje karakteristično gibanje amplitude A_1 , faze i perioda $T_1 = \frac{2\pi}{w_1}$, odnosno frekvencije $f_1 = \frac{w_1}{2\pi}$, a to je period, odnosno frekvencija sile poremećenja, dok je period vlastitih vibracija bio $T = \frac{2\pi}{w}$.

Vidimo da je vanjska sila nametnula svoj period sistemu. S tim u vezi stoji pojava rezonancije.

Izraz za amplitudu A_1 možemo napisati ovako:

$$A_1 = \frac{p}{w^2 \sqrt{\left(\frac{4k^2}{w^2} - \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 + \left[1 - \left(\frac{T}{T_1}\right)^2\right]^2}} \right)^2}$$

Analizirajući gornji izraz za amplitudu A_1 vidimo da s umanjnjem perioda vanjske sile T_1 , vrijednost koeficijenta $\frac{T}{T_1}$ dakle i vrijednost A_1 raste brzo da nekog maksimuma, a zatim opada i teži nuli, kod $\frac{T}{T_1} \rightarrow \infty$ tj. kod $T_1 \rightarrow 0$.

Taj maksimum može biti vrlo velik, kod malih vrijednosti koeficijenta otpora »k«.

Ako je razlika između perioda vlastitih vibracija sistema i perioda vanjske sile neznatna, ili ako se period podudara i ako je koeficijent otpora »k« malen, sistem će nakon nekog vremena izvršiti harmonično gibanje s vrlo velikom amplitudom. Ova pojava malog rasta amplitude vibracija pod djelovanjem čak sasvim malih utjecaja zove se rezonancija.

3. Vibriranje bitumeniziranih materijala

3.1. Uvodi
Prije pojave bitumeniziranih mješavina, a i kasnije, sva ispitivanja zbijenosti obavljala su se na zemljanim materijalima.

Strojevi za zbijanje izradivali su se samo za zbijanje zemljanih materijala i kao takvi počeli su se primjenjivati i za zbijanje bitumeniziranih mješavina.

Vrlo brzo se uvidjelo da strojevi za zbijanje zemljanih materijala ne odgovaraju i za zbijanje bitumeniziranih mješavina.

Međutim, rezultati ispitivanja zbijenosti zemljanih materijala kao i saznanja koja su stečena zbijanjem zemljanih materijala mogu se primijeniti uz izvjesna ograničenja i na zbijanje bitumeniziranih mješavina.

Bitumenizirane mješavine nisu ništa drugo do mješavine kamenih materijala u kojima je umjesto vode kao vezno sredstvo upotrijebljena jedna znatno viskozija tekućina-bitumen i čija viskoznost varira s promjenom temperature.

3.2. Osnove vibracionog zbijanja

Osnove vibracionog zbijanja zemljanih materijala i bitumeniziranih mješavina imaju puno zajedničkog, ali postoje i važne razlike.

Kod zbijanja nekog materijala cestovne konstrukcije vibracijom, zbijenost postižemo dvostrukim djelovanjem:

1. vertikalnim opterećenjem — koje se sastoji od vlastite težine samog materijala i od težine stroja koji obavlja zbijanje, i
2. prinudnim vibracijama koje su dane zakonitošću izrazenom u izrazu (3)

Prema BARKANU (3, 4) — nakon uređenja gornjeg izraza usvaja se

$$x = A \sin(wt + \varphi)$$

$$4\pi^2 f^2 A = \eta g$$

gdje je g — ubrzavanje zemljine teže, tj. koeficijent pora nekog materijala poslije zbijanja vibriranjem, ako se mijenjaju amplituda A i frekvencija f, zavisi samo od ubrzanja

Vibracije stvaraju čvrsti materijal u pokret, unutar koje trenje se smanji skoro na nulu, te se čvrsti materijal može lako pokretati i naći takav položaj u kojem će cjelokupni materijal koji vibriramo imati minimum skupljina.

Vibracije je većina od nas doživjela u vožnji automobilom kada kotač nije izbalansiran.

Te se vibracije nazivaju ekscentričnim momentom neizbalansiranog kotača. Taj princip rotirajućeg ekscentričeta nalazi se u upotrebi kod većine vibracionih valjaka.

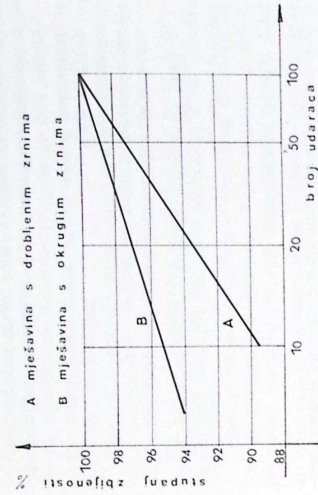
Frekvencija vibracija zavisi od rotacione brzine, a amplituda zavisi od težine valjka te veličine i težine ekscentra.

