

ŽORŽ ARKIE

**Glavni inženjer za puteve i mostove
Direktor Oblasne tehničke službe**

Z B I J A N J E
PUTEVI I AERODROMSKE PISTE
SREDSTVA I METODE

Prevodioci

**Dr ZDRAVKO JOKSIĆ, dipl. inž.
LEPOSAVA JOKSIĆ**

**IZDAVAČKO PREDUZEĆE
GRAĐEVINSKA KNJIGA
BEOGRAD, 1976.**

Naslov originala:

LE COMPACTAGE

Routes et Pistes d'envol

par

Georges ARQUIÉ

Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées
Directeur de l'Organisme Technique Régional

Préface de

Gilbert DREYFUS

Directeur des Routes et de la Circulation Routière

Deuxième édition

mise à jour et augmentée

ÉDITIONS EYROLLES

61, boulevard Saint-Germain — PARIS-V^e
1972

Za preduzeće odgovara: *Ljubica Jurela*, glavni urednik
Dragomir Lazin, urednik — *Emilija Božinović*, tehn. urednik i korektor
Vuka Ivanović, lektor — *Aleksandar Pajvančić*, omot i korice

Tiraž: 2000 primeraka

Štampa: „MINERVA” Subotica

PREDGOVOR JUGOSLOVENSKOM IZDANJU

Knjiga inž. Arkijea predstavlja najpotpuniji prikaz sadašnjih saznanja — teorijskih i praktičnih — iz oblasti ugradivanja i zbijanja materijala za potrebe puteva i aerodromskih pista. Po oceni istaknutih svetskih autoriteta, i po našem mišljenju, ona predstavlja vrhunski domet u tehničkoj literaturi posvećenoj zbijanju. U njoj su na izvanredan način i uz maksimalnu kritičnost ocenjena dosadašnja saznanja i dostignuća u ovoj oblasti, kako proizvođača sredstava za zbijanje, koji su se svojim programom proizvodnje unapred opredelili za određeni sistem zbijanja, tako i korisnika koji ta sredstva u praktičnom radu primenjuju.

Ova knjiga je istovremeno udžbenik i nezamenljivi priručnik neophodan svakom stručnjaku koji se bavi organizacijom i izvodenjem radova, jer pruža neophodne podatke o karakteristikama različitih uredaja koje nudi tržište i o njihovoj prilagodljivosti za različite vrste radova — zavisno od karakteristika korišćenih materijala, projektom predviđenih zahteva, dinamike izvršenja i lokalnih uslova, od kojih su najznačajniji klimatski i veličina gradilišta.

Pored iscrpnih podataka o kapacitetu i učinku pojedinih vrsta uredaja za zbijanje, datih kroz dijagrame, histograme i tabele sa numeričkim vrednostima, u knjizi se nalaze brojna upozorenja, uputstva, saveti i rezultati teorijskih i praktičnih istraživanja i ispitivanja, neophodni za optimalan izbor i korišćenje prikazanih uredaja za zbijanje.

Knjiga je savremeno koncipirana, a odabrani materijal prikazan sažeto i pregledno u nekoliko delova prema logičnom redosledu, od kojih je prvi posvećen analizi teorija zbijanja, pojmova i elemenata od uticaja na efekte zbijanja, a drugi opisu i klasifikaciji različitih vrsta uredaja za zbijanje. Treći deo posvećen je kontroli zbijanja i problemima u vezi sa rasipanjem rezultata i preciznošću merenja, a četvrti obuhvata vrlo značajnu oblast za operativce — klasifikaciju materijala za zbijanje, njihovu pogodnost za zbijanje različitim vrstama uredaja i vrlo korisne savete za izbor najpogodnijih oruđa, odnosno za otklanjanje uzroka nedostataka koji otežavaju ili onemogućavaju zbijanje materijala.

U završnom delu prikazani su različiti problemi koji se javljaju pri zbijanju i načini njihovog rešavanja. Takođe je data posebna analiza pokretljivosti i brzine

uredaja za zbijanje pri radu u vezi sa uticajem na njihov učinak, kao i neki specifični problemi.

Autor je nastojao da prikaže sadašnja znanja i dostignuća u ovoj oblasti u kojoj se još uvek luta, trudeći se da izdvoji one zaključke i iskustva koja se mogu smatrati dokazanim na osnovu teorijskih postavki i eksperimentalnih istraživanja obavljenih u Francuskoj. Mnoga od njih su obavljena u Centru za putna istraživanja u Ruanu, kojim je on lično rukovodio. U tom je, po našoj oceni, veoma uspeo, naročito ako se uzme u obzir da je ovo jedna od retkih knjiga te vrste u svetu.

Uredništvo biblioteke

PREDGOVOR

Knjiga g. Arkijea (Arquié) pojavljuje se u pravom trenutku da bi precizirala delatnost koja se naglo razvija i o kojoj se vodi mnogo polemike: zbijanje puteva i aerodromskih pista. To je oblast u kojoj su naša saznanja znatno obimnija nego što je to, bez svake sumnje, verovao autor započinjući svoj rad; zato mu na tome treba čestitati jer je našao snage i hrabrosti da savlada ovu materiju koja do sada nije bila obrađivana, koliko mi je poznato, ni u jednom sintetizovanom radu, bar na francuskom jeziku.

Ova knjiga ne predstavlja samo rezultat proučavanja i razmišljanja koja je g. Arkije obavio sa svojim saradnicima iz Centra za istraživanja u putogradnji u Ruanu. U njoj su isto tako korišćeni rezultati radova mnogih drugih inženjera, naročito u vezi sa zbijanjem obradenih i stabilizovanih šljunkova.

Potrebno je istaći da prvo poglavlje, u kom su pobrojane i analizirane teorije zbijanja (u vezi sa zbijanjem) i ukratko prikazani klasični ili noviji radovi, sadrži i jednu originalnu studiju o ulozi unutrašnjeg pritiska koji on izjednačuje sa „ekspanzionim pritiskom” nastalim pri vibriranju.

Praktičari će naročito povoljno oceniti IV glavu u kojoj će naći praktična uputstva o načinu zbijanja određenog zemljanog materijala u zavisnosti od njegove klasifikacije L.P.C. Uz to će naći u III glavi vrlo dragocene savete o načinu kontrole radova pri zbijanju, mada tako obavljena kontrola ispitivanja nije najpreciznija.

Konstruktori uredaja za zbijanje naći će u statističkim analizama II glave mogućnost za upoređenje uredaja koje oni proizvode sa nizom uredaja za zbijanje koji se mogu nabaviti na francuskom tržištu. Francuski inženjeri, kao i izvođači radova (preduzimači), sve češće obavljaju radove na zbijanju, a često i pri vrlo nepovoljnim uslovima; uveren sam da će im svima ova knjiga biti vrlo korisna jer je podjednako dobro pripremljena kako za one koji su na gradilištu, u dodiru sa zemljanim materijalima, nasipima, vremenskim uslovima i padavinama, tako i za one koji imaju vremena i sredstava da razmatraju probleme koje stvara zbijanje, da istražuju, da uvode novine, da stvaraju.

Neke od teza i preporuka koje je izneo gospodin Arkije neće svi prihvatiti, ali će svi naći u ovom radu vrlo korisna obaveštenja i uputstva kako se dobro i uz mini-

malni rizik koriste uredaji za zbijanje i ugrađivanje materijala, koji se svakodnevno koriste pri građenju i pojačanju puteva u Francuskoj.

Loše izvedeno zbijanje ima vrlo dalekosežne posledice, a inženjer koji je specijalizovan za radove u putogradnji mora pamtititi zlatno pravilo gospodina Arkijea: „Pri zbijanju ni u čemu ne škrtariti“.

Žilber DREFIS,

direktor puteva i putnog
saobraćaja

Gilbert DREYFUS,

Directeur des Routes et de la
Circulation Routière

ZAHVALNOST

Pisanje jednog dela kao što je ovo koje se usudujemo da čitaocu ponudimo predstavlja doduše lični rad, ali je jasno da to nije rad pojedinca, obavljen bez saveta i bez pomoći. Zato nam je dužnost da zahvalimo svima onima koji su nam pomogli na različite načine.

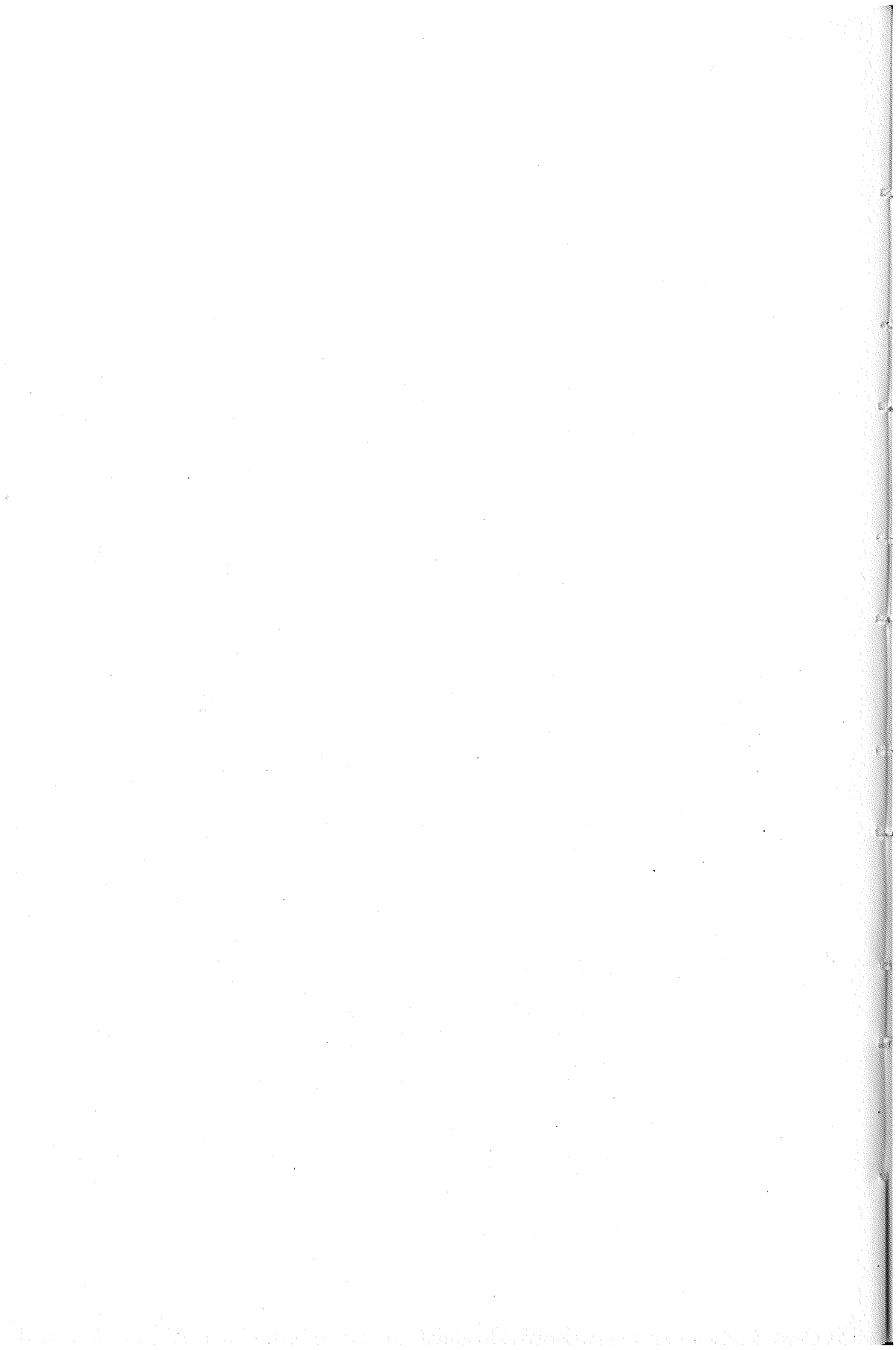
Navešćemo na prvom mestu našeg prijatelja, gospodina Žefroa (Jeuffroy), koji nam je sugerirao da napišemo ovo delo. Verovatno bi bez njegovog prvobitnog ohrabrenja uspeli da u našim fasciklama prikupimo jedva nekoliko beležaka bez međusobne veze.

G. Simon (Simon) iz Društva Rišier (Société Richier) i g. Paramitioti (Paramythioti) iz Društva Albare (Société Albaret) prihvatili su da pročitaju naše prve nacрте, da se kritički osvrnu i stave svoje primedbe, da nam pomognu u pripremi — redigovanju II glave i da nam pribave fotografije za ilustrovanje izlaganja koje su nam nedostajale. I ostali proizvođači uređaja za zbijanje prihvatili su da nam stave na raspolaganje sličan materijal. Za to smo im zahvalni.

Zahvaljujemo, takođe, na ovom mestu, svima onima koji su nam svojim primedbama omogućili da poboljšamo naš tekst, naročito gospodi Dirijeju (Durieu), Bertijeju (Berthier), Sotreju (Sauterey), Šefneru (Schaeffner), Birlou (Burlot) i Kombarijeju (Combarieu).

Ne smemo zaboraviti ni ulogu, bez sumnje znatno skromniju ali neprestanu, g-de Tifanj (Tiphagne), koja je strpljivo prekucavala više puta izvesne tekstove, koje smo zbog potrebe posla i novih saznanja morali doterivati, ni g. Lurinija (Lourini) koji je veoma brižljivo pripremio crteže na osnovu skica često nedovoljno preciznih.

Našu zahvalnost, koja iako je izražena na kraju, ne znači da je i najbeznačajnija — „last but not least” —, upućujemo g. Drefisu (Dreyfus), direktoru puteva i putnog saobraćaja, koji je prihvatio da pripremi predgovor našem delu. Kad čitamo ovakva zahvaljivanja u jednom delu, mi ih smatramo sasvim rutinskim, tako da ih zbog toga umalo nismo izostavili. Međutim, ispunjavajući taj zadatak osetili smo toliko zadovoljstva da nismo imali hrabrosti uskratiti čitaocu nabrojanje onih kojima dugujemo našu zahvalnost.



SADRŽAJ

PREDGOVOR JUGOSLOVENSKOM IZDANJU	VII
PREDGOVOR	IX
ZAHVALNOST	XI
OBJAŠNJENJA I OZNAKE	XIX
UVOD	XXI

GLAVA I – TEORIJE ZBIJANJA

1. Pojmovi u vezi sa zemljanim materijalima prošireni na asfaltne mešavine	2
1.1. Zemljani materijali tla. Definicija i komentari	2
1.2. Različiti pojmovi u vezi sa zemljanim materijalima i oznake	2
1.3. Prikaz Proktorovog postupka	5
1.4. Proširenje na asfaltne mešavine	5
2. Mehaničke osobine zemljanih materijala i uticaj vode na te osobine	7
2.1. Darsijev (Darcy) zakon	7
2.2. Unutrašnji pritisak	8
2.3. Kulonov (Coulomb) zakon	9
2.4. Morov (Mohr) krug. Odnos granične ravnoteže između glavnih napona (naprezanja) i parametara Kulonovog zakona	9
2.5. Skemptonovi (Skempton) koeficijenti unutrašnjeg pritiska	10
2.6. Uloga propustljivosti za vazduh	11
2.7. Zaključci o ulozi vode i vazduha u zemljanim materijalima	11
2.8. Pokušaj objašnjenja pojave gumenog jastuka	12
2.9. Dvojna uloga unutrašnjeg pritiska pri zbijanju. Vibracija	14
2.10. Naglo smanjenje mehaničkih karakteristika vodonepropustljivog zemljanog materijala kad procenat vazduha teži ka nuli	16
2.11. Analogija sa asfaltnim mešavinama	21
2.12. Upijanje i prirodna vlažnost	21
2.13. Ravnotežna vlažnost	23
3. Proktorove linije i indeks nosivosti CBR	24
3.1. Proktorove linije	25
3.2. Teorijsko objašnjenje	27
3.3. Opit CBR (Kalifornijski indeks nosivosti)	31
3.4. Rezime u vezi sa padom vrednosti indeksa CBR	35
3.5. Moguće komplikacije	35

4. Simonova (Simon) teorija o uređajima za zbijanje sa gumenim točkovima i njeno proširivanje na valjke s glatkim čeličnim točkovima	35
4.1. Bubrenje	36
4.2. Uslovi pogodnosti za zbijanje	37
4.3. Uproščavanje	37
4.4. Potpuno kohezivni zemljani materijali	38
4.5. Zemljani materijali koji imaju ugao unutrašnjeg trenja i koheziju	42
4.6. Proširenje na slučaj valjaka sa glatkim čeličnim točkovima. Zemljani materijali koji poseduju koheziju i unutrašnje trenje veće od nule	46
4.7. Simonovi (Simon) zaključci	50
5. Barkanova (Barkan) teorija	51
5.1. Definicija vibracije	51
5.2. Fundamentalni odnos	51
5.3. Promena koeficijenta vibro-zbijanja s vlažnošću	52
5.4. Efekat nastavka zbijanja	52
5.5. Slučaj predzbijanja	53
5.6. Prostiranje talasa u zemljanom materijalu	53
5.7. Maksimalna dubina zbijanja	54
5.8. Dinglaovi (Dunglas) radovi	57
5.9. Odnos između horizontalnih i vertikalnih statičkih naprezanja	58
5.10. Promena amplitude	58
5.11. Zaključak o vibriranju	59
6. Razmišljanja o gnječenju	59
6.1. Pokušaj definisanja	59
6.2. Korist od gnječenja	59
6.3. Dejstvo gnječenja svakog uređaja za zbijanje	60
6.4. Dejstvo gnječenja specifično za izvesne uređaje za zbijanje	61
6.5. Vibriranje i gnječenje	62

GLAVA II — UREĐAJI ZA ZBIJANJE

1. Opšti deo	64
1.1. Opšta definicija	64
1.2. Klasifikacija uređaja za zbijanje	64
1.3. Definicije	64
1.4. Program glave	66
1.5. Napomena	67
2. Valjci sa glatkim čeličnim točkovima	67
2.1. Opšti deo	67
2.2. Opšti opis i klasifikacija	68
2.3. Ukupne težine sa dopunskim opterećenjem	71
2.4. Opterećenje po santimetru izvodnice	72
2.5. Širina zbijanja	74
2.6. Efikasnost	75
2.7. Dopunska oprema	75
3. Valjci sa ovčijim nogama — Ježevi i njima slični	77
3.1. Opšti deo	77
3.2. Opšti opis i razvrstavanje	78

3.3. Dopunska oprema	83
3.4. Razno	84
4. Valjci s gumenim točkovima	84
4.1. Opšti deo	84
4.2. Opšti opis	85
4.3. Dopunska oprema	96
5. Vibracioni valjci	98
5.1. Opšti deo	98
5.2. Opšti opis i klasifikacija	98
5.3. Ukupne težine u opterećenom stanju	102
5.4. Širine zbijanja	103
5.5. Frekvencije	104
5.6. Efikasnost i područje primene	105
5.7. Prednosti vibracionih valjaka	107
5.8. Nedostaci	107
5.9. Dopunska oprema	108
5.10. Vibracioni valjci s ovčijim nogama (ježevi) i njima slični	108
5.11. Vibracioni uređaji sa gumenim točkovima	108
5.12. Valjci sa gumenim točkovima povezani sa vibracionim glatkim čeličnim točkom	109
6. Vibracione ploče	109
6.1. Opšti deo	109
6.2. Opšti opis i klasifikacija	110
6.3. Težine	115
6.4. Dimenzije	116
6.5. Frekvencije	116
6.6. Brzina napredovanja kretanja u radu	116
6.7. Efikasnost i područje primene	116
6.8. Prednosti i nedostaci	117
7. Uređaji za zbijanje udarom	117
7.1. Opšti deo	117
7.2. Opšti opis i klasifikacija	117
7.3. Efikasnost i područje primene	119
7.4. Prednosti i nedostaci	119
8. Specijalni uređaji	119
8.1. Uređaj za zbijanje proširenja	119
8.2. Uređaj za zbijanje rovova	120
8.3. Uređaj za zbijanje spojeva	122
8.4. Uređaji za zbijanje zastora na strmim obalama	122

GLAVA III — KONTROLA ZBIJANJA

1. Uvod	123
1.1. Značaj kontrola	123
1.2. Klasifikacija metoda kontrole	123

2. Kontrola karakteristika zbijenog zemljanog materijala	124
2.1. Rasipanje rezultata merenja	124
2.2. Karakter „a posteriori“ ovih metoda	130
2.3. Različite metode kontrole karakteristika zbijenog materijala	131
2.4. Kontrole merenjem zapreminske težine u suvom stanju	131
2.5. Kontrola pomoću metoda s mehaničkim merenjem	137
2.6. Metode ispitivanja prelazom vozila	140
3. Kontrole na uređaju za zbijanje	141
3.1. Opitna polja	141
3.2. Kontrola uređaja za zbijanje i broja prelaza	142
3.3. Kontrola prestanka dejstva-efikasnosti uređaja za zbijanje	143
4. Nacrt nove metode	144
4.1. Izrada opitnih polja kontrolisanih na osnovu merenja sleganja i primenom radioaktivnih izotopa	144
4.2. Izrada i kontrola izrade	150
4.3. Slučaj nasipa izradenih od materijala sa krupnim elementima	153

GLAVA IV – PRILAGODAVANJE POSTUPAKA I ORUĐA ZA ZBIJANJE MATERIJALIMA PREDVIĐENIM ZA ZBIJANJE

1. Klasifikacija zemljanih materijala	154
1.1. Uvod	154
1.2. Sitnozrni i krupnozrni zemljani materijali	155
2. Organska tla	164
2.1. Jako organska tla	164
2.2. Organske prašine i organske gline	164
3. Sitnozrna tla	165
3.1. Opšti deo	165
3.2. Prašine	171
3.3. Glina	175
3.4. Kreda	176
4. Peskovi	180
4.1. Prašinasti i glinoviti peskovi	180
4.2. Čist pesak loše granuliran	181
4.3. Čist pesak dobro granuliran	182
5. Neobrađeni šljunkovi	183
5.1. Plastični šljunkovi	183
5.2. Loše granulirani šljunkovi	185
5.3. Dobro granulirani šljunkovi	189
5.4. Materijali sa vrlo krupnim zrnima	190
6. Obradjeni šljunkovi	191
6.1. Vlažnost	192
6.2. Period u kome se mora obaviti zbijanje	193
6.3. Saobraćaj	193
6.4. Rezultati	193
6.5. Proširenje na dobro granulirane neobrađene šljunkove sa nezaobljenim zrnima	194

7. Asfaltne mešavine	194
7.1. Asfaltne mešavine po hladnom postupku, emulzijom obavijeni šljunkovi ..	194
7.2. Asfaltne mešavine po toplom postupku	195
7.3. Poseban slučaj utiskivanja agregata	204
8. Zbijanje površinskih obrada	205
9. Opšta tablica	205

GLAVA V – RAZLIČITI PROBLEMI PRI ZBIJANJU

1. Sposobnost kretanja uređaja za zbijanje	209
1.1. Uvod	209
1.2. Sposobnost upravljanja	210
1.3. Pokretljivost	212
1.4. Kritika prethodnih ispitivanja	213
1.5. Kako poboljšati pokretljivost uređaja za zbijanje	213
1.6. Posledice	217
2. Uticaj brzine zbijanja na učinak	218
2.1. Uticaj brzine	218
2.2. Učinak uređaja za zbijanje	223
2.3. Energija zbijanja	224
3. Različita ekonomska razmatranja	226
3.1. Teorijski i ekonomski problemi	226
3.2. Pojednostavljenje problema	227
3.3. Činioci koji utiču na koštanje	228
3.4. Zlatno pravilo zbijanja	229
4. Zbijanje u prostorima ograničene veličine	229
4.1. Upotreba peskova	230
4.2. Upotreba specijalnih uređaja za zbijanje malog gabarita	231
5. Spontano rastresanje izvesnih zemljanih materijala	231
6. Efekat nakovnja	232

GLAVA VI – ZAKLJUČAK

ANEKS I – Hidraulički izrađeni nasipi	235
1. Opšti deo	235
1.1. Definicija	235
1.2. Neophodnost zbijanja	235
1.3. Ekonomski problemi	235
1.4. Izrada hidrauličkih nasipa	236
1.5. Program izlaganja u aneksu	236

2. Zemljani materijali korišćeni za izradu hidrauličkih nasipa	237
2.1. Peskoviti zemljani materijali	238
2.2. Prašinoviti i glinoviti peskovi	238
2.3. Čvrsti kohezivni zemljani materijali	239
2.4. Meki kohezivni zemljani materijali	239
3. Segregacija	240
4. Zbijanje hidraulički izrađenih nasipa	240
4.1. Zbijanje peskovitog zemljanog materijala (ili peskovitog materijala koji sadrži malo sitnozrnih čestica)	241
4.2. Zbijanje hidrauličkih nasipa od sitnozrnih materijala	242
5. Zaključak	242
ANEKS II – Problemi konsolidacije	243
1. Definicija	243
2. Primarna i sekundarna konsolidacija	243
2.1. Prva faza	243
2.2. Druga faza	244
2.3. Treća faza ili sekundarna konsolidacija	244
3. Putni problemi koje izaziva konsolidacija	245
4. Postupci konsolidacije	245
4.1. Nasip za opterećenje	245
4.2. Peščani šipovi	246
4.3. Metoda drvenih šipova	247
4.4. Vibroflotacija	247
4.5. Korišćenje eksploziva	249
4.6. Upoređenja	249
ANEKS III – Teorijske cene koštanja po času rada	251
1. Amortizacija	251
2. Troškovi eksploatacije	252

OBJAŠNENJA I OZNAKE

- γ_s : specifična težina čvrstih čestica-zrna.
 γ_w : specifična težina vode ($\gamma_w \neq 1$).
 γ : zapreminska težina tla u vlažnom stanju
 γ_d : zapreminska težina tla u suvom stanju
 n : poroznost
 e : indeks šupljina (katkad se označava sa ϵ)
 e_{\max} : indeks maksimalnih šupljina
 e_{\min} : indeks minimalnih šupljina
 I_d : indeks gustine $I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$
 w : vlažnost (sadržina vode u materijalu)
 S_r : stepen zasićenja
 a : procenat vazduha
 W_L : granica tečenja
 W_p : granica plastičnosti
 I_p : indeks plastičnosti
 I_c : indeks konsistencije $I_c = \frac{W_L - W}{I_p}$
 k : koeficijent vodopropustljivosti (Darsijev zakon)
 u : unutrašnji pritisak
 σ' : normalni intergranularni napon
 σ : ukupni normalni napon
 σ'_1 : glavni viši (gornji) napon (intergranularni)
 σ'_3 : glavni niži (donji) napon (intergranularni)
 τ' : tangencijalni intergranularni napon
 τ : totalni tangencijalni napon
 C i C' : kohezija
 φ i φ' : ugao unutrašnjeg trenja
 R : poluprečnik Morovog kruga
 d : odstojanje centra Morovog kruga od koordinatnog početka
 A : amplituda vibracija
 N : frekvencija vibracija
 η : odnos ubrzanja nastalog usled vibracija i ubrzanja Zemljine teže
 π : ekspanzioni pritisak
 g : ubrzanje Zemljine teže
 β : koeficijent vibro-zbijanja

OBRASCI

$$e = \frac{n}{1 - n}.$$

$$n = \frac{e}{1 + e}.$$

$$\gamma_d = (1 - n) \gamma_s.$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}.$$

$$\gamma = \gamma_d (1 + w).$$

$$S_r = \frac{w \gamma_d}{n \gamma_w} = \frac{w \gamma_s}{e \gamma_w}.$$

$$a = n (1 - S_r).$$

$$S_r = \frac{n - a}{n}.$$

$$a = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} - \frac{w \gamma_d}{\gamma_w}.$$

$$\sigma = \sigma' + u.$$

$$\tau = \tau'.$$

$$\tau' < C' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi'.$$

$$R = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}.$$

$$d = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}.$$

$$R = C' \cos \varphi' + d \sin \varphi'.$$

$$4 \pi^2 N^2 A = \eta g.$$

$$I_d = 1 - C e - \beta \eta_0.$$

UVOD

Kao nekada priroda, i stručnjak za puteve sadašnjice užasava se od šupljina.

Zbog toga on zbija nasipe, platforme, završne slojeve nasipa, donji stroj kolovozne konstrukcije, površinske slojeve i ostale elemente puta, da bi sveo na najmanju moguću meru, šupljine u materijalima koje koristi.

Ovo zgušnjavanje nije samo sebi cilj već se obavlja zbog toga što izaziva četiri vrste posledica za koje je u velikoj meri zainteresovan inženjer angažovan na izgradnji puteva.

1. Pod dejstvom stalnih opterećenja ili prolaznih opterećenja vozila kojima je izložen, svaki materijal ugrađen u sloj kolovozne konstrukcije ili ispod nje pokazuje tendenciju da se naknadno zgusne, da se zrna u njemu bolje slože, da se zbije. Zbog toga se istražuju mogućnosti njegovog zbijanja i dovođenja u takvo stanje zgusnutosti da se onemoguće sve kasnije promene u tom smislu ili bar da se učine manje mogućim ili manje opasnim.

Osnovni cilj povećanja gustine u toku zbijanja je da se *onemoguće kasnije veća sleganja*, kao što su, na primer, ona na nasipima u blizini objekata koji ne sležu.

Ovaj primer pokazuje da se sleganja smatraju utoliko opasnijim što su neujednačenija od jednog do drugog kraja podužnog profila ili od jednog do drugog poprečnog profila. Iako se smatra da nije moguće potpuno eliminisati svo sleganje, potrebno je onemogućiti svo *diferencijalno sleganje*.

Potrebno je takođe da se neznatna sleganja ne pojavljuju na nivou koji bi mogao izazvati *deformacije* u kolovoznoj konstrukciji, deformacije koje bi ozbiljnije poremetile ravnost površine kolovoza.

To je naročito slučaj ako se obavlja kanalisani saobraćaj po relativno uskim saobraćajnim trakama, što može izazvati tečenje materijala i pojavu *kolotraga*.

2. Izbeći sleganja i deformacije bilo koje vrste nije dovoljno da bi se sprečilo propadanje kolovozne konstrukcije. Ali svako povećanje gustine zemljanog materijala dovodi istovremeno do povećanja, katkad vrlo znatnog, njegovih mehaničkih karakteristika.

2.1. Karakteristike stabilnosti moguće je shematski predstaviti sa dva parametra dijagrama čvrstoće na smicanje zemljanog materijala: uglom unutrašnjeg trenja φ i kohezijom C . Iskustvo pokazuje da se povećanjem gustine povećava jedna ili druga od navedenih karakteristika.

2.2. Različiti moduli korišćeni u putnoj tehnici za određivanje deformabilnosti, i pored toga što se sve više koristi, takođe su vrlo osetljivi na povećanje gustine zemljanog materijala. Iako danas nije moguće smatrati indekse debljine kao savršeno jasne i potpuno dokazane pojmove, oni ipak pružaju mogućnost da se na osnovu njih dobije izvesna indikativna vrednost koja označava smisao izvesnih fenomena. Ovi indeksi jako rastu kao kubni koren modula čije je povećanje zbog toga poželjno.

I kod nosećih slojeva od obrađenih šljunkovitih materijala postižu se vrlo uočljiva poboljšanja u funkciji od povećanja njihove gustine.

3. Smanjenjem pora u zemljanom materijalu postiže se uglavnom *smanjenje uticaja vode*.

3.1. Jasno je da je vodopropustljivost materijala u tesnoj vezi s poroznošću zbijanog materijala. Ova činjenica je naročito uočljiva i jasna kod asfaltnih mešavina koje se zbijanjem mogu učiniti skoro potpuno vodonepropustljivim, ali se to postiže i sa ostalim slojevima kolovozne konstrukcije. Čak i neobrađeni čisti šljunkovi mogu postići izvesnu vodonepropustljivost pod dejstvom zbijanja.

3.2. Usled poboljšanja vodonepropustljivosti najčešće se smanjuje osetljivost materijala na vodu.

Ovo poboljšanje se postiže, izgleda jedino uz smanjenje vlažnosti — sadržine vode u materijalu, a smanjenje vodopropustljivosti omogućava postizanje povoljnije ravnoteže.

Smatramo takođe da će jedno jako zbijeno i vrlo slabo vodopropustljivo tlo, ali koje je sačuvalo ili je u situaciji da može steći veliku vlažnost,⁽¹⁾ imati vrlo loše mehaničke karakteristike (videti poglavlje I.2.10).

4. Najzad, smanjenjem poroznosti poboljšava se *otpornost agregata na trenje*. Bolje „uglavljene i složene”, a time i sa neznatnijim mogućnostima za manja pomeranja, kameni elementi (zrna) su izloženi manjim opasnostima od trošenja i drobljenja koja izazivaju nastajanje peskova i sitnozrnih čestica.

Vrlo poželjne, zbog navedenih razloga, velike zapreminske težine u suvom stanju i male poroznosti postižu se na taj način što se preko zemljanih masiva ili slojeva kolovozne konstrukcije kreću uređaji za zbijanje velike težine, sa vibracijama ili bez njih. Oblik i vrste kontaktnih površina, koje mogu biti vrlo promenljive, nisu bez uticaja na postignute rezultate. Neki od tih uređaja bolje se prilagođavaju određenim vrstama zemljanih materijala za zbijanje.

Poznavanje opštih svojstava zemljanih materijala, koja najčešće uslovljavaju prilagođavanje određenog uređaja za zbijanje određenom materijalu za zbijanje, neophodno je kao i poznavanje svojstava uređaja za zbijanje. Zbog toga će prva glava knjige biti posvećena svojstvima zemljanih materijala koje je moguće zbijati, a u njoj će čitalac naći i teorijska razmatranja i novine koje će mu, nadamo se, objasniti i fenomene zbijanja.

U drugoj glavi obrađene su različite vrste uređaja za zbijanje, uz nastojanje da ih opišemo i klasificiramo.

⁽¹⁾ Ili, tačnije rečeno, viši stepen zasićenja.

U trećoj glavi knjige obrađeni su problemi u vezi sa kontrolom zbijanja. Ovo pitanje je posebno izdvojeno zbog toga jer predstavlja, po našoj oceni, fundamentalni problem: dobijeni rezultat može se proceniti na zadovoljavajući način jedino ako smo u stanju da ga definišemo i proverimo da li je stvarno i postignut. Nemoguće je isto tako na zadovoljavajući način upoređivati dva uređaja za zbijanje ili dva postupka korišćenja jednog istog uređaja za zbijanje, ukoliko nismo u stanju da merimo postignute rezultate.

U ovoj glavi pokazaćemo da je neophodno odreći se mnogih iluzija o stvarnoj vrednosti naznačenih ili izmerenih rezultata. Ozbiljna i stroga kontrola iziskuje značajna sredstva.

U četvrtoj glavi izlaganja započinju sa klasifikacijom materijala. Označene su karakteristike, no bez razmatranja opštih svojstava već samo onih koja su specifična za svaku vrstu zemljanog materijala. Pri tome smo nastojali da pružimo savete u vezi sa izborom postupka zbijanja prilagođenog svakoj vrsti zemljanog materijala. Smatramo da bi u ovim savetima trebalo ići dalje samo ako bi se metode kontrole navedene u prethodnoj glavi primenjivale uz veću preciznost i strogost.

U petoj glavi prikazano je nekoliko specifičnih slučajeva koje nije bilo moguće uvrstiti u prethodne glave.

*
* *

Izvesnu originalnost ovom delu daje nastojanje da se stvori most između zemljanih materijala i asfaltnih mešavina. Asfaltna mešavina nisu ništa drugo, sa našeg stanovišta i za potrebe ovog rada, nego zemljani materijal u kome je voda zamenjena jednim znatno viskoznijim vezivom.

Ovakav način posmatranja stvari omogućio nam je izvesna vrlo interesantna razjašnjenja.

*
* *

Zbijanje je prilično teška materija, a pisanje jednog ovakvog dela koje nam je povereno — vrlo delikatan posao, jer je problem još nedovoljno poznat i razjašnjen.

Jedan od razloga nedovoljnog poznavanja problema proizilazi iz teškoća izvođenja opita u prirodnoj razmeri: tu nailazimo na uzroke različitih i mnogobrojnih promena, zbog kojih su nam u izvesnoj meri, nevidljive ili nejasne razlike koje bi se morale pojaviti pri sprovođenju opita; tako da je na taj način dobijena informacija nedovoljno jasna i neprecizna.

U izvesnim slučajevima morali smo se pomiriti sa činjenicom da je neophodno zameniti rezultate eksperimentalnih ispitivanja koji su po našem mišljenju jedini merodavni — razmišljanjima a priori od kojih očekujemo da nam ukažu na smisao fenomena. Međutim, sigurno je da u toku narednih godina, a možda i meseci po izlaženju ove knjige iz štampe, neki od objavljenih delova neće biti prilagođeni rezultatima novih istraživanja, ili će čak biti netačni.

Mi to iskreno želimo, jer će se time meriti progres nastao u ovoj oblasti putne tehnike.

Zauzvrat očekujemo od čitaoca da nam oprostí za delimičnu nekompletnost i izvesnu nedorečenost u našem radu.

GLAVA I

TEORIJE ZBIJANJA

Naslov ovog poglavlja je u množini ali ne zbog štamparske greške. Mi nemamo nameru da čitaocu prikažemo celokupnu teoriju u vezi sa zbijanjem. Mišljenja smo samo da postoji niz teorija koje objašnjavaju ili nastoje da objasne deo fenomena, iako te različite teorije nisu potpuno međusobno usaglašene.

Međutim, neke od njih se dopunjavaju i nadovezuju jedna na drugu nastojeći da formiraju jedan deo lanca čiju centralnu kariku čine ideje Luisa (Lewis) [I].⁽¹⁾ Simon je na izvestan način produžio ovu teoriju ka konačnom cilju proučavajući efekat zbijanja postignut valjcima s gumenim točkovima u svom briljantnom izlaganju u I.T.B.T.P. [II]. Usudili smo se da sa svoje strane dodamo jednu kariku u tom lancu. U Luisovoj teoriji nalazi se pomoću kvalitativno izraženih vrednosti Proktorova linija na osnovu promena C i φ (kohezija i ugao unutrašnjeg trenja) u funkciji od vlažnosti materijala i njegove gustine. Verujemo, sa svoje strane, da se oblik tih linija vrlo jednostavno objašnjava na osnovu unutrašnjeg pritiska, Skemptonovih koeficijenata A i B i promene koeficijenta B u funkciji od stepena zasićenosti S_r .

Pokušali smo takođe da Simonovu teoriju proširimo na valjke sa glatkim čeličnim točkovima zamenjujući rešenje Businesskovog (Boussinesq) problema sa Flamanovim (Flamant) rešenjem koje je znatno jednostavnije.

Osim toga, Barkan (Barkan) [III] je objasnio efekte zbijanja. Mi smo izložili njegove ideje koje je kasnije produbio i nastavio Katoar (Catoire) [XIV]. Proučavanje Dinglaove (Dunglas) [XVI] teze navelo nas je na misao da je pojam ekspanzivnog pritiska, stvorenog vibracijom, vrlo obiman.

Celina ovih teorija ne doprinosi, doduše, direktnom tehničkom napretku. Međutim, pored toga što omogućuju zadovoljavanje radoznalosti našeg duha, iako delimično, one favorizuju, bez svake sumnje, boljim razumevanjem, indirektno tehničke napretke.

⁽¹⁾ Rimski brojevi u zagradama upućuju na korišćenje literature koja je navedena na kraju svake glave.

1. POJMOVI U VEZI SA ZEMLJANIM MATERIJALIMA PROŠIRENI NA ASFALTNE MEŠAVINE

1.1. Zemljani materijali — tla. Definicija i komentari

Prema Cirkularu br. 64 od 4. jula 1957. godine, Direkcije za puteve i putni saobraćaj, *zemljani materijal (tlo) je materijal sastavljen uglavnom iz čvrstih pojedinačnih zrna, koji, pored ostalog, može sadržati u sebi vazduh i vodu, pri čemu su zrna u takvoj srazmeri u odnosu na zapreminu posmatranog tla da je moguća primena zakona velikih brojeva.*

Smatramo neophodnim da još na samom početku ovog rada skrenemo pažnju na dva elementa ove definicije. Jedan zemljani materijal može sadržati — i često sadrži — vodu i vazduh.

Iskustvo i teorija su pokazali značajnu ulogu koju ima voda pri zbijanju jednog određenog zemljanog materijala.

Uticao vazduha, tj. njegovo prisustvo — a naročito njegovo odsustvo — manje je poznat: on zbog toga nije manje realan a naročito odlučujući. S druge strane, koristićemo definiciju zemljanih materijala da bi razmišljali o zbijanju materijala koji nisu tla ali koji naliče na tla: bitumenom obavijeni materijali (asfaltne mešavine) su, kao i zemljani materijali, mešavine čvrstih zrna, vazduha i tečnosti — koja nije više voda već jedno hidraulično vezivo, doduše znatno viskoznije od vode, što povlači za sobom znatne razlike. Zbog toga nam nije preostalo ništa drugo do analogija sastava koja je omogućila da izvršimo upoređenja koja ocenjujemo uspešnim.

1.2. Različiti pojmovi u vezi sa zemljanim materijalima i oznake⁽¹⁾

1.2.1. Specifična težina čvrstih čestica γ_s (Pariz 61). To je specifična težina jedinice zapremine stene od koje su nastale čvrste čestice (zrna). Za većinu materijala specifična težina materijala γ_s je između 2,6 i 2,8.

1.2.2. Specifična težina vode γ_w (Pariz 61). U većini formula stavlja se da je $\gamma_w = 1$, što ima izvestan nedostatak.

1.2.3. Specifična težina zemljanog materijala γ (Pariz 61). To je jedinica zapremine zemljanog materijala (tla); ova težina obuhvata prema tome težinu vode i vazduha (ova poslednja je svakako zanemarljiva) sadržane u jedinici zapremine zemljanog materijala. U francuskoj putnoj tehnici uobičajeno je da se ovaj pojam zamenjuje manje tačnim: *zapreminska težina u prirodno vlažnom stanju* (što je učinjeno u prevodu knjige s obzirom na sličnu situaciju u Jugoslaviji. — Primedba prevodioca).

1.2.4. Specifična težina zemljanog materijala u suvom stanju γ_d (Pariz 61). To je težina jedinice zapremine zemljanog materijala posle sušenja (uklanjanja vode). Prema tome, γ_d je jednako γ umanjenom za težinu vode sadržane u jedinici zapremine zemljanog materijala. U francuskoj putnoj tehnici uobičajeno je da se ovaj

⁽¹⁾ Svaki put kad je to bilo moguće koristili smo oznaku koja je usvojena na V međunarodnom kongresu za mehaniku tla u Parizu, jula 1961. god. U takvom slučaju označili smo iza simbola, u zagradi, oznaku (Pariz 61).

pojam zamenjuje manje tačnim: zapreminska težina u suvom stanju (što je učinjeno u prevodu knjige, s obzirom na sličnu situaciju u Jugoslaviji. Prim. prev.).

1.2.5. Poroznost n (Pariz 61). To je zapremina šupljina sadržanih u jedinici zapremine zemljanog materijala, i to kad su te šupljine ispunjene vodom ili vazduhom.

1.2.6. Indeks šupljina e (Pariz 61). To je odnos zapremine šupljina (bez obzira da li su ispunjene vodom ili vazduhom) i zapremine punog dela.

Na osnovu toga dobija se:

$$e = \frac{n}{1 - n}$$

i:

$$n = \frac{e}{1 + e}.$$

U nekim formulama koje je prikazao Barkan [III] indeks šupljina je eksponencijalna funkcija različitih promenljivih. Da bi se u takvom slučaju onemogućila bilo kakva konfuzija sa logaritamskim Neperovim bazama, koje se uglavnom koriste za e (Pariz 61 zadržava ovu oznaku), označićemo indeks šupljina sa ε .

1.2.7. Indeks maksimalnih šupljina e_{\max} (Pariz 61) (ili pak ε_{\max}). To je veličina indeksa šupljina koja se dobija pri najmanjoj mogućoj zapreminskoj težini u suvom stanju γ_d .

1.2.8. Indeks minimalnih šupljina e_{\min} (Pariz 61) (ili pak ε_{\min}). To je veličina indeksa šupljina koja se dobija pri najvećoj mogućoj zapreminskoj težini u suvom stanju γ_d .

1.2.9. Indeks gustine I_d (Pariz 61). To je izraz:

$$I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}.$$

1.2.10. Vlažnost materijala w (Pariz 61). To je odnos (najčešće izražen u procentima) težine vode i težine zemljanog materijala u suvom stanju sadržanih u istoj zapremini zemljanog materijala (tla).

1.2.11. Stepem zasićenja S_r (Pariz 61). Za jedan zemljani materijal-tlo kaže se da je zasićen ako su mu sve šupljine ispunjene vodom, tj. ako ne sadrže vazduha. U takvom slučaju se kaže, takođe, da je stepen zasićenja jednak jedinici.

Stepen zasićenja je u stvari odnos između zapremine šupljina ispunjenih vazduhom i ukupne zapremine šupljina.

1.2.12. Procenat vazduha a (nije obuhvaćen normom-standardizovan). Engleski tehnički stručnjaci koriste pojam procenat šupljina ispunjenih vazduhom. To je procenat zapremine koju zauzima vazduh u odnosu na ukupnu zapreminu.