Frekvencija i amplituda su mjerodavne za učinak zbijanja vibro-valjaka. Drugi faktori koji utječu na učinak su broj vibrirajućih kotača, brzina valjaka itd.

Frekvencija se određuje kao broj ciklusa učinjenih od vibrirajuće jedinice u datom periodu vremena (najčešće minuta).

Amplituda je određena kao razmak preden od vibrirajuće jedinice na obje strane od neutralnog položaja, pod utjecajem vibratorskog mehanizma.

Početna pretpostavka kod ispitivanja vibro-valjaka bila je da se frekvencija i amplituda mogu odrediti unaprijed bez obzira na druge varijable.



sl. 2

Veći sadržaj drobljenih zrna kao i povećano maximum rezultiraju jednu vrlo stabilnu i krutu mješavinu. Isto djelovanje postiže se i tvrdim vezivom.

Viskozitet veziva se sa smanjenjem temperature povećava, i na podatljivost zbijanja dakle utječe i temperatura. Što je tvrdi bitumen, to je kraći period ohlađivanja za finišera, a isto tako i vrijeme za zbijanje.

Problemi zbijanja mogu se podijeliti, s obzirom na vrst mješavine u dvije glavne grupe:

- a) mješavine podatne deformacijama
- b) mješavine otporne na deformacije (stabilne-krute mješavine).

Podatna mješavina je jednostavnija za zbijanje. Ponekad u praksi stvara teškoće kod zbijanja, ali ne takve kao što ih stvaraju krute mješavine. Zbijanjem podatnih mješavina nećemo se na ovom mjestu baviti, jer o tome postoji mnoštvo literature i bogata praksa.

Kod stabilnih mješavina (otpornih na deformaciju) imamo mnogo problema koje moramo riješiti. Kao prvo, ni u kojem slučaju ne smijemo zbijanje olakšati.

Nedopustivo je da sadržaj veziva povećamo da bismo imali više »mazivnog sredstva« ili da dodajemo pijesak s okruglim zrnima kako bismo mješavinu učinili lakšom za zbijanje.

3.3.2. Utjecaj temperature zbijanja

Temperatura mješavine je indikacija otpornosti mješavine. Viskoznost mješavine i otpornost na deformaciju su kriteriji koji određuju red veličine temperature iznad koje bi se valjanje trebalo izvršiti.

Za neku datu temperaturu mješavine ista razvija sve veću otpornost ukoliko opterećenje raste. Kod vibro-valjka opterećenje raste brzo, te se pokušajima dobilo da se ispod temperature od 130°C ne može priti zbijanju mješavina s vibracijama jer bi visoka brzina vibracija razvila tako visoku otpornost na zbijanje u sloju, da se efektivno zbijanje ne bi moglo postići.

Iz toga proizlazi da se vibro-valjci moraju upotrijebiti neposredno iza finišera ili odmah čim sloj bude podnosio težinu valjka, bez stvaranja neravnina, dok je sloj još topao, jer je otpornost niža čak i kada se sloj brzo opterećuje.

K. Sirovec, dipl. inž.

- Na vrijeme trajanja zbijanja utječe više faktora:
 - temperatura ugradivanja (temperatura asfalne mješavine s jedne strane i sloja ispod toga odnosno stroja za zbijanje s druge strane.
 - vremenske prilike (temperatura zraka, vjetar...)
 - debljina sloja
 - svojstva valjka
 - način izvedbe (ručna, strojna)
 - vrsta mješavine (sitnozrnata ili krupnozrnata).

O svim navedenim faktorima mora se strogo voditi računa, jer u protivnom dobivamo rezultate koji nas ne zadovoljavaju.

3.3.3. Utjecaj predzbijanja

Kod mješavina otpornih na deformaciju imamo mnogo više problema s predzbijanjem nego kod podatnih mješavina.

Unatoč tome, moramo težiti da učinak finišera preduvjet da valjci mogu zbijati s visokim stupnjem djelovanja.

Böhmer (7) je na ispitivanjima zbijanja bitumenizirane mješavine s finišerom odredio razne utjecaje parametara na stanje zbijanja sloja koji se ugrađuje. Ti parametri su uglavnom frekvencija, visina dizanja daske, moment ekscentrične mase i brzina ugradnje.

Zaključak njegovih ispitivanja je: izvršiti čim je moguće veći rad na zbijanju finišerom prije nego se upotrebi vibro-valjci, ili, ako je predzbijanje nedovoljno, moramo upotrijebiti statički valjak da predzbijanje potvrdimo jer samo je tako moguće već prvim prijelazom vibro-valjka postići visoki stupanj djelovanja valjka i dobar rezultat zbijanja.

3.3.4. Utjecaj debljine sloja

Iz iskustva nam je poznato da tanke slojeve (ispod 4 cm) zbijamo vrlo teško. Razlog tome je brzo hlađenje mješavine, odnosno povećanje viskozne otpornosti koje se kod tanjih slojeva brže događa nego kod debljih slojeva.

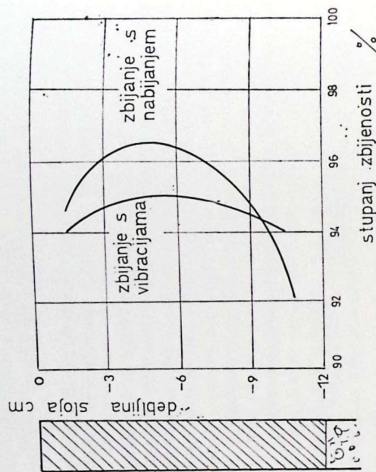
Utjecaj debljine sloja na rezultat zbijanja može biti dvojak:

- a) u debljim slojevima nastupaju pod teretom valjka veće deformacije (premištanje čestica sloja) čime se dobiva, do neke granice bolja zbijenost,
- b) 1. deblji slojevi hlade se polaganije — temperatura zbijanja je viša,
2. debljina sloja (proračunata kod jednog proizvodnog kapaciteta finišera) obrnuto je proporcionalna broju prijelaza valjka, tj. kod dvostrukog debljine sloja brzina finišera je dvostruko manja i valjci imaju dvostruko vrijeme zbijanja. Općenito možemo reći da je povećanje debljine sloja najdjelotvornije sredstvo da se poboljšaju okolnosti zbijanja, makar ovaj zaključak ima i svojih loših strana (zbijanje rubova je problematično, a ravnost sloja lošija).

Sve ovo uglavnom vrijedi za podatne mješavine. Kod mješavina otpornih na deformacije primijećeno je da, osim ohlađivanja sloja, na gustoću sloja, odnosno zbijenost, djeluju i drugi faktori.

Prema istraživanjima Böhmera (7) uzrok niže gustoće mješavine neposredno iza finišera nije samo u ohlađivanju

vanju mješavine nego vjerovatno veći utjecaj ima otpornost na trenje na kontaktnoj površini između zbijene mješavine s jedne strane i sloja ispod toga odnosno stroja za zbijanje s druge strane.



SL. 3

Kako je vidljivo iz slike 3, različiti razvoji gustoće vibracionog zbijanja nasuprot zbijanju nabijanjem po debljini sloja upućuje nas na zaključak, da se ovaj otpor trenja može bolje savladati s vibracijama.

Pokusima se ustanovilo da se slojevi tanji od 4 cm ne zbijaju s vibracijama.

3.3.5. Utjecaj brzine valjanja

Kod većih brzina valjanja potrebno je većinom više prijelaza. Pokusima se dobilo za npr. jedan 6-t-tandem-vibro-valjak koji je zbijao sloj od 5 cm BNS-a zbijenost od 97%, s četiri prijelaza s vibracijama i brzinom od 2,5 km/h, dok je za istu zbijenost kod brzine od 10 km/h bilo potrebno osam prijelaza.

S obzirom na podložnost neke mješavine na zbijanje i debljinu sloja nije uvijek moguće raditi s većom brzinom valjanja.

Brzinu valjanja mora se odrediti pokusom za svaki valjak posebno makar se može preporučiti da je brzina valjanja kod bitumeniziranih slojeva od 5 do 6 km/h.

4. Migracija finih čestica unutar bitumenizirane mješavine

Kolnici, na kojima su vidljive površine bitumena, uzrok je u migraciji bitumena i finih čestica obloženih bitumenom prema površini. Da bi se odredilo da li pod djelovanjem vibracija dolazi do migracije finih čestica mješavine prema površini, izvedeno je u SAD nekoliko ispitivanja (9).

S pokusnih dionica koje su zbijane statičkim valjanjem i vibro-zbijanjem uzeti su uzorci ugrađenog asfalta za ispitivanje.

Rezultati dobiveni zbijanjem statičkim valjanjem pokazali su da taj način valjanja nije znatno djelovao na granulometrijski sastav ili migraciju finih čestica i bitumena.

Pokazalo se, međutim, da vibro-valjci znatno djeluju na migraciju bitumena i/ili finih čestica prema površini kolnička sloja. Vizualna kontrola svih pokusnih dionica koje su zbijane vibro-valjcima nije pokazala nikakav znak »znojenja«, i ni jedna od pokusnih dionica nije se mogla smatrati opasnom za sigurnost prometa.