Iz razloga koje ćemo izložiti, ovaj pojam nam *izgleda fundamentalnim*; jasno je da je on direktno povezan sa stepenom zasićenja i poroznošću ali je istovremeno mnogo informativniji i direktnije upotrebljiv.

1.2.13. Granica tečenja W_L (Pariz 61). To je vlažnost definisana standardnim laboratorijskim opitom koja razdvaja plastično stanje materijala od tečnog stanja.

1.2.14. Indeks plastičnosti W_p (Pariz 61). To je vlažnost materijala definisana standardnim laboratorijskim opitom koja razdvaja plastično stanje od čvrstog stanja.

Ove dve granice (Aterbergove granice) su definisane konvencionalno, pri čemu materijal progresivno prelazi iz čvrstog stanja u plastično, pa zatim u tečno, ako se povećava njegova vlažnost w .

1.2.15. Indeks plastičnosti I_p (Pariz 61). To je razlika:

$$I_p = W_L - W_p.$$

1.2.16. Indeks konsistencije I_c (Pariz 61) To je veličina:

$$I_c = \frac{W_L - w}{I_p}.$$

Iz definicije proizilazi da ako je $w = W_L$, $I_c = 0$; a ako je $w = W_p$, $I_c = 1$. Zemljani materijal (tlo) je utoliko konsistentniji, a u vezi sa tim i manje deformabilan, što mu je indeks konsistencije I_c veći.

1.2.17. Koeficijent vodopropustljivosti k (Pariz 61). Ova veličina se isto tako označava i pojmom „vodopropustljivost“.

To je koeficijent Darsijevog zakona (Darcy); pošto želimo da posebno istaknemo važnost ovog zakona, posvetićemo mu poseban deo poglavlja.

1.2.18. Različiti odnosi između prethodno definisanih veličina. Prikazani su odnosi koje ćemo koristiti u daljem izlaganju:

$$e = \frac{n}{1 - n}; \quad [1]$$

$$n = \frac{e}{1 + e}; \quad [2]$$

$$\gamma_d = (1 - n) \gamma_s; \quad [3]$$

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}; \quad [4]$$

$$\gamma_- = \gamma_d (1 + w); \quad [5]$$

$$S_r = \frac{w \gamma_d}{n \gamma_w} = \frac{w \gamma_s}{e \gamma_w}; \quad [6]$$

$$a = n (1 - S_r); \quad [7]$$

$$S_r = \frac{n - a}{n}; \quad [8]$$

$$a = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} - \frac{w \gamma_d}{\gamma_w}. \quad [9]$$

1.3. Prikaz Proktorovog postupka

Ovim izrazom ćemo označiti način prikazivanja koji se postiže nanošenjem na apscisu vlažnosti w , a na ordinatu zapreminske težine zemljanog materijala u suvom stanju γ_d .

Po ovakvom prikazivanju stanja zemljanog materijala sa istim procentom vazduha a približavaju se jednoj asimptotičnoj liniji $a = Cte$ (konstanta), čija je jednačina data izrazom:

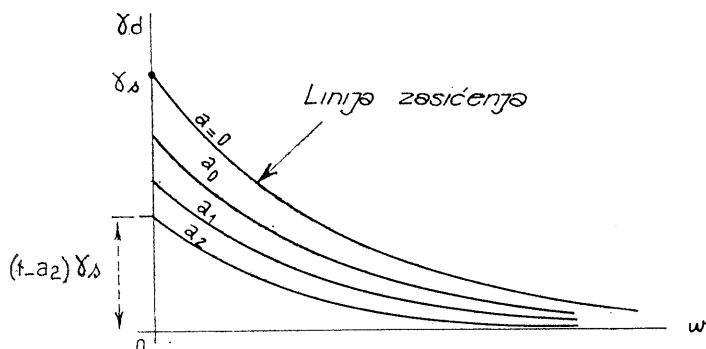
$$1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} - w \frac{\gamma_d}{\gamma_w} = Cte.$$

Za poseban slučaj, ako je linija $a = 0$ (stavljajući da je $\gamma_w = 1$), jednačina dobija oblik:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + w \gamma_s}. \quad [10]$$

Ta linija se naziva linijom zasićenja. Ona preseca osovину γ_d u tački sa ordinatom γ_s .

Kao i sve linije $a = Cte$ (konstanta) ona ima za asimptotu osu w (slika I.1).



Sl. I.1

Videćemo kasnije (poglavlje I.2.10.2) da je moguće koristiti prikazivanje pomoću trougla, koje ima prednost što omogućava jasno izdvajanje tri faze koje čine zemljani materijal-tlo: čvrste, tečne i gasovite.

1.4. Proširenje na asfaltne mešavine

Većina prethodnih napomena može se proširiti na asfaltne mešavine. Većina tih materijala nije ništa drugo do zemljani materijali u kojima je voda zamenjena jednom znatno viskoznijom tečnošću, čija viskoznost varira u velikoj meri sa temperaturom. Umesto vlažnosti w potrebno je staviti dozažu bitumena.

Videćemo da procenat vazduha a (koji se kod asfaltnih mešavina naziva procentom šupljina) igra potpuno istu ulogu.

No mi se pitamo nije li analogija znatno dublja.

Uzmimo da zemljani materijal izvesnih dimenzija zrna ima određenu specifičnu težinu čvrstih čestica γ_s ; pretpostavimo da je on ugrađen s određenom vlažnošću i određenom zapreminskom težinom u suvom stanju γ_d ; a samim tim i sa potpuno utvrđenim procentom šupljina a , i proučimo problem postignute mehaničke sličnosti ukoliko se menja samo vrsta tečnosti: zamenimo vodu s jednakom količinom tečnosti i videćemo da treba da ima istu specifičnu masu⁽¹⁾ kao i voda, ali da je znatno viskozija od vode (P puta). Koje su razmere dužine L , mase M i vremena T tog modela?

Pošto su dimenzije zrna zemljanog materijala nepromenjene, potrebno je obezbediti $L = 1$. To nam nameće obavezu da očuvamo debljine filma tečnosti na zrnima, što se podudara sa hipotezom o očuvanju količine (po zapremini) tečnosti.

Pošto zrna zemljanog materijala nisu promenila petrografsko poreklo, to znači da su specifične mase nepromenjene. ML^{-3} treba da je jednako 1, a kako je $L = 1$, odatle proizilazi da je i $M = 1$. Tečnost, prema tome, kao što smo već napomenuli, mora imati istu specifičnu masu kao voda.

Merilo vremena uslovljeno je činjenicom da je viskoznost umnožena sa P .

Prema tome, dinamička viskoznost je odnos napona $ML^{-1}T^{-2}$ za gradijent brzine $\frac{LT^{-1}}{L}$.

Dakle, dimenzija dinamičke viskoznosti je $ML^{-1}T^{-1}$. Proizilazi da množenje viskoznosti sa P , pošto je $ML^{-1} = 1$, znači isto što i deljenje vremena sa P , tj. množenje brzina sa P ali isto tako i ubrzanja sa P^2 (videti dalji tekst).

Pitanje je da li će bitumen omogućiti stvaranje idealne tečnosti predviđene u tom modelu? On ima skoro istu specifičnu masu kao i voda, i u vezi s tim ne nastaju nikakve teškoće. Međutim, budući da fenomeni površine imaju veliki značaj, trebalo bi da bitumenski filmovi budu isti kao i oni kod vode. To bi značilo da molekularni nizovi bitumena ne budu duži od onih kod vode, što je vrlo daleko od stvarnih mogućnosti realizacije.

Rezultate do kojih se dolazi razmišljanjima o analogiji između zbijanja zemljanih materijala i asfaltnih mešavina moguće je proveriti u praksi samo grubo; međutim, oni mogu omogućiti da se otkriju tendencije, smer promena fenomena i, tako posmatrano analogija može biti uspešna.

Uz nužnu obazrivost i poštovanje ograničenja koja su upravo formulisana moglo bi se u stvari iskustvo stečeno sa šljunkovima prenositi na iskustvo stečeno s asfaltnim mešavinama, i obratno. Uz to je potrebno još bolje proučiti mogućnosti prenošenja, jer se odnosi mogu izmeniti pa čak i potpuno promeniti smisao ukoliko se ne vodi računa o svim uslovima mehaničke sličnosti.

U stvari već smo ukazali na mogućnosti prelaska sa šljunka na asfaltnu mešavinu istog granulometrijskog sastava i iste sadržine tečnosti korišćenjem odnosa viskoziteta P .

$$P = \frac{\text{viskozitet bitumena pri temperaturi zbijanja}}{\text{viskozitet vode}} > 1.$$

Dovoljno je uvećati sve brzine množeći ih sa P , što znači da se zbijanje obavlja P puta brže, i da se *takođe* umnože sva ubrzanja sa P^2 , što će reći sve sile i svi naponi s tim koeficijentom.

Ova potvrda može predstavljati iznenađenje, jer se ima osećaj da je s jednim određenim uređajem za zbijanje potrebno više vremena za sabijanje

(1) Videćemo kasnije da je ova hipoteza samo grubo ostvarena ukoliko je tečnost bitumen.

asfaltne mešavine nego šljunka. Osim toga, poznato je da je brzina isticanja bitumena manja od brzine isticanja vode. Iznenađenja neće biti ako se ne izgubi iz vida činjenica da mehanička sličnost iziskuje *istovremeno* umnožavanje svih ubrzanja sa P^2 . Jasno je da ovaj uslov ne može biti ispunjen ukoliko se koristi isti uređaj za zbijanje. U tom slučaju, budući da su ubrzanja sačuvana, brzina deformacije je suprotno tome podeljena sa P .

Pokušaćemo da ovu analogiju iskoristimo u daljem tekstu.

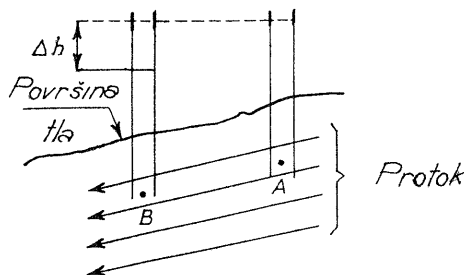
2. MEHANIČKE OSOBINE ZEMLJANIH MATERIJALA I UTICAJ VODE NA TE OSOBINE

2.1. Darsijev zakon

2.1.1. Hidraulički gradijent. Podsećamo da se hidrauličkim gradijentom označava gubitak opterećenja (ili smanjenje piježometarskog pritiska) po jedinici pređenog puta jednog vodenog toka kroz zemljani materijal-tlo. Neka je prema slici I.2 protok vode kroz jedno tlo između tačaka A i B :

A je na većoj visini od B tako da vektor \overrightarrow{AB} bude paralelan protoku. Postavimo u tačkama A i B dva piježometra i neka Δh bude razlika nivoa dobijenih piježometri-
ma. Neka je l dužina između A i B . Hidraulički gradijent i (Pariz 61) je:

$$i = \frac{\Delta h}{l}.$$



Sl. I.2

2.1.2. Darsijev zakon. On glasi da za jedno dato tlo dovedeno u jedno određeno stanje i zasićeno vodom⁽¹⁾, brzina protoka je proporcionalna hidrauličkom gradijentu $v = k i$, gde je k koeficijent vodopropustljivosti (naziva se još i vodopropustljivošću).

⁽¹⁾ Mada Darsijev zakon ima smisla samo ako je materijal u zasićenom stanju, neki autori, radi proučavanja kretanja vode kroz materijale u nezasićenom stanju, koriste jedan koeficijent vodopropustljivosti koji bi se mogao nazvati prividnom ili ekvivalentnom vodopropustljivošću i koji je definisan na osnovu gradijenta sisanja a ne više na osnovu gradijenta hidrauličkog opterećenja. Nije bez interesa znati da se ova vodopropustljivost vrlo brzo menja u funkciji od stepena zasićenja S_r .

2.1.3. Odnos između vodopropustljivosti i viskoziteta. Vodopropustljivost nije konstanta; ona je obrnuto proporcionalna viskozitetu η vode (koji se naročito menja s temperaturom). Dobija se:

$$k = \frac{K}{\eta},$$

pri čemu je K konstanta, zavisna u najvećoj meri od poroznosti zemljanog materijala.

2.1.4. Red veličine vodopropustljivosti. Budući da su stvarne promene η za vodu vrlo male, moguće je napraviti tablicu vodopropustljivosti različitih zemljanih materijala, kao što je sledeća:

	U santimetrima po sekundi	U metrima po sekundi
Šljunkovi bez peska i sitnih čestica	10 ² do 10	1 do 10 ⁻²
Sitnozrni peskovi, prašinoviti peskovi, prašine, mešavine glina i šljunkova ili peskova	10 do 10 ⁻³	10 ⁻² do 10 ⁻⁵
Zbijene-kompaktne gline	10 ⁻⁷ do 10 ⁻⁹	10 ⁻⁹ do 10 ⁻¹¹

2.2. Unutrašnji pritisak

Ako se jedan zemljani materijal koji sadrži u sebi vodu izloži sistemu uticaja, poznato je da će se naprezanja raspodeliti između zrna zemljanog materijala, vode i vazduha.

Efektivnim (ili intergranularnim) naponima nazivaju se naponi koji se prenose sa zrna na zrno. U jednoj datoj tački ili u jednom elementu date ravni, intergranularni napon se sastoji od jednog normalnog napona σ' , i jednog tangencijalnog (ili napona na smicanje) $\tau'^{(1)}$ (oznake za σ' i τ' prema Parizu 61)⁽²⁾.

Napon nastao usled vode je, zbog svojstava fluida, obavezno normalan na površinu na koju se prenosi. Unutrašnjim pritiskom se naziva i označava slovom u (Pariz 61) razlika između tog pritiska i atmosferskog pritiska.

Najzad, ako vazduh postoji u tlu, on isto tako mora biti izložen jednom pritisku koji ne nosi specijalno ime, a koga ćemo označiti sa $p_g^{(3)}$ (nestandardizovana oznaka). Ovaj pritisak je, razume se, takođe normalan na površinu na koju deluje.

⁽¹⁾ Videćemo da je moguće pisati podjednako τ' ili τ .

⁽²⁾ Analiza zbijanja koju smo mi zamislili zasniva se na pojmovima intergranularnih naprezanja i unutrašnjeg pritiska koje je uveo Terzaghi (Terzaghi.) Pri tome ne zanemarujemo činjenice da su istraživači koji su pokušali da ove pojmove prošire i objasne po svim mogućim posledicama naišli na prepreke (videti naročito *Volume change characteristics of partially saturated soils*, od E. L. Matyas, Ph. D. i H. S. Radhakrishna, Ph. D, kao i u *Revue géotechnique* iz 1968.), no mi smatramo da su za kvalitativno sagledavanje fenomena, ovi pojmovi dovoljno upotrebljivi.

⁽³⁾ p_g je, preciznije uzet, suvišno u odnosu na atmosferski pritisak. Dodajmo da vodena para može igrati istu ulogu kao i vazduh.

Ukupnim totalnim naponom u jednoj tački naziva se suma intergranularnih napona od u i od p_g . Totalni naponi označavaju se slovima σ (totalni normalni napon) i τ (totalni smičući napon) (oznake Pariz 61).

Odatle se dobija:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= \sigma' + \chi u + (1 - \chi) p_g; \\ \tau &= \tau'. \end{aligned} \right\} \quad [11]$$

U ovom obrascu χ je deo površine koji prima pritisak vode u , a $(1 - \chi)$ je deo površine koji prima pritisak vazduha. Iskustvo pokazuje da je χ blisko S_r (stepen zasićenja).

Kad su voda i vazduh u jednoj pori uravnoteženi, dobija se $u < p_g$, pri čemu razliku preuzimaju sile površinskog napona, nastale usled postojanja efekta meniska. Razlika $p_g - u$ je vrlo velika za male sadržine vode - vlažnosti, a mala ako je S_r približno 1. Za $S_r = 1$ ne postoje više ni vazduh, niti vodena para, tako da p_g nema više nikakvog smisla.

U nastavku naših proračuna, u kojima se proučava slučaj pri kome je S_r visoko, usvojicemo da je $p_g \neq u$, tako da prvi obrazac [11] postaje:

$$\sigma = \sigma' + \chi u + (1 - \chi) u = \sigma' + u. \quad [11 \text{ bis}]$$

2.3. Kulonov zakon (Coulomb)

Usvojicemo da zemljani materijali koje ćemo proučavati slede Kulonov zakon, što znači da je elastično područje definisano nejednakošću:

$$\tau' \leq C' + \sigma' \operatorname{tg} \varphi'. \quad [12]$$

Pošto je C' kohezija zemljanog materijala-tla, a φ' ugao unutrašnjeg trenja, ove vrednosti će biti definisane samo za skelet.

Ako τ' premaši vrednost definisanu ovom nejednakošću, zemljani materijal se plastično deformiše, i to nepovratno (reverzibilno).

Ovaj odnos je značajan za zbijanje, jer zbijati jedan materijal znači dati mu onu deformaciju koju želimo trajno očuvati. Znači da zemljani materijal-tlo treba izložiti smičućim naponima dovoljnim da se ono ireverzibilno deformiše.

2.4. Morov krug: Odnos granične ravnoteže između glavnih napona i parametara Kulonovog zakona

Ako se na apscisu nanese normalni napon σ' a na ordinatu tangencijalni τ' , Kulonov zakon se grafički predstavlja na sledeći način: prava na slici I.3 ograničava elastično područje koje se nalazi iznad te prave.

U elastičnosti se stanje napona u jednoj tački predstavlja crtanjem tri kruga od kojih je najznačajniji Morov krug: on ima za prečnik $\sigma'_3 \sigma'_1$, pri čemu su σ'_3 i σ'_1 tačke dijagrama koje odgovaraju glavnim maksimalnim naponima. Nijedan vektor napona $\vec{\sigma}$ ne može imati svoj ekstremitet izvan šrafiranog područja.

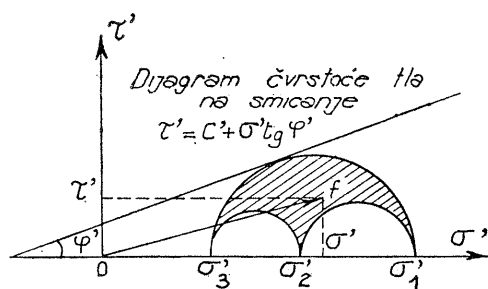
Odatle proizilazi da je, ukoliko se utvrdi granična ravnoteža, Morov krug tangenta na liniju obvojniciu.

Lako se utvrđuje da tada postoje sledeći odnosi:

$$R \text{ (poluprečnik Morovog kruga)} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}; \quad [13]$$

$$d \text{ (apscisa centra kruga)} = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}; \quad [14]$$

$$R = C' \cos \varphi' + d \sin \varphi'. \quad [15]$$



Sl. I.3 — Morov dijagram granične ravnoteže

2.5. Skemptonovi (Skempton) koeficijenti unutrašnjeg pritiska

Skempton je pokazao [IV] da je, pri jednom nedreniranom opitu, promena unutrašnjeg pritiska Δu bila povezana s promenom glavnih totalnih napona (σ_1 je glavni gornji napon, a σ_3 glavni donji napon) $\Delta \sigma_1$ i $\Delta \sigma_3$ odnosno

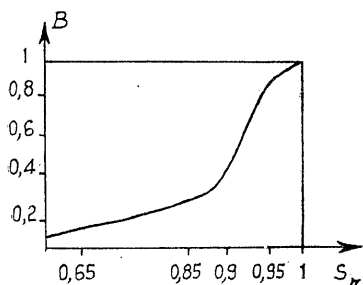
$$\Delta u = B [\Delta \sigma_3 + A (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)]. \quad [16]$$

Osim toga, Skempton je pokazao da je, uz izvesne pojednostavljujuće hipoteze, B blisko nuli kad je S_r blisko nuli, a jedinici kad je S_r blisko jedinici. On daje stvarnu promenu B u funkciji od S_r za jedan glinoviti pesak. Prikazujemo tu liniju na slici I. 4. Ona pokazuje da za stepen zasićenosti niži od 0,9 B ostaje malo (reda veličine 0,20), pa zatim dolazi do nagle promene B za veličine zasićenosti između 0,9 i 0,95 (što znači za veličinu približnu a 3% do 5%).

Pokazalo se osim toga da bi A bilo jednako $\frac{1}{3}$ ukoliko bi zemljani materijal (tlo) bio potpuno elastičan. Praktično uzev, A varira između 0 i 1; ono može u izvesnim slučajevima biti čak i negativno.

Ova teorija važi samo za zemljane materijale izložene nedreniranom opitu, što će reći pri ispitivanjima kada voda ne može oticati iz materijala u toku opita.

U stvari, zemljani materijal je u manjoj ili većoj meri dreniran prema tome da li je brzina



Sl. I.4 — Promena Skemptonovog koeficijenta B u funkciji od stepena zasićenja

opterećivanja (ili tačnije — brzina deformacije zemljanog materijala) velika ili nije u odnosu na brzinu kretanja vode u zemljanom materijalu.

Međutim, iako ova brzina nije regulisana prema Darsijevom zakonu (pošto zemljani materijal-tlo nije zasićen vodom), fenomen je moguće prikazati na sledeći način: pre nanošenja opterećenja dve tačke zemljanog materijala M i M' koje se nalaze na istoj visini imaju isti unutrašnji pritisak u pa zbog toga i isto hidrauličko opterećenje. Ako se iznad M postavi opterećenje koje izaziva u toj tački povećanje unutrašnjeg pritiska Δu bez tog povećanja u tački M' , javiće se pri tome razlika u opterećenju između M i M' i brzina isticanja od M ka M' koja će, iako neregulisana prema Darsijevom zakonu, biti utoliko veća ukoliko je vodopropustljivost k veća.

Ukoliko je brzina nanošenja opterećenja istog reda veličine kao i k , pojaviće se pri tom stvarno kretanje vode. Ako je, suprotno tome, deformacija zemljanog materijala velika u odnosu na k , neće biti vremena da dođe do pomeranja vode, a unutrašnji pritisak će pokazati tendenciju ka povećanju, što će izazvati prethodno analizirane fenomene.

U pogledu zbijanja *ponašanje će biti vrlo različito prema tome da li je zemljani materijal vodopropustljiv ili ne*. Uz to ćemo videti da propustljivost za vazduh igra potpuno analognu ulogu, možda i značajniju, ali je potpuno jasno da je, bar grublje posmatrano, propustljivost za vazduh povezana sa vodopropustljivošću.

2.6. Uloga propustljivosti za vazduh

U svakoj pori gde su prisutni voda i vazduh postoji ravnotežni odnos između unutrašnjeg pritiska vode $u^{(1)}$, pritiska gasa p_g (vazduh-vodena para), površinskih sila napona (tenzije) i vlažnosti. Odatle proizilazi da je u moguće povećati u toku zbijanja samo ako se istovremeno poveća i p_g , što je nemoguće ako je gas u kontaktu sa atmosferom, jer je u tom slučaju $p_g = 0$. Drugim rečima, ako je zemljani materijal propustljiv za vazduh, isti može biti zatvoren (zarobljen), i to ima skoro isto dejstvo kao i prethodno navedeno u vezi sa vodopropustljivošću.

2.7. Zaključci o ulozi vode i vazduha u zemljanim materijalima

2.7.1. Kod zemljanih materijala propustljivih za vodu i vazduh naprezanja koja stvara uređaj za zbijanje pretvaraju se u potpunosti u intergranularne napone i zemljani materijal je uvek pogodan za zbijanje.

2.7.2. Kod zemljanih materijala koji su istovremeno nepropustljivi za vazduh i vodu (ove dve nepropustljivosti idu zajedno), stepen zasićenja igra vrlo značajnu ulogu: ako je S_r niže od vrednosti $S_{r,0}$ pri kojoj dolazi do brze promene koeficijenta B (na primer $S_{r,0} \neq 0,90$), što znači ako procenat vazduha a ostaje veći od jedne vrednosti a_0 (koja je nekoliko procenata), naprezanja koja izaziva uređaj za zbijanje biće skoro jedino intergranularna naprezanja, zemljani materijal će se zbijati.

2.7.3. Ako pak suprotno tome, procenat šupljina ispunjenih vazduhom kod ovih zemljanih materijala padne ispod veličine a_0 , ukupna naprezanja koja izaziva uređaj za zbijanje stvaraju, zbog Skemptonovog odnosa, jak unutrašnji pritisak. To dovodi do mehaničke nestabilnosti i pojave gumenog jastuka.

⁽¹⁾ u i p_g su povećanja — viškovi pritiska vode i vazduha u odnosu na atmosferski pritisak.

2.8. Pokušaj objašnjenja pojave gumenog jastuka

2.8.1. Opis fenomena. Poznato je da se pri zbijanju sitnozrnog prašinovitog ili glinovitog zemljanog materijala vrlo velike vlažnosti često događa da zbijanje započinje normalno, da bi se posle izvesnog broja prelaza-najčešće ne mnogo velikog-naglo sleglo pod uređajem za zbijanje i isteklo oko njega stvarajući neku vrstu talasa koji se pomera ispred uređaja za zbijanje. Odmah posle prolaza uređaja zemljani materijal koji se pre toga slegao naglo se izdiže (bubri) iza uređaja za zbijanje.

Zemljani materijal se ponaša kao neka vrsta vazdušnog jastuka koji se sleže pod težinom uređaja za zbijanje da bi se izdigao oko njega. Ničim nije moguće nastaviti zbijanje; pojava se nastavlja u beskonačnost, često se povećavajući. Jedino rešenje je čišćenje zemljišta, tj. uklanjanje zona pojave ovog fenomena; izvađeni materijal se zamenjuje drugim „zdravijim”. Moguće je, takođe, kad se fenomen javi i ako su atmosferski uslovi povoljni, zaustaviti proces zbijanja, prosušiti zemljani materijal provetravanjem, ostaviti ga da se suši, i ponovo nastaviti sa zbijanjem kada vlažnost postane povoljna za to.

To je dobro poznati fenomen tla koje je nemoguće zbiti — poznat pod imenom gumeni jastuk.

2.8.2. Posmatraćemo zemljani materijal propustljiv za vodu i vazduh (ili čak samo za vazduh). Zbijanjem se ne može stvoriti unutrašnji pritisak. Totalni naponi koje stvara uređaj za zbijanje odražavaju se integralno intergranularnim naponima koji vrše međusobno zgušnjavanje zrna smanjujući na taj način zapreminu zemljanog materijala. Zemljani materijal se na taj način zbija.

S druge strane, nema nikakve razlike u unutrašnjem pritisku između zona zemljanog materijala koje su neposredno ispod uređaja za zbijanje i njima bliskih zona, zbog čega napred pomenuti mehanizam ne može ni nastati. Time se objašnjava nemogućnost pojave gumenog jastuka u vodopropustljivim zemljanim materijalima.

2.8.3. Neka je jedan zemljani materijal istovremeno nepropustljiv za vazduh i vodu. Na početku zbijanja postoje kanali kojima se vazduh može evakuisati tako da se zbijanje obavlja efikasno. Ali pri daljem zbijanju nastupa trenutak kada je istiskivanje vazduha nemoguće, jer pod dejstvom zbijanja, koje pri konstantnoj vlažnosti w , povećava γ_d , znači i S_r , jedan zemljani materijal prvobitno propustljiv za vazduh može postati nepropustljiv za vazduh i za vodu. Zbijanje se ipak može nastaviti bez pojave fenomena gumenog jastuka i bez istiskivanja vode, ili čak i vazduha, *jednostavnim smanjenjem zapremine ispunjene vazduhom.*

Međutim, za ovo je neophodno da smanjenje zapremine ispunjene vazduhom ne izazove veliko potencijalno povećanje u i p_g .

2.8.4. Ovo potencijalno povećanje u i p_g onemogućava zbijanje. Uređaj za zbijanje dovodi do *totalnih napona*. Ukoliko je u toku zbijanja moguće izazvati nastajanje unutrašnjeg pritiska, postepeno sa njegovim povećanjem, prečnik Morovog kruga je nepromenljiv (videti jednačinu [13]) jer je:

$$R = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \frac{(\sigma_1 - u) - (\sigma_3 - u)}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

Nasuprot tome, apscisa centra kruga pomera se ulevo (videti odnos [14]) jer je:

$$d = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} = \frac{(\sigma_1 - u) + (\sigma_3 - u)}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} - u.$$

Odnos [15] pokazuje da se otpornost zemljanog materijala smanjuje (videti dalji tekst) i da se zrna zgušnjavaju ukoliko se ne ude u zonu bubrenja Morovog dijagrama (videti 4.1.).

No ovom analizom se pretpostavlja da se unutrašnji pritisak može stvarno podići. Znači, ako bi to bio slučaj, deo zemljanog materijala neposredno ispod uređaja za zbijanje bio bi izložen visokom unutrašnjem pritisku dok zemljani materijal koji se nalazi izvan te zone ne bi bio izložen takvom pritisku. Kako voda ne može isteći (zemljani materijal vodonepropustljiv za vreme trajanja ispitivanja), ovaj pritisak će izazvati valjanje u masi zemljanog materijala. *To je fenomen gumenog jastuka.*

Učinak ovog fenomena sastoji se prema tome u ograničavanju ili čak u poništavanju povećanja unutrašnjeg pritiska. Budući da je ovo ograničenje neophodno za održavanje ravnoteže zemljanog materijala, može se čak reći da je gumeni jastuk jedina mogućnost koju poseduje zemljani materijal za postizanje tog ograničenja.

Prethodno objašnjenje fenomena gumenog jastuka ipak je nedovoljno jer se ne vidi razlog zbog koga se zemljani materijal ne utiskuje i na izgled stvara neku vrstu površinske kore koja ima ulogu omotača vazdušnog jastuka. Leflev (Leflaive) [XVII] navodi da u zonama bližim površini devijator napona izaziva bubrenje, zbog kojeg se na površini zemljanog materijala ne javlja unutrašnji pritisak⁽¹⁾, bar ukoliko se deo zemljanog materijala bliži površini suprotstavlja utiskivanju.

Verujemo da ova dopuna dobro odgovara stvarnosti, jer izvesna opažanja — čini nam se, pokazuju da se korišćenjem vrlo teškog valjka sa gumenim točkovima lomi površinska kora. Ne dolazi do pojave gumenog jastuka, a točkovi valjka stvaraju u zemljanom materijalu kolotrage manje ili veće dubine.

2.8.5. *Gumeni jastuk* nastaje, prema tome, u trenutku kada dejstvo uređaja za zbijanje izazove velike unutrašnje pritiske, tj. kad je B blisko 1, tj. ako je S_r blisko 1.

2.8.6. *Ako je na početku zbijanja vlažnost mala, nikad se neće postići visok nivo zasićenja.* Doduše, tu i tamo u toku zbijanja poroznost će se smanjivati a u vezi s tim povećavaće se S_r . Smanjivanje zapremine zemljanog materijala može se obaviti samo na račun smanjenja zapremine koju zauzima vazduh. Na početku on zauzima prilično veliku zapreminu zbog čega je moguće zbijanje bez izazivanja jako velikih pritisaka p_g i u . Uklinjavanja koja se postižu zbijanjem, zajedno sa kohezijom zemljanog materijala, dovoljna su da uredi ove veličine u i p_g .

Najzad dolazi trenutak kad su sva zrna dovoljno uklinjena međusobno tako da je dalje zgušnjavanje nemoguće. Zbijanje se tada prekida bez nastajanja fenomena gumenog jastuka.

2.8.7. *Ako je, nasuprot tome, uvek sa zemljanim materijalom vodopropustljivim za vodu i vazduh, vlažnost na početku zbijanja visoka, mehanizam će biti drugačiji.*

Na početku zbijanja procenat vazduha je prilično veliki, a u vezi sa tim malo je S_r , ali sa napredovanjem postupka zbijanja smanjuje se a i nastupa jedan mome-

⁽¹⁾ Čak se javlja verovatnoća pojave negativnih unutrašnjih pritisaka (zbog bubrenja), koji stvaraju intergranularna naprezanja na pritisak i na taj način pojačavaju otpornost tla na utiskivanje.

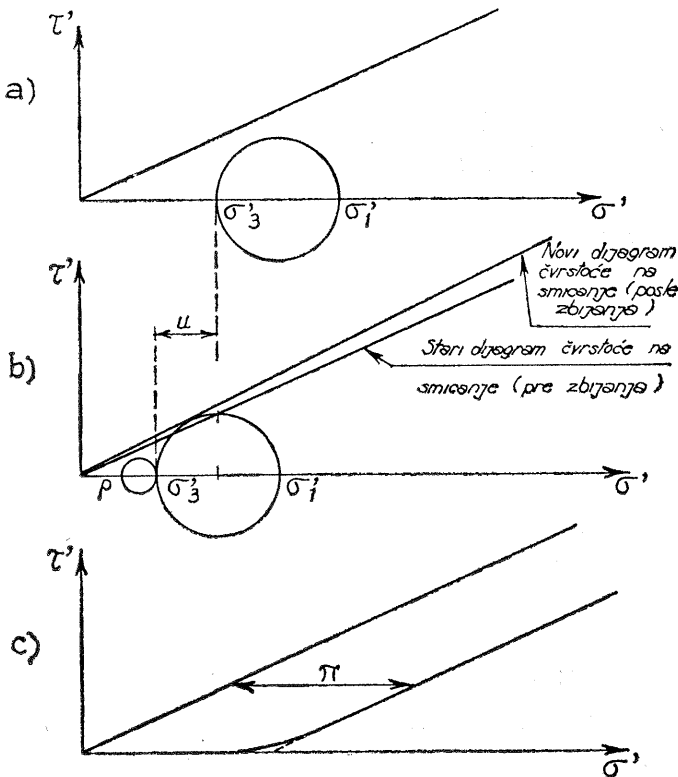
nat kad veličina a padne ispod a_0 . U tom momentu je $S_r > S_{r0}$ pa svako dalje ko-rišćenje uređaja za zbijanje izaziva znatno povećanje p_g i u .

Kažemo izaziva, odnosno izazvaće, jer nije moguće da pore u zemljanom ma-terijalu-tlu neposredno ispod uređaja za zbijanje budu izložene visokom unutraš-njem pritisku, a da one koje se nalaze izvan te zone ne budu izložene nikakvom pritisku. Da bi se očuvala ravnoteža u masi masiva koji treba sabiti, potrebno je ujednačiti ove unutrašnje pritiske. Kako voda i vazduh ne mogu nestati, oni ispu-nyavaju zemljani materijal sa strane (bočno) zbijajući (smanjujući) na taj način ve-ličinu pora koje se nalaze izvan uređaja za zbijanje do ponovnog uspostavljanja ravnoteže.

Produžavanjem zbijanja samo se naglašava fenomen. Zbog toga je nužno prekinuti zbijanje, očistiti i izvršiti zamenu boljim materijalom ili smanjiti vlaž-nost. Videćemo kasnije koristi koje se u ovom slučaju postižu primenom izvesnih postupaka obrade (videti IV.3.2.2).

2.9. Dvojna uloga unutrašnjeg pritiska pri zbijanju. Vibracija

2.9.1. Unutrašnji pritisak može olakšati zbijanje. Uzmimo jedan zemljani ma-terijal i, da bi uprostiti izlaganje, pretpostavićemo da je rastresit. Nastojaćemo da ga zbijemo primenjujući devijator $\sigma_1 - \sigma_3$ proizveden jednim uređajem za zbijanje, koji izaziva u masivu ukupne napone.



Sl. I.5

Pretpostavićemo najpre da devijator ne stvara unutrašnji pritisak $u = 0$, pa je u tom slučaju $\sigma'_1 = \sigma_1$, $\sigma'_3 = \sigma_3$, a Morov krug ima oblik kao na slici I.5a.

U tom slučaju nema zbijanja.

Učinićemo suprotnu pretpostavku: da se uvođenjem devijatora stvara osrednji unutrašnji pritisak u . Slika I.5 b pokazuje da postoji smicanje u zemljanom materijalu pa prema tome i zbijanje.

Pod uticajem zbijanja izdiže se obvojnica (u ovom slučaju prava) dok ne postane tangenta Morovog kruga.

Uklonimo uređaj za zbijanje: Unutrašnji pritisak i dalje integralno postoji, σ'_3 postoji bar pri prvoj aproksimaciji, jer je posmatrana zona zemljanog materijala bočno učvršćena horizontalnim naponima jednakim σ'_3 , koja su stvorena zbijanjem u celokupnom zemljanom materijalu.

Suprotno tome, σ'_1 koje je stvoreno usled težine uređaja za zbijanje nestaje da bi stvorilo mesto samo pritisku p koji se javlja usled težine zemljanog materijala. U ovom slučaju Morov krug je onaj koji kao ekstremitete svog horizontalnog presečnika ima veličine p i σ'_3 . Ako je ovaj krug manji od obvojnice linija, tj. ako je p dovoljno, zbijanje je moguće. U suprotnom slučaju zemljani materijal se rastresa—gubi svoju zbijenost.

Rastresanje će biti utoliko lakše što je u veće.

Unutrašnji pritisak može poboljšati zbijanje ako nije jako visok.

2.9.2. Negativna uloga unutrašnjeg pritiska. Pretpostavimo sada da je unutrašnji pritisak postao dovoljno veliki da može izazvati značajnija pomeranja u zemljanom materijalu. U takvom slučaju pojavljuje se fenomen gumenog jastuka. Napominjemo ipak da se tu radi o *potencijalnom* unutrašnjem pritisku, pošto smo već pokazali da se fenomen gumenog jastuka javlja upravo radi sprečavanja mogućnosti da unutrašnji pritisak postane jako visok.

2.9.3. Mehanička nestabilnost. Saglasno prethodnom izlaganju, ukoliko je stepen zasićenja visok (i ako je zemljani materijal nepropustljiv za vazduh i vodu) pojavljuju se fenomeni mehaničke nestabilnosti koji su vrlo neugodni za kasnije ponašanje zemljanog materijala. Ovi fenomeni su analizirani u narednom članu 2.10.

2.9.4. Dvojna uloga. Unutrašnji pritisak znači ima katkad pozitivnu ulogu u pogledu zbijanja, a katkad negativnu, bilo za samo zbijanje, bilo za kasnije držanje zemljanog materijala, bilo pak za oboje.

Bilo bi prema tome veoma dobro ako bismo mogli stvarati unutrašnji pritisak, dovesti ga na prihvatljivu veličinu i eliminisati ga posle zbijanja.

2.9.5. Vibracija. Izgleda da je nažalost nemoguće postići takav rezultat. To se upravo lako postiže vibriranjem.

Ermit (l'Hermit) je pokazao da se na izvesnom odstojanju od izvora vibracija, pomeranja zrna zemljanog materijala mogu smatrati kao neusmerena— bez reda. U takvom slučaju moguće je primeniti za te elemente kinetičku teoriju fluida i reći da to neusmereno kretanje izaziva ekspanzioni pritisak π koji se analizira na potpuno isti način kao i unutrašnji pritisak. Iskustva do kojih je došao Turnon (Tournon) pod rukovodstvom Ermita (l'Hermite) pokazala su u stvari da je obvojnica pomerena prema pravoj kao na slici I.5c. Pomeriti (paralelno) za π obvojnica prema pravoj svodi se na isto kao i pomeriti za veličinu π Morov krug ulevo.

No ovde bi se mogao namerno otkloniti ekspanzioni pritisak π prekidanjem vibracije. Uz to se ne mora naglo povećati kao što čini unutrašnji pritisak u kada se S_r približi 1.

2.10. Naglo smanjenje mehaničkih karakteristika nepropustljivog zemljanog materijala kad procenat vazduha teži ka nuli

Videli smo da, prema Kulonovom kriterijumu, zemljani materijal ostaje u elastičnom području dok je:

$$\tau \leq C' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \varphi', \quad [17]$$

i da je, pod uticajem povećanja glavnog ukupnog naprezanja nižeg od $\Delta\sigma_3$ i povećanja devijatora $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$, povećanje Δu :

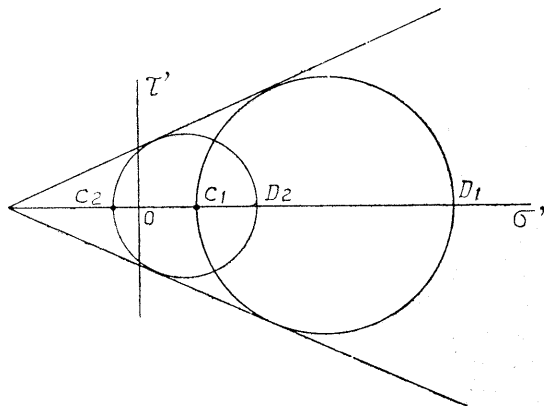
$$\Delta u = B [\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]. \quad [18]$$

Podsećamo najzad da je B funkcija od S_r koja se sporo menja od 0 za $S_r = 0$ do vrednosti reda veličine 0,30 za S_r reda veličine 0,85, a zatim naglo raste između $S_r = 0,85$ i $S_r = 0,95$, da bi na kraju težila ka 1 za $S_r = 1$ (slika I.4). Pokazaćemo da ova brza promena B izaziva brzu promenu otpornosti jednog zemljanog materijala na ukupna naprezanja.

Pretpostavićemo da je prvobitno stanje uzorka zemljanog materijala, koji će biti izložen mehaničkom ispitivanju i potpunom mirovanju: $u_0 = 0$, $\sigma_1 = 0$, $\sigma_3 = 0$.

Taj uzorak je uz to u jednom stanju definisanom sa S_r i n . Primenimo totalne napone σ_1 i σ_3 i pretpostavimo da je sprečeno odvođenje vode. Naći ćemo se u uslovima kada je moguća primena Skemptonovog (Skempton) obrasca. Da bi definisali novo stanje, upotrebićemo način prikazivanja Mor-Kako (Mohr-Caqout) (slika I.6).

Pre opita Morov krug je tačka 0.



Sl. I.6

Posle nanošenja σ_1 i σ_3 , Morov krug ima prečnik CD ; razmotrićemo dva slučaja zavisno od toga da li je B malo (blisko 0) ili veliko (blisko 1).

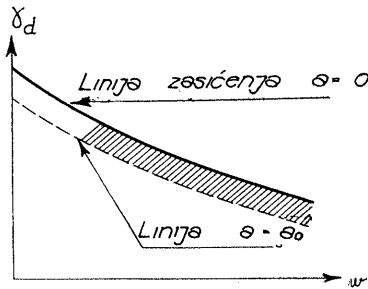
Ako je B malo, apscisa tačke C (označena sa C_1 na slici I.6), koja je jednaka $\sigma_1 - B[\sigma_3 + A(\sigma_1 - \sigma_3)]$, pozitivna je i značajna.

Morov krug prvog klizanja sa prečnikom C_1D_1 relativno je veliki. Mehanička otpornost je relativno visoka.

Ako je suprotno tome B blisko 1, apscisa tačke C (označena sada sa C_2 na slici 1.15), još uvek jednaka $\sigma_3 - B[\sigma_3 + A(\sigma_1 - \sigma_3)]$ postaje negativna, Morov krug prvog klizanja sa prečnikom C_2D_2 znatno manji a otpornost se narušava.

Mehanička otpornost vodopropustljivog zemljanog materijala (za vodu i vazduh) narušava se ako stepen zasićenja premaši određenu vrednost S_{r0} reda veličine 0,90, tj. ako procenat vazduha padne ispod izvesne vrednosti a_0 reda veličine nekoliko procenata.

To je u stvari ono što je uočeno. Na Proktorovom dijagramu (slike I.1 i I.6 bis) zona koja se nalazi između linije zasićenja i linije $a = a_0$ je u stvari zona mehaničke nestabilnosti.



Sl. I.6bis — Zona mehaničke nestabilnosti na Proktorovom dijagramu

2.10.1. Promena strukture. Brojni autori [XVIII] objašnjavaju promenu mehaničkih svojstava sitnozrnih zemljanih materijala u funkciji od njihove vlažnosti promenom strukture: glinovite čestice imaju oblik pločica, pri čemu je svaka od njih okružena dvostrukim električnim slojem. U tim uslovima normalno je izdvojenno posmatrati apsorbovanu vodu, vodu iz dvostrukog sloja i slobodnu vodu.

Prema vlažnosti (količini sadržane vode) materijala, čestice gline će se raspodeliti u dve vrlo različite grupe: jedna sa dispergovanim strukturama, druga sa flokularnim.

Promene mehaničkih svojstava objašnjavaju se na taj način prelazima od jedne strukture u drugu.

Ne osporavajući vrednost ovog objašnjenja, odabrali smo da izložimo jedno drugo koje nam se čini mnogo prihvatljivijim i koje se zasniva na široj ulozi koju ima voda, tj. slobodna voda.

Šire posmatrano, izgleda da su vrlo znatne promene unutrašnjeg pritiska dovoljne da se objasne ove mehaničke promene. Uopštavanje ovog objašnjenja i njegovog proširenje na bitumenom obavijene materijale — asfaltne mešavine u kojima ne dolazi do modifikacija strukture — čini nam se da mnogo obećava.

Međutim, uvođenje u račun modifikacija strukture ostaje i dalje neophodno za objašnjavanje dejstva elektrolita i fenomena koji se javljaju usled izmene jona. U tom smislu predstoji vrlo interesantna budućnost.

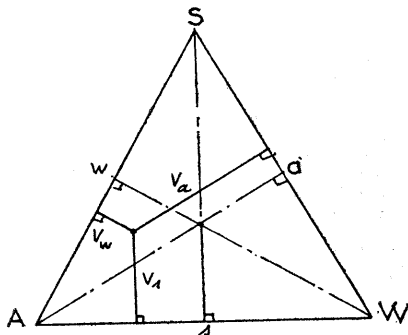
Uz to, ova razmatranja strukture omogućavaju da se objasni zašto se isti zemljani materijal, zbijen s jedne strane s manjom vlažnošću a zatim potapan u vodu

dok ne postigne zapreminsku težinu u suvom stanju γ_d i vlažnost w i, s druge strane, pri velikoj vlažnosti i potapan sve dotle dok nije postigao iste karakteristike γ_d i w , ponaša na dva različita načina. Tom prilikom stvoren unutrašnji pritisak je znatno veći u drugom slučaju nego u prvom.

2.10.2. Predstavljanje stanja zemljanog materijala metodom trougla. Prethodno izlaganje o efektu gumenog jastuka pokazalo je da u zemljanom materijalu učestvuju tri faze (čvrsta faza koja je sastavljena od zrna zemljanog materijala, tečna faza koja se sastoji od vode ili od bitumena u asfaltnim mešavinama i gasovita faza koja se sastoji od vazduha i eventualno vodene pare) i da sve tri igraju značajnu ulogu pri zbijanju.

Zbog toga se pokušalo sa korišćenjem predstavljanja u trouglastom sistemu, koga je stvarno uveo u upotrebu Hoze Himenez (José S. Jimenez) Salas [XIX].

Uzećemo jedinicu zapremine zemljanog materijala; ova jedinična zapremina sadrži određenu zapreminu V_s čvrstog dela (nanosi se prema vertikali ravnoubranog trougla prikazanog na slici I.7), određenu zapreminu V_w vode (nanosi se prema visini wW ravnoubranog trougla) i određenu zapreminu V_a vazduha (nanosi se prema visini aA ravnoubranog trougla). Na taj način se dobija: $V_s + V_w + V_a = 1$. Sa trouglastog dijagrama zapremine prikazanog na slici I.7 moguće je odmah očitati zapreminu koju zauzimaju zrna zemljanog materijala V_s i zapreminu koju zauzima vazduh V_a .



Sl. I.7 — Princip zapreminskog predstavljanja trouglastim dijagramom

Napomenućemo da se postupkom za određivanje vlažnosti materijala pomoću radioaktivnih izotopa direktno dobija volumetrijska vlažnost izražena u zapreminskim jedinicama (a ne klasična vlažnost po težini). Ta vlažnost izražena volumetrijski nije ništa drugo nego V_w . Uz to raspolažemo poznatim odnosom: $V_w = \gamma_d \cdot w$. Jasno je, uostalom, da je:

$$V_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$$

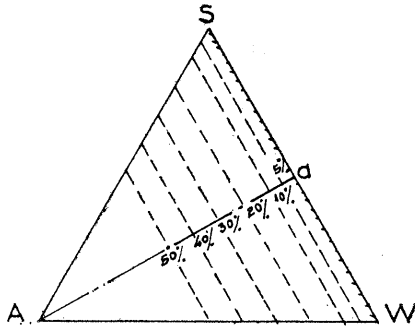
Što se tiče V_a to je već definisana veličina a .

Ovaj dijagram ima izvestan broj interesantnih svojstava.

1) Linija zasićenja klasičnog Proktorovog dijagrama na novom dijagramu predstavlja stranicu SW trougla.

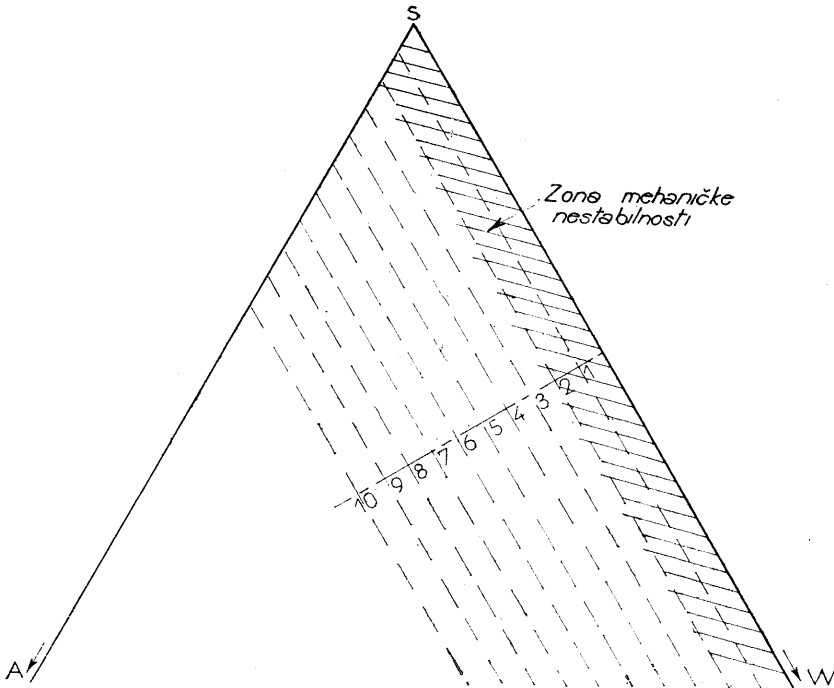
Osim toga, linije iste zapremine vazduha paralelne su stranici SW (slika I.8). Razumljivo je da su interesantne samo prave sa relativno malom sadržinom vazduha:

$$\left(a < \frac{30}{100} \right).$$



Sl. I.8 – Linije zasićenja (SW) i linije istog procentualnog sadržaja vazduha

Zona mehaničke nestabilnosti u zemljanim materijalima, gde je moguća njena pojava, je traka bliska stranici SW . Zbog toga postaje interesantno uvećanje dela dijagrama bliskog stranici SW (slika I.9).



Sl. I.9 – Uvećanje zone mehaničke nestabilnosti

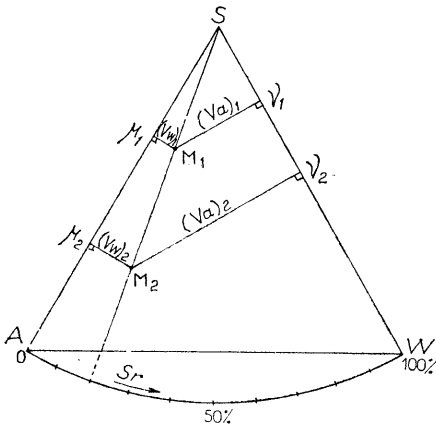
2) Stepen zasićenja S_r je odnos:

$$\frac{V_w}{V_w + V_a} = \frac{1}{1 + \frac{V_a}{V_w}}$$

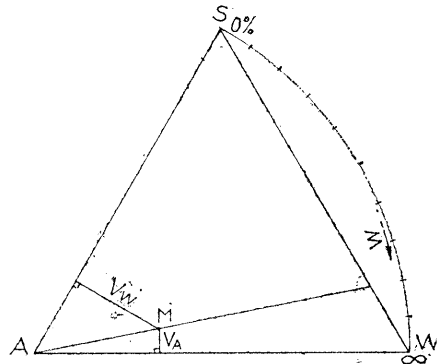
Ukoliko uzmemo tačke koje se nalaze na istom zraku povučenom iz tačke S , zapaža se (slika I.10), zahvaljujući sličnosti trouglova $SM_1\mu_1$ i $SM_2\mu_2$ s jedne strane i $SM_1\nu_1$ i $SM_2\nu_2$ s druge strane, da je:

$$\frac{(V_w)_1}{(V_w)_2} = \frac{(V_a)_1}{(V_a)_2}$$

Odatle proizilazi da su ovi zraci prave linije jednakog stepena zasićenja.



Sl. I.10 — Prikazivanje stepena zasićenja



Sl. I.11 — Prikazivanje vlažnosti w (težinsko)

3) Na isti način se dobija da su zraci povučeni iz A (slika I.11) prave za koje je:

$$\frac{V_w}{V_s} = Cte;$$

ili

$$V_w = w \gamma_d \quad \text{i} \quad V_s = \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$$

Dakle ove prave daju jednačinu:

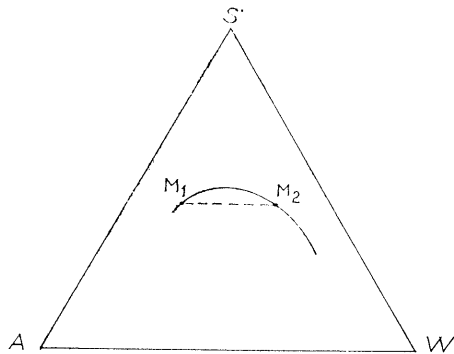
$$\frac{w \gamma_d}{\gamma_s} = Cte;$$

a pošto je γ_s konstantno $w = Cte$. Drugim rečima ove prave omogućavaju da se očita uobičajena vlažnost u odnosu na težinu materijala.

4) Posmatrajmo na bilo kojoj liniji ⁽¹⁾ M_1 i M_2 dve tačke koje se nalaze na jednakom odstojanju od osnove AW (slika 1.12). Dva stanja zemljanog materijala koja odgovaraju ovim tačkama M_1 i M_2 imaju iste zapreminske težine u suvom stanju pošto je:

$$\left(\frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right)_1 = \left(\frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right)_2.$$

Ona imaju istu zapreminu koju zauzimaju (ispunjavaju) zrna a time i istu zapreminu ispunjenu fluidima. *Ali su raspodele ove zapremine između tečne nestišljive faze i gasovite faze koja se pokorava Mariotovom (Mariotte) zakonu vrlo različite.* Za slučaj tačke M_1 fluid je uglavnom stišljiv gas; u drugom slučaju to je uglavnom nestišljiva tečnost. Smatra se da bi njihova svojstva bila vrlo različita.



Sl. 1.12 — Dva stanja prikazana tačkama M_1 i M_2 sa $(\gamma_d)_1 = (\gamma_d)_2$ imaju različita mehanička svojstva jer kompozicija fluida nije ista

2.11. Analogija s asfaltnim mešavinama

Naveli smo već da bi se asfaltne mešavine mogle posmatrati kao zemljani materijali u kojima je voda zamenjena mnogo viskoznijom tečnošću: vezivom.

Stoga je neophodno pronaći analogno ponašanje. Potpuno je jasno da se posle zbijanja i hlađenja jedna asfaltna mešavina zatvorenog tipa (asfaltni betoni) mora posmatrati kao vrlo nepropustljiva za vezivo i vazduh. Stoga je neophodno računati s naglim smanjenjem mehaničkih otpornosti ukoliko se procenat vazduha umanji za nekoliko jedinica.

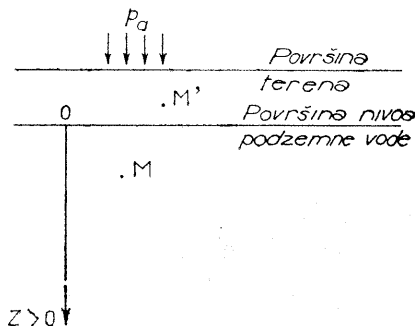
To je takođe ono što je utvrđeno. Waterways Experiment Station [V] objavio je izveštaj 1962. godine u kome je prikazana činjenica da se tečenje asfaltne mešavine izložene žirostatičnom pritisku javlja sistematski ako su procenti vazduha reda veličine 2 do 4%.

2.12. Upijanje i prirodna vlažnost. Bonanfanov (Bonnenfant) zakon

Uzmimo da je jedan zemljani materijal postavljen preko prirodnog terena (tla) ograničen površinom za koju ćemo pretpostaviti da je horizontalna. Nivo podzemne vode je u prirodnom terenu. Kao reper pri određivanju kota uzećemo površinu

⁽¹⁾ Ova linija bi mogla biti, na primer, ona koja je dobijena zbijanjem konstantnom energijom zbijanja i promenljivom vlažnošću (linija analogna Proktorovoj; videti poglavlje I.3.1).

nivoa podzemne vode, računajući pri tome niže kote od nivoa kao pozitivne. Tačka M na slici I.13 je, prema tome, na jednoj pozitivnoj koti z , dok je tačka M' na jednoj negativnoj koti z .



Sl. I.13

U tački M pritisak vode u porama terena (tla) jednak je atmosferskom pritisku povećanom za težinu vodenog stuba visine z . Ako se svi pritisci izraze u santimetrima visine vode, dobija se:

$$p_M = p_a + z\gamma_w \quad \text{ili} \quad \text{sa } \gamma_w = 1, \quad p_M = p_a + z.$$

Iz definicije unutrašnjeg pritiska proističe da z nije ništa drugo do unutrašnji pritisak u_M . Suprotno tome, u tački M' pritisak vode u porama koji je još $p_{M'} = p_a + z$ ovog puta je niži od atmosferskog pritiska, jer je z negativno. Unutrašnji pritisak $u_{M'}$ je tada negativan. Smatra se, uglavnom, suprotno od $u_{M'}$, tj. $-u_{M'}$ koje se naziva *sisanjem*—*sisajućim dejstvom*.

U studijama se sisajuće dejstvo — sisanje označava njegovim logaritmom za kog se uzima da je jednak p_F . Na taj način se dobija $p_F = \logaritam od -u_{M'}$.

Kako se pojavljuje voda u terenu—tlu u tački M' koja se nalazi ispod nivoa podzemne vode? Zašto ona ne otiče? Ona je vezana za zrna zemljanog materijala (tla) u tački M' različitim fenomenima kao što je kapilarnost, fenomenima električnog porekla, itd. Celini tih fenomena daje se ime sisajuće dejstvo (sisanje).

Svakom je poznato da se voda može čak i izdizati iznad nivoa podzemne vode pod dejstvom sila kapilarnog porekla, pa je ovaj fenomen označen kao kapilarno izdizanje. Maksimalna visina do koje se može izdići voda iznad nivoa podzemne vode naziva se visina kapilarnog penjanja.

Uz to, pri izvesnim uslovima, voda može isteći iz zemljanog materijala—tla pod dejstvom gravitacije.

Na ova kretanja vode u zemljanom materijalu utiče u najvećoj meri vodopropustljivost. Videli smo da Darsijev (Darcy) zakon pokazuje da je brzina kretanja vode u zemljanom materijalu v proporcionalna hidrauličkom gradijentu i (gubitak opterećenja po jedinici predene dužine). Takođe smo utvrdili i granice važnosti i valjanosti ovog zakona.

Pod dejstvom atmosferskih padavina, koje napajaju nivo podzemne vode, pod dejstvom fenomena isparavanja i isparavanja—transpiracije (što će reći fenomena isparavanja koji se javljaju posredstvom biljnog pokrivača), dolazi do izuzetno složenih kretanja vode u tlu. I drugi faktori, kao što su razlike temperatura, mraz, itd., takođe utiču.

Uopšte uzev, vlažnost (sadržaj vode u materijalu) w u tački M' je funkcija svih ovih kretanja pa — sledstveno tome — i svih izuzetno složenih faktora koji utiču na raspodelu vode u tlu. Nije nemoguće teorijsko proučavanje te raspodele, i engleski istraživači posebno su proučavali i dali brojne radove iz te oblasti, koji su im omogućili da za izvestan broj slučajeva predvide kakva će biti najverovatnija moguća vlažnost.

Razume se da ta vlažnost w' varira u toku godine naročito zbog isparavanja i padavina koje dovode do sezonskih promena. Međutim, ukoliko je dubina ispod površine terena dovoljno velika, sezonske promene nisu tako velike. Usvaja se da na dubini većoj od 1 m one nisu značajnije, *bar u našim klimatskim uslovima* (važi za Francusku.) Usvojićemo dakle da se u prirodnom tlu, pod uslovom da je ono na dubini većoj od 1 m, održava relativno konstantna (nepromenljiva) prirodna vlažnost u toku vremena.

U toku ciklusa proučavanja posvećenih problemu vode, koje je obavila Direkcija za puteve i drumski saobraćaj [VI], izvedena je serija zaključaka koji se naročito odnose na merenja vlažnosti u vrlo različitim terenima i to naročito vlažnosti ispod kolovoznih konstrukcija.

Dobijeni rezultat je vrlo interesantan i izgleda da je od opšteg značaja. Osim toga, još 1945. godine, u članku objavljenom u Analima za puteve i mostove, Bonanfan (Bonnenfant) je najavio ovaj rezultat [VII]. Zbog toga ga i nazivamo Bonanfanovim zakonom koji se može još izraziti na sledeći način:

U jednom prirodnom tlu vlažnost zemljanog materijala na dubini većoj od 1 m je reda veličine vlažnosti na granici plastičnosti⁽¹⁾ i⁽²⁾.

2.13. Ravnotežna vlažnost

Predložili smo [VIII] da se izraz prirodna vlažnost rezerviše za vlažnost utvrđenu u prirodnom tlu (usek ili pozajmište), a ravnotežna vlažnost za onu koju će imati zemljani materijal-tlo ispod kolovozne konstrukcije (u useku i nasipu) posle izgradnje puta. Ovakva definicija nije najbolja. Možda bi bilo bolje ako bi se prihvatila sledeća definicija: ravnotežna vlažnost bila bi ona koja se dobija u zemljanom materijalu gde su uslovi dovoljno stabilni u toku vremena da je moguće uspostavljanje ravnotežne vlažnosti: to bi bila vlažnost postignuta po isteku dovoljno dugog vremena u stabilnim uslovima prirodne sredine.⁽³⁾

Potpuno je jasno da to nije slučaj i da se vlažnost u prirodi menja — fluktuiira — oko jedne veličine koja je jednaka vlažnosti u prirodnom stanju.

Međutim, ako smo izabrali ovaj pojam za označavanje onog što nije ništa drugo do prirodna vlažnost u budućem objektu posle izgradnje, to je s jedne strane zato što su ispod kolovozne konstrukcije, a još bolje ispod aerodromske piste, stabilniji uslovi a stvarna vlažnost bliža ravnotežnoj vlažnosti.

S druge strane, ukoliko je moguće meriti prirodnu vlažnost, nije moguće u momentu izrade projekta meriti vlažnost koju će materijal imati ispod kolovozne

⁽¹⁾ Raspoložemo novijim iskustvima ali delimičnim koja pokazuju da ovaj „zakon“ treba koristiti uz potrebnu opreznost.

⁽²⁾ To pretpostavlja da nivo podzemne vode ne sme biti jako blizu površine. Bez velikog rizikovanja, potrebno je navedenu dubinu povećati na 1,5 m ispod posmatrane tačke.

⁽³⁾ Ova vlažnost se menja u zavisnosti od odstojanja posmatrane tačke od nivoa podzemne vode.

konstrukcije (puta ili aerodromske piste). Moguće je samo nastojati da se ona odredi, a jedna od metoda za procenu sastoji se u nastojanju da se odredi kakva će biti termodinamička ravnoteža ispod kolovozne konstrukcije. Na nesreću, predviđanje ravnotežne vlažnosti otežano je istovremeno, zbog teorijskih i praktičnih razloga:

teorijskih — jer analiza kretanja vode uvodi u račun vrlo brojne fenomene, često kompleksne;

praktičnih — jer čak ako bi se i raspolagalo sistemom potrebnih jednačina za to predviđanje i metoda proračuna radi rešavanja tih jednačina, trebalo bi još poznavati i vrednost koju bi trebalo davati veličinama koje ulaze u te jednačine. Dakle, različite veličine su još nedovoljno poznate. Navešćemo samo jedan primer, primer o evapo-transpiraciji isparavanjem i usisavanjem iz vazduha) koji pretpostavlja dublje poznavanje klimatskih uslova i vegetacije.

U takvim uslovima ekspeditivnije je uslovno odrediti očekivanu vlažnost ispod kolovozne konstrukcije.

Prva aproksimacija obaviće se na osnovu prirodne vlažnosti okolnog zemljanog materijala pri sličnim topografskim uslovima.

Najčešće će biti dovoljno da se grublje obavi prva aproksimacija radi vođenja računa o stvarnim topografskim uslovima (zemljani materijal ugrađen u nasip može se u izvesnoj meri popraviti u odnosu na materijal dobijen pri iskopu u pozajmištu), o postojanju kolovozne konstrukcije koja smanjuje prodiranje vode i isparavanje, o odvodnjavanju, itd.

Razume se da će se na taj način izvršiti samo gruba i približna procena, ali ćemo biti prinuđeni da se time zadovoljimo sve dok se ne pripremi *obimnija dokumentacija o zapažanjima* obavljenim na postojećim nasipima i ispod kolovoznih konstrukcija.

3. PROKTOROVE LINIJE I INDEKS NOSIVOSTI CBR

Videli smo u prethodnom poglavlju (I.1) da se Proktorovi dijagrami dobijaju nanošenjem vlažnosti w na apscisu a zapreminskih težina γ_d na ordinatu i povezivanjem tako dobijenih tačaka, kao što je učinjeno na slici I.1., na kojoj su jednovremeno ucrtane linija zasićenja i linije sa konstantnim procentima vazduha ($a = Cte$).

Videćemo uz to da mehaničke karakteristike kod jednog nepropustljivog zemljanog materijala naglo opadaju ukoliko a padne ispod jedne vrednosti a_0 , pri čemu se taj materijal praktično ne može sabiti (gumeni jastuk).

Crtaćemo, dakle, na svim linijama ove glave linije zasićenja i liniju $a = a_0$ (linija čiji je kraj nedovoljno precizan) koja ograničava područje u kome se događaju napred pomenuti fenomeni nestabilnosti.

Takođe smo utvrdili da za sve vrste zemljanih materijala postoji jedna prirodna vlažnost bliska granici plastičnosti. Zbog toga ćemo naneti na Proktorov dijagram niz (područje) prirodnih vlažnosti. Videli smo da je moguće, na osnovu teorija izloženih u prethodnom poglavlju 2, utvrditi promenu C i φ u funkciji od vlažnosti w . Na osnovu tih promena Luis [I] je pokazao kako se utvrđuje oblik Proktorove linije. Prikazaćemo njegov dokaz.

Podsetimo se najpre šta su Proktorove linije.

3.1. Proktorove linije

Odabrani zemljani materijal zbijamo u jednom standardnom kalupu korišćenjem standardnog laboratorijskog postupka. Meri se zapreminska težina u suvom stanju γ_d i vlažnost pri zbijanju w . Postupak se ponavlja više puta uz promenu vlažnosti materijala w . Svaki opit daje po jednu tačku na Proktorovom dijagramu.

Iskustvo pokazuje da se ove tačke mogu povezati jednom linijom koja ima jedan maksimum.

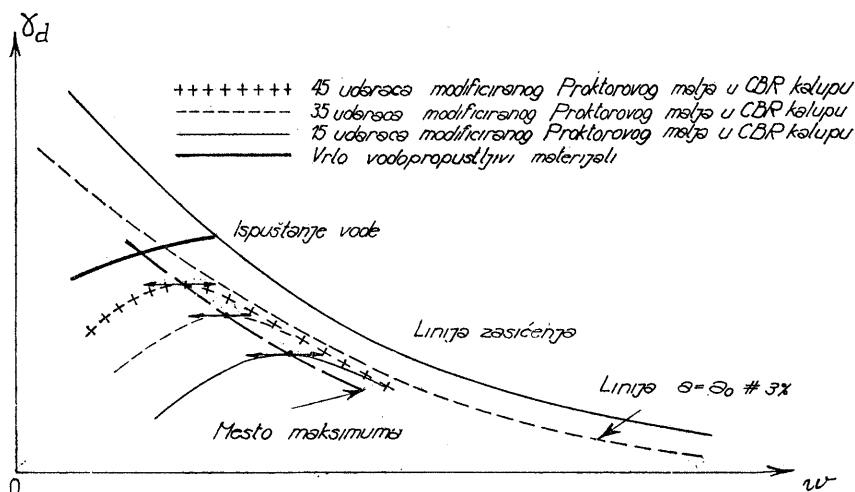
Tako dobijena linija naziva se Proktorovom linijom.

Promenimo sada postupak zbijanja i upotrebimo, primera radi, efikasniji postupak uz ponavljanje prethodno opisanog postupka. Novo dobijene tačke nalaziće se takođe na jednoj liniji koja, takođe, ima maksimum i koja će uz pretpostavku da je novi postupak zbijanja efikasniji od prethodnog, biti uvek iznad prve linije⁽¹⁾ sa kojom je slična po obliku.

U Proktorovom dijagramu izvesne linije se posebno izdvajaju s obzirom na primenjeni postupak zbijanja i „energiju zbijanja”.⁽²⁾ U Francuskoj se posebno izdvajaju:

— Proktorova linija određena po standardnom laboratorijskom postupku zbijanjem odabranog zemljanog materijala u 3 sloja debljine, ako 4 cm svaki; svaki sloj prima 25 udaraca malja težine 2,49 kp koji pada sa visine od 30,4 cm;

— Proktorova linija određena po modificiranom laboratorijskom postupku, zbijanjem odabranog materijala u istom kalupu, u pet slojeva debljine oko 2,5 cm svaki. Svaki sloj prima 25 udaraca malja težine 4,53 kp koji pada sa visine od 45,7 cm.⁽¹⁾



Sl. I.14

⁽¹⁾ Ili bar nikad neće biti ispod.

⁽²⁾ Kritikovaćemo kasnije ovaj pojam koji smatramo pogrešnim.

⁽³⁾ Naznačeni postupak primenjuje se ukoliko zemljani materijal u potpunosti prolazi kroz sito od 5 mm. Inače, koristi se CBR-kalup, a umesto 25 udaraca zbijanje se vrši sa 55 udaraca po sloju. U slučaju kad se primenjuju tri energije zbijanja, primenjuje se 55 udaraca po sloju modificiranog Proktorovog nabijača (modificirana Proktorova linija), 35 udaraca po sloju istog nabijača (među linija) i 15 udaraca po sloju istog nabijača (linija bliska standardnoj Proktorovoj).

Često se preporučuje da se nacrtaju jedna linija između njih, a katkad je korisno da se nacrtaju i jedna niža linija, tj. sa znatno manjom energijom zbijanja.

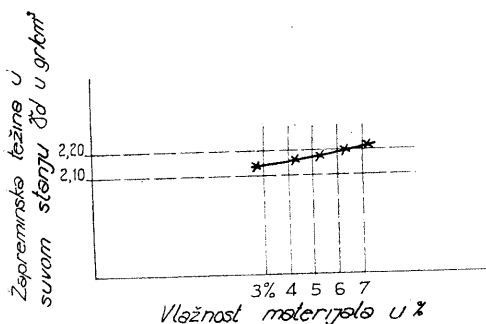
Zapaženo je da linije najčešće imaju oblik kao na slici I.14, što znači:

- da se one nadovezuju jedna na drugu;
- da se njihovi maksimumi nalaze na jednoj liniji koja je prilično paralelna liniji zasićenja;
- da su donji delovi linije vrlo bliski jedni drugima, čak se asimptotski približavaju i poklapaju.

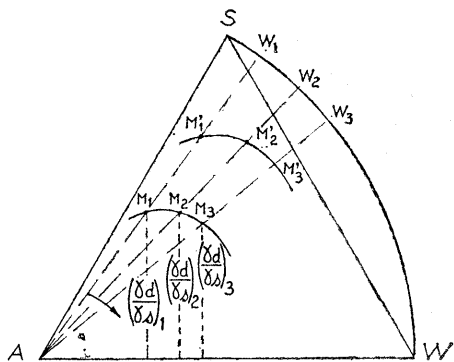
Ova shema, međutim, ne važi za izvesne vrlo vodopropustljive zemljane materijale za koje su Proktorove linije vrlo izdužene i završavaju se u blizini linije zasićenja, često uz ispuštanje vode u momentu zbijanja nabijačem (maljem). U gornjem delu slike I.14 prikazana je jedna takva linija.

Slika I.14 bis je realan primer jedne takve Proktorove linije.

Ako se umesto Proktorovog načina prikazivanja upotrebi trouglasti sistem naveden u poglavlju I.2.10.2, u šta će se pretvoriti Proktorove linije do kojih smo došli?



Sl. I.14bis — Proktorov dijagram za $\gamma_d = 2,92$



Sl. I.15 — Izrada Proktorove linije i mreže Proktorovih linija na trouglastom dijagramu

Da bi se to utvrdilo, zbijmo zemljani materijal sa vlažnošću w_1 i dobićemo zapreminsku težinu u suvom stanju $(\gamma_d)_1$. Reprezentativna tačka M_1 na dijagramu nalaziće se na poluprečniku iz tačke A koji odgovara vlažnosti w_1 i sa ordinatom koja, u približnoj razmeri γ_s , daje $(\gamma_d)_1$ (slika I.15).

S povećanjem vlažnosti poluprečnik na dijagramu kretaće se oko A u smeru strelice dok će se reprezentativna tačka dizati pri povećanju γ_d a zatim spuštati posle prolaska kroz maksimum klasične Proktorove linije.

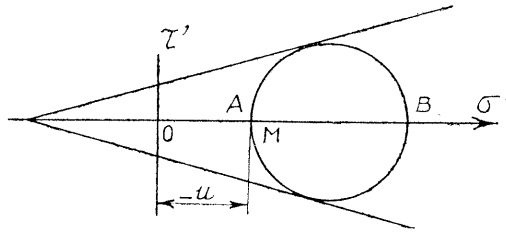
Ako se pri istoj vlažnosti w_1 poveća energija zbijanja, reprezentativna tačka će biti na istom poluprečniku kao i M_1 , ali sa jednom većom vrednošću $(\gamma_d)_1$.

Komentarišući sliku I.12 videli smo da dve tačke na istoj Proktorovoj liniji, koje imaju iste zapremine težine u suvom stanju, imaju različita svojstva, jer, iako imaju isti deo zapremine koju zauzimaju fluidi, raspodele te zapremine između nestišljive tečne faze i gasovite faze koja se ponaša po Mariotovom (Mariotte) zakonu vrlo su različite. Za slučaj tačke M_1 fluid je uglavnom stišljivi gas; u drugom slučaju to je uglavnom nestišljiva tečnost. Smatra se da bi mehanička svojstva bila vrlo različita.

3.2. Teorijsko objašnjenje

Na osnovu tih dijagrama moguće je teorijsko objašnjenje.

3.2.1. Posmatrajmo za *jedan određeni zemljani materijal* kakve su mu promene mehaničke otpornosti u funkciji od njegove vlažnosti w i zapreminske težine u suvom stanju γ_d , pri čemu će se mehanička otpornost izraziti bilo kojim parametrom, a po potrebi i sa više parametara.



Sl. I.16

Prikazaćemo tu promenu nanoseći na apscisu vlažnost a na ordinatu mehaničku otpornost: dobićemo na taj način jednu liniju za svaku zapreminsku težinu zemljanog materijala u suvom stanju γ_d .

Da li je moguće unapred predvideti oblik te linije?

Ukoliko se radi sa konstantnom zapreminskom težinom u suvom stanju γ_d , to znači da se ne menja stanje skeleta.

Ako je vlažnost mala, njena osnovna uloga je uglavnom u stvaranju kohezije, posredstvom međupovršinskih napona koji se javljaju usled vodenih filmova; dolazi do visoke mehaničke otpornosti. S povećanjem vlažnosti u materijalu nastaje pojava podmazivanja koja izaziva smanjenje mehaničke otpornosti.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Bilo bi možda korektnije reći da, ako je vlažnost vrlo mala, postoji izvesno sisajuće dejstvo što će reći negativan unutrašnji pritisak u . Pri odmoru, pod dejstvom sisanja $-u$, i pošto su ukupni (totalni) naponi ravni nuli, to znači intergranularna naprezanja stvaraju hidrostatički pritisak: $\sigma_1 = \sigma_3 = 0$, što dovodi u stvari do:

$$\sigma_1' = \sigma_1 - u = -u > 0;$$

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u = -u > 0.$$

Pri odmoru Morov (Mohr) krug intergranularnih napona je u jednoj tački koja se nalazi na $-u$ od početka.

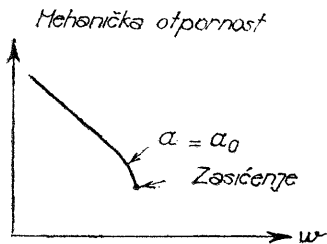
Ukoliko se u tom stanju pretpostavi devijator $\sigma_1 = \sigma_1 - \sigma_3$ (i pretpostavljajući da on ne modifikuje unutrašnji pritisak), Morov krug loma je AB sa $\sigma_1 = AB$. Jasno je da što je sisajuće dejstvo $-u$ veće, veće je AB , pa prema tome i σ_1 .

Dakle, sa postupnim povećanjem vlažnosti smanjuje se sisajuće dejstvo i , sledstveno tome smanjuje se i otpornost.

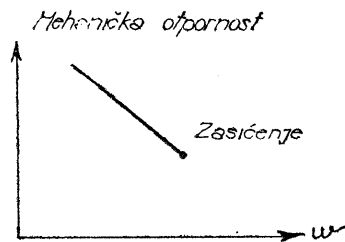
Pretpostavljeno je da se uvođenjem napona σ_1 ne modifikuje unutrašnji pritisak. Jasno je odmah da je to netačno ali se time samo pojačava rezonovanje jer je povećanje unutrašnjeg pritiska (na osnovu Skemptonovih (Skempton) razmatranja) proporcionalno σ_1 , pri čemu je koeficijent proporcionalnosti utoliko veći, ukoliko je i vlažnost w veća. Dakle, s povećanjem vlažnosti w smanjuje se prvobitno sisajuće dejstvo (prvi razlog smanjenja otpornosti) a unutrašnji pritisak — nastao uvođenjem devijatora — povećava (drugi razlog smanjenja otpornosti).

Najzad, pokazali smo u prethodnom poglavlju I.2 da u području zasićenja mehanička otpornost naglo opada kod vodonepropustljivih materijala, a mnogo manje varira kod vodopropustljivih zemljanih materijala.

Proučavana linija imaće prema tome opšti tok kao na slici I.17 za vodonepropustljive zemljane materijale, a tok kao na slici I.18 za vodopropustljive zemljane materijale.



Sl. I.17



Sl. I.18

Ukoliko se postupak obnovi sa jednom drugom veličinom γ_d , dobiće se analogna linija. Razume se da je pri većim zapreminskim težinama u suvom stanju γ_d postignuto bolje razmeštanje i zgušnjavanje zrna, pa je zbog toga veća i mehanička otpornost.

To je u stvari ono što se može konstatovati na osnovu slika I.19, I.20 i I.21, pozajmljenih iz *Road Research Technical Paper*, br. 45 [I], iz kojeg smo pozajmili i deo izložen u sledećem članu,

3.2.2. S obzirom na takvo stanje, uzećemo zemljani materijal sa određenom vlažnošću w i pokušaćemo da ga zbijemo koristeći izvestan postupak zbijanja. Taj postupak stvara u zemljanom materijalu izvesno stanje naprezanja, npr., radi razmatranja na slici I.19, smičuće naprezanje. Ukoliko je naprezanje veće od otpornosti zemljanog materijala, on će se deformisati i zbiti. Preći će se na taj način sa jedne linije γ_d na liniju veće zapreminske težine u suvom stanju. Zbijanje će prestati kad otpornost zemljanog materijala postane potpuno jednaka naprezanju.

Polazeći od vlažnosti w (primera radi uzećemo da je 22%) i naprezanja stvorenog u zemljanom materijalu (jednako smicanju od 1 kp/cm² npr.), očit ćemo sa slike I.19 dobijenu zapreminsku težinu u suvom stanju γ_d ($\gamma_d = 1,59$ g/cm³).

Ako se istraživanje ponovi bez promene postupka zbijanja ali uz promenu vlažnosti w , jasno je da na slici I.19 dolazi do pomeranja po horizontali; pri porastu vlažnosti, tačka ravnotežne vlažnosti zauzima sve više položaje (penje se) na linijama γ_d . Na taj način se ulazi u područje rastućeg dela Proktorove linije.

Međutim, ovo je tačno samo ako horizontala ne nailazi na liniju koja je u svojoj zoni opadanja (jer su zemljani materijali vodonepropustljivi) ili na jednu vrednost γ_d koja odgovara stanju zasićenja (slučaj vodopropustljivog zemljanog materijala).

Nazovimo i u jednom i drugom slučaju w_0 odgovarajućom vlažnošću a γ_{d0} odgovarajućom zapreminskom težinom u suvom stanju. Šta se događa ako se pokuša sa zbijanjem jednog zemljanog materijala pri vlažnosti $w > w_0$?

Rezultat nije isti i zavisice od toga da li je zemljani materijal vodopropustljiv ili ne.

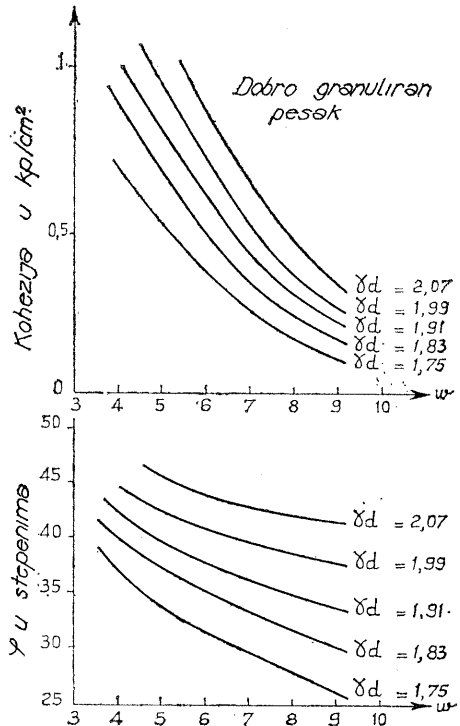
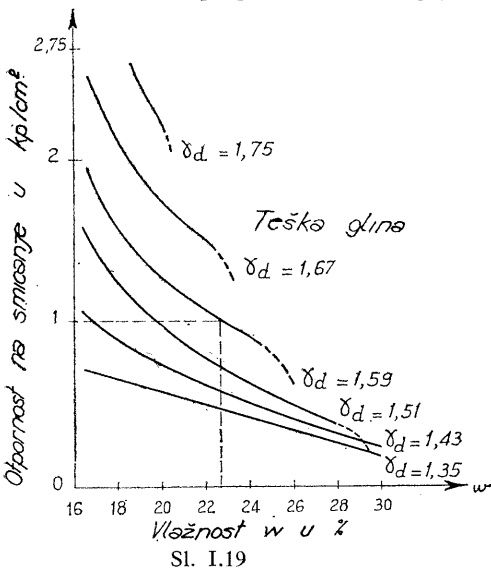
Ukoliko je *potpuno vodopropustljiv*, u toku zbijanja voda će biti istisnuta i završice se sa postizanjem stanja w_0 i γ_{d0} , tj. kada se Proktorova linija završava na liniji zasićenja.

Ispitajmo šta se događa pri pokušaju da se zbjije jedan vodonepropustljiv zemljani materijal pri vlažnosti w većoj od vlažnosti w_0 koja odgovara korišćenom uređaju za zbijanje. Postupno sa zbijanjem zemljanog materijala, povećava se γ_d a smanjuje se procenat vazduha, do momenta dok ne padne u blizinu veličine a_0 . U takvom slučaju se smanjuje otpornost zemljanog materijala toliko da ju je više nemoguće na slici I.19 pratiti jednom horizontalalom. Dobijena tačka odgovara jednom stanju napreznanja nižem od onog koje se želelo postići pri ugrađivanju, pa prema tome i zapreminskoj težini u suvom stanju γ_d koja je niža od γ_{d0} . Počevši od toga stanja ($w > w_0, \gamma_d < \gamma_{d0}$) ništa se ne koristi za povećanje *ukupnih* napona čime se stvara unutrašnji pritisak a ne i intergranularna napreznanja. Na taj način nije bilo moguće izazvati na skeletu napreznanja za koja se očekivalo da ih je moguće uspostaviti. Rezultat je isti kao da je pri radu stvorena manja „energija zbijanja”.

Tako je istovremeno utvrđen silazni deo Proktorovih linija koji uz to ima vrlo bliske — ako ne i podudarne — ogranke, što predstavlja jedno od zapaženih svojstava tih linija.

Razumljivo je da ako bi linija $a = a_0$, koja za vodonepropustljive zemljane materijale definiše zonu mehaničke nestabilnosti, bila precizno određena, maksimum na Proktorovoj liniji dobio bi se za $a = a_0$, a silazni deo bi bio poklopljen s tom linijom.

U stvarnosti, mehanička svojstva naglo opadaju kad se nS , približio 0 ali pri tom ne dolazi do potpuno vertikalnog pada.

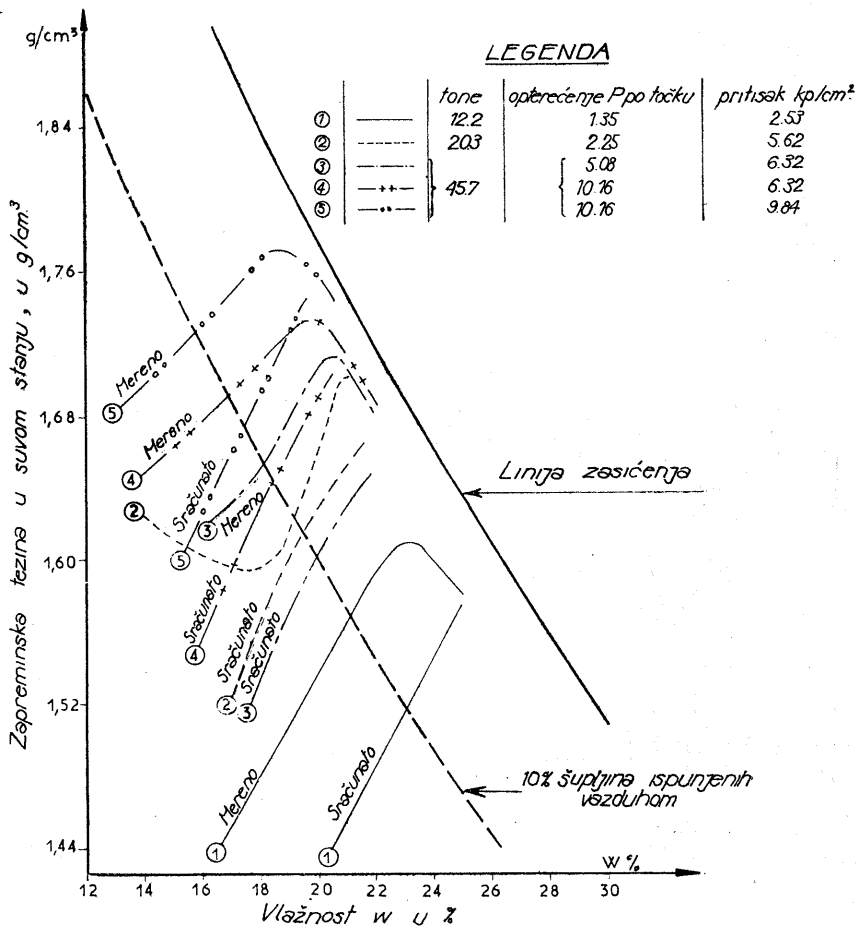


Sl. I.20 i I.21 — Na ovim slikama C i φ su izmereni parametri za ukupne napone

Grupisane Proktorove linije imaju svoj maksimum u blizini $a = a_0$, a njihov silazni deo blizak je liniji $a = a_0$, što jednovremeno objašnjava realan oblik linija i činjenicu da se maksimumi nalaze na jednoj liniji.

Naveli smo najzad da su linije međusobno slične i da se nalaze jedna iznad druge. Dovoljno je pogledati sliku I.19 da bi se utvrdilo da, pri izvesnoj vlažnosti, što je energija zbijanja veća, tj. što su naprezanja koja se tom prilikom javljaju veća, veća je i zapreminska težina materijala u suvom stanju γ_d , što objašnjava, ako je to potrebno, rezultat utvrđen eksperimentalno.

Ovo objašnjenje Proktorovih linija koristila je *Road Research Laboratory* za računanjanja Proktorovih linija dobijenih sa uređajima za zbijanje sa gumenim točkovima.⁽¹⁾



Sl. I.22

⁽¹⁾ Suština izlaganja u ovom članu pozajmljena je iz navedenog dokumenta [I]. Jedini originalni deo je onaj koji predstavlja pokušaj iznalaženja oblika linija na slikama I.19, I.20 i I.21 na osnovu promena Skemptonovog (Skempton) koeficijenta B .

Dovoljno je u stvari da se sračunaju naprezanja koja stvara uređaj za zbijanje i da se upotrebi slika I.19, npr. radi crtanja Proktorove linije uređaja za zbijanje. Slika I.22 pozajmljena iz te studije pokazuje da uzlazni deo linije nije bio precizno utvrđen.

Koristeći analogan oblik rezonovanja, koje ćemo izložiti kasnije, Simon (Simon) je pripremio vrlo interesantne nomograme [IX].

3.3. Opit CBR (Kalifornijski indeks nosivosti)

Ovaj opit služi za utvrđivanje nosivosti putnih zemljanih materijala, tj. njihove podobnosti da uz posredstvo izvesne kolovozne konstrukcije prenesu opterećenja vozila koja prolaze putem.