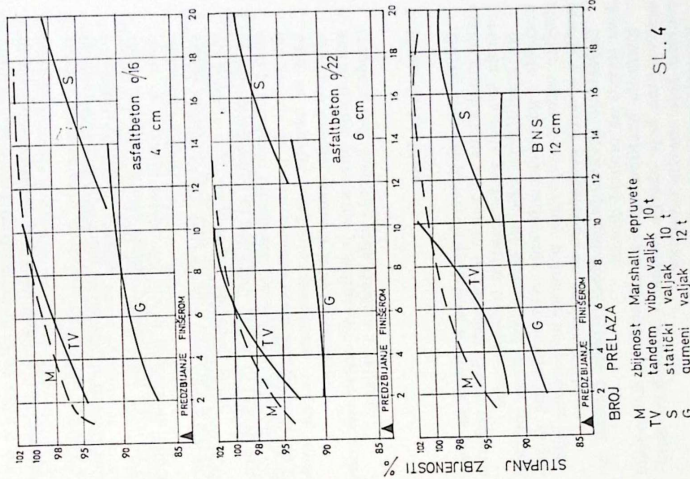
5. Pokusi zbijanja bitumeniziranih slojeva vibracijama

U raznim zemljama svijeta izvedeno je do danas mnogo pokusa zbijanja bitumeniziranih slojeva.

Ovi pokusi su jasno pokazali da se pojedini postupci valjanja, u odnosu na učinak zbijanja mogu podijeliti na:

1. vibraciono zbijanje
2. statičko zbijanje
 - a) s glatkim kotačima
 - b) s gumenim kotačima.

Na pokusnim dionicama testirani su različiti tipovi valjaka i različite kombinacije rasporeda i tipa valjaka. Pokazalo se da dosadašnji sistem zbijanja — valjak s gu-



SL. 4

menim kotačima, glatki valjci (tandem i s tri kotača) nije više dovoljan za uspješno zbijanje bitumeniziranih mješavina otpornih na deformacije.

Za ove otporne mješavine — slojeve bezuvjetno je potreban vibro-valjak.

Usporedbe različitih tipova vibracionih valjaka pokazale su da tandem-vibro-valjci s oba vibrirajuća kotača daju najbolje zbijanje i to s malim brojem prijelaza.

Svi pokusi i ispitivanja pokazali su da se svi problemi zbijanja ne mogu ublažiti ili okloniti upotrebom vibro-valjaka.

Drugi problem je upotreba pogrešnog vibro-valjka i sl., te pomanjkanje interesa i volje radnika da slijedi propisane postupke valjanja koji uključuju:

- a) temperaturu bitumenizirane mješavine prije početka vibro-zbijanja,
- b) postavljanje pravilne frekvencije i amplitude,
- c) brzinu valjanja,
- d) broj prijelaza valjkom.

Kod svih pokusa i ispitivanja osnovno pitanje je bilo: kojom tehnikom zbijanja se može savladati visoka otpornost na zbijanje odnosno krutost bitumenizirane mješavine.

Pretpostavka da kod savladivanja otpora trenja, koji prije svega zavisi od trenja između zrna i u manjoj mjeri od viskoznosti mješavine, ima vibro-zbijanje veći efekt od statičkog djelovanja valjka, potvrđena je ispitivanjima Blumera (5 i 6), a koja su prikazana na slici 4.

Izvršena su ispitivanja tri različite bitumenizirane mješavine s jednim finišerom i tri valjka (karakteristike dane u tab. I).

TABELA I

TIP VALJKA	TANDEM VIBRO VALJAK	GUMENI VALJAK	STATIČKI VALJAK
TEŽINA	10000	12000	10000
BRZINA	5	3	2,5
LINUSKO OPT. KGM	29		32/40
FREKVENCJA q/ht	2500		
AMPLITUDA	0,4/0,8		
OPT. KOTAČA	1700		
PRITISAK	5		

Rezultati triju pokusnih dionica pokazali su znatno viši stupanj djelovanja teških vibro-valjaka nego valjaka s gumenim kotačima i glatkim statičkih valjaka, čime je pretpostavka, naprijed dana, potvrđena (primjedba se može staviti na izbor valjaka za pokus jer danas imamo i vrlo teške valjke s gumenim kotačima (20 i više tona). Ustanovljeno je već ranije raznim pokusima zbijanja zemljanih materijala da je za njihovo zbijanje pogodna visoka amplituda i niska frekvencija npr. 1600—1700/min (26—28 Hz). Kod zbijanja bitumeniziranih mješavina (dakle tankih slojeva) pokazalo se da su najbolje frekvencije u području od 2000—3000/min (33—50 Hz) i amplitude između 0,4 i 0,8 mm.

U studiji Fishera (10) dana je zavisnost broja prijelaza i stupnja zbijenosti od frekvencije (slika 5).