Podsetićemo na postupak njegovog izvršenja.

Otpočinjse se pripremom uzorka (epruvete) za ispitivanje od zemljanog materijala izvesne vlažnosti (w), koji se zbjija u cilindričnom kalupu, nazvanom CBR kalup, prečnika 152 mm i visine 152 mm. Zemljani materijal se može zbijati određenom energijom. Preporučuje se da se izvrši više opita sa nekoliko različitih vlažnosti i da se koriste energije zbijanja korišćene pri Proktorovom opitu, što znači da se svaki od pet slojeva zemljanog materijala zbjije sa po pedeset pet udaraca nabijača za obavljanje modificiranog Proktorovog postupka, ili sa trideset pet udaraca tog nabijača, ili pak sa petnaest udaraca.

Drugim rečima, izrada različitih uzoraka (epruveta) za ispitivanje u potpunosti odgovara proučavanju obavljenom za crtanje Proktorovog dijagrama.

Opit utiskivanja vrši se sa ili bez prethodnog potapanja uzorka u vodu, korišćenjem standardne brzine (1,27 mm/minut). Klip kojim se obavlja utiskivanje standardnog je preseka (19,3 cm²). Zatim se crta linija koja daje pritisak klipa u funkciji od njegovog utiskivanja. Indeks nosivosti CBR jednak je većoj vrednosti dobijenoj iz ovih odnosa:

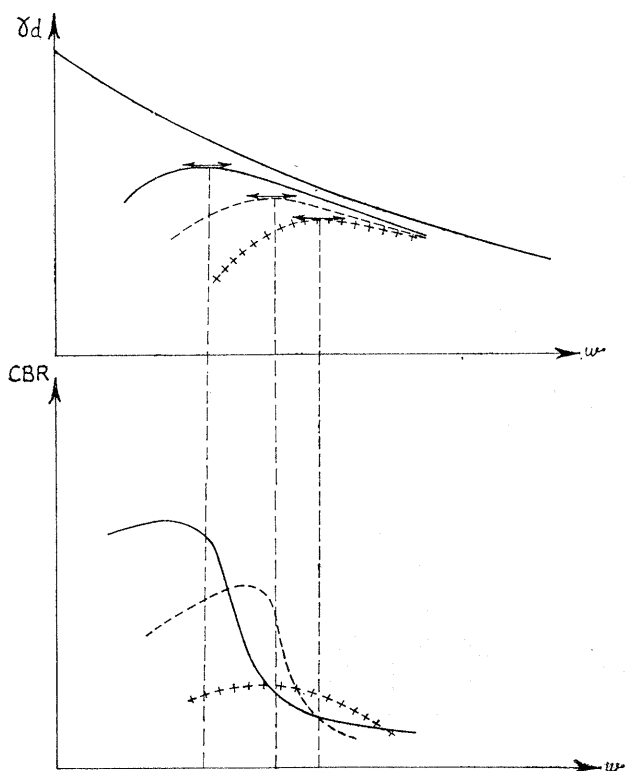
$$\frac{P(2,5)}{0,70} \text{ i } \frac{P(5)}{1,05}$$

$P(2,5)$ je pritisak koji odgovara prodiranju klipa — utiskivanju — od 2,5 mm, a $P(5)$ je onaj koji odgovara utiskivanju od 5 mm.

3.3.1. Proučićemo najpre CBR dobijen neposredno po izradi uzorka za ispitivanje — epruvete — uz pretpostavku da su izrađene, kao što smo prethodno napomenuli, tri serije uzoraka: prva serije uzoraka: prva serija s energijom zbijanja koja odgovara modificiranom Proktorovom postupku, treća serija koja odgovara standardnom Proktorovom postupku, druga serija koja je po veličini negde između dve prethodne. Nanesimo na apscisu vlažnost pri izradi uzorka, a na ordinatu dobijenu CBR vrednost. Dobićemo sliku I.23 na kojoj se paralelno crta i odgovarajući Proktorov dijagram. Konstatuje se da indeks nosivosti CBR ima jedan maksimum pri vlažnosti koja je nešto malo manja od optimalne vlažnosti pri zbijanju a zatim se naglo smanjuje i teži ka jednom blažem nagibu koji zavisi od korišćenog postupka zbijanja.

Ovaj rezultat je potpuno objašnjiv zahvaljujući prethodno izloženim mehaničkim razmatranjima: kad procenat vazduha padne ispod kritične veličine a_0 , remeti se mehanička otpornost zemljanog materijala.

Prethodno izložena razmatranja objašnjavaju čak i zašto se maksimalna vrednost indeksa CBR postiže pri vlažnosti koja je najčešće niža od odgovarajuće optimalne vlažnosti po Proktoru. Videli smo da se maksimum na liniji zapremine težine u suvom stanju nalazi na početku zone mehaničke nestabilnosti; kod CBR je početak tog pada nešto ranije.



SI. 1.23

3.3.2. Proučimo CBR posle natapanja. Podsećamo da se u ovom slučaju uzorci posle nege, zajedno sa kalupima u kojim su urađeni, potapaju u posudu ispunjenu vodom. Podsećamo takođe da se uzorci opterećuju teretom koji treba da predstavlja opterećenje kolovozne konstrukcije i da onemogući ili smanji bubrenje nastalo usled upijanja vode.

Vreme potapanja uzoraka je promenljivo. Najčešće se potapanje vrši u vremenu predviđenom standardom, tj. u trajanju od četiri dana, a posle tog vremena se vrši utiskivanje na presi za CBR opit. Moguće je, međutim, natapanje vršiti i u dužem vremenskom intervalu, zavisno od vrste materijala i željenih potreba.

Konstatuje se da je fenomen različit u zavisnosti od toga da li se zbijanje obavlja pri niskoj ili visokoj vlažnosti.

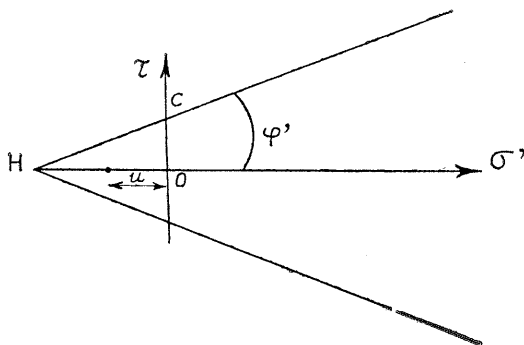
U slučaju da su uzorci za ispitivanje izrađeni s niskom vlažnošću, CBR posle natapanja je znatno manji. Ovo naglo smanjenje (pad) je utoliko osetnije što je vlažnost materijala pri zbijanju bila manja.

Ako je vlažnost pri izradi uzoraka bila vrlo visoka, naglo smanjenje indeksa CBR se anulira, a događa se kod nekih zemljanih materijala, ako se ostave dovoljno dugo u posudi za potapanje, da se postigne znatno veća vrednost indeksa nosivosti CBR od one koja se dobija utiskivanjem neposredno po izradi. Ovo zapažanje [X], iako nam se čini paradoksalnim, moguće je objasniti sledećim razmišljanjima: U vreme zbijanja sitnozrnog slabo vodopropustljivog zemljanog materijala nastaju unutrašnji pritisci koji ne nestaju u potpunosti po prestanku uticaja zbijanja. Najpre ćemo pokazati da je to moguće

Pri zbijanju zemljani materijal se izlaže uticajima koji s jedne strane stvaraju intergranularna naprezanja koja međusobno približavaju zrna, a s druge strane unutrašnji pritisak (i pritisak vazduha). Kao što je navedeno u poglavlju 2.5, unutrašnji pritisak nastaje usled toga što se smanjuje zapremina rezervisana za vazduh i vodu a da pri tom vazduh i voda ne mogu isteći.

Po prestanku uticaja nastalih pri zbijanju, nestaju ukupni naponi; s njima nestaje i jedan deo deformacije izazvan u zemljanom materijalu spoljašnjim uticajima. Međutim, jedan deo ove deformacije je nepovratan i stalno ostaje. Voda i vazduh koji, ako je zemljani materijal vodonepropustljiv ili slabo vodopropustljiv, ne mogu isteći, smanjuju svoje zapremine zauzimajući manje prostore od onih koje su zauzimali pod atmosferskim pritiskom. Oni su prema tome izloženi izvesnom pritisku p' koji je viši od atmosferskog tako da se stvara unutrašnji pritisak $u = p' - p_{\text{atm.}}$

Kako je to moguće bez međusobnog udaljavanja zrna zemljanog materijala? To je zato što usled kohezije skelet može prihvatiti izvesno zatezanje. U Morovom dijagramu, u intergranularnim naponima, Morov krug je sveden na jednu tačku koja se nalazi na odstojanju $-u$ od početka (slika I.24).



Sl. I.24

Dok je u veće od H nema ravnoteže i pri tome se skelet rastresa.

Ali ako je

$$u < +H = \frac{+C'}{\operatorname{tg} \varphi'}$$

skelet zadržava svoju permanentnu deformaciju.

Može nam se činiti paradoksalnom pojava da postoji unutrašnji pritisak bez bilo kakvog spoljnog uticaja. Razlog je u činjenici da su ukupni naponi (koji uravnotežuju eventualni spoljni uticaj) ravni nuli. Dobija se, u stvari (videti sliku I.17)

$$\sigma'_1 = \sigma'_2 = \sigma'_3 = -u$$

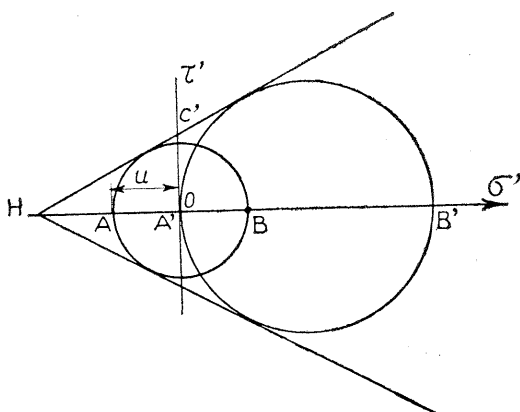
i, prema tome,

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = -u + u = 0.$$

Prema tome, potpuno je moguće da posle zbijanja preostane izvestan unutrašnji pritisak u uzorku pripremljenom za CBR opit. Razume se da ako je vlažnost zemljanog materijala takva da u uzorku dolazi do sisajućeg dejstva, može doći do superpozicija ova dva fenomena (videti dalji tekst).

Pretpostavićemo, dakle, da se obavlja utiskivanje uzorka, tj. da se uvodi devijator $\sigma_1 - \sigma_3$ ukupnih napona: u intergranularnim naponima tj. devijator će biti $\sigma'_1 - \sigma'_3 = \sigma_1 - \delta_3$. Radi pojednostavljenja usvojićemo da je $\sigma_3 = 0$.

Na slici I.25, koja je nacrtana sa intergranularnim naponima, lom će se dobiti za Morov krug prečnika AB , a odgovarajući devijator u ukupnim naponima biće AB . Znači da je $\sigma_1 = AB$.



Sl. I.25

Ako se umesto momentalnog utiskivanja čeka dovoljno dugo, i ako unutrašnji pritisak u nestaje kada se uzorak za ispitivanje stavi na presu, zemljani materijal će se označiti tačkom A' koja se poklapa sa O . Isti postupak rezonovanja kao i u prethodnom slučaju pokazuje da će $\sigma_1 - \sigma_3$ biti jednako $A'B'$. Zbog toga će indeks CBR biti znatno veći.

Kako je moguće da unutrašnji pritisak nestane dok je zemljani materijal izložen natapanju?

Nećemo objašnjavati način na koji dolazi do toga nestajanja, ali je potrebno naglasiti da je moguće zamisliti nekoliko mehanizama: s jedne strane pod dejstvom zatezanja (u intergranularnim naponima) kojima je skelet izložen, on se može povećati (dilatirati); na taj način povećava se zapremina koja postaje dostupna vodi i vazduhu pa unutrašnji pritisak opada. S druge strane, pod dejstvom unutrašnjeg pritiska vazduh može biti istisnut bočno⁽¹⁾. Najzad, prisustvo vode oko uzorka za ispitivanje ne sprečava izvestan gubitak vode. I, na kraju, moguće je da se kretanja vode i vazduha dešavaju unutar uzorka za ispitivanje.

⁽¹⁾ To je najverovatnije objašnjenje. Unutrašnji pritisak koj se tom prilikom stvara nastaje uglavnom od vazduha.

3.4. Rezime u vezi sa padom vrednosti indeksa CBR

Nagla smanjenja vrednosti indeksa nosivosti CBR posle natapanja, ako su vlažnosti zemljanog materijala pri izradi uzoraka za ispitivanje bile male ili, suprotno tome, povećanja posle dužeg natapanja uzoraka izrađenih s velikim vlažnostima zemljanog materijala pri njihovom ugrađivanju — proističu iz istog fenomena, koji se može shematski predstaviti na sledeći način:

3.4.1. *Zemljani materijal je izložen sisajućem dejstvu koje se smanjuje s povećanjem vlažnosti i prestaje za izvesnu vrednost vlažnosti w .*

3.4.2. *U obrnutom smislu, zbijanjem zemljanog materijala stvara se unutrašnji rezidualni pritisak koji se superponira sa sisajućim dejstvom.*

3.4.3. *Ako sisajuće dejstvo nadmašuje taj unutrašnji rezidualni pritisak, dolazi do pada vrednosti indeksa CBR pri zasićenju, jer zbog zasićenja sisajuće dejstvo nestaje potpuno ili delimično.*

3.4.4. *Ako unutrašnji rezidualni pritisak nadmašuje sisajuće dejstvo (naročito kad ono ne postoji — kad je jednako nuli), mirovanje koje prati natapanje može izazvati iščezavanje unutrašnjeg pritiska i poboljšanje indeksa nosivosti CBR.*

3.4.5. *U svim realnim slučajevima, tj. stanjima ispod kolovozne konstrukcije, veličina indeksa CBR će odgovarati ravnotežnom stanju sisajuće dejstvo-unutrašnji pritisak, stvorenom u zemljanom materijalu i situ.*

Često je moguće kod prašinovitih zemljanih materijala (prašina) da ovo ravnotežno stanje bude povoljnije od onog koje odgovara CBR-u određenom na zemljanom materijalu, zbijenom do optimalne veličine po modificiranom Proktorovom postupku a potom natapanom u vodi četiri dana [X].

3.5. Moguće komplikacije

Fenomen se komplikuje kod glina zbog izvesnih promena strukture koje su proučavali različiti istraživači [XI] (videti poglavlje I.2.9.1).

4. SIMONOVA (SIMON) TEORIJA O UREĐAJIMA ZA ZBIJANJE S GUMENIM TOČKOVIMA I NJENO PROŠIRIVANJE NA VALJKE S GLATKIM ČELIČNIM TOČKOVIMA

Pokazali smo u poglavlju I.3 da je moguće, na osnovu promena mehaničkih svojstava zemljanih materijala u funkciji od stepena zasićenja S_r , pronaći oblik linija koje daju otpornost zemljanog materijala u funkciji od njegove vlažnosti.

Podsetili smo da je Luis [I] dokazao kako je moguće sa takvih linija preći na Proktorovu liniju.

Koristeći analogne postupke rasuđivanja, Simon je matematički i logički proučavao uticaj karakteristika valjaka sa gumenim točkovima na njihovu efikasnost [II] i [IX].

Prikazaćemo Simonovu teoriju⁽¹⁾ uz izvesna sažimanja, a katkad i prikazivanja na nešto drugačiji način, čime je omogućeno njeno proširenje i na proučavanja valjaka s glatkim čeličnim točkovima — naplacima.

4.1. Bubrenje

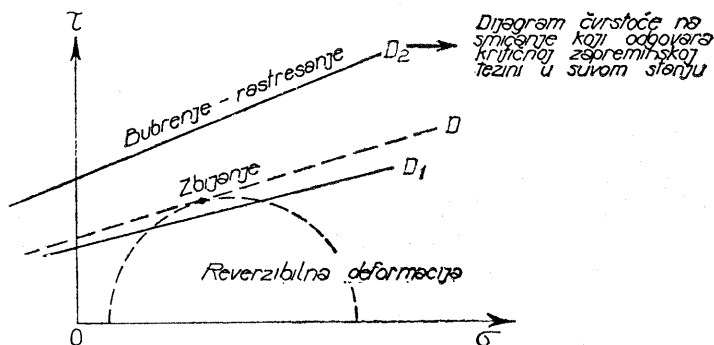
Neophodno je prethodno se podsetiti šta je to bubrenje. Pri opitu smicanja slabo zbijenog peska, npr. u triaksijalnom aparatu, konstatuje se da je smicanje praćeno povećanjem zapremine materijala u suvom stanju γ_d . Ako se operacija ponovi sa zbijenijim peskom, smicanje će i dalje biti praćeno povećanjem γ_d , i to sve dok se ne postigne jedna zapreminska težina u suvom stanju označena kao *kritična*.

Ako se suprotno tome ugradi u ćeliju triaksijalnog aparata pesak čija je zapreminska težina u suvom stanju veća od kritične vrednosti, uočiće se da će smicanje biti praćeno povećanjem zapremine. To je onaj fenomen koga je Reynolds (Reynolds) označio kao bubrenje.

Ove promene zapremine praćene su promenama mehaničkih karakteristika. Generalno uzev, mehanička otpornost raste ako se povećava γ_d , tj. ako se smanjuje indeks šupljina [XII].

Odatle proizilazi da ne postoji samo jedna obvojnica, za koju se zna da je prava, već onoliko obvojnica koliko i zapreminskih težina u suvom stanju. To je tačno ono što pokazuju slike I.20 i I.21. Dok je prava ispod one koja odgovara kritičnom indeksu šupljina (tj. D_2 na slici I.26), svako smicanje izaziva zbijanje; suprotno tome, iznad te prave, svako smicanje izaziva rastresanje — smanjenje zbijenosti.

Razumljivo je, ako se pre zbijanja otpočne s izvesnom zapreminskom težinom u suvom stanju γ_d , da postoji prva prava D_1 koja je obvojnica odgovarajuća toj vrednosti (slika I.26).



Sl. I.26 — Zone reverzibilne deformacije, zbijanja i bubrenja

⁽¹⁾ Simon je u više navrata naglasio da mu je u pripremi i objašnjavanju njegove teorije pomogao M. Peltier (Peltier), tadašnji direktor Centralne laboratorije za puteve i mostove u Parizu (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées).

Sve dotle dok na tom dijagramu Morov krug koji predstavlja naponsko stanje u jednoj tački ostaje u potpunosti ispod D_1 , može se grubo uzeti da je to stanje u području elastičnih deformacija, tj. reverzibilnih: nije moguće zbijanje.

Smicanje i zbijanje je moguće ako Morov krug, koji predstavlja stanje napona u jednoj tački, seče pravu D_1 bez presecanja prave D_2 . Zbijanje izaziva povećanje γ_d a time i izdizanje obvojnice (prava). Ovo izdizanje prestaje ako je tako dobijena prava tangenta na Morov krug.

Suprotno tome, ako Morov krug seče takođe i pravu D_2 , dolazi u takvom slučaju do rastresanja — smanjenja zbijenosti.

4.2. Uslovi pogodnosti za zbijanje (kompaktibilnosti)

Videli smo u poglavlju 2.4 da glavni naponi σ'_1 i σ'_3 u stanju granične ravnoteže potvrđuju ispravnost jednačina:

$$R = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2}; \quad [13]$$

$$d = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2}; \quad [14]$$

$$R = C' \cos \varphi' + d \sin \varphi'. \quad [15]$$

Iz prethodnog poglavlja 4.1 proizilazi da, ako jedan uređaj za zbijanje izaziva totalne glavne napone σ_1 i σ_3 , i ako je posle oduzimanja (izdvajanja) u moguće odrediti glavne intergranularne napone σ'_1 i σ'_3 koje uređaj za zbijanje izaziva u jednoj tački, da će se obvojnica u toj tački izdizati dok se ne postignu prethodno navedeni odnosi [13], [14], [15].

Prethodno izlaganje se može rezimirati na sledeći način: da bi zbijanje bilo moguće neophodno je da budu ispunjeni uslovi obe jednačine [15 bis] koji čine „uslov pogodnosti za zbijanje”.

$$C_1 \cos \varphi_1 + d \sin \varphi_1 < R < C_2 \cos \varphi_2 + d \sin \varphi_2. \quad [15 \text{ bis}].$$

C_1 i φ_1 su karakteristike koje odgovaraju pravoj D_1 , a C_2 i φ_2 one koje odgovaraju pravoj D_2 .

Rezultat dobijen ovakvim zbijanjem je takav da, ako su C i φ karakteristike prave D odgovarajuće dobijenom stanju, imamo:

$$C \cos \varphi + d \sin \varphi = R. \quad [15 \text{ ter}]$$

Dovoljno je, znači, za proučavanje problema znati, za svaki uređaj za zbijanje, kako se raspodeljuju naprezanja u masivu koji je predviđen za zbijanje.

4.3. Uproščavanje

Nemoguće je matematički proučavati tu raspodelu napona u masivu pre nego što se obavi izvestan broj uproščavanja.

Simon [II] je učinio sledeće pretpostavke:

4.3.1. *Masiv* je izotropno homogen i potpuno elastičan.⁽¹⁾

4.3.2. *Uredaj za zbijanje* vrši konstantan pritisak na tlo p raspodeljen po jednoj ili na obe od dve navedene površine:

- neograničena traka širine $2a$;
- krug prečnika $2a$.

4.3.3. *Težina* izaziva u tlu hidrostatički napon koji, u jednoj tački na dubini z , ima vrednost:

$$\gamma z \cdot \frac{1}{2(1-\nu)},$$

pri čemu je γ specifična težina tla, a ν Poasonov koeficijent.

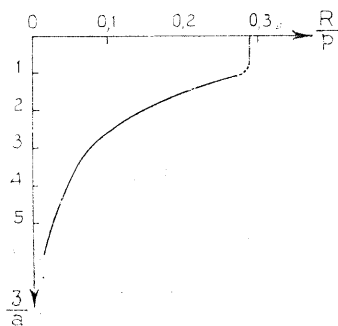
4.4. Potpuno kohezivni zemljani materijali

Simon je pokazao da se promena odnosa $\frac{R}{p}$ (prečnik Morovog kruga prema kontaktnom pritisku) u funkciji odnosa $\frac{z}{a}$ (dubina podeljena polovinom širine trake ili poluprečnikom kruga opterećenja) dobija s jedne od dve naredne slike.

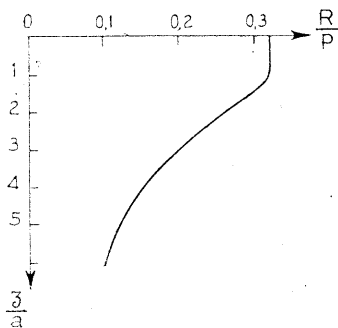
U slučaju kad jedan zemljani materijal ima ugao unutrašnjeg trenja jednak nuli i koheziju C , jednačina [15 ter] se svodi na $R = C$.

4.4.1. *Jasno je tada* da dok je dubina manja od jedne veličine z_0 , koja je jednaka polovini širine opterećene trake (slika I.27) ili neznatno manja od poluprečnika opterećenja (slika I.28), zapreminska težina u suvom stanju ne može prevazići vrednost γ_d , tako da odgovarajuća kohezija bude jednaka do $R \neq 0,3 p$.

Moguće je, dakle, za manje dubine odrediti specifičnu težinu dobivenu sledećim postupkom:



Sl. I.27 — Traka opterećenja širine $2a$; poluprečnik Morovog kruga



Sl. I.28 — Krug opterećenja poluprečnika a ; poluprečnik Morovog kruga

⁽¹⁾ Ova pretpostavka je korišćena za utvrđivanje raspodele naprezanja; jasno je da ona nije upotrebljiva pri proučavanju efekta tih naprezanja, pošto je zbijanje moguće samo ako se izade izvan elastičnog područja (Morov krug u takvom slučaju seče pravu D_1). Ta kontradiktornost se može otkloniti ako se naznači da Morov krug ostaje unutar i da ga tangira obvojnica zbijenog materijala (prava D).

— poluprečnik Morovog kruga iznosi 0,3 od kontaktnog pritiska (npr. $0,3 \times 4 \text{ kp/cm}^2 = 1,2 \text{ kp/cm}^2$);

— kohezija, čiju veličinu ne bi trebalo premašiti, biće jednaka poluprečniku Morovog kruga, tj. $1,2 \text{ kp/cm}^2$.

— Poznajući tako odnos između kohezije, vlažnosti i zapreminske težine u suvom stanju (dijagram analogan onom na slici I.19), određuje se očekivana zapreminska težina. Ako pretpostavimo da je zemljani materijal teška glina sa slike I.19 i da je njena vlažnost 16,5%, dobija se $\gamma_d = 1,51 \text{ gr/cm}^3$.

4.4.2. Ako je suprotno tome z veće od navedene veličine z_0 , određuje se na isti način dobivena gustina ali je ona u tom slučaju funkcija dubine i vrlo se brzo smanjuje s njom.

Simon je prikazao te rezultate koristeći dijagram nazvan „karakterističnim za jedan slučaj zbijanja”, dobijen nanošenjem u bilogaritamskim koordinatama veličina $p \frac{a^2}{z^2}$ na apscisu i $\frac{a^2}{z^2}$ na ordinatu. Kada se stavi da je $p = Cte$, dobijaju e prave paralelne prvoj bisektrisi (na njoj je $p = 1$). Uvodeći odnos:

$$\lambda = \frac{R}{p} = \frac{C}{p}$$

slika I.27 i I.28, moguće je isto tako naneti na apscisu i izraz:

$$x = \log p \frac{a^2}{z^2} = \log \frac{C a^2}{\lambda z^2}$$

to jest

$$x = \log C + \log \frac{a^2}{z^2} - \log \lambda$$

$\log \frac{a^2}{z^2}$ je ordinata y . Ukoliko se žele nacrtati linije $C = Cte$, njihova će jednačina biti:

$$x = Cte + y - \log \lambda$$

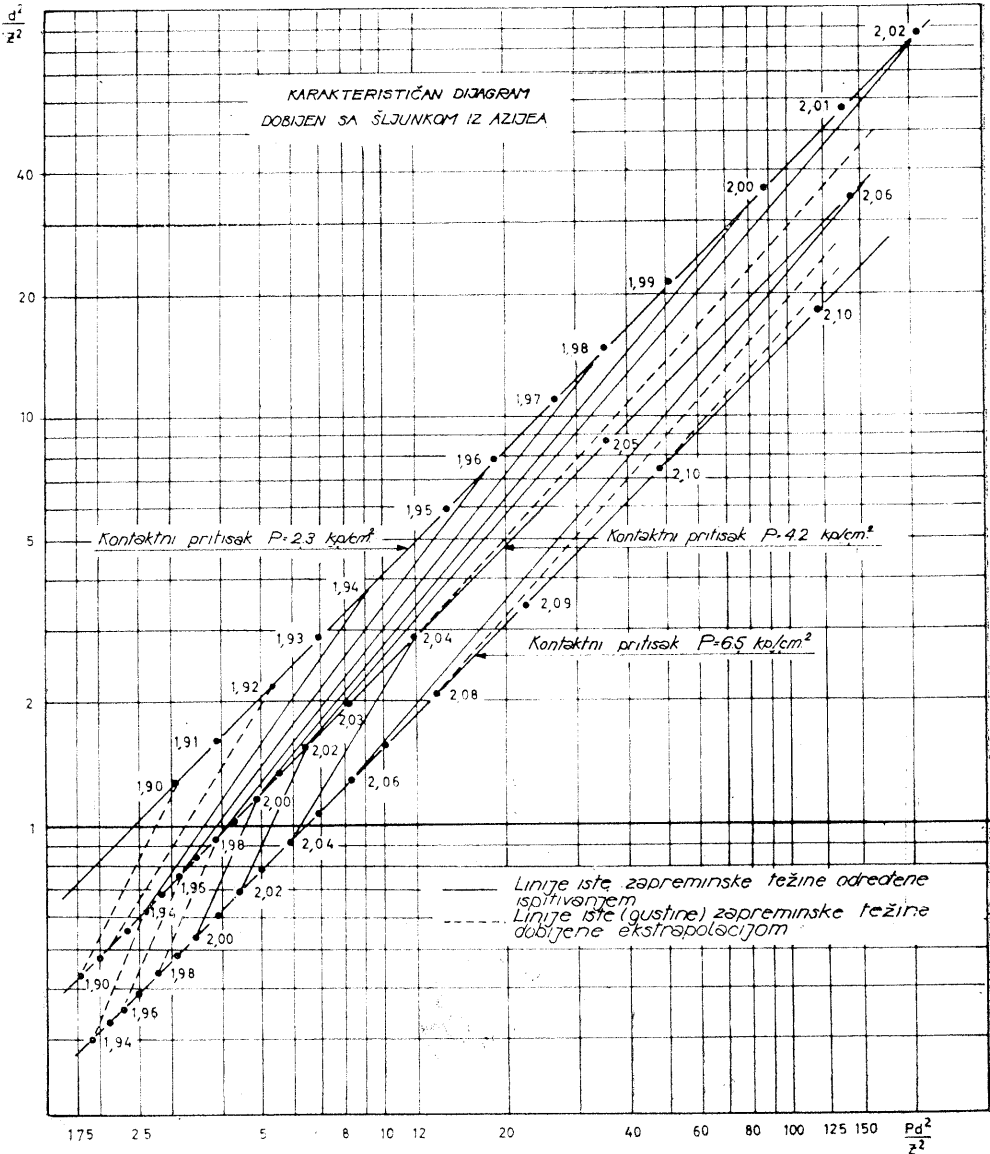
Dok se nalazi na vertikalnom delu slike I.28, λ je konstantno i $\log \lambda$ takođe je konstantan, dobijaju se i dalje prave koje su teorijski paralelne sa prvom bisektrisom.



Sl. I.I — Uređaj za zbijanje s gumenim točkovima

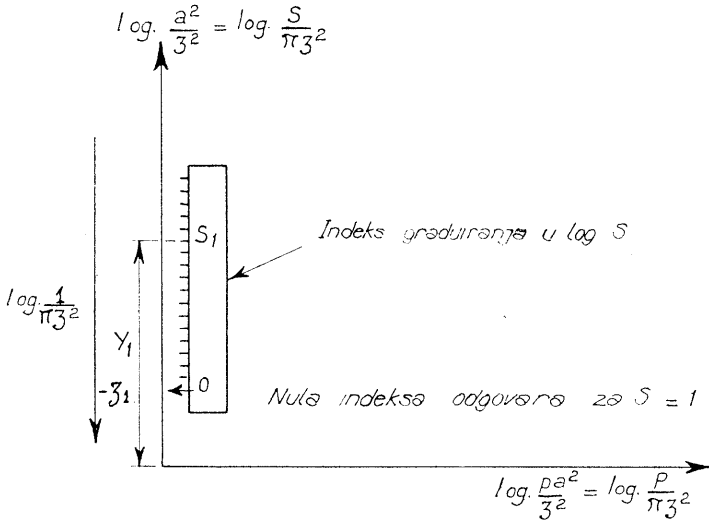
Nasuprot tome, dok je u donjem delu linije na slici I.28, dobijaju se linije kojima je Simon utvrdio tok.

Simon je, u Opitnom centru za ispitivanja u Ruanu (Rouen), obavio eksperimentalno određivanje tog dijagrama. Na slici I.29 prikazani su dobijeni rezultati [XIII]; primećuje se na dijagramu da su linije $C = C_{te}$ etalonirane prema dobijenoj zapremskoj težini u suvom stanju, što ne iznenađuje pošto su pri vlažnosti $w = C_{te}$, γ_d i C povezane (videti sliku I.19).



Sl. I.29

Simon je dodao dijagramu koji je upravo opisan jednu vertikalnu skalu z koja je, čini nam se, dobijena nanošenjem $\log \frac{1}{\pi z^2}$ (slika I.30) i čija se nula poklapa sa $y = 0$.



Sl. I.30

Značaj te skale sastoji se u sledećem: napravimo indeks graduiran sa $\log S$ i postavimo nulu indeksa prema jednoj datoj vrednosti (veličini) z_1 od z .

Ako očitamo jednu vrednost S_1 na indeksu, ta tačka će imati jednu kotu y_1 tako da je:

$$y_1 = \log \frac{1}{\pi z_1^2} + \log S_1 = \log \frac{S_1}{\pi z_1^2}.$$

Drugim rečima, indeks nam omogućava da direktno označimo ordinate u $\log S$.

Simon je osim toga nacrtao još jedan dijagram nazvan „karakteristike uređaja za zbijanje s gumenim točkovima”, koji je prikazan u poglavlju II.4.2.4. Taj dijagram, takođe sa logaritamskim koordinatama, ima na apscisi opterećenje po točku P , a na ordinati veličinu kontaktne površine $S = \pi a^2$. S leve strane ograničen je (dijagram) minimalnim opterećenjem po točku (potpuno rasterećen valjak), s desne strane maksimalnim opterećenjem (valjak maksimalno opterećen), a po visini — gore i dole — granicama pritiska i površinom koje odgovaraju ekstremnim mogućnostima korišćenja guma. Na tom dijagramu su linije $p = Cte$ još uvek prave pod uglom od 45° .

Povezujući dijagram uređaja za zbijanje s postavljenim problemom u vezi s zbijanjem i usaglašavanjem vrednosti $S = 1$ sa odabranom kotom z_0 , s jedne strane, i pravih $p = Cte$, s druge strane, direktno se očitavaju vrednosti za p i P potrebne za postizanje traženog rezultata.

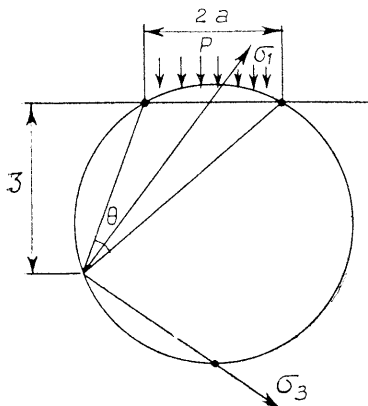
Zbijanje je moguće samo između dve vrednosti za C koje su na taj način nacrtane na dijagramu: ona koja odgovara pravoj D_1 , tj. za stanje nezbijenog materijala, i ona koja odgovara utiskivanju po površini.

Simon je, prema tome, pokazao da se uređaj za zbijanje mora koristiti na sledeći način: na početku zbijanja potrebno je primeniti dovoljno mali pritisak i opterećenje po točku da bi se na taj način izbeglo utiskivanje — tonjenje uređaja ali koji istovremeno omogućava i zbijanje. S napredovanjem zbijanja potrebno je napumpati gume ali bez povećanja opterećenja, a zatim — pošto se postigne maksimalni pritisak u gumama — povećati opterećenje uz smanjenje pritiska u gumama (ispuštanjem vazduha) i, najzad, ponovo povećati unutrašnji pritisak u gumama (pumpanjem) kad to postane moguće.

4.5. Zemljani materijali koji imaju ugao unutrašnjeg trenja i koheziju

Proračun je u ovom slučaju znatno teži. Nećemo prikazivati Simonovu metodu koja je dovela do korišćenja anvelope Morovih krugova za slučaj kad je opterećenje asimilirano na jednu beskonačnu traku, uzimajući da je zemljani materijal bez teže.

Pretpostavićemo da opterećenje može biti asimilirano na jednu beskonačnu traku širine $2a$. Sračunaćemo poluprečnik i apscisu centra Morovog kruga za slučaj da je zemljani materijal bez teže. Usvojićemo (kao i Simon) da se dejstvo težine zemljanog materijala sastoji u dodavanju hidrostatičkog pritiska i uz pretpostavljanje dva ravnotežna stanja napisaćemo uslov zbijanja.



Sl. I.31 — Pravac glavnih napona pod jednom opterećenom trakom ograničene dužine

4.5.1. *Ukoliko je zemljani materijal bez teže, dokazano je da su u bilo kojoj tački masiva dva glavna napona usmerena kao na slici I.31 i da su njihove vrednosti:*⁽¹⁾

$$\sigma_1 = \frac{p}{\pi} (\theta + \sin \theta);$$

$$\sigma_3 = \frac{p}{\pi} (\theta - \sin \theta).$$

Odakle se dobija, kao što je to učinio i Simon:

$$R = \frac{p}{\pi} \sin \theta;$$

$$d_1 = \frac{p}{\pi} \theta.$$

4.5.2. *Ukoliko je zemljani materijal sa težom, saglasno pretpostavci koju je učinio Simon i koju smo naveli u prethodnom poglavlju 4.3.3. pretpostavićemo*

⁽¹⁾ U čitavoj ovoj studiji pretpostavljeno je da je u ravno nuli, pa je od malog značaja da li se piše σ_1 ili σ_1' jer je $\sigma_1 = \sigma_1'$. Na isti način je $\sigma_3 = \sigma_3'$.

hidrostatički pritisak:

$$d_2 = \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)}$$

Najzad, poluprečnik Morovog kruga biće:

$$R = \frac{p}{\pi} \sin \theta, \tag{17}$$

a njegov centar imaće za apscisu $d = d_1 + d_2$; uslov pogodnosti za zbijanje [15 bis] moguće je izraziti sa ⁽²⁾:

$$\frac{p}{\pi} \sin \theta > \cos \varphi + \frac{p}{\pi} \theta \sin \varphi + \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)} \sin \varphi,$$

ili:

$$y = C \cos \varphi + \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)} \sin \varphi + \frac{p}{\pi} (\theta \sin \varphi - \sin \theta) < 0. \tag{19}$$

4.5.3. Odredimo kotu z i pogledajmo kako se menja y u funkciji od θ ; θ varira između 0 ako je tačka neograničena bočno do jedne maksimalne veličine θ_m dobijene kad je tačka u osi opterećenja: θ_m je tako:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_m}{2} = \frac{a}{z}$$

Dakle, dobija se:

$$y' = \frac{p}{\pi} (\sin \varphi - \cos \theta).$$

Moguće je tada posmatrati dva slučaja, zavisno od toga da li je:

$$\theta_m > \frac{\pi}{2} - \varphi \quad \text{ili} \quad \theta_m < \frac{\pi}{2} - \varphi.$$

U sledećoj tabeli date su vrednosti promena y za svaki od ta dva slučaja.

TABLICA PROMENA y

	Prvi slučaj: $\theta_m > \frac{\pi}{2} - \varphi$			Drugi slučaj: $\theta_m < \frac{\pi}{2} - \varphi$	
θ	0	$\frac{\pi}{2} - \varphi$	θ_m	0	θ_m
y'	< 0		> 0	< 0	
y	> 0			> 0	
	↘ ↗ y minimalno			↘ ↗ y minimalno	

⁽²⁾ Radi lakšeg pisanja, zamenjeno je C_1 i φ_1 sa C i φ .

Minimalna vrednost y dobijena je prema tome u prvom slučaju za:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi$$

a u drugom slučaju za $\theta = \theta_m$.

1) *Prvi slučaj*: ako uslov pogodnosti za zbijanje (kompaktibilnosti) nije ispunjen za:

$$\theta = \frac{\pi}{2} - \varphi,$$

što znači da ako je u toj tački ν čak i pozitivno, ovaj uslov nigde neće biti ispunjen. U tom slučaju uslov pogodnosti za zbijanje [19] ima oblik:

$$y = C \cos \varphi + \frac{\gamma z}{2(1-\nu)} \sin \varphi + \frac{p}{\pi} \left[\left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) \sin \varphi - \cos \varphi \right] < 0.$$

Jasno je da ovaj uslov ne sadrži više u sebi a pošto a učestvuje samo posredstvom θ_m , a θ_m se ne javlja u tom odnosu. Prema tome, za male dubine merodavan je jedino kontaktni pritisak. Po obavljanju svih proračuna, ovo je u važnosti dok je:

$$z < \frac{2(1-\nu)}{\gamma} \left[\frac{p}{\pi} (\varphi + \cot \varphi) - \frac{p}{2} - H \right] \quad [20]$$

(sa $H = C \cot \varphi$).

a) Ova nejednakost se može rešiti po z , tj. ako se fiksiraju γ_d i vlažnost materijala. Odatle se dobijaju γ , φ i C (znači H). Poznavajući p , određuje se dubina z , na kojoj se postiže željena gustina γ_d , i to bez obzira na širinu $2a$ opterećene površine, pod uslovom ipak da bude ispunjeno:

$$a = z \operatorname{tg} \frac{\theta_m}{2} > z \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) = z \sqrt{i}$$

(i je koeficijent potiska).

b) Na isti način moguće je rešiti ovu nejednakost [20] po p .

Napominjemo da je na svaki način neophodno, da bi ona imala smisla, da p bude veće od:

$$\frac{2\pi H}{2\varphi + 2\cot \varphi - \pi}$$

bez čega, čak i za $z = 0$ ne bi dolazilo do zbijanja.

2. *Drugi slučaj*: Ako uslov pogodnosti za zbijanje (kompaktibilnosti) nije postignut za $\theta = \theta_m$, tj. ispod ose uređaja za zbijanje, on neće biti postignut ni u jednoj drugoj tački. Najpovoljniji slučaj nastaje kad je:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_m}{2} = \frac{a}{z}.$$

a) Ako se z dovoljno poveća u odnosu na a , θ_m teži ka 0. Koeficijent $\frac{p}{\pi}$ prema uslovu [19] teži ka $\theta_m (\sin \varphi - 1)$ i kako je:

$$\operatorname{tg} \frac{\theta_m}{2} = \frac{a}{z} \text{ postaje } \theta_m = \frac{2a}{z},$$

uslov [19] teži prema:

$$C \cos \varphi + \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)} \sin \varphi < \frac{p}{\pi} (1 - \sin \varphi) \frac{2a}{z}.$$

Ovaj uslov pokazuje da dobijeni rezultat ne zavisi posebno od p i od a već od proizvoda $2pa$ koji predstavlja opterećenje P po jedinici dužine trake:

$$\frac{P}{\pi z} (1 - \sin \varphi) > C \cos \varphi + \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)} \sin \varphi.$$

Proučicemo ovu jednačinu ispitujući slučaj valjka sa glatkim čeličnim točkovima (naplacima).

b) Preostaje slučaj gde je $\frac{a}{z}$, iako ne vrlo malo, ipak manje od:

$$\operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right),$$

drugim rečima slučaj kad je:

$$\varepsilon < \frac{a}{z} < \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right).$$

U tom slučaju dobijena gustina na koti z (ili u obrnutom smislu — kota z na kojoj je postignuta unapred određena gustina) zavisi istovremeno od p i od a .

Uslov pogodnosti za zbijanje postaje:

$$C \cos \varphi + \frac{\gamma z}{2(1-\nu)} \sin \varphi + \frac{p}{\pi} \left(2 \sin \varphi \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{a}{z} - \frac{2az}{a^2 + z^2} \right) < 0. \quad [21]$$

Podsećamo da se obvojnica (prava linija) izdiže pod dejstvom zbijanja sve dotle dok φ i C ne postanu takvi da se nejednakost [21] pretvori u jednakost. Zanemarujući izraz:

$$\frac{\gamma z}{2(1-\nu)} \sin \varphi,$$

što će reći, zanemarujući težinu zemljanog materijala predviđenog za zbijanje i koristeći parametre:

$$\mathcal{P} = \frac{p a^2}{z^2} \quad \text{i} \quad \mathcal{S} = \frac{a^2}{z^2}$$

dobija se odnos između ρ i \mathcal{S} koji Simon [IX] daje u obliku:

$$\rho = \frac{\frac{\pi}{2} C \mathcal{S} \cos \varphi}{\frac{\mathcal{S}^{1/2}}{1 + \mathcal{S}} - \text{Arc tg } \mathcal{S}^{1/2} \sin \varphi} \quad [21 \text{ bis}]$$

U koordinatnom sistemu iz prethodnog poglavlja 4.4.2, koji nije ništa drugo do $\log \rho$ i $\log \mathcal{S}$, jednačina [21 bis] definiše mrežu linija čiji parametar je zapreminska težina u suvom stanju.

4.5.4. Rezime:

1) Za vrlo male dubine kao što su:

$$\frac{a}{z} > \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right),$$

postignuta zapreminska težina u suvom stanju zavisi samo od kontaktnog pritiska

2) Za vrlo velike dubine kao što su $\frac{a}{z} < \varepsilon$, postignuta zapreminska težina u suvom stanju zavisi jedino od ukupnog opterećenja P po jedinici dužine trake.

3) Za osrednje dubine, između dve navedene, kao što su:

$$\varepsilon < \frac{a}{z} < \text{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right),$$

postignuta zapreminska težina u suvom stanju zavisi istovremeno od p i od P .

4.6. Proširenje na slučaj valjaka sa glatkim čeličnim točkovima.

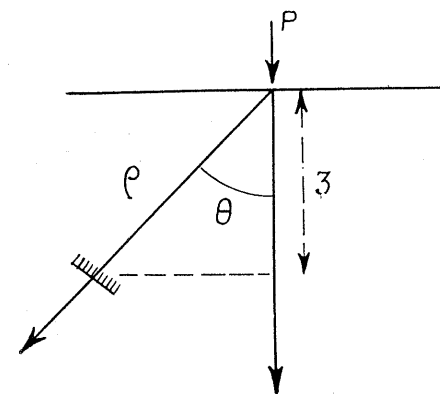
Zemljani materijali koji poseduju koheziju i unutrašnje trenje veće od nule

Uredaj za zbijanje može se uporediti sa opterećenjem raspodeljenim po jednoj neograničenoj liniji (kontaktnoj generatriši). Uzećemo da je P opterećenje po jedinici dužine. Problem raspodele napreznja u poluprostoru (slika I.32) predstavlja Flamanov (Flamant) problem. Poznato je da u jednoj tački M , jedini sastavni element tenzora napreznja koji nije jednak nuli je radijalan i iznosi:

$$\sigma_1 = \frac{2P \cos \theta}{\pi z} = \frac{2P \cos^2 \theta}{\pi z}$$

Za jednu datu kotu (visinu) z ovo napreznje je maksimalno za $\theta = 0$ i iznosi:

$$\sigma_1 = \frac{2P}{\pi z}$$



Sl. I.32 — Obeležavanje Flamanovog (Flamant) problema

Poluprečnik Morovog kruga i odstojanje centra tog kruga od početka određuju se:

$$\begin{cases} R = \frac{P}{\pi z}; \\ d_1 = \frac{P}{\pi z}. \end{cases}$$

Pretpostavljajući prethodnu ravnotežu onoj koja se javlja pre pojave uređaja za zbijanje, i ako nastavimo da je i dalje posmatramo kao trostruko stezanje:

$$d_2 = \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)},$$

jednačina [15 bis] piše se:

$$\frac{P}{\pi z} > C \cos \varphi + \frac{P}{\pi z} \sin \varphi + \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)} \sin \varphi.$$

To jest:

$$\frac{P}{\pi z} (1 - \sin \varphi) > C \cos \varphi + \gamma z \frac{1}{2(1-\nu)} \sin \varphi. \quad [22]$$

Ovaj oblik uslova pogodnosti za zbijanje je isti kao i onaj naveden u prethodnom poglavlju 4.5.3 a).

On je zadovoljen ako je z manje od pozitivnog rešenja jednačine drugog stepena.

$$\frac{\gamma z^2}{2(1-\nu)} \sin \varphi + C z \cos \varphi - \frac{P}{\pi} (1 - \sin \varphi) = 0.$$

Označavajući:

$$a = \gamma \frac{\sin \varphi}{2(1-\nu)};$$

$$b = C \cos \varphi;$$

$$c = \frac{P}{\pi} (1 - \sin \varphi),$$

dobija se granica z postignuta zbijanjem

$$z = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 4ac}}{2a}. \quad [23]$$

Sledeće tablice, izrađene sa $\nu = 0,3$, daju granične računске veličine za $\frac{a}{\gamma}$, za b i za c .

SRAČUNAVANJE VELIČINE $\frac{a}{\gamma}$

φ	$\sin \varphi$	$\frac{a}{\gamma} = \frac{\sin \varphi}{2(1 - \nu)}$
20°	0,342	0,244
25°	0,433	0,310
30°	0,5	0,358
35°	0,574	0,410
40°	0,643	0,461
45°	0,707	0,505

Zamenjujući „bar“ sa kilogramom po kvadratnom santimetru i izražavajući z u santimetrima, moguće je koristiti tablicu na sledeći način: neka je dati uređaj za zbijanje definisan opterećenjem po dužnom metru generatriše P .

Uzmimo da je odabrani zemljani materijal definisan sistemom linija koje daju C i φ u funkciji od γ_d i vlažnosti w (slike analogne onim pod brojevima I.20 i I.21).

Određuju se γ_d i w ; na osnovu njih se određuje s jedne strane $\gamma = \gamma_d(1 + w)$, a s druge strane zahvaljujući prethodno označenim linijama, C i φ .

Sa tako dobijenim vrednostima za C i φ ulazi se u prethodne tablice, odakle se dobijaju vrednosti $\frac{a}{\gamma}$, b i c . Kad je poznato γ , sračunava se a ; iz obrasca [23] dobija se z . *Primer:*

$$P = 80 \text{ kg/cm};$$

$$\gamma = 2;$$

$$C = 0,5 \text{ bar};$$

$$\varphi = 30^\circ.$$

$$\text{Dobija se } \frac{a}{\gamma} = 0,358 \rightarrow a = 0,716;$$

$$b = 0,433;$$

$$c = 12,72;$$

$$z \neq \frac{-0,433 + \sqrt{+36,4}}{1,432} \neq \frac{5,6}{1,4} = 4 \text{ cm.}$$

Odatle se uočava u kojoj su meri male dubine koje se mogu dostići pri zbijanju valjkom s glatkim čeličnim točkovima.

TABLICA ZA $C \cos \varphi = b$.

φ	$\cos \varphi$	$C u$ (kp/cm ²)									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
20	0,940	0,094	0,188	0,282	0,376	0,470	0,564	0,658	0,752	0,846	0,940
25	0,906	0,091	0,181	0,272	0,362	0,453	0,544	0,634	0,725	0,815	0,906
30	0,866	0,087	0,173	0,260	0,346	0,433	0,520	0,606	0,693	0,779	0,866
35	0,819	0,082	0,164	0,246	0,328	0,409	0,491	0,573	0,655	0,737	0,819
40	0,765	0,076	0,153	0,229	0,306	0,382	0,459	0,536	0,612	0,689	0,765
45	0,701	0,070	0,140	0,210	0,280	0,350	0,421	0,491	0,561	0,631	0,701

SRAČUNAVANJE VELIČINE $c = \frac{P}{\pi} (1 - \sin \varphi)$.

φ	$\sin \varphi$	$1 - \sin \varphi$	$\frac{1 - \sin \varphi}{\pi}$	$P u$ (kp/cm ²)				
				20	40	60	80	
20	0,342	0,658	0,210	4,20	8,40	12,60	16,80	
25	0,433	0,567	0,180	3,60	7,20	10,80	14,40	
30	0,500	0,500	0,159	3,18	6,36	9,54	12,72	
35	0,574	0,426	0,136	2,72	5,44	8,16	10,88	
40	0,643	0,357	0,114	2,28	4,56	6,84	9,12	
45	0,707	0,293	0,093	1,86	3,72	5,58	7,44	

4.7. Simonovi zaključci

Diskusija koja je propratila Simonovo izlaganje ukazala je naročito na činjenicu da bi se u dobijene obrasce morali uvesti empirijski određeni koeficijenti ukoliko se želi da oni nađu praktičnu primenu. I sam Simon je naglasio da je isključeno, vodeći računa o svim pretpostavkama koje su učinjene radi pojednostavljenja, dolaženje do kvantitativnih rezultata drugačije osim eksperimentalnim putem. Uočili smo da je on u jednom slučaju koristio rezultate istraživanja uz izvođenje eksperimenata.

No Simon je smatrao da su na osnovu njegovog proučavanja mogući kvalitativni zaključci, od kojih su neki prikazani na završetku prethodnih poglavlja i koji nam se čine vrlo značajnim.

4.7.1. Dovodeći u vezu linije sa slike I.29 (karakterističan dijagram za jedan slučaj zbijanja) sa dijagramom karakterističnim za jedan uređaj za zbijanje (videti poglavlje II.4.2.4.), moguće je odrediti maksimalnu dubinu na kojoj se može izvršiti zbijanje do propisane gustine. Mi smo već objasnili taj pojam u drugačijem obliku.

4.7.2. Promena unutrašnjeg pritiska u gumama uređaja za zbijanje s gumenim točkovima izaziva istosmernu promenu kontaktnog pritiska, a njegovo povećanje izaziva poboljšanje zbijanja po površini zbijanog sloja; suprotno tome, pri nepromenjenom pritisku poboljšanje po dubini je slabo.

4.7.3. Ako se, suprotno tome, poveća ukupno opterećenje bez povećanja unutrašnjeg pritiska u gumama, tj. kontaktni pritisak, nema poboljšanja zbijanja na površini sloja ili je ono neznatno, dok je, obrnuto tome, poboljšanje zbijanja po dubini znatno.

Kao potvrdu ovom zaključku navešćemo uputstva koja je pripremio Liter (Luther) [XV], koji među uređajima za zbijanje s gumenim točkovima razlikuje lake uređaje (1,3 tone po točku) koji obavljaju zbijanje slojeva debljine do 15 cm, srednje uređaje (2,7 tona po točku) namenjene zbijanju slojeva debljine 20 do 25 cm i teške uređaje (4,6 tona po točku) koji se mogu koristiti pri izradi nasipa za zbijanje slojeva debljine 30 do 35 cm.

4.7.4. Utrošena snaga po jedinici zapremine zbijenog zemljanog materijala minimalna je u blizini:

$$\frac{a^2}{z^2} = \frac{1}{2}$$

što uslovljava izbor dimenzije uređaja za zbijanje.

4.7.5. Simon želi da izradi katalog zemljanih materijala koji bi pružao mogućnost određivanja veličina C i φ u funkciji od w i γ_d . Jasno da je u pitanju vrlo značajan i obiman posao.

4.7.6. Tada bi bilo moguće „računski određivati — sračunavati — uređaj za zbijanje“.

5. BARKANOVA TEORIJA [III] [XIV]

5.1. Definicija vibracije

Vibrirati jedan zemljani materijal da bi se obavilo njegovo zbijanje znači izložiti ga dvostrukom dejstvu:

— s jedne strane, vertikalnom opterećenju koje se može pretvoriti u težinu samog zemljanog materijala ali koje se najčešće sastoji od mase znatne težine koja se sporo pomera po površini sloja koji se zbjija. Ta težina se može preneti na sloj zemljanog materijala — tla koji se zbjija preko kontaktnih površina različitih oblika i vrsta (krute ili fleksibilne);

— s druge strane, prinudnoj vibraciji koja se reguliše po zakonitosti izraženoj u sledećem obliku:

$$x = A \sin (2 \pi N t + \varphi).$$

U tom obrascu x je trenutni položaj tačke M zemljanog masiva u jednom trenutku t , N je frekvencija vibracija, φ pomeranje faze u odnosu na aparaturu koja stvara vibraciju, a A amplituda pomeranja tačke M .⁽¹⁾

U svakom trenutku brzina tačke M je:

$$\frac{dx}{dt} = + A 2 \pi N \cos (2 \pi N t + \varphi)$$

a njeno ubrzanje je:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = - 4 \pi^2 N^2 A \sin (2 \pi N t + \varphi).$$

Usvaja se:

$$4 \pi^2 N^2 A = \eta g. \quad [24]$$

g je ubrzanje Zemljine teže.

5.2. Fundamentalni odnos

Koristeći rezultate različitih istraživanja Barkan (Barkan) [III] definiše sledeću zakonitost:

Indeks šupljina jednog peska posle zbijanja vibriranjem ako se menjaju (variraju) amplituda A i frekvencija N zavisi samo od ubrzanja ηg .

Saglasno ranije učinjenoj napomeni u poglavlju 1.2, označićemo indeks šupljina sa ε . Barkan (Barkan) usvaja da je:

$$\frac{d\varepsilon}{d\eta} = - \beta (\varepsilon - \varepsilon_{\min}).$$

⁽¹⁾ Neophodno je insistirati na činjenici da je A amplituda vibracije u tački M zemljanoj materijala; ova amplituda može se razlikovati od amplitude vibracije aparature koja je proizvodg (videti poglavlje II.5.5).

Koeficijent β nazvao je koeficijentom vibro-zbijanja. ε_{\min} je indeks šupljina dobijen najefikasnijim mogućim zbijanjem. To je najmanji mogući indeks šupljina koji može postojati.

Integracijom ove diferencijalne jednačine dobija se:

$$I_d = 1 - Ce^{-\beta\eta}, \quad [25]$$

obrazac u kojem je I_d indeks gustine definisan u poglavlju I.1.2.9:

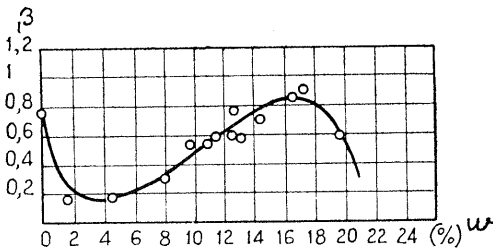
$$I_d = \frac{\varepsilon_{\max} - \varepsilon}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}},$$

gde je ε_{\max} indeks najvećih mogućih šupljina.

5.3. Promena koeficijenta vibro-zbijanja sa vlažnošću

Različiti koeficijenti obrasca [25] su ε_{\max} , ε_{\min} i β . Ako su prva dva nezavisna od vlažnosti w , to nije slučaj i sa β .

Barkan (Barkan) je proučavao promenu β u funkciji od vlažnosti w kod peska. Na slici I.33 prikazana je ta promena.



Sl. I.33 — Odnos između koeficijenta vibrozbijanja peska i njegove vlažnosti (prema Barkanu)

Ako se za trenutak izostavi početni pad, ova linija ima potpuno isti tok i oblik kao i jedna Proktorova linija. Ovaj početni pad objašnjava se, uostalom, činjenicom da suv prašnovit materijal dobija pri vlažnju izvesnu koheziju, koja povećava njegovu otpornost. Ova kohezija objašnjava se sama po sebi ukoliko se pogledaju razmatranja iz poglavlja I.2.12 u vezi s unutrašnjim pritiskom. S dobro osušenim i rastresitim — prašnovitim materijalom dobija se, kao što je poznato, $u = 0$; od momenta kad mu se doda malo vode, ona prijanja za zrna zemljanog materijala što izaziva sisanje, i najzad, koheziju.

Postoji, dakle, jedan optimum vlažnosti (videti poglavlje I.5.7.8).

5.4. Efekat nastavka zbijanja

U obrascu [25] pretpostavljeno je da se zbijanje nastavlja neograničeno, što za praktične uslove znači — u toku dovoljno dugog vremena.

Barkan je obavio različita istraživanja koja su mu pokazala da se, ako je ε_η indeks šupljina postignut posle neograničenog vremena (tj. onaj koji se dobija po obrascu [25]) i ako je ε_t indeks šupljina postignut po isteku vremena t , dobija:

$$\varepsilon_t = \varepsilon_\eta + (\varepsilon_{\max} - \varepsilon_\eta) e^{-\beta_t t}.$$

β_t je koeficijent drugačiji od β .

5.5. Slučaj predzbijanja

Pretpostavimo da se otpočine sa jako rastrešenim materijalom koji je samo razastrt, tj. čiji je indeks šupljina najveći mogući ε_{\max} .

Po završenom zbijanju dobija se indeks gustine definisan obrascem [25].

Ako taj zemljani materijal prethodno zbijemo korišćenjem vibracije istog koeficijenta vibro-zbijanja β i ubrzanja $\eta_i g$ dobiće se indeks gustine:

$$I_{d_i} = 1 - C e^{-\beta \eta_i},$$

Šta se događa ako se posle obavljenog predzbijanja zemljani materijal izloži zbijanju uz ubrzanje $\eta g < \eta_i g$? Intuitivno se oseća, a iskustvo potvrđuje tu činjenicu, da se dobija:

$$I_d = I_{d_i}.$$

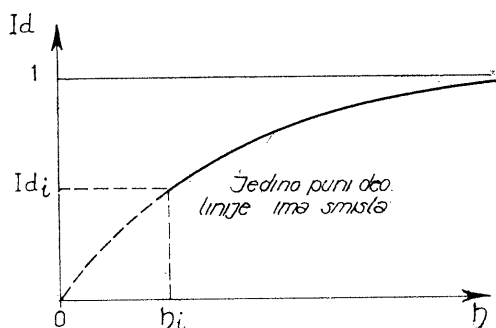
Ako se pak zbijanje obavlja sa ubrzanjem većim od $\eta_i g$, dobija se indeks gustine:

$$I_d = 1 - (1 - I_{d_i}) e^{-\beta(\eta - \eta_i)}. \quad [26]$$

Drugim rečima, linija koja daje I_d u funkciji od η ima tok i oblik kao na slici I.34.

Pretpostavimo sada da se zemljani materijal izloži predzbijanju drugačijim postupkom od postupka vibriranja koji će mu omogućiti postizanje indeksa gustine koji je takođe jednak I_{d_i} .

I tada će se još uvek dobiti linija prikazana na slici I.34.



Sl. I.34 — Promena indeksa gustine predzbijenog materijala u funkciji od ubrzanja ηg vibracije

5.6. Prostiranje talasa u zemljanom materijalu

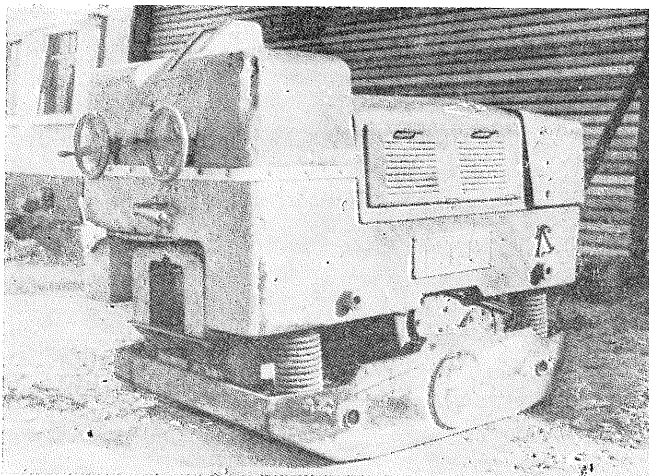
Barkan (Barkan) navodi da je moguće, blagodareći izvesnom broju hipoteza (naročito krutosti površine naleganja zemljanog materijala na tlo), pokazati da je amplituda $A(z)$ vertikalnih oscilacija na dubini z povezana (u vezi) s amplitudom A_0 vibratora pomoću obrasca:

$$A(z) = A_0 e^{-z/\delta}. \quad [27]$$

U obrascu je δ koeficijent homogen po dužini i Barkan daje mogućnost njegovog određivanja. Navešćemo za δ obrazac koji u svom radu [XIV] navodi Katoar (J. Catoire)⁽¹⁾:

$$\frac{1}{\delta} = \frac{2\pi N}{450} + \frac{0,92}{a} \log_{10} \left(\frac{350}{2\pi Na} \sin \frac{2\pi Na}{70} \right). \quad [28]$$

U tom obrascu [28], N je frekvencija, $2a$ širina vibracione ploče izražena u metrima, δ je parametar sa dimenzijama dužine, pa je sledstveno tome δ izraženo u metrima.



Sl. I.II – Vibraciona ploča francuske izrade (prototip)

5.7. Maksimalna dubina zbijanja⁽²⁾

Budući da je ubrzanje proporcionalno amplitudi (obrazac [24]), moguće je obrazac [27] napisati u sledećem obliku:

$$\eta(z) = \eta(0) e^{-z/\delta}.$$

Efekat zbijanja osećaće se do dubine z tako da indeks gustine $I_d(z)$ nastao usled ubrzanja $\eta(z)$ bude istovetan sa onim koji poseduje masiv predviđen za zbijanje, bilo prirodnom, bilo onom posle eventualnog predzbijanja, drugim rečima:

$$I_d(z) = I_{d_i}.$$

Potrebno je, dakle, napisati obrazac [26] za dubinu z u obliku:

$$I_d(z) = 1 - (1 - I_{d_i}) e^{-\beta(\eta z - \eta_i)}.$$

⁽¹⁾ Katoar nije bio samo prevodilac Barkanovog rada na francuski jezik. On je uz to proučavao vrlo detaljno probleme koji se pojavljuju pri površinskom zbijanju vibriranjem. Upućujemo na njegove članke u časopisu *Construction* (videti literaturu).

⁽²⁾ U ovom delu pratimo Katoarovo izlaganje rezimirajući i kompletirajući ga.

Što daje: $\eta(z)_s = \eta_i$,

$$\eta(0) e^{-z/\delta} = \eta_i,$$

to jest:

$$z = \delta [L\eta(0) - L\eta_i],$$

obrazac u kome je:

$$\eta_i = \frac{1}{\beta} L I_{di} \quad [30]$$

(Ovaj odnos [30] dobijen je iz [25]).

Napominjemo da, pod uslovom da se u obrascu [30] zameni I_{di} sa indeksom gustine koji odgovara datoj specifikaciji (kao što je modificirani Proktor ili 95% od modificiranog Proktora, itd.), obrazac [29] daje dubinu na kojoj je ta specifikacija ispunjena.

Moguće je preći sa dubine dejstva na zbijenu zapreminu ili na ono što Katoar naziva energetskeim učinkom, koji predstavlja odnos između zbijene zapremine i upotrebljene snage.

Pomoću obrasca [29], izraza δ određenog pomoću obrasca [28] i izraza $\eta(0)$ dobijenog iz obrasca koga ovde nećemo prikazivati, Katoar je izveo sledeće zaključke u vezi sa dostignutom dubinom pri zbijanju i energetskeim učinkom.

5.7.1. Uticaj frekvencije N . Ona utiče na dva načina u obrascu [29]: s jedne strane δ (u stvari) sadrži u sebi N (videti obrazac [28]), dok je s druge strane $\eta(0)$ proporcionalno za N^2 (obrazac [24]).

Na kraju, Katoar je pokazao da se dostignuta dubina pri zbijanju z stalno povećava sa N (izuzev u slučaju pojave kontaktnog loma, tj. gde se uređaj za zbijanje u penjućoj fazi ekscentra odvaja od površine sloja koji se zbija). Suprotno tome, energetskei učinak prolazi kroz maksimum za izvesnu vrednost frekvencije N . Bez obzira na to, iz tehnoloških razloga neće biti moguće koristiti visoke frekvencije.

5.7.2. Uticaj oblika vibracione ploče za koju se pretpostavlja da je pravougaona. Maksimalna dubina zbijanja postiže se sa pločama kvadratnog oblika. Energetskei učinak prolazi kroz maksimum kad je dužina ploče jednaka $3/2$ njene širine. Prihvatljivo je čak i ako se dužina nalazi između jednostruke i dvostruke veličine širine.

5.7.3. Dubina dostignuta pri zbijanju malo se menja s površinom ploče ali se uočava maksimum za $S = 1,5 \text{ m}^2$.

Zadovoljavajući ergeetskei učinak za postizanje zapreminske težine u suvom stanju jednake 95% od modificiranog Proktora prolazi kroz maksimum pri površini ploče od $1,6 \text{ m}^2$, što je navelo Katoara da preporuči površinu od $1,5 \text{ m}^2$.

5.7.4. Ako se veličina statičkog opterećenja poveća od 3 do 12 t, dubina dostignuta pri zbijanju sporo se smanjuje, dok energetskei učinak ostaje skoro nepromenljiv — konstantan.

5.7.5. Ako se menja momenat ekscentriciteta, proizvod ekscentričnih opterećenja sa prosečnim ekscentricitetom, Katoar konstatuje da ovi proračuni pokazuju da se dubina zbijanja povećava sa tim momentom i da je energetskei učinak praktično nepromenljiv u ispitivanom području promena.

5.7.6. Jasno je (primenom poglavlja I.5.5) da dubina na kojoj se postiže indeks gustine utvrđen specifikacijama (uslovima) ne zavisi od prvobitne zapreminske težine u suvom stanju γ_d , pa prema tome ni od eventualnog predzbijanja.

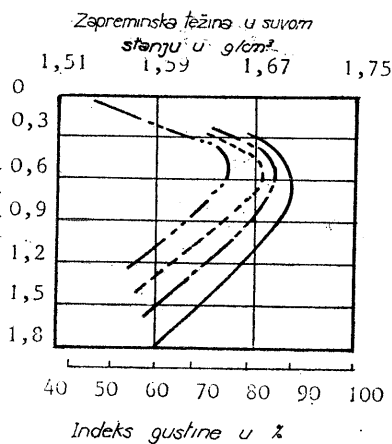
5.7.7. Ako se usvoji da se efekat zbijanja sastoji u stvaranju ekspanzionog pritiska, treba očekivati da zbog toga na površini, gde taj ekspanzioni pritisak nije kompenziran težinom terena, zbijanje bude uglavnom loše. Suprotno onome što se događa kod uređaja za zbijanje sa statičkim dejstvom, kod kojih se postignuta zapreminska težina u suvom stanju smanjuje sa dubinom, treba očekivati da u ovom slučaju zapreminska težina u suvom stanju najpre poraste, prođe kroz jedan maksimum, a zatim da se smanjuje.

To je upravo ono što smo uočili, kao što pokazuje slika I.35 pozajmljena iz jedne američke studije [XX]. Postoji, dakle, jedna optimalna dubina pa je zbog toga interesantno vršiti zbijanje u slojevima čija je debljina reda veličine te optimalne dubine.

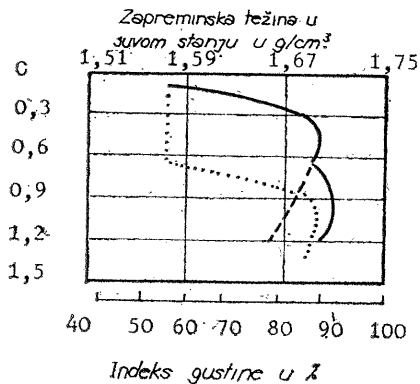
Ista studija pokazuje da se na taj način poboljšava zapreminska težina u suvom stanju gornjeg dela niže ležećeg (donjeg) sloja. Slika I.36 to jasno pokazuje.

Sl. I.35 — Zbijanje peska uniformnog granulometrijskog sastava vibracionim valjkom težine oko 6 t (frekvencija: 27,5 Hz)

45 prelaza
15 prelaza
5 prelaza
2 prelaza



Sl. I.36 — Zbijanje peska uniformnog granulometrijskog sastava vibracionim valjkom težine 6 t (frekvencija 27,5 Hz, debljine slojeva 0,6 m, 45 prelaza po sloju)



— Završeno zbijanje
..... Zapreminska težina u suvom stanju određena pre zbijanja gornjeg sloja
- - - - - Linija zbijanja na poluprosforu.

5.7.8. Videli smo u poglavlju I.5.3 da je koeficijent β prošao kroz jedan maksimum pri optimalnoj vlažnosti zbijanog materijala. Znači da je izbor vlažnosti pri zbijanju vrlo značajan.

Ali ne treba pri tome zaboraviti da isti koeficijent β *ima vrlo visoku vrednost pri vlažnosti bliskoj nuli*, što ne treba da iznenaduje jer je i sisajuće dejstvo u tom slučaju nula (ne postoji), pa se materijal vrlo lako deformiše; uz to, pri zbijanju uz vibracije, podmazujuće dejstvo vode (stvaranjem osrednjeg unutrašnjeg pritiska) nije više neophodno jer ekspanzioni pritisak čini svoje.

Istraživanja koja je obavio Centar za ispitivanja u putogradnji iz Ruana (Rouen) pokazala su da su dobijeni rezultati na pesku izvrsnog granulometrijskog sastava *u suvom stanju bili bolji od onih koji su dobijeni pri optimalnoj vlažnosti koja je jednaka onoj koja se postiže po modificiranom Proktorovom postupku* [XXI].

5.7.9. Vibrozbijanje menja vrstu ako ubrzanje nastalo pri vibraciji, u momentu kad je ono maksimalno prema gore, premaši ubrzanje usled Zemljine teže ($\eta > 1$). U takvom slučaju uređaj za zbijanje se u stvari odvaja od zemljanog materijala koji zbija i ponovo pada na njega. Razumljivo je da se energija potrebna za izdizanje uređaja nadoknađuje i ponovo prenosi na zemljani materijal kad se uređaj za zbijanje ponovo spusti na njega. Međutim, vibrozbijanje je praćeno i fenomenom zbijanja udarom.

Barkan i Katoar smatraju, međutim, da se prethodno izložena teorija može smatrati kao zadovoljavajuća aproksimacija.

5.7.10. Katoar je pokušao da prethodne zaključke proširi i na kohezivne zemljane materijale. Zadovoljićemo se samo napomenom da po njegovoj proceni u takvom slučaju vibro-zbijanje gubi znatan deo svog ekonomskog značaja.

5.8. Dinglaovi (Dunglas) radovi [XVI]

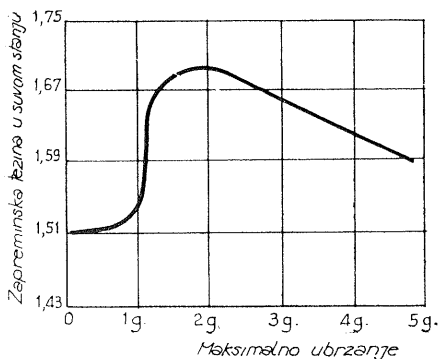
Izložili smo u poglavlju I.2.9. Ermitove (L'Hermitte) ideje u vezi s ekspanzionim pritiskom stvorenim pri vibraciji. Dingla je eksperimentalno odredio ekspanzioni pritisak nazvavši ga *pritisak dinamičke reakcije*. Dok statički pritisak prenet na materijal pri vibriranju ne dostigne taj pritisak, ne samo da nema zbijanja već dolazi čak i do povećanja zauzete zapremine.

Uočljivo je da je pritisak dinamičke reakcije (po našem mišljenju bolje je zadržati Ermitov naziv ekspanzioni — pritisak za koji smo, dokazali (poglavlje I.2.9) da igra potpuno istu ulogu kao i unutrašnji pritisak), prema Dinglaovom iskustvu skoro u potpunosti linearna funkcija ubrzanja.

No dobro je poznato, *bar ako se amplituda ne menja*, da je to ubrzanje proporcionalno kvadratu frekvencije. Iskustva Apolonia (Appolonia) i ostalih [XX] to pokazuju. Dok se ne približi rezonantnoj frekvenciji, koja nije bila dostignuta u toku prikazanih ispitivanja, amplituda se praktično ne menja (ne varira) a eksperimentalno zapaženo ubrzanje bilo je sasvim proporcionalno kvadratu frekvencije N^2 .

Značaj ove studije je u tome što pokazuje da se postignuta zapreminska težina u suvom stanju znatno menja sa maksimalnim ubrzanjem. Na slici I.37 prikazan je dobiveni rezultat. Ona pokazuje da se zapreminska težina u suvom stanju sporo povećava sa povećanjem ubrzanja sve dok ono ne premaši veličinu g . Povećanje je tada vrlo naglo do približno 2 i 2,5 g , posle čega se zapreminska težina u suvom

stanju smanjuje sa povećanjem ubrzanja. Potrebno je napomenuti da pošto se premaši veličina ubrzanja g zbijanje više nije samo zbijanje čistom vibracijom već je kombinacija vibriranja i zbijanja udarom.



Sl. I.37 — Zbijanje vlažnog peska uniformnog granulometrijskog sastava na vibracionom stolu. Promena zapreminske težine u suvom stanju u funkciji od ubrzanja

ren spoljni pritisak, i da li nije pre vezan za jednu posledicu tog pritiska, tj. postizanje vrlo slabog indeksa šupljina. Dingla je u stvari pokazao da postoji indeks šupljina ispod koga materijal postaje krut: ovaj granični indeks šupljina smanjuje se pri povećanju ubrzanja, što će reći da se granica zapreminske težine u suvom stanju pomera unazad pri povećanju ubrzanja.

Vrat ćemo se ponovo na promenu amplitude (videti poglavlje I.5.10) koja se može povezati sa promenom frekvencije.

Navešćemo za sada — na osnovu Dinglaovog rada — pošto je vibracija proizvod ekspanzionog pritiska, da je moguće zbijati jedan materijal samo ukoliko se vibraciji doda pritisak koji je bar jednak jednoj graničnoj veličini, u ovom slučaju ekspanzionom pritisku.

Postavlja se pitanje da li je od interesa izvan te granične veličine neograničeno povećavati pritisak? Neki smatraju da preteran pritisak blokira međusobno zrna i deluje na vibriranje kao filter koji zaustavlja oscilatorna kretanja.

Može se postaviti i pitanje da li je ovaj fenomen dobro povezan za tako stvo-

5.9. Odnos između horizontalnih i vertikalnih statičkih napreznja

Apolonia (D'Appolonia) je pokazao [XX] da je vertikalno statičko naprezanje u horizontalnoj ravni jednog zemljanog masiva u toku zbijanja vibracionim valjkom bilo nezavisno od broja prelaza valjka, dok je se horizontalno naprezanje stvoreno u vertikalnoj ravni povećavalo s brojem prelaza valjka; odnos k između horizontalnog napreznja i vertikalnog napreznja povećava se i to znatno brže ako je vertikalna ravan u kojoj se meri horizontalno naprezanje upravna na smer kretanja uređaja za zbijanje nego ako je ona paralelna sa smerom kretanja.

Ovom napomenom objašnjava se anizotropija koja nastaje pri zbijanju, anizotropija koja nije jedino razlika u ponašanju u vertikalnom pravcu i u grupi horizontalnih pravaca, već koja diferencira (takođe razdvaja međusobno) horizontalne pravce u funkciji od smera napredovanja uređaja za zbijanje pri radu.

5.10. Promena amplitude

Obrasci [27] i [28] pokazuju da promena amplitude zrna zemljanog materijala u jednoj određenoj tački nije nezavisna od frekvencije čim se ta tačka ne nalazi neposredno ispod uređaja za zbijanje. Nije sigurno, dakle, da će se povećanje frekvencije odraziti stvarnim povećanjem ubrzanja u svakoj tački. Fenomen se znatno

komplikuje mogućnošću pojave rezonacije. Nedavno obavljena ispitivanja u Centru za putna istraživanja u Ruanu [XXI] pokazala su da je katkad korisno odabrati manju frekvenciju od maksimalne i koja odgovara rezonantnoj frekvenciji.

5.11. Zaključak o vibriranju

Najzad, zbijanje vibriranjem predstavlja vrlo efikasan postupak koji omogućava zbijanje slabo kohezivnih zemljanih materijala u slojevima čije debljine premašuju 1 m.

Prethodno prikazane teorije treba smatrati kao putokaz koji omogućava usmeravanje preciznijih proučavanja u cilju izrade uređaja za zbijanje ili u nastojanju za boljim isko.išćenjem postojećih uređaja za zbijanje⁽¹⁾.

6. RAZMIŠLJANJA O GNJEČENJU

6.1. Pokušaj definisanja

Pojam gnječenja je prilično blizak tehničarima koji se bave zbijanjem materijala.

Dejstvo uređaja sa kozjim nogama (ježevi) i valjaka sa gumenim točkovima, naročito ako su točkovi montirani na sistem vešanja sa mogućnošću pomeranja u odnosu na vertikalnu ravan, pruža izvesnu predstavu o ovoj vrsti zbijanja.

Neka laboratorijska zbijanja, kao što je zbijanje nabijačem čije je kretanje pri radu slično kretanju čigre) izrađenim u *Waterways experiment Station* [V], daće o tome možda jasnije objašnjenje: okretanje jednog klipa koji stvara pritisak oko osovine koja pri svom kretanju opisuje kupu, izaziva u materijalu kretanja koja ga gnječe. Ovo će biti možda još jasnije ako se posmatra dete koje gnječeci modelira između svojih prstiju lopticu od testa: ono ne tanji testo već ga stiska najpre u jednom pravcu a zatim u drugom, u trećem, itd.

U nastojanju da gnječenje definišemo na način koji nam najbolje odgovara s obzirom na zbijanje obrađeno u ovoj knjizi, reći ćemo *da se gnječenje obavlja svaki put kad je svaki deo zemljanog materijala zahvaćenog zbijanjem izložen višestrukom ciklusu deformacija (a najmanje dvostrukom ciklusu), pri čemu svaki ciklus obuhvata (sadrži) deformacije u najmanje dva različita pravca.*⁽²⁾

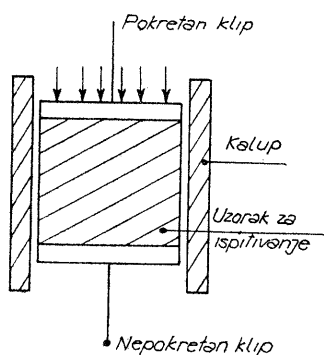
6.2. Korist od gnječenja

Posmatraćemo jedan uzorak za ispitivanje izložen čisto statičkom laboratorijskom zbijanju, tj. izložićemo ga pritisku preko jednog klipa.

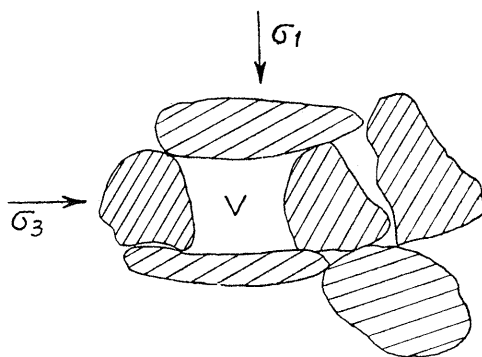
⁽¹⁾ Ovaj zaključak smo pozajmili od Katoara [XIV].

⁽²⁾ Moglo bi se usvojiti da je gnječenje ako se još u prvom ciklusu javljaju onakve deformacije kao u definisanom slučaju. Ova šira definicija bi bila manje pogodna kad su u pitanju ponavljanja prelaza opterećenja (prelazi, videti poglavlje II.1.3.2).

Takvo je, na primer, zbijanje uzoraka za asfaltne mešavine prema klasičnom Dirieovom (Duriez) postupku (slika I.38). Potpuno je razumljivo da se čestice zemljanog materijala međusobno uklještavaju — blokiraju zbog efekta mosta. Na slici I.39 prikazana je ova vrsta uklještanja — blokiranja. Jasno je da se nikakvim povećanjem vertikalnog statičkog pritiska ne može promeniti postojeći raspored, dok bi bila dovoljna samo inverzija devijatora, tj. izazivanje jednog horizontalnog pritiska σ_3 većeg od σ_1 za otklanjanje šupljine V . Ova ideja se može naći kod Lutera [XV] u vezi sa zbijanjem asfaltnih mešavina i valjcima sa gumenim točkovima (poglavlja II.4.2.1 i IV.7.2.1).



Sl. I.38 — Statički postupak zbijanja, Dirieovog (Duriez) tipa



Sl. I.39 — Da bi se eliminisale šupljine V , ne treba povećavati devijator $\delta_1 - \delta_3$ već mu promeniti smer

Doduše, raspored zrna kao što je prikazan na slici I.39 nije tako čest, ali je jasno da će se statistički neizbežno dogoditi izvestan broj takvih slučajeva u jednom uzorku za ispitivanje.

Ako transponujemo sve što je upravo rečeno na slučaj zbijanja, jasno proizilazi da bi jedno potpuno statičko zbijanje, ako bi i postojalo, bilo manje efikasno od zbijanja koje bi uključivalo i dejstvo gnječenja.

6.3. Dejstvo gnječenja svakog uređaja za zbijanje

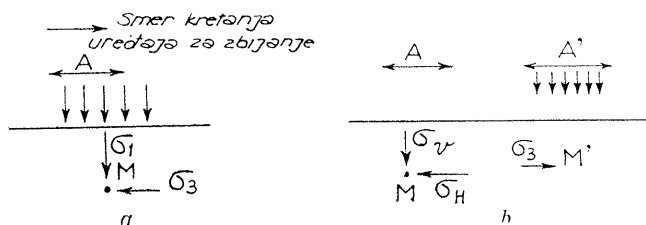
Svaki uređaj za zbijanje, usled uzastopnih opterećenja u jednoj zoni, zatim u njoj bliskoj zoni, ima dejstvo gnječenja koje nije obavezno zanemarujuće malo.

U stvari, kad je bilo kakav uređaj postavljen na prvom mestu A (slika I.40a), on izaziva u tački M koja se nalazi na istoj vertikali sa A , jedan devijator napona od kojih je najveći glavni napon σ_1 vertikalni, dok je najmanji glavni napon σ_3 horizontalni.

Jasno je, dakle, da je $\sigma_3 < \sigma_1$ i da se javlja deformacija koja izaziva klizanje u ravnima koje sa horizontalnom ravni formiraju ugao:

$$\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}$$

Pretpostavljajući da unutrašnji pritisak ne postoji (jednak je nuli), dobija se $\sigma_3 = \sigma_1 - d$, gde je d prečnik Morovog kruga odgovarajući uglu φ određenom na slici koja je analogna onoj na slici I.19.



Sl. I.40 — Promena smera devijatoru napona, kad se uređaj za zbijanje pri radu pomeri iz položaja A u obližnji položaj A'

Ako uređaj za zbijanje u svom radu dođe do drugog mesta A' koje je blisko A , postoji još devijator u tački M . U stvari, vertikalni napon σ_v je jednostavno jednak težini zemljanog stuba čiji je presek jednak jedinici površine. Horizontalni napon σ_H jednak je u stvari naponu σ_3 u tački M' koja se nalazi na vertikali iz A' .

Uporedimo $\sigma_3 = \sigma_H$ i σ_v i zbog toga sračunajmo $\sigma_H - \sigma_v$:

$$\sigma_H - \sigma_v = \sigma_1 - d - \sigma_v.$$

I dok je σ_1 reda veličine 1 do nekoliko kp/cm^2 , σ_v je reda veličine 50 kp/cm^2 . Potrebno je stoga da d bude vrlo veliko pa da $\sigma_H - \sigma_v$ ne bude pozitivno. Postoje čak velike šanse da bude $\sigma_H - \sigma_v > d$, pošto je dovoljno za to da bude $\sigma_1 - \sigma_v > > 2d$. Znači da je $\sigma_1 - \sigma_v$ reda veličine 1 do nekoliko kp/cm^2 .

Postoji, dakle, dejstvo zbijanja praćeno klizanjem na površinama nagnutim u odnosu na horizontalnu ravan za ugao:

$$\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}.$$

Kad se uređaj za zbijanje po drugi put vrati u tačku A , stvoriće situaciju prikazanu na slici I.40a, pa će tako započeti drugi ciklus.

Jasno je da dolazi do gnječenja.

6.4. Dejstvo gnječenja specifično za izvesne uređaje za zbijanje

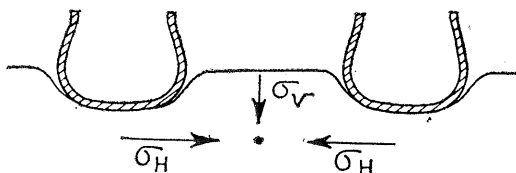
Jasno je ipak da se dejstvo opisano u prethodnom poglavlju postiže samo pri uzastopnim prelazima preko jedne tačke različitih kontaktnih površina uređaja za zbijanje sa terenom koji se zbija.

Ovom prvom dejstvu gnječenja izvesni uređaji za zbijanje pridodaju i druga:

6.4.1. Jasno je da su tačke koje se nalaze između dva naplatka gumenih točkova (slika I.41) izložene devijatorima suprotnih smerova odakle proističe dejstvo gnječenja.

6.4.2. Horizontalna pomeranja točkova izvesnih uređaja za zbijanje sa gumenim točkovima snabdevenim teleskopskim vešanjem stvaraju, takođe, dejstvo gnječenja.

6.4.3. Moguće je nacrtati sliku analognu onoj na slici I.41 koja bi prikazivala dejstvo gnječenja jednog uređaja za zbijanje sa kožjim nogama (ježa).



Sl. I.41 — Tačka M je izložena naponima δ_H koji su znatno veći od δ_v . Čak se može dogoditi da δ_v postane nedovoljno za sprečavanje zemljanog materijala da se izdigne između guma

Ovo dejstvo je pojačano činjenicom da noge (bodlje) upravo drobe ispupčenja i udubljena stvorena po utvrđenom redosledu između tragova ostavljenih pri prethodnom prelazu bodlji. To dejstvo gnječenja je pojačano i činjenicom da se valjak ne kreće ni po svom bandažu, niti po valjku koji predstavlja anvelopu bodlji, već po jednoj cilindričnoj površini koja se nalazi između dve pomenute.

6.4.4. Zbijanje udarima sadrži u sebi i dejstva gnječenja.

6.5. Vibracija i gnječenje

Vibriranje možda ne odgovara definiciji koju smo usvojili za gnječenje ali ono često obuhvata dejstva analogna toj akciji. Poništavajući vrlo kratkotrajno vertikalna naprezanja, ili ih znatno smanjujući, vibriranje takođe menja smer devijatora naprezanja, što takođe omogućava rušenje struktura kao što je ona na slici I.39.

Čak ako se to i ne događa na opisani način, uklanjajući ili umanjujući trenja, vibriranje omogućava deblokiranje izvesnih uklještenja kao što su ona prikazana na slici I.39.

U krajnjem slučaju vibracija ima isto dejstvo kao i gnječenje.

BIBLIOGRAFIJA UZ I GLAVU

- [I] W. A. LEWIS, Road Research Laboratory: *Investigation of the performance of pneumatic-tyred rollers in the compaction of soil*, Technical Paper, n° 45.
- [II] J. SIMON: *Les compacteurs à pneus en construction routière* (Conférence à l'Institut technique du Bâtiment et des Travaux publics, Publications des Annales de cet Institut, n° 193).
- [III] O.D. BARKAN: *Méthodes de vibration dans la construction*, Éditions Dunod, chapitre 9.
- [IV] A. W. SKEMPTON: *The Pore-Pressure coefficients A et B*, dans la Revue Géotechnique, volume IV, 1964.
- [V] U.S. ARMY, Engineer Waterways Experiment Station: *Development of the giratory testing Machine and procedures for testing bituminous paving mixtures*. Traduction 64 T 97, du L.C.P.C.
- [VI] Direction des Routes et de la Circulation Routière: *L'influence de l'eau dans la construction et la vie des routes*, Cycle d'études, 1962—1964 (15 avril 1964).

- [VII] J.-L. BONNENFANT: *Les applications routières des sols cohérents*, Annales des Ponts et Chaussées, 1944, n° 6, et 1945, n°s 1, 2, 3, 4, 5 et 6.
- [VIII] G. ARQUIE: *L'eau et la route (terrassements compactage portance)*, Revue générale des Routes et des Aérodomes, n° 391.
- [IX] J. SIMON: *Les compacteurs à pneus en construction routière*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 19.
- [X] J. CHIQUET: *Portance *in situ* des sols fins limoneux*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 24.
- [XI] N. B. SEED, M. ASCE et C. K. CHAN, A. M. ASCE: *Structure and Strengths Characteristics of compacted clays*, Journal of the soil mechanics and foundations Division, octobre 1959.
- [XII] J. KERISEL: *Traité de mécanique des sols*, 3^e édition, pages 224 et sq.
- [XIII] G. ARQUIE: *Le centre d'essais de Rouen*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 17.
- [XIV] B. CATOIRE: *Étude du compactage des sols par vibration superficielle* dans la revue Construction, mai—juin 1966 et avril 1967.
- [XV] G. LUTHER: *Die Wirkungsweise und kennzeichnenden Merkmale von selbstfahrenden Gummiradwalze*, Revue Strasse und Autobahn n° 7, de 1966, traduit par le Service spécial des Autoroutes Agence Méditerranée.
- [XVI] J. DUNGLAS: *Contribution à l'étude de l'influence des vibrations sur le comportement mécanique d'un matériau granuleux*. Thèse de doctorat publiée par le Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie rural.
- [XVII] E. LEFLAIVE: *Intervention sur l'article « Tentative d'explication du coussin de caoutchouc »*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 32.
- [XVIII] M. BOUCHE: *Propriétés physiques et mécaniques des sols fins compactés*, Annales de l'I.T.B.T.P. de décembre 1967, n° 240 (*Voir l'abondante bibliographie en fin de cette étude.*)
- [XIX] COMPACTION DE TERRENOS: divers auteurs, *editores technicos asociados*, Maignon 26, Barcelone 12 (Espagne).
- [XX] B. J. D'APPOLONIA, R. V. WHITMAN, E. D'APPOLONIA: *Sand compaction with vibratory rollers*, Journal of the mechanics and foundation division (Proceedings of the American Society of Civil Engineers), janvier 1969, pages 263 et sq.
- [XXI] G. ARQUIE: *Le compactage par vibrations*, Revue Générale des Routes et des aérodomes, n° novembre 1971.

GLAVA II

UREĐAJI ZA ZBIJANJE

1. OPŠTI DEO

Pre nego što počnemo s opisom različitih uređaja za zbijanje, pokušaćemo da ih razvrstamo i da damo nekoliko opštih napomena koje se odnose na sve uređaje za zbijanje bez obzira na njihovu vrstu.

1.1. Opšta definicija

Uređajem za zbijanje nazvaćemo svaku građevinsku mašinu — oruđe namenjenju zbijanju zemljanog materijala ili sloja kolovozne konstrukcije.

1.2. Klasifikacija uređaja za zbijanje

Neophodno je pristupiti klasifikaciji ovih uređaja, da bi smo mogli opisati svaki od usvojenih tipova.

Prihvaćene su brojne klasifikacije.

Navešćemo one D. E. Vandelera (Wandeleer) [I], *Komiteta za evropsku izradu opreme (Comitee for European Construction Equipement)* (C. E. C. E) *Nacionalne federacije za javne radove Fédération Nationale des Travaux Publics* (F.N.T.P.) i *Komisije za proučavanje opreme za građevinarstvo (Commission d'études du matériel de Génie Civil)* (C.E.M.A.G).

Nećemo se detaljnije upuštati u razmatranje pomenutih klasifikacionih sistema. Ograničićemo se da u poglavlju II.1.4 navedemo program naše II glave.

1.3. Definicije

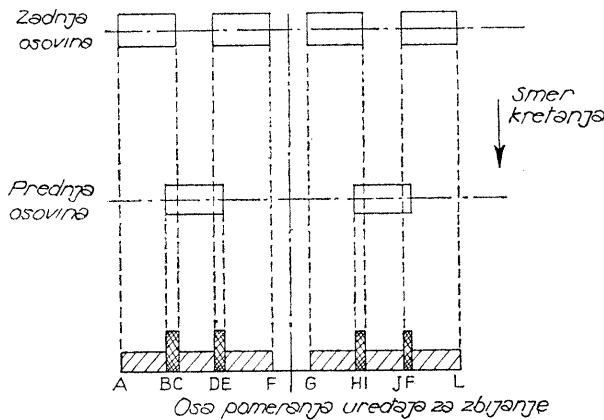
Usvojili smo terminologiju koju je utvrdila *radna grupa za zbijanje Komisije za proučavanje opreme za građevinarstvo (C.E.M.A.G)* [II].

1.3.1. Prolaz: kretanje u odlasku i povratku jednog uređaja za zbijanje.

1.3.2. Prelaz: primena opterećenja u jednoj tački.

Iz navedenih definicija proizilazi da samo jedan prolaz može odgovarati promenljivom broju prelaza u zavisnosti od položaja poprečnog profila.

Na slici II.1 prikazane su kontaktne površine jednog zamišljenog uređaja za zbijanje s gumenim točkovima, koji ima dva točka na svojoj prednjoj osovini, a četiri točka na zadnjoj osovini. Uočava se da zone *BC, DE, HI, JK* poprečnog profila primaju pri samo jednom prolazu dva prelaska. Zone *AB, CD, EF, GH, IJ, KL* primaju samo po jedan prelazak a zona *FG* ne prima nijedan.



Sl. II.1 — Dijagram pokrivanja

1.3.3. Dijagram pokrivanja. Dijagram pokrivanja daje broj prelazaka u jednoj tački pri jednom prolazu uređaja za zbijanje u funkciji od odstojanja te tačke od ose pravolinijskog kretanja uređaja za zbijanje.

On je prikazan na dijagramu (slika II.1) na čijoj je apscisi naneto odstojanje od ose uređaja za zbijanje a na ordinati broj prelazaka.

Luter [V] je uočio da je pojam prekrivanja neprecizan ako su u pitanju valjci s gumenim točkovima, jer se širina kontakta guma sa zemljanim materijalom menja istovremeno s unutrašnjim pritiskom u gumama i opterećenjem po točku; dodajmo uz to da se ona menja takođe, kao što ćemo pokazati u poglavlju 4.2.3, sa krutošću zemljanog materijala koji se zbija.

Luter čak smatra da se često događa — pri visokim unutrašnjim pritiscima u gumama — da ne dolazi ni do kakvog prekrivanja prednjih guma zadnjim. Ta činjenica, smatra se, nije od velikog značaja zbog bočnih pomeranja uređaja u toku zbijanja.

Dodajmo da je kod linija ovaj pojam prekrivanja još neprecizniji.

1.3.4. Radna širina je razmak između spoljnih ivica ekstremnih kontaktnih površina uređaja za zbijanje.

Kod uređaja za zbijanje sa gumenim točkovima ove kontaktne površine su kolotrazi po kojima se kreću ekstremne spoljne gume. Kod valjaka s glatkim čeličnim točkovima to su naplaci ekstremnih (krajnjih) točkova.

Na shematskom prikazu (slika II.1) ta širina je AL .

1.3.5. Širina pokrivanja (ili pokrivanje c) je zbir širina traka koje su bile izložene bar jednom prelasku uređaja za zbijanje. Na slici II.1 biće:

$$c = AF + GL = l - FG.$$

1.3.6. Stepen pokrivanja je odnos između pokrivanja i radne širine:

$$\gamma = \frac{c}{l}.$$

1.3.7. Širina ukupnog preklapanja (ili ukupno preklapanje r) je zbir svih širina traka koje su podnele više od jednog prelaska u toku zbijanja.

Na slici II.1 dobija se:

$$r = BC + DE + HI + JK.$$

1.3.8. Stepen preklapanja je odnos između ukupnog preklapanja i pokrivene širine:

$$q = \frac{r}{c}.$$

1.3.9. Dopunsko opterećenje. To je postupak koji omogućava da se menja ukupna težina jednog određenog uređaja za zbijanje.

Raznolikost tehnika koje različiti proizvođači uređaja za zbijanje koriste radi postizanja dopunskog opterećenja motivisana je vrlo raznolikim nastojanjima:

Nastojanje da se smanji cena koštanja sastoji se u istraživanju da se maksimalno početno opterećenje postigne uz najmanju moguću cenu a uslov *operativnosti* sastoji se u proučavanju i iznalaženju mogućnosti *menjanja* težina uređaja za zbijanje u zavisnosti od posla koji treba obaviti. Ovo poslednje nastojanje postavlja dva problema: da li uređaj za zbijanje još na početku radova na gradilištu dovesti na željenu težinu, bez ikakvih naknadnih promena u toku radova ili, poštujući uslov *operativnosti*, omogućiti promene njegove težine u toku zbijanja. Zavisno od značaja koji se poklanja tim razmatranjima, zapaža se skoro stalno opterećenje, najčešće metalno, čije nameštanje ili skidanje može iziskivati više časova rada, dopunsko opterećenje koje se sastoji od vode ili peska, istovremeno jeftino i (najčešće) uglavnom jednostavno za izvesne promene i, najzad, teret, uglavnom pokretan, čija se veličina može lako menjati s obzirom da ga sam uređaj može utovariti i istovariti za nekoliko minuta.

1.4. Program glave

Prikazaćemo:

Poglavlje 2 — Valjci sa glatkim čeličnim točkovima.

Poglavlje 3 — Valjci sa ovčim nogama i slični (ježevi).

- Poglavlje 4 — Valjci sa gumenim točkovima
 Poglavlje 5 — Vibracioni valjci sa glatkim čeličnim točkovima
 Vibracioni valjci sa ovčijim nogama ili sa gumama.
 Poglavlje 6 — Uređaji za zbijanje sa jednom vibracionom pločom
 Uređaji za zbijanje sa više vibracionih ploča.
 Poglavlje 7 — Uređaji za zbijanje sa nabijačima i vibracione igle —
 pervibratori
 Poglavlje 8 — Specijalni uređaji za zbijanje.

U svakom od ovih poglavlja druge glave izložićemo najpre *opšti deo* o uređajima za zbijanje, njihovom korišćenju i njihovim prednostima, zatim ćemo dati *opšti opis i klasifikaciju* zadržavajući se posebno detaljno na elementima koji su od posebnog značaja za ovu vrstu uređaja za zbijanje (npr. vešanje kod valjaka sa gumenim točkovima), zatim ćemo izvršiti *statističku analizu glavnih karakteristika* (snaga, težina, pritisak, itd.) i najzad ćemo opisati *priključke (dodatnu opremu)*, koji su katkad od prevashodnog značaja, da bi na kraju grupisali različite *napomene* koje nisu mogle naći svoje mesto u napred izloženom planu poglavlja.

Prema tome, u drugoj glavi ne postoje detaljniji opisi najinteresantnijih mogućnosti korišćenja posmatranih uređaja za zbijanje. Oni su dati u glavi IV i na opštoj tablici prikazanoj u poglavlju IV. 9. Daćemo ipak nekoliko podataka o korišćenju tih uređaja za zbijanje.

1.5. Napomena

Statističke analize karakteristika različitih uređaja za zbijanje odnose se, ako nije drugačije naznačeno, *na modele koji se mogu nabaviti na francuskom tržištu*, bez obzira da li su proizvedeni u Francuskoj ili u inostranstvu.

2. VALJCI SA GLATKIM ČELIČNIM TOČKOVIMA

2.1. Opšti deo

Valjci sa glatkim čeličnim točkovima (naplatcima) bili su, u vreme makadama i podloge od lomljenog kamena (šosea), najčešće korišćeni — da ne kažemo i jedino korišćeni uređaji za zbijanje. Na izgled neuništiv, valjak je dugo vremena bio uvršćen u park mehanizacije, a i danas ponegde čini deo mehanizacije preduzeća za izgradnju puteva i službi za održavanje puteva. Iako je njegovo korišćenje pri izradi naspica skoro isključeno zbog neznatne efikasnosti, još se može koristiti za izradu mehanički obrađenih slojeva kolovozne konstrukcije, pod uslovom da je zbijani sloj dovoljno tanak.

Ali se ovakve primene sve manje sreću u putogradnji.

Zbijanje površinskih obrada se, doduše, održalo znatno duže. Ozbiljan nedostatak koji se javlja zbog drobljenja agregata između kolovozne konstrukcije i glatkog čeličnog točka korisnicima ne smeta jer ga malo uočavaju, ma da oni danas radije koriste u tu svrhu valjke sa gumenim točkovima kao efikasnije.

Valjak s gumenim točkovima ostaje i dalje, bar za sada, nezamenljiv u domenu zbijanja asfaltnih mešavina. Potrebno je napomenuti da je pri tome izgubio svoj prioritet u čemu ga je zamenio valjak s gumenim točkovima koji danas radi na čelu garniture valjaka za zbijanje neposredno iza finišera.

Međutim, uređaj za zbijanje često ostavlja iza sebe tragove koje je potrebno zagladiti i izravnati, a do sada je za taj posao bio najpogodniji valjak sa glatkim čeličnim točkovima.

Napominjemo, najzad, da je valjak s glatkim čeličnim točkovima vrlo pogodan da kod nasipa, kao i kod slojeva od mehanički obrađenog materijala, obavi dopunsko zbijanje po površini sloja, čime se postiže zatvaranje i glaćenje, odnosno ravnanje površine.

Naglo smanjenje broja modela u prodaji na francuskom tržištu između 1968. i 1971. ukazuje na postupno iščezavanje ove vrste uređaja za zbijanje.

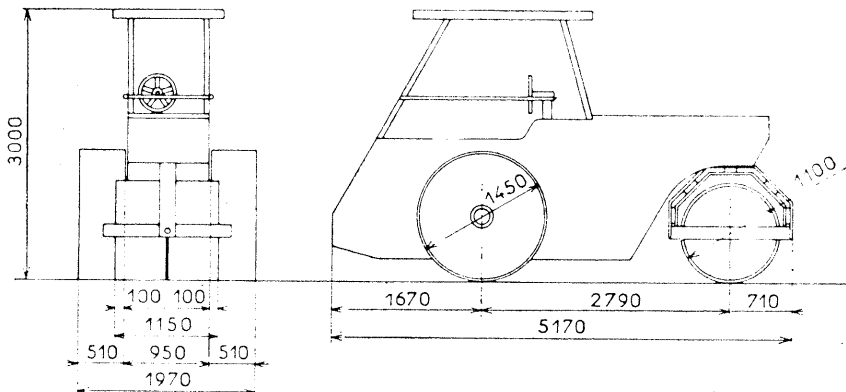
2.2. Opšti opis i klasifikacija

Ovi uređaji se sastoje od vrlo masivne šasije, kinetičke grupe (uključujući i motor), kabine, komandnog mesta i točkova.

2.2.1. Praktično ne postoje vučena oruđa⁽¹⁾. Motor je nekada bila parna mašina a sada je u većini slučajeva dizel-motor. Međutim, izvestan broj lakih uređaja za zbijanje raspolaže benzinskim motorom.

Snage motora kreću se od nekoliko konja kod manjih uređaja do stotinak konja kod najtežih.

Kinematičke grupe su takve da su ovi uređaji za zbijanje vrlo spori (najviše 10 km/čas) i da su zbog toga moguća kretanja vrlo malim brzinama (npr. 0,5 km/čas). Ako ovakve brzine dobro odgovaraju za zbijanje, one u znatnoj meri komplikuju prebacivanja ove vrste uređaja sa gradilišta na gradilište tako da je često neophodno koristiti u tu svrhu specijalne prikolice za transport. Da bi otklonio ovaj nedostatak, jedan proizvođač valjaka je pokušao da na nekim svojim valjcima montira uređaj



Sl. II.2 — Uređaj za zbijanje — valjak sa tri glatka čelična točka

⁽¹⁾ U Velikoj Britaniji su postojali veliki vučeni valjci sa glatkim čeličnim točkovima, namenjeni zbijanju krednih zemljanih materijala (kreda).

koji je omogućavao da se transport obavlja na sopstvenim točkovima sa gumama. Ova inicijativa nije uspjela jer su se baš u to vreme na tržištu pojavili valjci na gumenim točkovima koji su pri radu, a naročito pri transportu, mogli da razviju znatno veće brzine. Upozoravamo, takođe, i na točkove koji su imali gumene naplatke (videti poglavlje II.2.7.4).

Najsavršeniji uređaji sadrže reduktor brzine. Hidrauličke transmisije se sve više razvijaju.

2.2.2. Točkovi koji čine bitan element ovog uređaja su čelični cilindri čiji prečnik varira od 0,40 do 2 m. Širine izvodnica ovih cilindara kreću se od 0,20 do 2 m kod izvesnih vrsta tandem-valjaka.

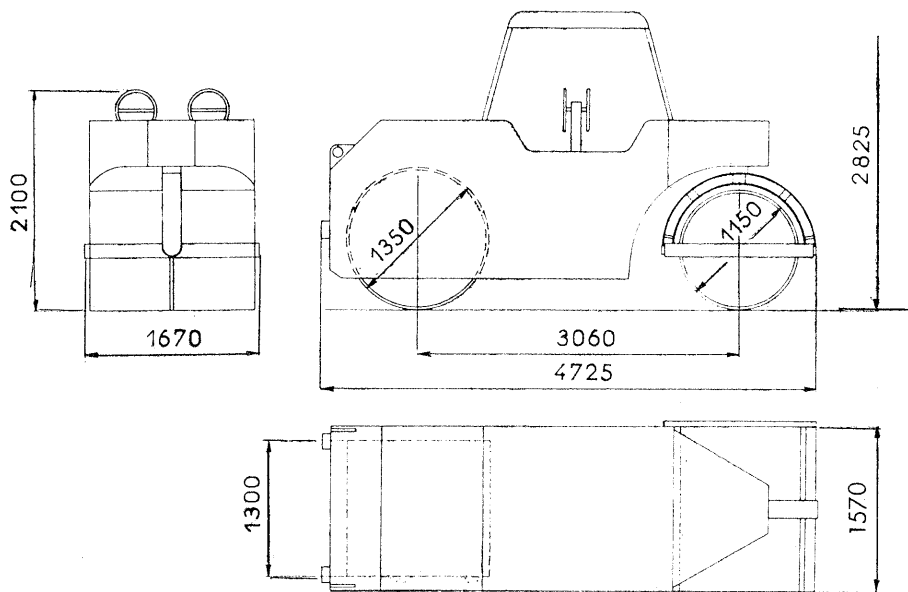
Ovi točkovi su raspoređeni na tri različita načina prema kategoriji valjaka, zavisno od njihovog tipa, i to:

1) Valjci za zbijanje pritiskom sa tri točka koji poseduju jedan širok prednji točak, često podeljen na dva međusobno povezana dela. Ovaj prednji točak je manjeg prečnika i postavljen je u osu valjka. Ovaj točak je upravljački (služi za upravljanje) ali ne i motorni-pogonski.

Zadnja osovina pokreće dva cilindra velikog prečnika koji su postavljeni sa jedne i druge strane šasije; oni su uzani i predstavljaju pogonsku osovinu.

Često dolazi do malog preklapanja zadnjih točkova u odnosu na prednji cilindar (točak).

2) Tandem-valjci za zbijanje pritiskom poseduju dva cilindra iste širine napred i nazad, pri čemu drugi cilindar potpuno preklapa prvi. Upravlja se na taj način što se osovinama oba cilindra daje izvestan ugao zakošenja. Ovaj valjak se mnogo upotrebljava pri zbijanju asfaltnih mešavina, ali, kao što je već bilo rečeno ranije,



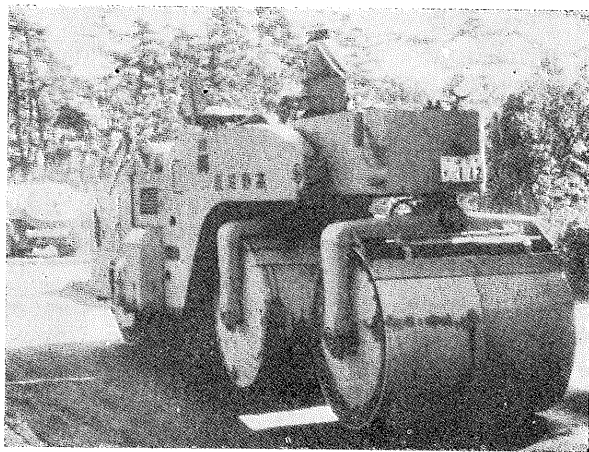
Sl. II.3

on se može upotrebiti samo iza teškog valjka s gumenim točkovima (ili vibracionog valjka).

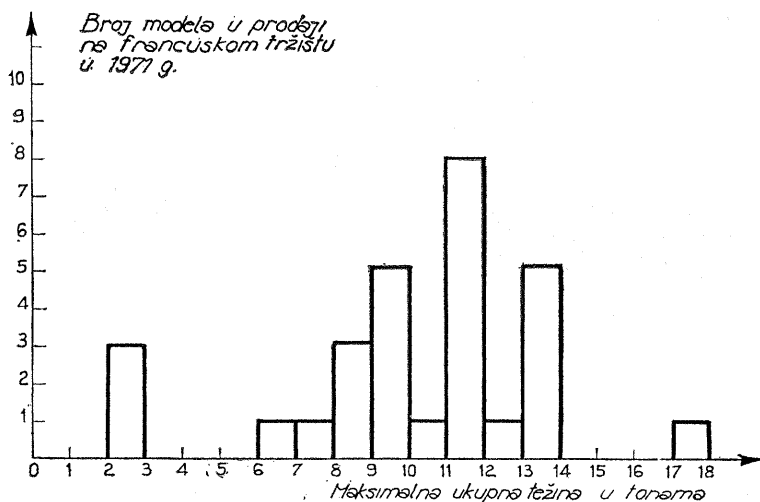
U Evropi točkovi imaju slične dimenzije.

U Sjedinjenim Američkim Državama postoji jasna razlika između prečnika prednjeg točka koji je pogonski i zadnjeg točka koji je upravljački, a sedište vozačeve je najčešće ugrađeno iznad ovog poslednjeg točka ili u njegovoj neposrednoj blizini.

3) Troosovinski valjak sa glatkim čeličnim točkovima ređe se koristi, a sreće se kao američki, engleski, danski i ruski proizvod. Česte su primedbe na njihovu pokretljivost i stabilnost. Jedan engleski proizvođač je napravio ram za ovu mašinu



Sl. II.1 — Uredaj za zbijanje — valjak „Triaks“ (Triaxe)

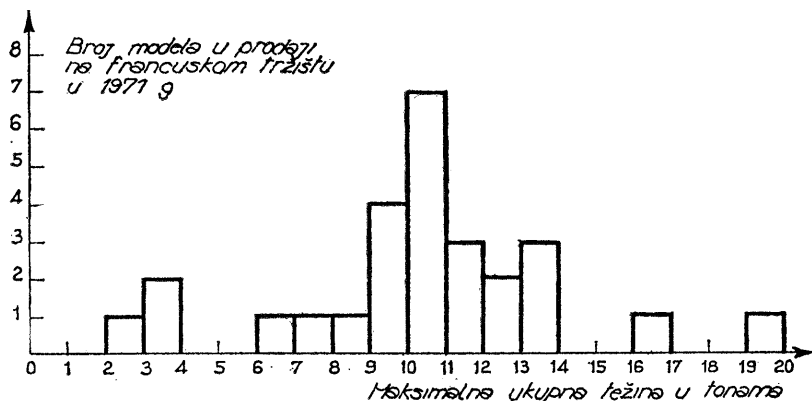


Sl. II.4 — Histogram broja modela navedene maksimalne ukupne težine (valjci s tri glatka čelična točka)

od nekoliko zglobno povezanih delova čime je znatno povećao mogućnosti za upravljanje i pokretljivost.

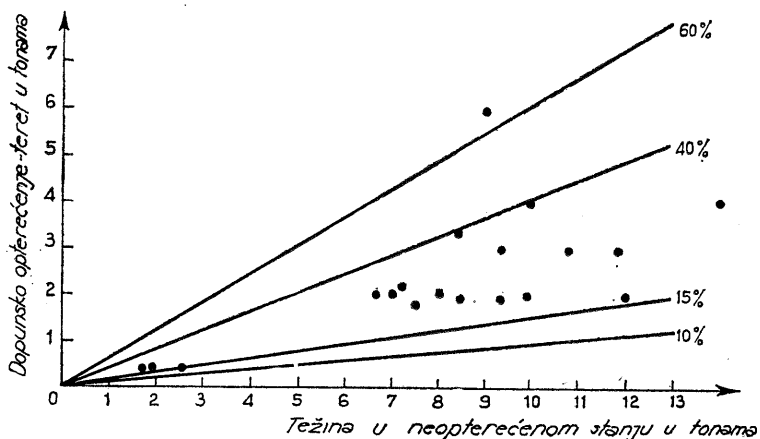
2.3. Ukupne težine sa dopunskim opterećenjem

Ukupne težine sa dopunskim opterećenjem (u opterećenom stanju) kreću se od 1,5 do 20 tona, a izuzetno 25 tona. Kod većine uređaja za zbijanje ove vrste moguće je dodavati dopunsko opterećenje. Prikazani histogrami pokazuju da su maksimalne težine najčešće između 10 i 15 tona (slike II.4 i II.5).



Sl. II.5 — Histogram broja modela navedene maksimalne ukupne težine (tandem-valjci s glatkim čeličnim točkovima)

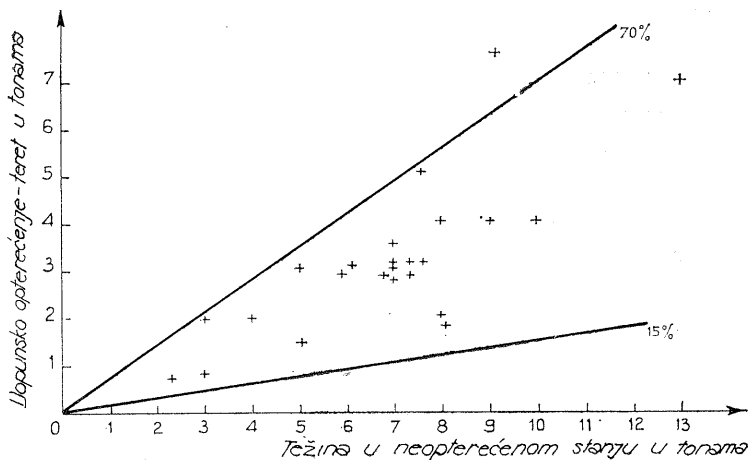
Sa slika II.6 i II.7 vidi se da je dopunsko opterećenje za većinu valjaka sa tri glatka čelična točka između 15 i 40% od ukupne težine valjka u neopterećenom sta-



Sl. II.6 — Dopunsko opterećenje u funkciji od težine neopterećenog valjka (s tri glatka čelična točka)

nju. Kod tandem-valjaka rasipanje je znatno veće (između 15 i 70% od težine u neopterećenom stanju) a promene dodatnog opterećenja znatno izrazitije.

Uz to se uočava da proizvođači najčešće nude uređaje od 8 do 10 tona težine u neopterećenom stanju koje je moguće opteretiti dodatnim opterećenjem od 2 do 4 tona



Sl. 11.7 — Dopunsko opterećenje u funkciji od neopterećenog valjka (tandem s glatkim čeličnim točkovima)

2.4. Opterećenje po santimetru izvodnice

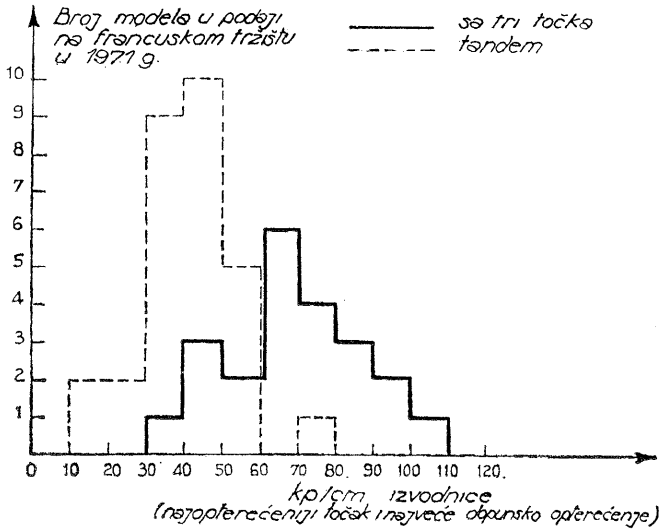
Ako se kao kod svih uređaja za zbijanje sa statičkim dejstvom ukupna težina u opterećenom stanju (ili tačnije rečeno ukupna težina po točku) sastoji od jedne od dve bitne karakteristike, drugu je (kontaktni pritisak) teže približno odrediti.

U stvari na vrlo krutom terenu ili sloju koji se zbijaju svaki od naplataka točka uređaja za zbijanje oslanja se samo preko jedne od njegovih izvodnica (generatrisa); razume se da pri tome dolazi do manjeg drobljenja materijala čime se stvara kontaktna površina u obliku vrlo izduženog pravougaonika u pravcu širine uređaja ali je veličinu te površine vrlo teško odrediti. Moguće je jedino potvrditi da su kontaktni pritisci visoki, i da se povećavaju u istoj tački sa nastavljanim zbijanjem dok se ne dostigne izvesna granica.

Jedina karakteristika koju je lako odrediti je opterećenje po santimetru izvodnice (generatrise). Podsećamo da smo u poglavlju I.4.6 pokazali kakav je njegov uticaj na dubinu zbijanja. Ovo opterećenje po jedinici dužine izvodnice skoro uvek je veće na naplacima pogonskih točkova nego na naplacima upravljačkih točkova. Postoji, međutim, i nekoliko uređaja za zbijanje gde je ovakav raspored obrnut.

Ovo opterećenje je retko manje od 20 kp/cm i ne premašuje 110 kp/cm.

Najveća neuravnoteženja između prednjeg i zadnjeg točka postižu se kod valjaka sa tri točka gde je opterećenje po naplatku upravljačkog točka oko 25 kp/cm kod neopterećenog valjka, a između 30 i 40 kp/cm kod opterećenog valjka, dok se na pogonskoj osovinu postiže 90 do 100 ili čak 110 kp/cm, ako je dopunsko opterećenje postavljeno, dok se po skidanju dopunskog opterećenja ono smanjuje na oko 65 kp/cm.



Sl. II.8 — Histogram broja modela koji raspoložu navedenim maksimalnim opterećenjem po santimetru izvodnice-generatrise

Tandem-valjci su mnogo uravnoteženiji, kao što se vidi iz raspodele opterećenja kod dva uređaja ove vrste francuske proizvodnje. U SAD je ovo pravilo o sličnoj raspodeli opterećenja između točkova tandem-uređaja za zbijanje znatno manje poštovano.

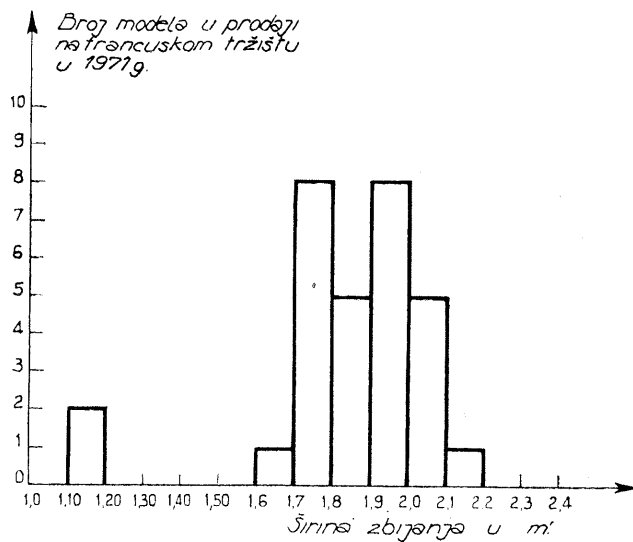
TABLICA I

	Prednji		Zadnji	
	Bez dopunskog opterećenja	Sa maksimalnim dopunskim opterećenjem	Bez dopunskog opterećenja	Sa maksimalnim dopunskim opterećenjem
Uređaj za zbijanje A	23	35	33	53
Uređaj za zbijanje B	24,2	36,4	25,8	39

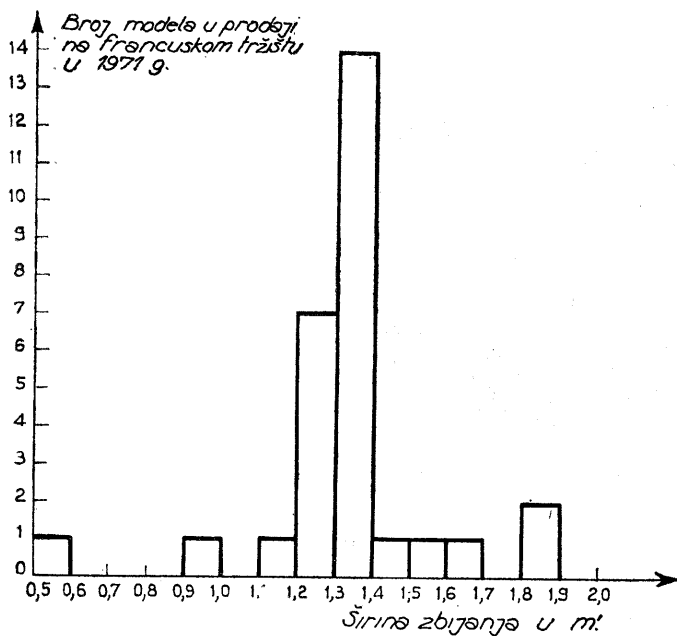
Na slici II.8 prikazan je histogram broja modela razvrstanih u zavisnosti od opterećenja po santimetru izvodnice. Ona pokazuje da je maksimalni pritisak za valjke sa tri točka vrlo promenljiv a da proizvođači ove vrste uređaja ne daju nikakva preciznija objašnjenja ili preporuke, dok je kod tandem valjaka najčešći prosečan pritisak reda veličine od 30 do 60 kp/cm.

2.5. Širina zbijanja

Na slikama II.9 i II.10 prikazani su histogrami širine zbijanja.



Sl. II.9 — Histogram broja modela koji su u stanju da obavljaju zbijanje na navedenoj širini (valjci s tri točka)



Sl. II.10 — Histogram broja modela koji su u stanju da obavljaju zbijanje na navedenoj širini (tandem-valjci)

Sa slike II.9 uočava se da za uređaje za zbijanje sa tri točka najčešće postignuta širina iznosi 2 m (1,70 do 2 m), dok su širine koje se postižu sa tandem-valjcima znatno manje (slika II.10).

2.6. Efikasnost

2.6.1. Podsećamo da smo u poglavlju I.4.6 pokazali da je efikasnost ove vrste uređaja za zbijanje po dubini mala.

2.6.2. Nasuprot tome, pritisak koji se stvara na površini sloja od zemljanog materijala pri zbijanju vrlo je visok. Odatle proizilazi da površinsko dejstvo (na površini sloja) ovih uređaja za zbijanje može biti znatno.

To ne treba da nas iznenađuje jer smo pokazali u poglavlju I.4.5 da jedan valjak s gumenim točkovima zbija po površini utoliko više, ukoliko je njegov kontaktni pritisak veći, a po dubini ukoliko je veće opterećenje.

To je upravo ono što je zapaženo: po završenom zbijanju valjkom s gumenim točkovima, jedan prelazak valjka s glatkim čeličnim točkovima poboljšava zapreminsku težinu u suvom stanju materijala u površinskom delu sloja.

2.6.3. Ovo povećanje stvara krutu *koru* koja uvećava prosečnu veličinu modula zbijanog sloja.

2.6.4. Ovim površinskim dejstvom se postiže „gladeenje i ravnanje” koje može biti vrlo korisno.

Videćemo u stvari da je pri zbijanju sitnozrnih zemljanih materijala često korisno, a katkad i neophodno, da se posao obavljen u toku dana završi takvim gladeenjem koje zatvara površinu, čini je vodonepropustljivom i onemogućava prodiranje vode u niže slojeve (poglavlje IV.3.2.4).

Isto tako i pri zbijanju asfaltnih mešavina valjak s glatkim čeličnim točkovima je često neophodan radi otklanjanja tragova koji su nastali pri zbijanju valjkom s gumenim točkovima i za završne radove pri izradi radnih spojeva (videti poglavlje IV.7.2.8).

2.7. Dopunska oprema

2.7.1. Glavni dopunski uređaj ove vrste valjaka bio je riljač-riper, vučen ili montiran na samom valjku.

Ovaj riljač bio je namenjen razrivanju i brazdanju površine kolovozne konstrukcije koju je trebalo pojačati makadamom radi obezbeđenja bolje veze između postojeće konstrukcije i novog sloja. Uz to je bilo moguće, posle brazdanja, izvršiti popravku poprečnog profila i na taj način onemogućiti obnavljanje ranijih deformacija.

2.7.2. *Prikolica za stanovanje.* Klasična i skoro folklorična prikolica u kojoj je stanovao vozač valjka sa svojom porodicom, pošto se ovaj uređaj za zbijanje vrlo sporo kretao.

2.7.3. Već smo naveli da su neki proizvođači valjaka, radi bolje pokretljivosti, ugradili na valjku i točkove koji se koriste samo pri prebacivanju valjka sa gradilišta na gradilište.

2.7.4. *Montiranje točkova na elastični sistem vešanja.* Ovakvo rešenje nije primenjivano samo radi postizanja brzine kretanja, pa prema tome i bolje pokretljivosti, već i radi boljeg prodiranja točkova valjka u neravnine i boljeg prilagođavanja neravninama u deformisanim profilima. Ovakva poboljšanja su znatno koristila preduzimačima pre nego što su se pojavili valjci sa gumenim točkovima.

2.7.5. *Zamena točkova sa glatkim čeličnim naplatima točkovima sa gumama.* Ova mogućnost korišćena je pre pojave valjka s gumenim točkovima. Njen nedostatak proizilazi iz toga što se ne preklapaju točkovi prednjeg trapa sa točkovima zadnjeg trapa. Pored toga, vrlo je neujednačena raspodela opterećenja između prednjeg i zadnjeg trapa.

2.7.6. *Sistem za kvašenje točkova.* Ovaj dodatak nije manje-više napušten, kao ostali koji su već navedeni. U stvari, sistem za kvašenje sastoji se najčešće od prskalice koja se snabdeva gravitacijom vode iz rezervoara koji je smešten na dovoljnoj visini uređaja, i neophodan je za zbijanje asfaltnih mešavina. Kvašenjem se onemogućava lepljenje asfaltne mešavine za metalnu oblogu točkova.

2.7.7. *Stvaranje opterećenja.* Promene težine uređaja postižu se najčešće pomoću segmenata od livenog gvožđa postavljenih u točkove, ili direktnim opterećivanjem peskom ili vodom koji se sipaju u unutrašnjost točkova. Korišćenjem vode stvara se opasnost od njenog mržnjenja u toku zime. Pesak ima dvostruku prednost: izbegava se opasnost od mržnjenja i ima veću specifičnu težinu.

Noviji uređaji za zbijanje omogućavaju znatnije promene opterećenja postavljanjem masa u oklop. Cela motorna grupa je tada ugrađena na zadnji deo valjka. Promena opterećenja je oko desetinu tona.



Sl. II.II — Tandem-valjak s glatkim čeličnim točkovima od 8 do 12 tona

(Foto. Albaret)

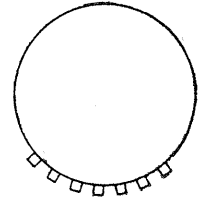
3. VALJCI S OVČIJIM NOGAMA – JEŽEVI I NJIMA SLIČNI

3.1. Opšti deo

Valjci s ovčijim nogama (ježevi) imaju, kao element kojim deluju na materijal koji se zbija, metalne cilindre na kojima su postavljena u vidu bodlji ispupčenja čiji je oblik sličan *ovčijim nogama* (slika II.11).

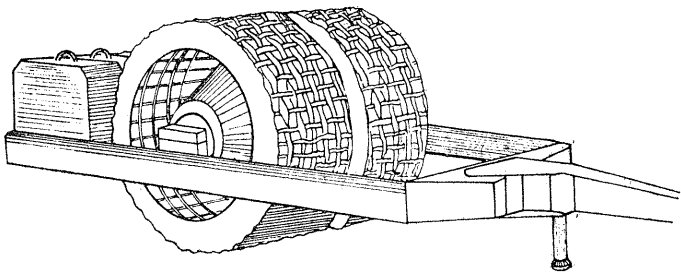
Dejstvo valjka je tako slično dejstvu stada ovaca, čije mnogobrojne noge prodiru u zemljani materijal koji prelaze, zbijajući ga na taj način. Priča se čak da su nekada radi zbijanja nasipa progonili stada stoke preko njega.

3.1.2. Proizvođači su se pokazali vrlo dovtljivim pri promeni oblika nogu (bodlji), pripisujući onima koje su oni stvorili izvanredna svojstva. Bez želje da negiramo ta svojstva u vezi sa uticajem oblika, smatramo da u tome ne treba preterivati.



Sl. II.11 – Princip valjka s ovčijim nogama (ježa)

3.1.3. Priključićemo ovoj vrsti uređaja za zbijanje i valjke sa rešetkom, kod kojih cilindar umesto (bočne površine) čeličnog omotača ima rešetku (slika II.12). Valjci sa segmentima ili sa ovčijim nogama imaju veće površine i moguće ih je često menjati, dok je kod „ježeva” to nemoguće jer su njihove male površine kontakta namenjene drobljenju krupnih komada kamena.



Sl. II.12 – Princip valjka sa rešetkom

3.1.4. Potrebno je takođe napomenuti da je smanjena dubina dejstva valjka sa glatkim čeličnim točkom posledica činjenice što opterećenje po jedinici izvodnice (generatriše) nije dovoljno veliko. Zadržavajući istu ukupnu težinu, ali smanjujući dužinu izvodnice povećaćemo efikasnost zbijanja. Takav rezultat mogao bi se postići smanjenjem dužine cilindra ali bi se na taj način pojavili problemi stabilnosti.

Bilo bi bolje svesti izvodnicu na kratke uzastopne elemente. Na taj način se dobija valjak s ovčijim nogama.

U stvari, ideja koja je izazvala pojavu ovih uređaja za zbijanje bila je da se opterećenje koncentriše na male površine koje će se utiskivati u zemljani materijal, prodirući u njega i zbijajući ga po dubini preko niza malih površina.

Ovo utiskivanje ne izaziva problem *prohodnosti* (videti poglavlje V.1.3), jer kad noga prodre u tlo čitavom svojom visinom, valjak naleže čitavom dužinom svoje izvodnice i kontaktni pritisak se znatno smanjuje.

3.1.5. Ova vrsta uređaja za zbijanje korišćena je za zbijanje nasipa ili slojeva kolovozne konstrukcije od sitnozrnih materijala. Oni vrlo uspešno zamenjuju statičke valjke s glatkim čeličnim točkovima, i to zbog napred pobrojanih razloga.

Pojava valjaka s gumenim točkovima, čije su mogućnosti korišćenja višestranije, smanjila je zahteve za ovom vrstom valjaka.

Oni se, međutim, vrlo mnogo koriste pri zbijanju sitnozrnih materijala.

Valjci sa rešetkom ili sa bodljama skoro da su nezamenljivi ukoliko je neophodno pri zbijanju obaviti sitnjenje materijala lomljenjem krupnijih elemenata (videti poglavlje IV.3.4).

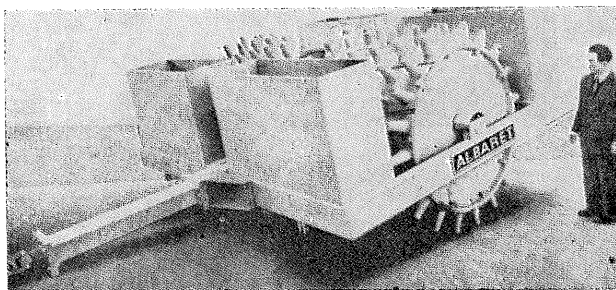
3.2. Opšti opis i razvrstavanje

Kao što smo prethodno naveli, među uređajima za zbijanje koji mogu biti vučeni ili samohodni razlikovaćemo:

- valjke sa ovčijim nogama;
- valjke sa rešetkom;
- valjke sa segmentima.

3.2.1. Vučeni valjci sa ovčijim nogama. To je najbrojnija kategorija ove vrste uređaja za zbijanje.

Oni se sastoje od šasijske koja nosi bilo samo jedan cilindar snabdeven ovčijim nogama (bodljama), bilo dva cilindra s istom osovinom koji su postavljeni s obe strane ruke koja služi za vuču.



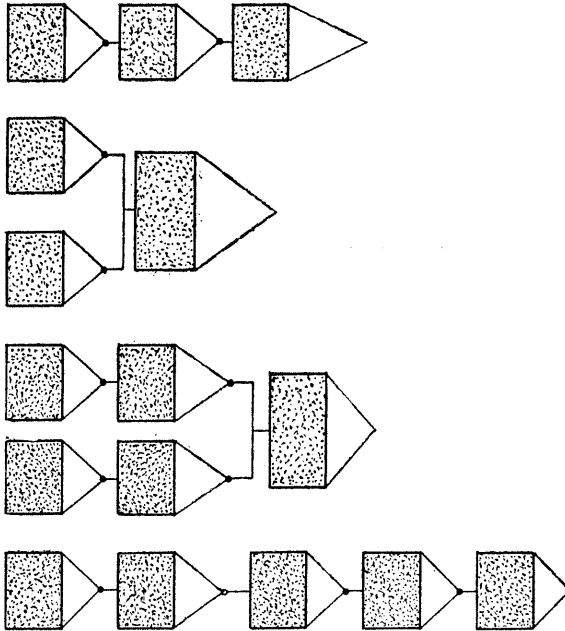
Sl. II.III — Valjak s ovčijim nogama (jež) sa dva točka

Ove šasijske su tako konstruisane da je moguće međusobno povezati dva uređaja za zbijanje, jedan iza drugog, za isti traktor (vučnu jedinicu); ovaj način korišćenja prilično je čest.

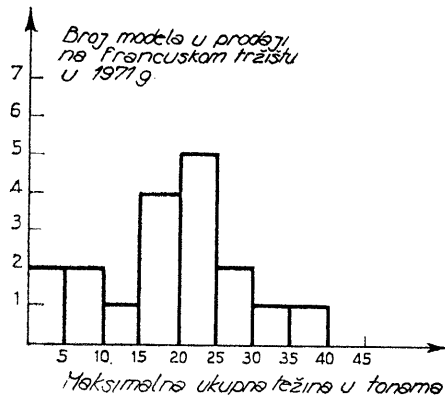
Pri povezivanju su moguća različita rešenja, kao što pokazuje slika II.13.

Na slici II.15 prikazana je korelacija za ograničeni broj modela, između ukupne težine bez dopunskog opterećenja i ukupne težine sa dopunskim opterećenjem.

Uočava se da dopunsko opterećenje u znatnoj meri uvećava težinu uređaja za zbijanje u odnosu na neopterećenu.



Sl. II.13 — Različite mogućnosti povezivanja i grupisanja vučenih valjaka s ovčijim nogama (ježeva)



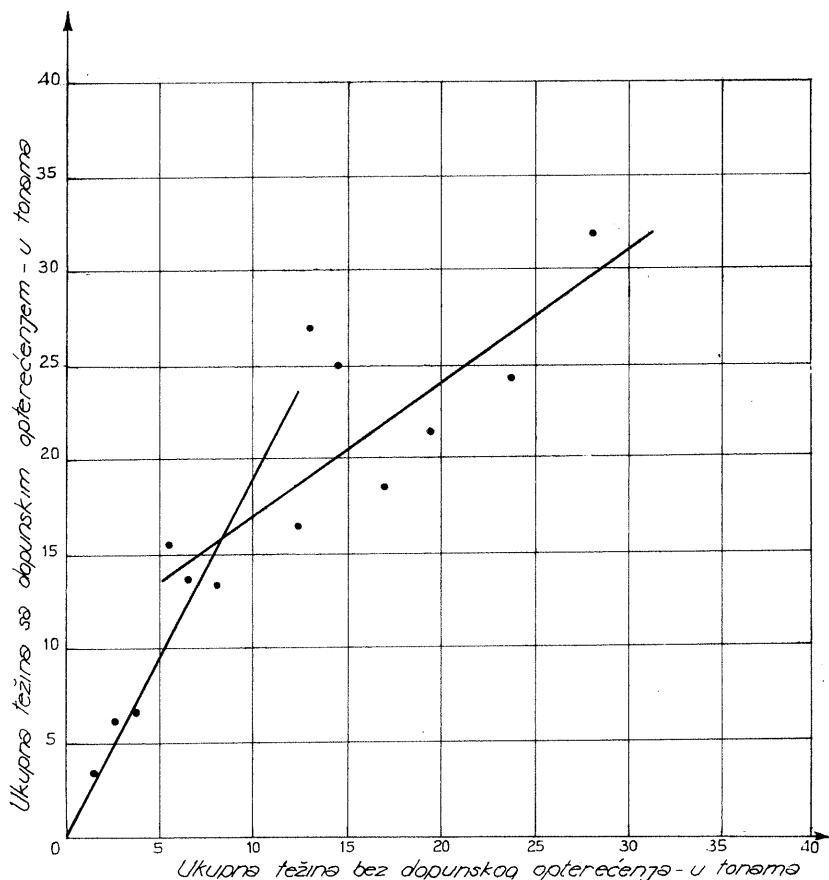
Sl. II.14 — Histogram broja modela navedene maksimalne težine (valjci s ovčijim nogama — ježevi vučeni i samohodni). Najteži valjci su samohodni

1) Karakteristike nogu (bodlji):

- njihova dužina neznatno varira (od 17 do 26 cm);
- nasuprot tome njihova kontaktna površina kreće se od 14 do 140 cm² (najčešće su veličine oko 40 cm²)
- što se tiče oblika, njihova kontaktna površina je najčešće ravna i upravna na osu bodlje, a može biti kružna, kvadratna ili pravougaona. Moguće je da ona bude posebno oblikovana ili da se čak sastoji od dve ravni.

Jedan konstruktor navodi da u trenutku izlaska noge — bodlje iz rupe, koju je ostavila u tlu, ona smiče deo tako stvorene rupe vršeći delimično rastresanje materijala. On je proučavao oblik nogu-bodlji svojih valjaka da bi onemogućio tu pojavu. Ne želeći da osporavamo njegove izjave, nismo ubeđeni da je tako postignut neki značajniji učinak.

2) *Kontaktni pritisak*. On jako varira jer se kreće od dvadesetak kp/cm^2 kod najmanjih do najviše $100 \text{kp}/\text{cm}^2$.



Sl. II.15 — Korelacija između težine bez dopunskog opterećenja i ukupne težine sa dopunskim opterećenjem (valjci sa ovčijim nogama — jezevi vučeni i samohodni)

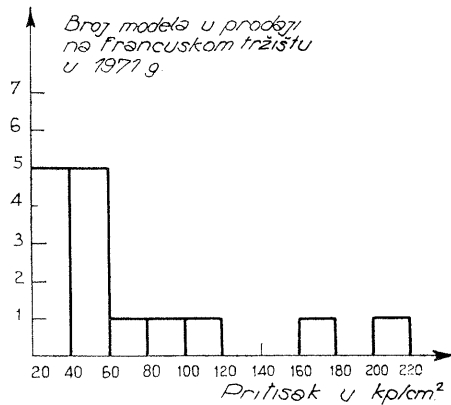
Ukazujemo na jedan uređaj za zbijanje ove vrste čiji pritisak dostiže $220 \text{kp}/\text{cm}^2$ (odgovara nozi-bodlji male površine: 14cm^2) a namenjen je sitnjenju zemljanog materijala pre zbijanja.

Problem kontaktnog pritiska obrađen je na histogramu (slika II.16) koji obuhvata petnaest modela opterećenih dopunskim teretom, sa koga se jasno uočava da postoje tri vrste ovih uređaja:

- oni koji odgovaraju pritiscima do oko 25 kp/cm²;
- oni koji odgovaraju pritiscima do oko 50 kp/cm²;
- oni koji odgovaraju pritiscima do oko 100 kp/cm².

3) *Širine na kojima je obavljeno zbijanje.* One variraju od 1,20 m do približno 5 m za uređaje koji su sastavljeni iz više međusobno povezanih valjaka.

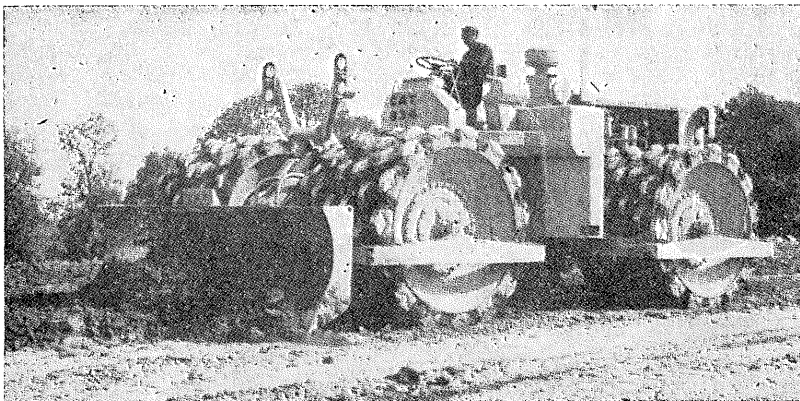
Ne bi vredelo izraditi histogram jer širine zbijanja variraju u funkciji od načina međusobnog povezivanja valjaka.



Sl. II.16 — Histogram broja modela sa navedenim pritiskom (valjci sa ovčijim nogama — ježevi vučeni i samohodni, oruda potpuno opterećena)

3.2.2. Samohodni valjci s ovčijim nogama-ježevi. Njihov broj počinje da se povećava u Francuskoj kao i obim primene. Njihove karakteristike slične su onima kod vučenih uređaja ove vrste.

Njihovo područje primene rezervisano je za velika gradilišta u vrlo razvijenim zemljama gde je moguće upotrebiti snažan motor samo za ovakvo vozilo (dok je motor vučenih uređaja ove vrste moguće iskoristiti i za druge vrste poslova). Ovakvi uređaji imaju znatno veću *pokretljivost* nego vučeni valjci ove vrste, bar ukoliko se



Sl. II.IV — Samohodni valjak s ovčijim nogama — jež: uređaj za zbijanje sa pokretnim zglobom ukupne težine 40 t (širina zbijanja 2,80 m; navedeni učinak 2000 m³/čas na gradilištu auto-puta A6 — preduzeće Deširon (Deschiron))

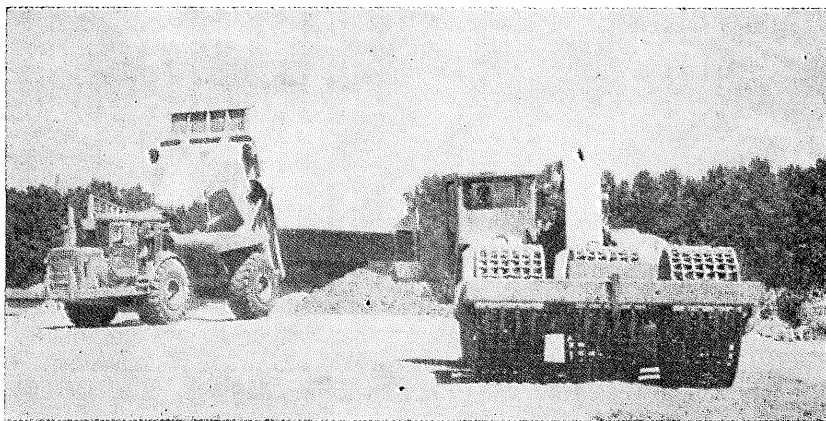
(Foto Bergerat-Monnoyeur)

ne radi o vrlo teškim vučenim valjcima koje samo traktor-guseničar može vući, i koji mogu da se koriste na svim vrstama zemljanih materijala.

3.2.3. Valjci sa rešetkom. Ova vrsta uređaja za zbijanje konstruisana je pre dvadesetak godina radi korišćenja u tzv. *retread* postupku. Njihove opšte karakteristike su slične onima kod vučenih valjaka sa ovčijim nogama, što će reći da i njihova šasija takođe nosi, posredstvom vučne rude, dva cilindra-valjka na istoj osovinu koji su postavljeni s jedne i druge strane rude. Međutim, oba cilindra umesto omotača sa bodljama imaju omotač od rešetke slične onoj na sitima za sejanje.

U odnosu na valjke sa ovčijim nogama, može se reći da su puni delovi zamenjeni šupljinama.

Pritisци koje čelične žice rešetke prenose na tlo vrlo su veliki tako da žice uspevaju da zdrobe najkrupnija zrna ukoliko ona nisu od veoma otpornih — čvrstih stena. Ovaj uređaj za zbijanje je, prema tome, naročito pogodan za zbijanje nasipa od mekanih stena (krečnjaci i marne).



Sl. II.V — Valjak sa rešetkom (grid roller): priključen na traktor C.A.T. DW21, sa tri valjka s rešetkom, širine 3 m, sa srednjim valjkom koji oscilira u vertikalnom smeru, na razdvojenim šasijama [gradilište auto-puta, deonica Vitrol—Le Pen—Mirabo (Vitrolles—Les Pennes—Mirabeau); preduzeće Valerian (Valérian)]. (Foto Bergerat-Monnoyeur)

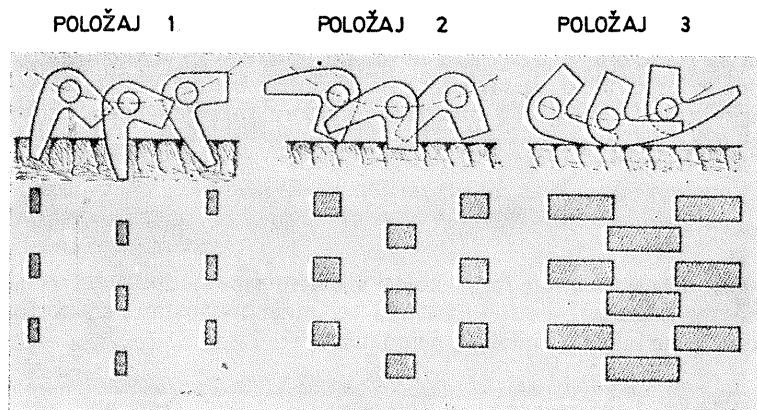
3.2.4. Tamping-valjci. Neki proizvođači su pustili u prodaju uređaje za zbijanje sa specijalnim oblikom nogu-bodlji koji se kreću velikom brzinom pri radu. Ovi uređaji su vrlo efikasni za zbijanje kreda (videti poglavlje IV.3.4.2).

3.2.5. Valjci sa segmentima. Umesto nogu-bodlji malog preseka, koriste se izduženi pravougaonici, pri čemu je duža zakrivljena strana luk kruga, a manja strana element izvodnice (generatriše).

Drugim rečima, valjak sa segmentima je prelazni uređaj između valjka sa ovčijim nogama (ježa) i valjka sa glatkim čeličnim točkovima.

Najoriginalnije i najinteresantnije rešenje bilo bi ono koje bi omogućavalo svakom segmentu (bodlji) da se okreće oko jedne ose paralelne sa osom valjka tako da može zauzeti položaj u kom se javlja kao ovčija noga, položaj u kome se javlja kao segment ili pak položaj u kome su svi segmenti položeni tako da se praktično

dobija valjak sa glatkim čeličnim točkovima. Svi ovi položaji se mogu javiti u sukcesivnim fazama istog zbijanja. Vrlo interesantan u vreme pojave (od tada ima više od 15 godina), imao je cenu koštanja koja je pri isporuci menjana.

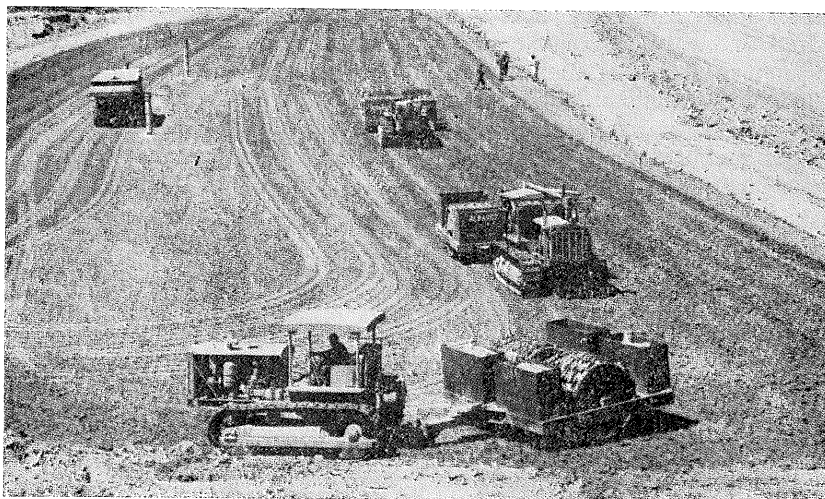


Sl. II.17 — Različiti položaji segmenata kod valjka sa pokretnim segmentima

3.3. Dopunska oprema

3.3.1. Dopunsko opterećenje. Sami valjci sa ovčijim nogama (ježeви) mogu se dopunski opterećivati na tri načina:

a) Sipanjem vode u cilindre — točkove (valjka). Nedostatak ovog postupka (slično kao i kod valjaka sa glatkim čeličnim točkovima) je što postoji opasnost od mržnjenja vode.



Sl. II.VI — Garnitura za sitnjenje i zbijanje peskovitoglinovitih šljunkova (marni) iz Stampjena (Stampien) sastavljena od valjaka sa bodljama i valjaka sa ovčijim nogama (kanal Diranse (Durance)) (Foto Baranger)

b) Punjenjem cilindara peskom. Ne samo da se na ovaj način otklanja prethodno naveden nedostatak već se povećava i težina zbog veće specifične težine peska u odnosu na specifičnu težinu vode.

c) Fiksiranjem dopunskog tereta (prostori-kasete za punjenje peskom ili za postavljanje teških betonskih blokova).

Valjci sa rešetkom se uglavnom ne mogu opterećivati u većoj meri; nekoliko proizvođača je predvidelo postavljanje, sa prednje i zadnje strane, kasete za teret malog kapaciteta. Ostali radije ostavljaju prostore za postavljanje blokova izgrađenih od betona sa gvozdanim opiljcima.

3.4. Razno

Potrebno je napomenuti da postoje i motorni-samohodni *valjci sa segmentima* i adaptacije sa segmentiranim točkovima na vučnim vozilima-traktorima sa gumenim točkovima umesto običnih pneumatika.

4. VALJCI SA GUMENIM TOČKOVIMA

4.1. Opšti deo

Posle prve pojave u Francuskoj 1950. godine, ova vrsta uređaja za zbijanje vrlo brzo je se nametnula zahvaljujući njihovim kvalitetima koji omogućavaju skoro univerzalnu upotrebu.

Sitnozrni kohezivni zemljani materijali ili slojevi kolovozne konstrukcije, prirodni šljunkovi ili obrađeni šljunkovi, površinske obrade ili asfaltne mešavine, podjednako odgovaraju za zbijanje ovom vrstom uređaja.

Jedino se isključuje zbijanje peskova uniformnog granulometrijskog sastava ovom vrstom uređaja. Potrebno je naglasiti da ti materijali često nisu u stanju da zadrže jednom postignute zapreminske težine (videti poglavlje V.5).

Ova naizgled opšta univerzalnost ne znači, međutim, da su ovi uređaji za zbijanje bez konkurencije.

S jedne strane oni nisu uvek najpogodniji uređaji za zbijanje svake vrste zemljanog materijala, najefikasniji i najekonomičniji. Potrebno je ipak istaći da bar na gradilištima srednje veličine izvođač radova pretpostavlja jednu vrstu univerzalnog uređaja za zbijanje, koji je pogodan za sve poslove, kompletnoj garnituri uređaja od kojih je svaki možda ekonomičniji u određenoj oblasti primene ali koji se zbog toga koristi samo mali broj časova, zbog čega je njegovo amortizovanje otežano ili koji bi, da bi se mogao iskoristiti na zadovoljavajući način, iziskivao česta premeštanja.

S druge strane, uređaji za zbijanje sa gumenim točkovima su sve više i više konkurentni uređajima sa vibracionim dejstvom koji imaju i sami skoro univerzalnu primenu (videti poglavlje II.5) i koji se zbog toga primenjuju u sve većoj meri, a glavni su im nedostaci, ograničeni doduše samo na izvesne vrste radova: preterana krutost površina kojima se vrši zbijanje materijala, što je nepodesno za izvesne radove na zbijanju, zatim troškovi eksploatacije (niža robustnost i kraći vek trajanja zbog toga) i teža tehnička primena.

Jedna od osnovnih karakteristika uređaja za zbijanje s gumenim točkovima i jedna od njegovih prednosti sastoji se u činjenici da je kontaktna površina sa zemljanim materijalom koji se zbija fleksibilna i da uređaj zbog toga ne stvara na zrnima zemljanog materijala ni preterano velika naprezanja koja nastaju usled koncentracije sila, ni nagle udare. Ne postoji, znači, opasnost od drobljenja ili sitnjenja agregata, što uređaj za zbijanje sa gumenim točkovima čini skoro nezamenljivim za površinske obrade i za slojeve kolovozne konstrukcije izrađene od relativno mekih agregata.

Drugo značajno preimućstvo ovih uređaja je jednostavno prebacivanje s mesta na mesto. Bilo da su vučeni ili samohodni, a naročito u drugom slučaju, moguće je njihovo prebacivanje putem znatnim brzinama, tako da je nepotrebna prikolica za njihov transport od gradilišta do gradilišta, što ih u pogledu vremena potrebnog za prebacivanje ne izdvaja mnogo od za sada najbržih standardnih gradilišnih mašina, kao što su npr. grejderi.

Zbog ove prednosti, koja je neuočljiva pri pokušaju da se izrazi *učinak* jednog uređaja za zbijanje, preduzimač ostvaruje veoma velike uštede (videti poglavlje V.3.3.1).

4.2. Opšti opis

Ova vrsta uređaja sastoji se uglavnom iz šasije koja formira kasete za dopunsko opterećenje ili na kojoj su kasete montirane. Kod samohodnih uređaja za zbijanje, na šasiji je ugrađen pogonski deo koji je manje ili više analogan onom kod valjaka sa glatkim čeličnim točkovima.

4.2.1. Sistem vešanja točkova. Šasija nosi točkove koji su postavljeni linijski u jednom ili više redova ali u najvećem vremenskom intervalu nezavisnih međusobno. Ovaj stepen međusobne nezavisnosti vrlo je značajan za dejstvo uređaja na zemljani materijal pri zbijanju.

Najbitniji deo uređaja za zbijanje je njegov *vozni deo* — *trap*, pošto se preko njega prenose na materijal za zbijanje opterećenja koja vrše njegovo zgušnjavanje i zbijanje. Ovaj vozni deo-trap povezan je za šasiju sistemom vešanja koji može imati sledeće oblike:

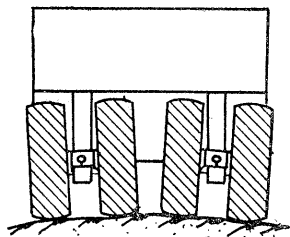
1) *Nedeformabilan sistem.* Sistem je nedeformabilan ako su veze točkova jednog sa drugim i sa šasijom takve da ne omogućavaju bilo kakvo znatnije relativno pomeranje centra točkova.

2) *Elastičan sistem.* Ovako se naziva sistem pri kome su međusobne veze točkova i točkova sa šasijom takve da omogućavaju znatnija relativna pomeranja, koja proističu iz elastičnih deformacija elemenata projektovanih u tu svrhu.

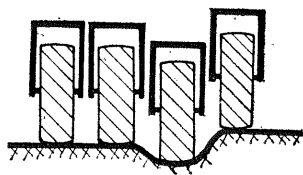
3) *Deformabilan sistem.* Po definiciji, veze između točkova i sa šasijom omogućavaju u ovom slučaju znatna relativna pomeranja, koja proističu iz načina povezivanja-uzglobljavanja, postavljanja kuglastih ležaja, hidrauličnih amortizera ili klizava, klizača i sl., koji su projektovani u tom cilju.

Većina valjaka sa gumenim točkovima poseduje vešanje deformabilnog sistema koji obezbeđuje, s jedne strane, da svi točkovi dobro naležu na tlo predviđeno za zbijanje i da se, s druge strane, stvara dejstvo gnječenja. Najklasičniji raspored je ako se grupišu po dva točka na balansirajući zglobovi. Ovaj balansirajući sistem je

povezan za osovinu (bolcn) paralelnu sa osom kretanja uređaja (slika II.18). Osovine svakog od dva međusobno povezana točka, umesto da su strogo upravne na osovinu (bolcn), formiraju sa njom ugao koji se ralikuje od 90° .



Sl. II.18



Sl. II.19

Jedan francuski proizvođač valjaka s gumenim točkovima pokušao je da napravi sistem vešanja koji bi stvarao što je moguće uniformnije kontaktne pritiske, od jednog točka do drugog. Zbog toga je svaki točkov prednjeg voznog trapa postavio na hidraulični klipni sistem tako da su svi klipovi međusobno bili povezani. Na taj način je ujednačavan pritisak u svim hidrauličnim klipovima, a težina uređaja ravnomerno raspodeljivana na sve točkove (slika II.19). Ujednačavanje pritiska između točkova zadnjeg voznog trapa postizano je na drugi način, a ovaj sistem je označen kao *izostatičan*, što ima drugačije značenje od značenja ove reči u domenu otpornosti materijala.

Nazvaćemo zbog toga, saglasno definiciji koja je usvojila grupa za *zbijanje* C.E.M.A.G-a, *izostatičnošću* sposobnost jednog uređaja za *zbijanje* postignutu vešanjem da u manjoj ili većoj meri uniformno raspodeli svoju ukupnu težinu na pojedine točkove, bez obzira na postojanje različitih neravnina u reljefu tla koje se *zbija*.

Da bi detaljnije odredili ovu izostatičnost, držeći se i dalje preporuke C.E. M.A.G-a, prikazaćemo to svojstvo dijagramom koji pokazuje, *za svaki točkov uređaja za zbijanje*, kada je on denivelisan sa drugačijom visinom u odnosu na ostale koji su oslonjeni na tlo krute površine, promenu odnosa:

$$\frac{(N - 1) P_i}{P_T - P_i}$$

opterećenja P_i koje prenosi označeni točkov i -tog reda od srednjeg teorijskog opterećenja $N - 1$ ostalih točkova

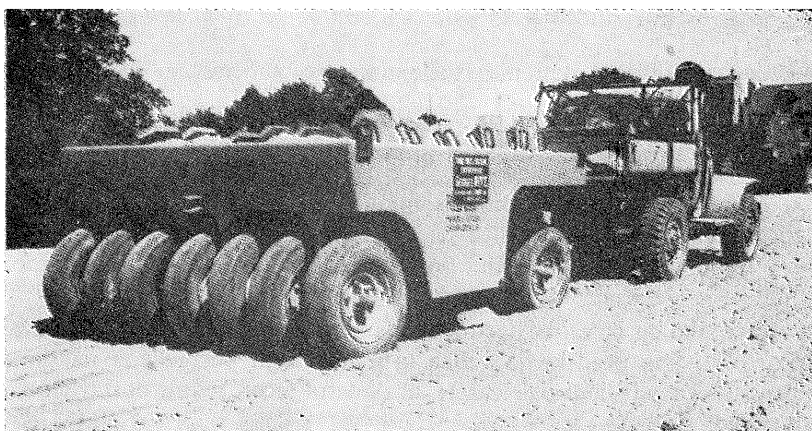
$$\left(\text{budući da je to srednje opterećenje } \frac{P_T - P_i}{N - 1} \right),$$

gde je P_T ukupna težina, a N broj točkova. Na tom dijagramu naneće se na apscisu denivelacija, koja će se smatrati pozitivnom ukoliko je iznad referentne površine (površina usvojena kao reper pri posmatranju), a na ordinatu odnos:

$$k = \frac{(N - 1) P_i}{P_T - P_i}.$$



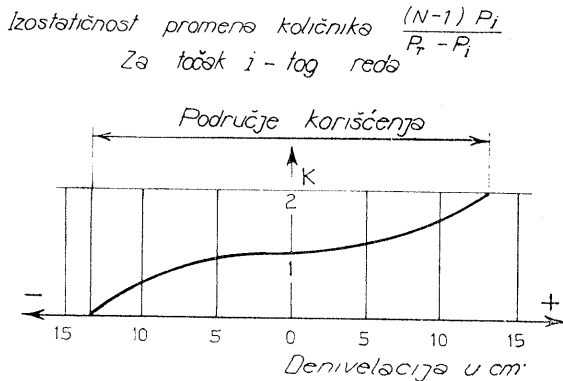
Sl. II.VII — Zbijanje bankine auto-puta „Izopaktorom” (Isopactor) od 27 t (Auto-put Al). Uočavaju se specijalni hidraulični uređaji kojima je moguće vertikalno pomicanje točkova. *(Foto Baranger)*



Sl. II.VIII — Vučeni valjak sa gumenim točkovima (ukupno 13 točkova). Minimalna težina 2 t a maksimalna 15 t; širina zbijanja 2,0 m uz mogućnost pomeranja točkova oko vertikalne ravni

(Foto-Richier)

Ograničićemo se pri tome na veličine k manje od 2 (slika II.20).



Sl. II.20

Sigurno da je teško doneti ispravan sud o prednostima i nedostacima dva deformabilna sistema koji su upravo prikazani sve dok se kontrolna ispitivanja zbijenosti budu obavljala sa poljima grešaka koja su istog reda veličine kao i moguća razlika ovih dejstava. Ujednačavanje pritisaka između točkova po svojoj prilici je poželjno. Može se, međutim, primetiti da dejstvo klataćeg sistema može imati odgovarajuća pozitivna svojstva. U poglavlju I.6.4.2. izložili smo uticaj horizontalnih naprežanja na koja je naročito ukazao Luter [V]. U prilog ovoj tezi moglo bi se navesti Ansarvo (Ansart) mišljenje. On je uočio na jednom gradilištu da je se povećala efikasnost „izostatičnog“ uređaja za zbijanje posle delimičnog blokiranja sistema izostatičnosti.

4.2.2. Vrste uređaja za zbijanje i njihove težine. Podelićemo ovu vrstu valjaka na:

- vučene valjke s gumenim točkovima postavljenim u jednom redu;
- vučene valjke s gumenim točkovima postavljenim u dva reda (niza);
- samohodne motorne valjke s gumenim točkovima.

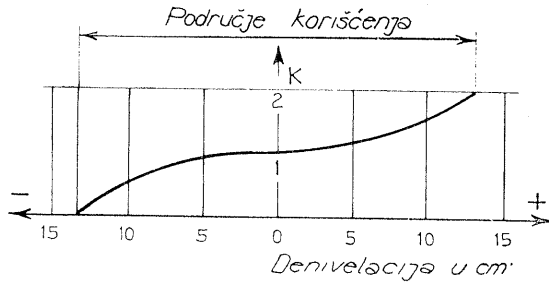
Ako se većina ovih uređaja međusobno i ne razlikuje u većoj meri po njihovim dimenzijama u poprečnom smislu, jer svi zadržavaju putni gabarit od 2,5 m, a često se u tome veoma približavaju, po visini i težinama se, suprotno tome, veoma razlikuju.

U stvari, ako su izvesni vučeni valjci i male težine, većina vučenih valjaka sa gumenim točkovima predstavlja velika oruđa koja su postavljena na samo jedan red točkova koji razdvajaju dve kasete za dodatni teret, jednu postavljenu napred, a drugu nazad.

1. *Vučeni valjci sa samo jednim redom točkova.* Najteži uređaji sa gumenim točkovima od svih vučenih valjaka ove vrste su oni sa jednim redom točkova. U tablici II prikazana je raspodela težina po točkovima za osam odabranih modela.

Ograničićemo se pri tome na veličine k manje od 2 (slika II.20).

Izostatičnost promene količnika $\frac{(N-1) P_i}{P_T - P_i}$
 Za tačku i -tog reda



Sl. II.20

Sigurno da je teško doneti ispravan sud o prednostima i nedostacima dva deformabilna sistema koji su upravo prikazani sve dok se kontrolna ispitivanja zbijenosti budu obavljala sa poljima grešaka koja su istog reda veličine kao i moguća razlika ovih dejstava. Ujednačavanje pritisaka između tačkova po svoj prilici je poželjno. Može se, međutim, primetiti da dejstvo klatećeg sistema može imati odgovarajuća pozitivna svojstva. U poglavlju I.6.4.2. izložili smo uticaj horizontalnih naprežanja na koja je naročito ukazao Luter [V]. U prilog ovoj tezi moglo bi se navesti Ansarvo (Ansart) mišljenje. On je uočio na jednom gradilištu da je se povećala efikasnost „izostatičnog“ uređaja za zbijanje posle delimičnog blokiranja sistema izostatičnosti.

4.2.2. Vrste uređaja za zbijanje i njihove težine. Podelićemo ovu vrstu valjaka na:

- vučene valjke s gumenim točkovima postavljenim u jednom redu;
- vučene valjke s gumenim točkovima postavljenim u dva reda (niza);
- samohodne motorne valjke s gumenim točkovima.

Ako se većina ovih uređaja međusobno i ne razlikuje u većoj meri po njihovim dimenzijama u poprečnom smislu, jer svi zadržavaju putni gabarit od 2,5 m, a često se u tome veoma približavaju, po visini i težinama se, suprotno tome, veoma razlikuju.

U stvari, ako su izvesni vučeni valjci i male težine, većina vučenih valjaka sa gumenim točkovima predstavlja velika oruđa koja su postavljena na samo jedan red točkova koji razdvajaju dve kasete za dodatni teret, jednu postavljenu napred, a drugu nazad.

1. *Vučeni valjci sa samo jednim redom točkova.* Najteži uređaji sa gumenim točkovima od svih vučenih valjaka ove vrste su oni sa jednim redom točkova. U tablici II prikazana je raspodela težina po točkovima za osam odabranih modela.

TABLICA II

Težine uređaja za zbijanje s gumenim točkovima raspoređenim u samo jednom redu

Ukupna težina (t)	Broj točkova	Težina po točku (t)
30	4	7,5
45	4	11,25
54	4	13,50
60	4	15
68	4	17
91	4	22,75
100	4	25
113	5	24,20

Pozivajući se na Simonovu teoriju (videti poglavlje I.4), razumljivo je da su ovi uređaji namenjeni zbijanju materijala u slojevima velike debljine, zbog čega se naročito mnogo koriste pri izradi velikih nasipa. Njihova upotreba u putogradnji je zbog toga ređa nego pri izgradnji zemljanih brana. Ona je svedena na izgradnju visokih nasipa za auto-puteve i na one koji su značajniji zbog velikih kubatura nego zbog velikih visina, kao i za izradu aerodromskih pista.

Katkad ih koriste i za „probno valjanje” (proof-rolling) (videti poglavlje III.2.6.1.).

Jasno je da ova vrlo teška oruđa za zbijanje ostavljaju pri prolazu vrlo duboke kolotrage (tragove) zbog čega je neophodno ispitati da li je njihova prohodnost i pokretljivost zadovoljavajuća.

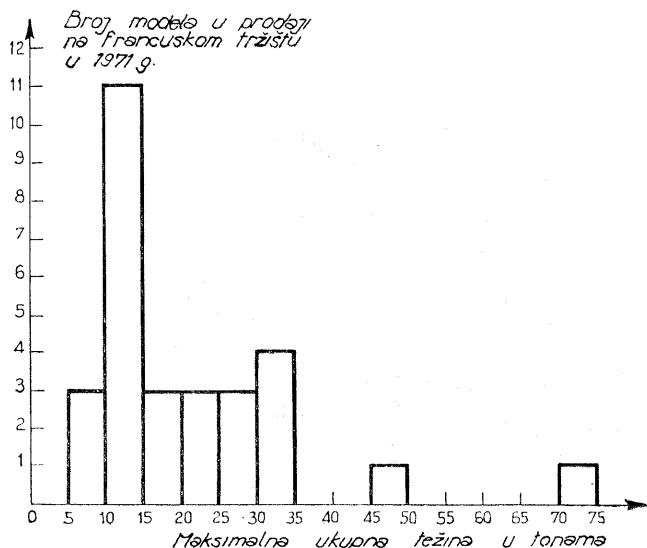
2. *Vučeni valjci s gumenim točkovima postavljenim u dva reda.* Oni predstavljaju najmalobrojniju vrstu ovih uređaja i koriste se u manjoj meri od samohodnih motornih valjaka ove vrste jer su neefikasniji i nefleksibilniji za korišćenje; to su u

TABLICA III

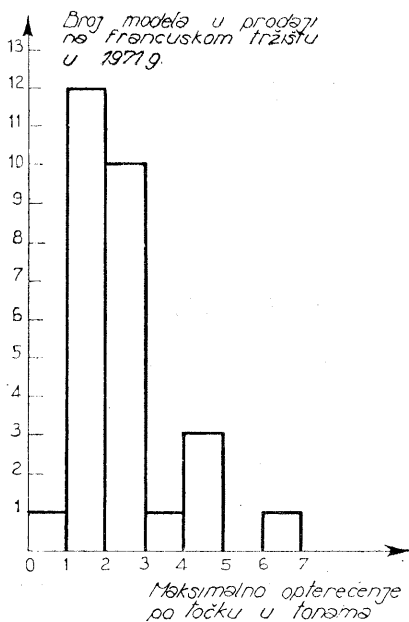
Težine uređaja za zbijanje se gumenim točkovima postavljenim u dva reda (niza)

Ukupna težina (t)	Broj točkova		Prosečna težina (t)
	Prednji	Zadnji	
8	4	5	0,88
10,9	5	6	0,99
11	3	4	1,57
14	6	7	1,07
14,7	6	7	1,13
15	6	7	1,15

stvari oruđa srednje teška ili čak i laka, koja poseduju veliki broj točkova. Prosečno opterećenje po točku je, znači, vrlo malo a efikasnost po dubini postaje vrlo brzo zanemarljivo mala, tj. neznatna. Treba ih koristiti samo za zbijanje vrlo tankih slojeva ili za postizanje predzbijanja (prethodnog zbijanja) kojim se omogućava rad drugim vrstama uređaja za zbijanje.



Sl. II.21 — Histogram broja modela navedene maksimalne ukupne težine (samohodni valjak s gumenim točkovima)



Sl. II.22 — Histogram broja modela koji imaju navedeno maksimalno opterećenje po točku (samohodni valjci s gumenim točkovima)

Zbog toga ne treba da nas čudi činjenica da postepeno nestaju iz kataloga proizvođača i da se umesto njih preporučuju samohodni motorni valjci s gumenim točkovima ili pak vibracioni valjci.

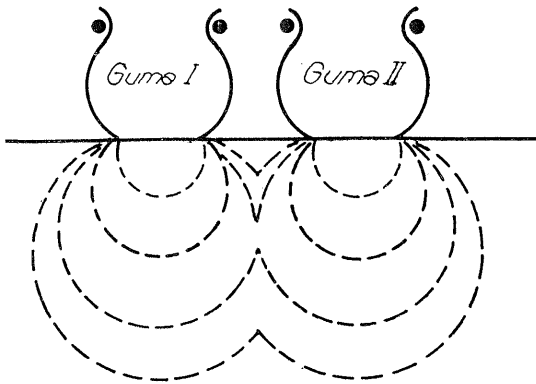
3. *Samohodni motorni valjci s gumenim točkovima.* Proizvode ih mnogi konstruktori (proizvođači) pri čemu svaki od njih ima po nekoliko modela. Najčešće se koriste oni sa maksimalnim ukupnim težinama od oko 15 tona (videti sliku II.21).

Međutim, teški valjci (sa težinama preko 30 tona), koji su bili retki 1968. godine, sve češće se koriste tako da postaju skoro standardni na mnogim gradištima.

Značajan razvoj i primena objašnjavaju se s jedne strane opštom tendencijom u primeni samohodnih motornih valjaka, na račun vučenih (videti našu napomenu u poglavlju II.3.2.2), ali i željom izvođača radova (preduzimača) da koriste — *raspolažu teškim uređajima za zbijanje*. Ti uređaji za zbijanje mogu se zaista koristiti pri obimnim zemljanim radovima gde mogu vršiti zbijanja debljih slojeva. Podsećamo najzad da Simonova teorija pokazuje (poglavlje I.4) da su opterećenja po točku interesantnija u tom slučaju od ukupnih težina. Pokazaćemo uz to u poglavljima IV.5, a naročito IV.6, značaj koji za zbijanje slojeva savremenih kolovoznih konstrukcija imaju valjci s gumenim točkovima velikog opterećenja po točku (povezani sa vibracionim uređajima). Ne treba se iznenaditi, takođe, ni uočavanjem izvesne evolucije ka visokim opterećenjima po točku.

Ova evolucija je, doduše, vrlo skromna, jer histogram — prikazan na slici II.22 — pokazuje da većina uređaja za zbijanje sa gumenim točkovima ima opterećenje po točku manje od 3 tone. Retki su, dakle, modeli koji omogućavaju postizanje velike efikasnosti, koju poseduju teški valjci sa gumenim točkovima.

4.2.3. Opterećenje po jedinici dužine osovine. Potrebno je napomenuti da se na izvesnoj dubini (a ta dubina nije mnogo velika) linije pritiska dva međusobno bliska točka preklapaju (slika II.23).



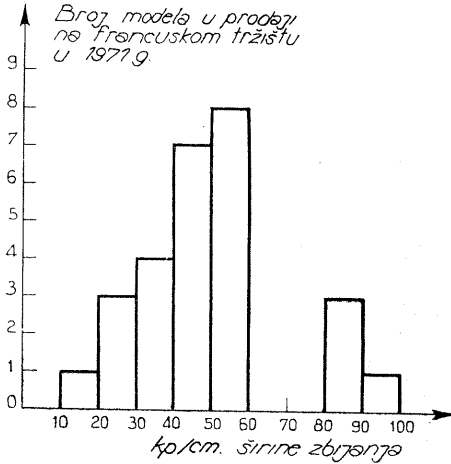
Sl. II.23 — Linije istog pritiska po dubini ispod dva gumena točka preklapaju se međusobno

To je i razlog zbog kog opterećenje po točku nije dovoljno za definisanje dejstva valjka. Luter smatra da je neophodno u tu svrhu koristiti pojam opterećenja po jedinici dužine osovine. Potrebno je, razume se, odrediti dužinu osovine kao odstojanje između spoljnih bokova (profila) krajnjih guma na jednoj istoj osovini.

Za najdužu osovinu ova oznaka se poklapa sa širinom zbijanja (radnom širinom) definisanom u poglavlju II.1.3.4. Za kraću osovinu, ona je najčešće kraća za jedan točak.

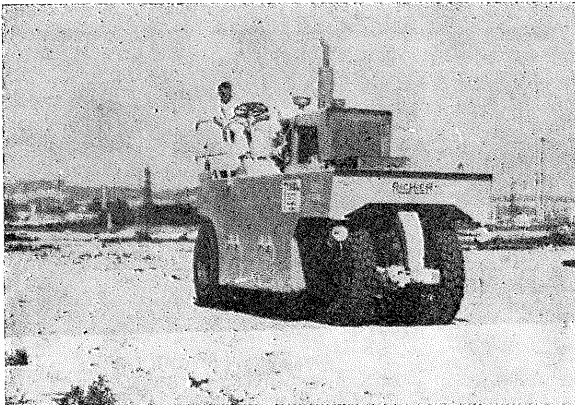
Na slici II.24 pokazano je jasno da većina uređaja za zbijanje ove vrste ima opterećenje po jedinici dužine osovine koje se nalazi između 30 i 60 kp. Retki su modeli sa većim opterećenjem.

Upoređenje ove veličine sa onom koja je navedena u poglavlju II.2.4, a odnosi se na valjke sa glatkim čeličnim točkovima, pokazuje da su opterećenja po jedinici ukupne dužine ista.



Sl. II.24 — Histogram broja modela koji imaju navedeno opterećenje po santimetru zbijene širine (samohodni valjak s gumenim točkovima pri maksimalnom opterećenju)

Veća efikasnost dejstva po dubini valjaka sa gumenim točkovima objašnjava se samo time što se mesto radne širine koristi širina pokrivanja, odnosno preklapanja (videti poglavlja II.1.3.4 i II.1.3.5) i njihov odnos γ (videti poglavlje II.1.3.6).



Sl.II.IX — Samohodni valjak s gumenim točkovima (sedam točkova) ukupne težine 17 do 35 t. Mogućnost kretanja točkova izvan vertikalne ravni pri zbijanju, kao i širina zbijanja od 2,15m. (Foto Richier)

Nažalost mi ne raspoložemo podacima izraženim veličinom opterećenja po širini pokrivanja.

4.2.4. Kontaktni pritisak. Pozivajući se na Simonovu teoriju (videti poglavlje I.4) podsećamo da kontaktni pritisak uslovljava veličinu zapreminske težine u suvom stanju postignute u prvim santimetrima od površine sloja.

Na nesreću, teško je odrediti kontaktni pritisak: on nije jednak unutrašnjem pritisku u gumama i zavisen je od deformabilnosti zemljanog materijala koji se zbija.

Paramitioti (Paramythioti) [IV] je proučavao kontaktni pritisak na taj način što je pritiskivao točak na zemljani materijal i merio površinu naleganja. Bez detaljnijeg ulaženja u istraživanja koja je obavio, navešćemo tri Paramitiotijeva zaključka:

a) postoji znatno odstupanje između tako izmerenog pritiska i onog koji je određen na krutoj nedeformabilnoj površini; ovo odstupanje se može kretati od jednostrukog do dvostrukog;

b) pri konstantnom pritisku značajnije promene unutrašnjeg pritiska u gumama od manjeg su značaja na stvarni kontaktni pritisak;

c) za jednak unutrašnji pritisak u gumama uticaj ukupnog opterećenja znatno umanjuje stvarni kontaktni pritisak.

Potrebno je napomenuti da su navedena istraživanja vrlo delikatna i da se sa nekim zemljanim materijalom, koji je deformabilniji ili nedeformabilniji od onoga koje je Paramitioti (Paramythioti) proučavao, mogu postići drugačiji rezultati.

Znači, krutost zemljanog materijala menja se u toku zbijanja, tako da je pojam stvarnog kontaktnog pritiska vrlo teško i delikatno iskoristiti.

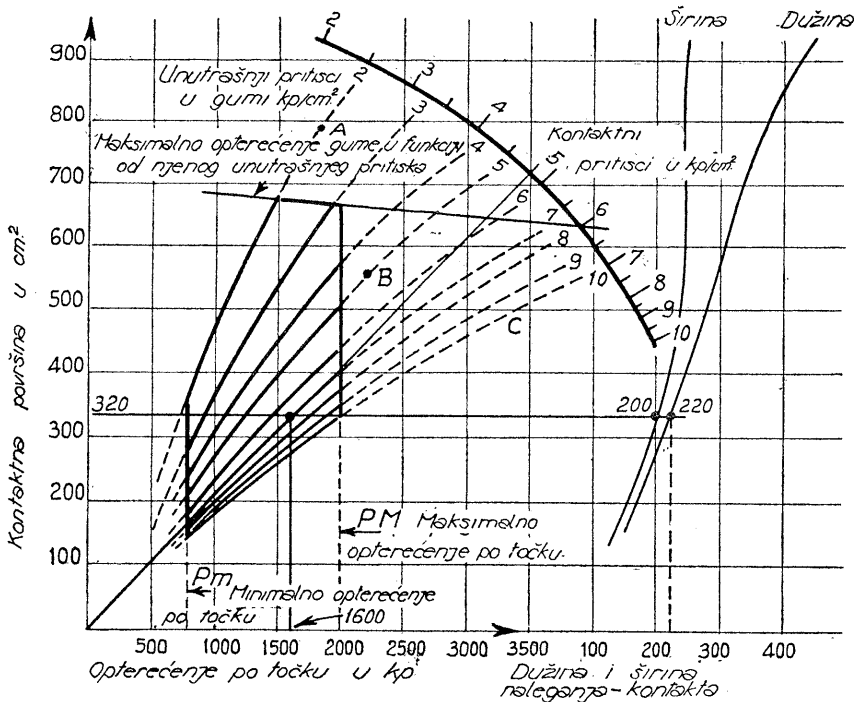
Jasno da je mnogo jednostavnije, no na nesreću i manje realno, obaviti takva merenja na krutoj podlozi. Koristeći se Simonovim idejama, radna grupa C.E. M.A.G.-a za *oblast zbijanja* predvidela je korišćenje narednog dijagrama koji je dobijen merenjem, za različite veličine unutrašnjeg pritiska u gumama, ukupne kontaktne površine (to je deo površine koja obuhvata sve kontaktne tačke samo u slučaju ako je guma glatka — bez šara). Ako guma ima i šare, površina naleganja se dobija kao suma pojedinačnih kontaktnih površina.

Prema tome, na apscisu se nanosi opterećenje P_i koje prenosi guma, tj. opterećenje na točak br. i , a na ordinatu površina S . Zatim se crta (slika II.25) jedan luk kruga — čiji se centar poklapa sa koordinatnim početkom — na koji su nanete veličine kontaktnog pritiska. Na taj način se svaki kontaktni pritisak nalazi na radijalnoj pravoj koja povezuje odgovarajuću veličinu kontaktnog pritiska i koordinatni početak.

Ovaj dijagram takođe sadrži:

- maksimalni unutrašnji pritisak u gumi koji navodi proizvođač guma;
- minimalni unutrašnji pritisak u gumi, ako postoji, tj. ako proizvođač guma navodi takav podatak;
- na liniji naznačeno maksimalno dozvoljeno opterećenje gume u funkciji od njenog unutrašnjeg pritiska koje daje proizvođač;
- maksimalno prosečno teorijsko opterećenje P_M i minimalno P_m koje se može postići s uređajem za zbijanje.

Moguće je, takođe, u drugačijoj razmeri naneti dužinu i širinu površine naleganja (kontaktne površine).



Sl. II.25

Primer: opterećenje po tačku: 1,6 t; unutrašnji pritisak u gumu: 7 kp/cm²; kontaktna površina: 320 cm²; kontaktni pritisak: 4,8 kp/cm²; širina površine naleganja: 200 mm, a dužina 220 mm.

Pritisak u svakoj tački kontaktne površine može znatno odstupati od prosečnog pritiska, pa čak može biti iskrenut u odnosu na kontaktnu ravan. Nije ga moguće meriti.

Postupa se na sledeći način:

a) Određuje se unutrašnji pritisak u gumama otpočinjući, npr., sa maksimalnim pritiskom, pa se potom menja opterećenje P_i ; za svaku vrednost P_i meri se S . Zatim se crta linija $S = f(P_i)$ koja je ograničena na dole (odozdo) minimalnim opterećenjem po tačku, a na gore maksimalnim opterećenjem po tačku.

b) Postupak se ponavlja sa drugačijim unutrašnjim pritiskom u gumama i na taj način se crta druga linija ograničena na dole na isti način. Sa gornje strane (odozgo) je ova linija ograničena ili maksimalnim opterećenjem po tačku, ili linijom koja izražava maksimalno dozvoljeno opterećenje u funkciji od unutrašnjeg pritiska u gumama.

c) Na taj način se dobija mreža nacrtanih linija koje daju S u funkciji od P_i za svaki unutrašnji pritisak u gumama zaustavljajući se pri tome ili na minimalnom, ako ga je proizvođač guma naveo, ili na dovoljno niskom unutrašnjem pritisku ispod koga bi bilo neinteresantno ići.

Na taj način se dobija na dijagramu površina unutar koje se nalazi jedna reprezentativna tačka. Ovakav dijagram omogućava poznavanje kontaktnog pritiska u svakom slučaju (na krutoj podlozi).

Pretpostavimo npr., da smo odabrali opterećenje po točku P_1 od 1,6 tona i unutrašnji pritisak u gumama od 7 kp/cm^2 . Sa dijagrama se očitava kontaktna površina od 320 cm^2 . Nanoseći je na odgovarajuće odstojanje od koordinatnog početka, očitava se sa linije kontaktnih pritisaka da je on (kontaktni pritisak) $4,8 \text{ kp/cm}^2$. Mogu se odrediti i odgovarajuće širine i dužine kontaktne površine naleganja koje za konkretan slučaj iznose 200 mm (širina) i 220 mm (dužina).

Napomenućemo najzad da promena kontaktne površine (naleganja) gume sa zemljanim materijalom koji se zbija utiče na oznaku preklapanja (videti poglavlje II.1.3.3).

4.2.5. Glatke gume ili gume sa dubokim šarama (tip za građevinarstvo). Prednosti i nedostaci ove dve vrste guma su:

a) Gume sa dubokim šarama rastresaju dva ili tri prva santimetra na površini sloja koji se zbija. U stvari, mala klizanja koja se javljaju na površini naleganja smiču zemljani materijal, što se događa u manjoj meri kod glatkih guma ili guma sa manjim šarama.

To je nedostatak ograničenog značaja jer će taj sloj biti kasnije pokriven novim, a gornji deo će se naknadno zbiti indirektno — preko novog sloja. Jedino u slučaju kad taj sloj neće biti prekriven novim, treba preduzeti odgovarajuće mere. U takvom slučaju najbolje je koristiti glatke gume koje se, u izvesnom broju slučajeva, same po sebi nameću pošto ne ostavljaju kolotrage (*primer*: valjanje asfaltnih mešavina).

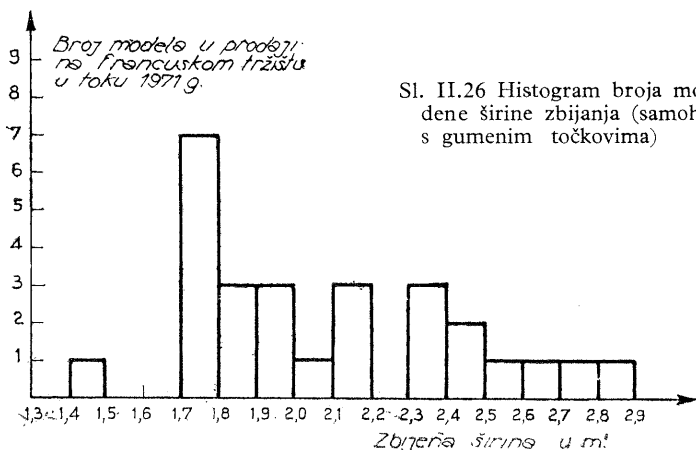
b) Suprotno tome, gume sa dubljim šarama izazivaju dejstvo gnječenja, koje se smatra kao povoljno iako ničim nije dokazano.

c) Najzad, gume sa dubljim šarama su pogodne jer obezbeđuju bolje prenošenje vučne sile ili bolje prijanjanje pri kretanju po vlažnom kolovozu.

Luter [V] preporučuje korišćenje glatkih guma za zbijanje asfaltnih mešavina, a gume građevinarskog tipa za zemljane radove.

Mi smo prikazali samo prednosti i nedostatke guma ekstremne vrste (potpuno glatke ili sa dubokim šarama). Moguće je, takođe, koristiti i gume s normalnim šarama koje imaju prethodno pobrojane prednosti ili nedostatke ali ne u tolikoj meri.

4.2.6. Zbijena širina. Sa slike II.26 se vidi da proizvođači uređaja za zbijanje najčešće koriste širine zbijanja između 1,7 i 2 m.



Sl. II.26 Histogram broja modela navedene širine zbijanja (samohodni valjak s gumenim točkovima)

Nekoliko uređaja premašuje gabarit propisan francuskim zakonom o putevima. Neki konstruktori su predvideli posebne sisteme koji omogućavaju povećanje gabarita u vreme rada i njegovo smanjenje pri prebacivanju sa gradilišta na gradilište.

4.3. Dopunska oprema

Savremeni uređaji za zbijanje, bar samohodni, sadrže dopunsku opremu, od kojih se neka smatra kao *obavezna*.

4.3.1. Osnovna je ona koja omogućava *promenu unutrašnjeg pritiska u gumama pri radu, tj. u toku kretanja*. To nije u stvari zbog toga što postoji potreba da se pritisak menja u toku samog kretanja valjka, već što to lako smanjenje pritiska omogućava da se promena pritiska *zaista* i obavi na gradilištu.

Potreba da se otpočne sa zbijanjem sa malim pritiskom radi postizanja predzbijanja a zatim da se ono poveća da bi se završilo zbijanje i obezbedila krutost sloju koji je ugrađen proizilazi iz onog što je navedeno u poglavlju I.4. Potrebno je, znači, često vršiti promene unutrašnjeg pritiska u gumama na samom gradilištu. Pošto te promene pritiska predstavljaju znatan vremenski gubitak, vozači valjaka su protiv njih. Izvođač radova opet, sa svoje strane, smatraće ovaj gubitak vremena kao pad učinka koji ga skupo košta. Pošto mu visok unutrašnji pritisak u gumama smeta da obavi prve prolaze, on će se zadržati na srednjem pritisku i, na žalost, nikada neće završiti zbijanje pri visokom unutrašnjem pritisku.

Jedini lek tome je da se koriste na gradilištu istovremeno dva uređaja za zbijanje; ovaj gubitak mnogostruke sposobnosti korišćenja (polivalentnosti) je vrlo štetan jer dovodi do nedovoljnog iskorišćenja uređaja za zbijanje.

Moguće je, *zaista*, primetiti u vezi s ovim gledištem da se pri postupku zbijanja na gradilištu stvarno događa da uređaj za zbijanje sukcesivno prelazi preko delova zemljanog materijala koji su upravo razastrti, preko delova koji su bili razastrti nešto ranije pa su zbog toga već delimično zbijeni i na, kraju, preko zona koje su već dosta dobro zbijene. Unutrašnji pritisak u gumama bi trebalo zbog toga menjati u svakom trenutku, što je praktično neizvodljivo.

Zbog toga je korist od promene pritiska još uvek sporna.

4.3.2. *Opterećenje i rasterećenje*. Svaka dopuna i rešenje koje omogućava brzo i lako postavljanje i skidanje dopuskog tereta vrlo je korisno. Ako je ovaj postupak dugotrajan i težak, vozač, šef gradilišta i preduzimač nastoje da ga ne primenjuju. Iz prethodno navedenih razloga, nikad neće obavljati zbijanje sa maksimalnim opterećenjem, pa će na taj način umanjiti efikasnost uređaja za zbijanje.

4.3.3. *Kvašenje guma*. Upotreba valjaka sa glatkim čeličnim točkovima izazvala je potrebu za kvašenjem točkova. Kada je primena valjaka sa gumenim točkovima proširena i na asfaltne slojeve, verovalo se da je takav dodatak neophodno postaviti i na ove uređaje za zbijanje. Međutim, videlo se da je to nepotrebno, jer je postizani efekat bio suprotan očekivanom: danas se zagrevanjem točkova onemogućava lepljene asfalta za njih.

4.3.4. Prethodno zagrevanje guma. Ono nam se danas čini znatno korisnijim od kvašenja. Smatramo da se zbijanje asfaltnih mešavina mora obavljati korišćenjem najpre uređaja sa gumenim točkovima; da bi se onemogućilo lepljenje asfaltnog agregata za gume, dovoljno je da one budu zagrejane do temperature koja se mora odrediti za svaki konkretan slučaj, ali koja je najčešće reda veličine 80°C. Budući da su i same asfaltne mešavine zagrejane, to se najčešće postiže automatski posle nekoliko prolaza valjka.

Katkad se, međutim, događa da je temperatura vazduha posebno niska ili da vetar rashlađuje točkove, tako da oni ne mogu da dostignu potrebnu temperaturu.

Dovoljno je u takvom slučaju postaviti *zaštitni omotač* oko točkova da bi se na taj način onemogućilo njihovo rashlađivanje. (slika IV.V).

Moguće je primeniti i mere za njihovo prethodno zagrevanje, da bi točkovi imali potrebnu temperaturu još na početku zbijanja. Za to je moguće upotrebiti topli vazduh ili izduvne gasove iz motora, toplu vodu ili aparaturu za zagrevanje infracrvenim zračenjem.

Ovi specijalni dodaci ne koriste se za sada u većoj meri i, po našem saznanju, ne koriste se industrijski.

Verovatnija je orijentacija na iznalaženje proizvoda koji će biti nanošeni na gume radi sprečavanja lepljenja bitumenom obavijenog agregata. Pokušalo se sa korišćenjem silikona u tu svrhu. U takvom slučaju potrebno je proveriti da li ti proizvodi imaju štetno dejstvo na vezivo asfaltne mešavine. Ako je to slučaj, neophodno je da se primeni uređaj za rasprašivanje.

4.3.5. Uređaj za rasprašivanje. Ovaj uređaj omogućava da se na početku zbijanja, ili možda čak u svakom trenutku kad se za tim ukaže potreba, rasprašivanjem nanese na površinu guma sredstvo koje sprečava prijanjanje bitumenom obavijenog agregata za gume. Rasprašivanje se postiže pod pritiskom.

4.3.6. Sistemi za obezbeđenje. Na dubokim kasetama za teret porebno je katkad postaviti rešetku, da bi se sprečilo da neko u njih ne upadne ili se oklizne.

Potrebno je takode postaviti i branik koji sprečava povrede i štiti radnika koji radi oko uređaja za zbijanje ako postoji mogućnost da ga vozač ne primeti.

4.3.7. Komandno mesto — kabina. Konceptija i položaj komandnog mesta vrlo je značajna kod samohodnih motornih uređaja za zbijanje. Komoditet i udobnost vozača nemaju samo socijalni cilj: oni, u stvari, pojačavaju efikasnost uređaja za zbijanje i bezbednost pri njegovom korišćenju.

Preglednost radnog polja uređaja za zbijanje povećana je dovitljivošću stručnjaka i pravilnim izborom položaja kabine i vozačevog sedišta koje je prebačeno na bok, ili duplim komandama koje omogućavaju vozaču da se prebacuje napred i nazad, zavisno od smera vožnje, itd. Postavljanjem kabine, koja je često pokretna, tj. može da se skida, štiti se vozač od nevremena.

5. VIBRACIONI VALJCI

5.1. Opšti deo

Uređaji za zbijanje vibracionim dejstvom pojavili su se na tržištu znatno posle uređaja za zbijanje statičkim dejstvom.

Smanjenjem ili čak otklanjanjem trenja između zrna, vibracija olakšava zbijanje, kao što pokazuje njeno korišćenje pri zbijanju (povećanju gustine) betona. Ona omogućava znatna dejstva po dubini, naročito ako je uređaj za zbijanje težak.

Ova vrsta uređaja za zbijanje naročito je pogodna za zbijanje materijala sa visokim uglom unutrašnjeg trenja, što znači da je njihovo područje korišćenja upravo pri izradi slojeva kolovozne konstrukcije.

Potrebno je ipak napomenuti da je njihova efikasnost na površini neznatna i da je zbog toga savetno da se njihovo dejstvo kompletira dejstvom uređaja za zbijanje sa gumama visokog unutrašnjeg pritiska.

5.2. Opšti opis i klasifikacija

Aktivni deo ove vrste uređaja je valjak koji se kreće po zemljanom materijalu predviđenom za zbijanje u kome izaziva, zahvaljujući vibracionom mehanizmu, oscilatorno kretanje. Pritisak koji se prenosi na zemljani materijal varira između dve vrednosti — maksimalne i minimalne — dok srednja vrednost proističe iz statičkog opterećenja koje prenosi valjak.

Valjak može biti izložen i rotacionom kretanju kojim se omogućava kretanje — napredovanje pri radu celog uređaja za zbijanje. Što se tiče samog vibracionog mehanizma, on se sastoji od ekscentričnih masa (ili ekscentra) koje se okreću velikom brzinom.

Sve češće je moguće regulisati i menjati ekscentricitet ekscentra i brzinu rotacije, što omogućava da se po potrebi menja amplituda vibracije i njena frekvencija. Pri tome se primećuje sadašnja tendencija da se radije menja amplituda nego frekvencija.

Razlikovaćemo:

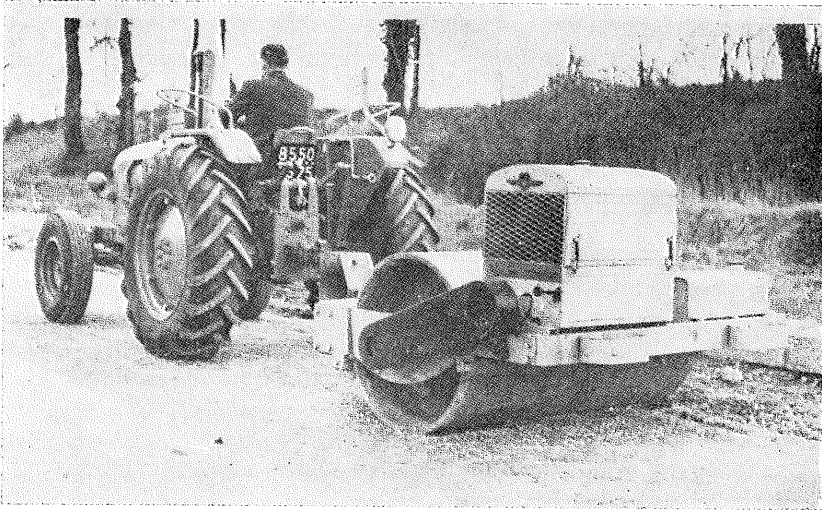
- *Lake vibracione valjke sa jednim točkom*, koji poseduju samo jedan cilindričan točak;
- *Tandem vibracione valjke*, koji poseduju dva glatka čelična cilindrična točka, od kojih je samo jedan vibracioni;
- *Dvostruke vibracione valjke*, koji sadrže dva glatka čelična cilindrična točka, oba vibraciona;
- *Teške vibracione valjke sa jednim točkom*, vučene ili ugrađene na traktor.

5.2.1. Samohodni vibracioni valjak s jednim točkom. To je najrasprostranjeniji tip (po broju modela, kao i po broju prodatih uređaja) (slika II.X).

Izuzev jednoga, koga ćemo uvrstiti među valjke sa jednim točkom ugrađenim u traktor (vučnu jedinicu), to su laki uređaji kojima se ručno rukuje. Prvobitno su promene pravca postizane pomeranjem, što je bilo prilično naporno. Danas je većina uređaja ove vrste snabdevena vodećim — upravljačkim točkom, a neki poseduju čak i sedište za vozača.

5.2.2. Tandem vibracioni valjci. Zadržaćemo ovaj naziv za valjke koji imaju dva glatka čelična točka sličnih ili istih prečnika od kojih je samo jedan vibrirajući — sa vibracionim dejstvom. Najčešće je točak sa vibracionim dejstvom istovremeno i pogonski, dok je drugi vodeći — upravljajući.

5.2.3. Dvostruki vibracioni valjak Duplex. Ovako su nazvani valjci koji poseduju dva glatka čelična točka istih dimenzija, pri čemu su oba sa vibracionim dejstvom. Oni se smatraju vrlo efikasnim..



Sl. II.X — Vučeni vibracioni valjak težine 1400 kp

Međutim, ne bi trebalo smatrati da je dovoljno postaviti jedan iza drugog dva valjka (cilindra), oba sa vibracionim dejstvom, pa da se automatski postigne izvrstan rezultat. Vibracije koje proizvode dva cilindra kombinuju se na razne načine, a njihovo dejstvo se može usaglasiti u manjoj ili većoj meri.

Neki inženjeri objašnjavaju efikasnost na sledeći način:

Kada se pusti u dejstvo vibracioni valjak sa jednim točkom iznad zemljanog materijala, taj uređaj potiskuje materijal, iako se to dejstvo ne prostire na veliku dubinu na kojoj se događa zbijanje.

Ako se na malom odstojanju od tog prvog vibracionog točka postavi drugi, koji je takođe vibrirajući, pojačava se to dejstvo pa je efikasnost po dubini veća.

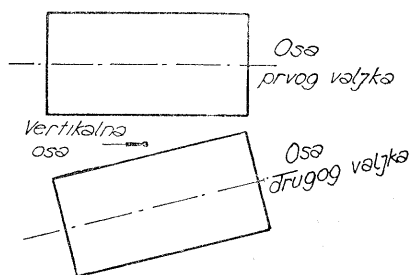
Ovo objašnjenje bi se moglo iskoristiti pri upotrebi pojma ekspanzionog pritiska i njegovom poistovećivanju sa unutrašnjim pritiskom (videti poglavlje I.2.9). Pod dejstvom vibracija koje je stvorio samo jedan vibracioni valjak, stvara se određeni ekspanzioni pritisak u tlu; on ga pomalo potiskuje kao kod fenomena gumenog jastuka; postavljajući drugi vibracioni (valjak) cilindar sprečava se to pomeranje i postiže se efikasnije dejstvo *vibro-kompresije*; uz to, isto kao što fenomen gumenog jastuka nije površinski fenomen, ovo dejstvo pomeranja pod vibracijom samo jednog cilindra (valjka) odigrava se po dubini. Ovaj pokušaj objašnjenja, koje možda nije potpuno jasno, zaslužuje da se detaljnije prouči.

Čini nam se, u svakom slučaju, da je korisno da oba vibraciona cilindrična točka budu blizu jedan drugog. Preciznije rečeno, razmak osovinu između dva vibraciona cilindra (točka), kod većine uređaja za zbijanje ove vrste iznosi oko 1,5 puta njihov prečnik.

Neki od ovih uređaja za zbijanje (najlakši) nemaju nikakvu mogućnost promene pravca; skretanje se može postići samo ručnim pomeranjem. Kod ostalih promena pravca se može postići na jedan od dva sledeća načina:

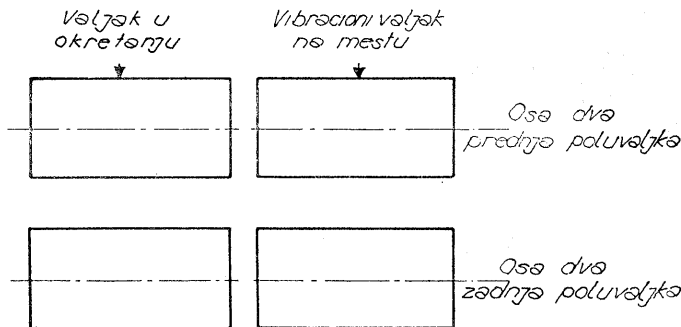
1) Šasija koja povezuje jedan sa drugim dva cilindrična točka sadrži neku vrstu zglobnog spoja oko vertikalne osovine, tako da u slučaju skretanja horizontalne osovine cilindričnih točkova prestaju da budu paralelne (slika II.27) stvarajući valjku ugao zaokretanja.

Jasno je da se to postiže primenom različitih mehaničkih rešenja.



Sl. II.27

2) Svaki cilindrični točak sastoji se od dva polucilindra (slika II.28).



Sl. II.28 — Omogućavanje skretanja udesno blokiranjem jednog od polutočkova

Blokirajući okretanje polucilindara desne strane i nastavljajući okretanje polucilindara leve strane postiže se promena rotacije pomeranjem, tačno kao i pri vođenju — upravljanju uređajim sa gusenicom.

Sistem koji proizvodi vibraciju razlikuje se kod uređaja za zbijanje, zavisno od proizvođača i namene. Nijedan se naročito ne nameće, pa prema tome nema ni neke izuzetne prednosti. Svaki od proizvođača ima svoje razloge za izbor određenih rešenja. Najčešće su korišćeni sledeći sistemi:

a) Svaki cilindričan točak je snabdeven jednom osovinom za ekscentar, unutar obloge; obe osovine se okreću istom brzinom, u istom smeru, ali uz pomeranje za 180° . Slaganje dve centrifugalne sile daje rezultat koji je jednak nuli; centar gravitacije uređaja za zbijanje ne vibrira, što bi trebalo da predstavlja prednost za održavanje uređaja za zbijanje. Slaganje vibracija u zemljanom materijalu vrlo je slabo poznato da bi se mogao izvući odgovarajući zaključak; ipak je moguće pretpostaviti da tačke koje se nalaze u vertikalnoj ravni simetrije uređaja za zbijanje ne vibriraju.

b) Svaki cilindričan točak snabdeven je još jednom unutrašnjom osovinom za ekscentar unutar obloge cilindričnog točka; obe osovine se okreću istom brzinom ali u obrnutom smeru; ekscentri jednovremeno prolaze kroz donji položaj: horizontalne komponente dveju centrifugalnih sila poništavaju se ali ne i njihove vertikalne komponente: vučna sila uređaja za zbijanje konstantna je kroz vreme; tačke zemljanog materijala-tla koje se nalaze u vertikalnoj ravni simetrije uređaja za zbijanje izložene su vibraciji visoke amplitude.

c) Svaki cilindričan točak snabdeven je još jednom osovinom za ekscentar unutar obloge; obe osovine okreću se istom brzinom u obrnutom smeru ali je jedan od ekscentara u gornjem položaju kad je drugi u donjem: u ovom slučaju se poništavaju vertikalne komponente ali ne i horizontalne komponente.

Otuda varijanta ovog sistema, pomeranje, umesto da bude 180° , ima različitu vrednost.

d) Svaki cilindričan točak snabdeven je još jednom osovinom sa ekscentrima unutar obloge, ali ne postoji nikakva međusobna veza između rotacija te dve osovine.

e) Postavlja se jedinstvena osovina za ekscentre iznad obe obloge cilindara. Pomeranje je tada jedinstvena kružna vibracija.

f) Postavljaju se dve osovine za ekscentre izvan obloge cilindričnog točka uređaja za zbijanje.

5.2.4. Teški vibracioni valjci s jednim točkom. Uz jedan izuzetak, ovi uređaji za zbijanje poseduju vibracioni cilindar koji nije motorni (ne obezbeđuje kretanje uređaja). Svi su oni teški uređaji za zbijanje velikog učinka i efikasnosti, koji se mogu upotrebiti za izvođenje zemljanih radova i za zbijanje slojeva savremenih kolovoznih konstrukcija.

Prvi uređaji ove vrste koji su se pojavili na tržištu bili su vučeni valjci, ali isto onako kao što je pokušano da se povezivanjem skrepera sa vučnom jedinicom dobije *samohodni motorni skreper*, dodatkom vučne jedinice teškom vibracionom valjku sa jednim točkom dobijen je *samohodni uređaj*. Ovakvi uređaji za zbijanje sa sopstvenom vučnom jedinicom prvi put su primenjeni u Francuskoj 1968. godine i od tada se znatnije koriste. Kao i motorni skreperi, oni poseduju izvanrednu pokretljivost, a njihova brzina premeštanja sa mesta na mesto može biti vrlo visoka, što predstavlja veliko preimućstvo.

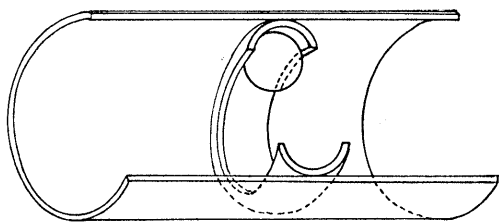
Najzad, jedan francuski proizvođač je pretvorio u pogonsku oblogu cilindra koji je već bio vibracioni; ako tako izrađen uređaj za zbijanje mehanički i naliči na vibracione valjke sa jednim točkom, njegova velika težina obezbeđuje mu iste mogućnosti primene kao i teškim vibracionim valjcima s jednim točkom (slika II.XI).

Vibraciono dejstvo većine ovih uređaja postiže se preko osovine za ekscentre koja se nalazi unutar obloge cilindričnog točka. Na nekoliko modela primenjena je osovina za ekscentre izvan glatke obloge cilindričnog točka. Jedan inostrani proiz-

vođač koristi sistem nazvan „ball and track” (*kugla i rukavac*): u unutrašnjosti obloge cilindra postavljena je pista u obliku *polutorusa* po kojoj se kreće kugla pokrenuta rukavcem; centrifugalno ubrzanje se na taj način prenosi direktno na oblogu cilindra bez posredstva osovine (slika II.29).



Sl. II.XI — Vibracioni samohodni valjak od 8,7 t. (Foto Albaret)



Sl. II.29 — Uredaj za vibriranje „ball and track“: pokrenuta kugla pri daljem kretanju po rukavcu igrajući ulogu ekscentra direktno prenosi centrifugalnu silu na valjak koji je jednovremeno i obloga točka. Ova kugla se kreće po olučastoj pisti u obliku polutursa

5.3. Ukupne težine u opterećenom stanju

Ovi uređaji za zbijanje relativno su laki ako se upoređuju s valjcima s glatkim čeličnim točkovima ili valjcima s gumenim točkovima.

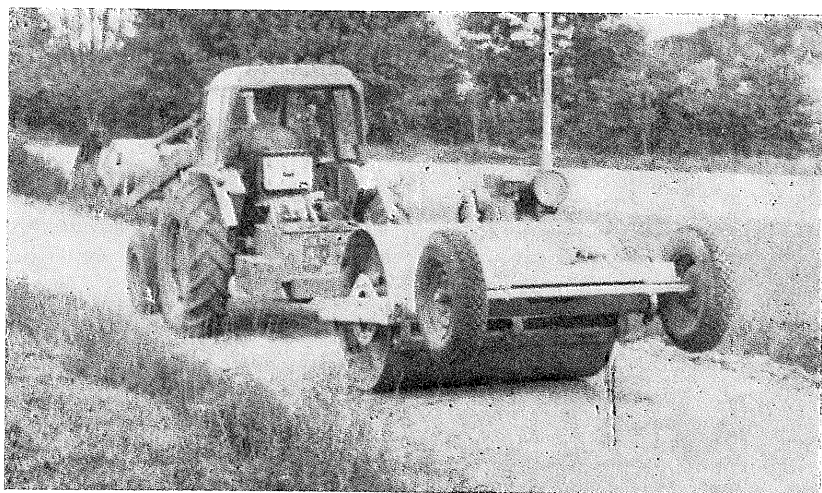
Područje težina je prilično široko, počevši od najlakših, male širine, namenjenih manjim radovima u zonama sa malim radnim površinama i u skućenim prostorima, do moćnih uređaja namenjenih zbijanju slojeva kolovozne konstrukcije na velikim radilištima sa industrijski (organizovanim procesom i na velikim zemljanim radovima).

Umesto histograma sa brojem modela koji bi, s obzirom na obimnost tržišta na kome se nude ove vrste uređaja za zbijanje, bio preterano veliki, prikazaćemo tablicu koja pokazuje da su najrasprostranjeniji laki uređaji, ali koja isto tako po-

kazuje postojanje teških modela. Naročito je veliki broj modela težine 7 do 8 tona koje već treba smatrati teškim (Tablica IVa).



Sl. II.XII — Vibracioni valjak dupleks od 7 t, naročito prilagođen za cementom ili zgurum obradene šljunkove



Sl. II.XIII — Vučeni vibracioni valjak težine 2 t. Ovaj uređaj može biti snabdeven sistemom za brzo transportovanje (Foto Richier)

5.4. Širine zbijanja

Tablica IVb pokazuje važnost područja širina zbijanja. Uređaji za zbijanje malih dimenzija (0,6 do 1,0 m) vrlo su brojni. No, potrebno je napomenuti da i uređaji srednje širine (oko 1,5 m) čine znatan broj modela.

5.5. Frekvencije

Podsećamo da smo u poglavlju I.5 pokazali da je značajan parametar bilo ubrzanje vibracije zemljanog materijala jednako $4A\pi^2N^2$, ako je A amplituda a N frekvencija.

Naveli smo uz to da amplituda A nije bila nezavisna od frekvencije; u stvari može postojati jedna frekvencija rezonance N_0 za koju je amplituda vrlo visoka. U tom slučaju maksimalno ubrzanje može nastati ili pri toj vrednosti N_0 ili pri maksimalnoj frekvenciji. Poželjno je zbog toga, pre nego što se pristupi zbijanju zemljanog materijala, da se obave ispitivanja (opiti) sa različitim frekvencijama, da se odredi ona koja odgovara rezonanciji i da se uporedi efikasnost uređaja za zbijanje za tu frekvenciju N_0 i za maksimalnu moguću frekvenciju.

Prema nekim autorima, frekvencija rezonance varira između 20 i 30 Hz uz postepeno povećavanje sa povećanjem zbijenosti zemljanog materijala u toku zbijanja. Zbog toga bi bilo poželjno da se zbijanje otpočne uz malu frekvenciju (snižavajući čak do 10 Hz) a potom postepeno povećavati frekvenciju do 1 500 c/mm (25 Hz). Bilo bi tada korisno rasteretiti vibracioni valjak i povećati još posle toga frekvenciju dok se ne dostigne 3 000 c/mm (50 Hz).

TABLICA IV.

Broj modela vibracionih valjaka (u prodaji na francuskom tržištu 1971. g.) **čije se karakteristike nalaze u navedenim područjima**

a) Najveća ukupna težina (u tonama)		b) Širina zbijanja (u metrima)		c) Frekvencija (u hercima) ^(x)	
Područje	Broj modela	Područje	Broj modela	Područje	Broj modela
0-1	45	<0,5	4	≤20	2
1-2	36	0,5-0,6	5	20-25	16
2-3	11	0,6-0,7	11	25-30	18
3-4	6	0,7-0,8	24	30-35	11
4-5	15	0,8-0,9	17	35-40	10
5-6	2	0,9-1,0	6	40-45	8
6-7	5	1,0-1,1	4	45-50	31
7-8	10	1,1-1,2	4	50-55	10
8-9	6	1,2-1,3	4	55-60	31
9-10	4	1,3-1,4	8	60-65	6
10-11	2	1,4-1,5	7	65-70	0
11-12	0	1,5-1,6	12	70-75	3
12-13	2	1,6-1,7	4	>75	3
13-14	3	1,7-1,8	0		
14-15	1	1,8-1,9	7		
15-16	2	1,9-2,0	8		
17-20	0	2,0-2,1	6		
>20	2	2,1-2,2	6		
		2,2-2,3	0		
		2,3-2,4	3		
		2,4-2,5	1		
		>2,5	3		

(x) U slučaju da se radi o uređajima promenljive frekvencije, koristi se maksimalna frekvencija.

Ne želimo učestvovati u ovoj studiji o uticaju frekvencije, koju je potrebno odrediti na osnovu preciznijih i brojnijih istraživanja. Upozoravamo da je jedan francuski proizvođač patentirao uređaj koji omogućava, pored ostalog, merenje frekvencije rezonance.

Bez obzira na sve to, područje frekvencija uređaja za zbijanje koji se mogu nabaviti na tržištu proteže se, u stvari, od 10 do 100 Hz, kao što je prikazano u tablici IV c.

Uz to brojni uređaji za zbijanje poseduju rešenja koja omogućuju promene frekvencije a neki od najnovijih poseduju isto tako i rešenja koja omogućuju promenu amplitude (videti poglavlje II.5.2).

5.6. Efikasnost i područje primene

5.6.1. Vibracioni valjci, a naročito dvostruki-dupleks vibracioni valjci, vrlo su dobro prilagođeni za *zbijanje slojeva savremenih kolovoznih konstrukcija* od materijala s visokim unutrašnjim trenjem (sa nezaobljenim zrnima).

5.6.2. Njihovo dejstvo po dubini često je vrlo značajno, a biće sve jače i jače s primenom sve težih uređaja za zbijanje.

5.6.3. Oni se mogu isto tako upotrebiti, a često su to i jedini uređaji koji imaju određeno dejstvo u takvim slučajevima, za zbijanje peskova uniformnog granulometrijskog sastava i male vlažnosti.

5.6.4. Koristi se isto tako za zbijanje kamenih materijala ili drobina. U nekim evropskim zemljama koriste ih za zbijanje makadama, pri čemu se njihovo dejstvo ne sastoji samo u zbijanju makadama već isto tako i u omogućavanju sitnom peskovitom materijalu da se razmesti i prodre između krupnih zrna razastrtih po površini.

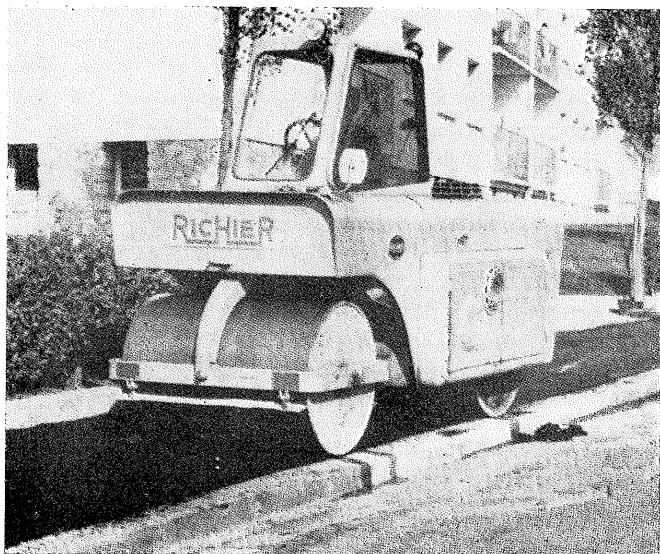
5.6.5. Hteli bi smo da navedemo još jednu primenu ove vrste valjaka, doduše još nedovoljno raširenu u Francuskoj, ali koja sve više uzima maha u inostranstvu: zbijanje asfaltnih mešavina.

Poznato je da se u sve većoj meri koriste zrnaste slabo ugradljive asfaltno mešavine (poglavlje IV.7.2), doduše teško kompaktilne (nepogodne za zbijanje) sa dosadašnjim postupcima zbijanja. One, međutim, ostaju stabilne pod saobraćajem i ne deformišu se kasnije, a posebno je značajno što ne dolazi do pojave kolotraga. Poznato je da se zbijanje takvih asfaltnih mešavina mora obavljati sa *gumenim valjkom na čelu*, tj. da valjak sa gumenim točkovima mora ići ispred valjka sa glatkim čeličnim točkovima u toku zbijanja.

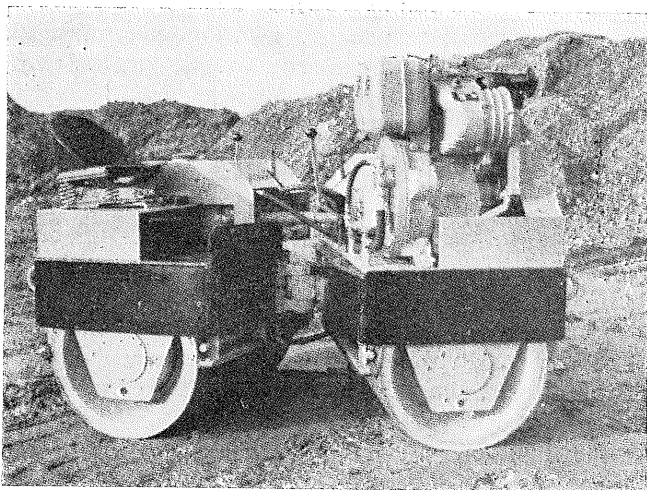
Trebalo bi omogućiti zamenu valjka s gumenim točkovima vibracionim valjkom. Ta tehnika je u stvari već primenjena u inostranstvu (videti poglavlje IV.7.2.7).

5.6.6. Čini nam se da je brzina kretanja valjka pri radu od manjeg uticaja (neznatno utiče) na dobijeni rezultat.

Potreban broj korisnih prelaza je vrlo mali: najčešće je dovoljno nekoliko prolaza.



Sl. II.XIV — Vibracioni valjak s glatkim čeličnim točkovima (samo jedan točak je vibrirajući); ukupna minimalna težina je 4,17 t, od čega 2,73 t na vibrirajući točak, a frekvencija je promenljiva (30 do 52 Hz). Položaj kabine omogućava praćenje rada pored ivice *(Foto Richier)*



Sl. II.XV — Vibracioni valjak sa zglobnom vezom. *(Foto Materama)*

5.7. Prednosti vibracionih valjaka

5.7.1. Oni su *izuzetno efikasni i skoro nezamenljivi* za izvesne materijale kolovozne konstrukcije sa velikim uglom unutrašnjeg trenja i za suve peskove uniformnog granulometrijskog sastava.

5.7.2. Oni omogućavaju *bolje zbijanje po dubini*.

5.7.3. Iziskuju mali broj prolaza.

5.7.4. To su uredaji za zbijanje relativno male težine.

5.8. Nedostaci

5.8.1. Ne zbijaju po površini, a katkad čak mogu vršiti *rastresanje* materijala po površini⁽¹⁾ sloja koji se zbijaju.

5.8.2. Njihov učinak je često mali s obzirom na ograničenu brzinu njihovog kretanja pri radu. Zbog male brzine potrebno je da se sa gradilišta na gradilište prebacuju kaminom ili prikolicom.

5.8.3. Pri nepravilnoj upotrebi mogu izazvati talase ili odvajanje slojeva — listanje.

Ukoliko se prekomerno poveća broj njihovih prolaza, mogu izazvati drobljenje zrna šljunka u materijalu koji se zbijaju.

U istim okolnostima postoji opasnost njihovog oštećenja (videti poglavlje II. 5.8.5.).

5.8.4. Vibracioni valjci, kao i ostali vibracioni uredaji, mogu izazvati segregaciju materijala. Neki stručnjaci su konstatovali izdizanje finih — sitnih čestica, drugi spuštanje sitnih čestica. I jedni i drugi su u pravu jer njihovo dejstvo u ovom domenu zavisi od oblika linije granulometrijskog sastava.

Ako linija granulometrijskog sastava ima višak peska (u obliku grbine), dejstvo fluidifikacije koje nastaje pri vibriranju transformiše peščanu masu u tečnost čija je viskoznost doduše visoka ali ne i beskonačna. Krupnija zrna spuštaju se u takvom materijalu pod dejstvom koje je analogno onom po Stokovom zakonu (Jasno je da nije bilo moguće proveriti taj zakon [VI]). Kompenzacijom se stiče utisak da se fine čestice penju na površinu.

Ako je, suprotno tome, linija granulometrijskog sastava vrlo šuplja, krupna zrna se brzo međusobno učvršćuju (blokiraju) ostavljajući između sebe vrlo značajne šupljine; pri vibriranju se pesak dovodi u vibrirajuće stanje pa prema tome postaje fluidificiran i zbog toga se spušta u pomenute šupljine između krupnih zrna, tako da gornji deo sloja ostaje bez finih čestica.

⁽¹⁾ Verovatno je moguće reći da na površini „ekspanzioni pritisak“ (videti poglavlje I.5.8) nije bio kompenziran, i da dolazi do ekspanzije. Portugalski izveštaj na Putnom kongresu u Tokiju (III pitanje) navodi da 2 do 3 cm sa površine treba ukloniti grejderom jer nisu zbijeni korišćenim vibracionim uredajima (radilo se o sitnozrnem pesku).

I u jednom i u drugom slučaju vibracija, naročito ako je veoma produžena, pokazuje tendenciju da *nedostatke u granulometrijskom sastavu koncentriše na površini*. To uvek izaziva smetnje, jer je logično da gornji deo jednog određenog sloja tkolovozne konstrukcije bude bolji od donjeg dela (Potrebno je međutim, istaći, da to izaziva vrlo često zatežuća naprezanja; na primer osnova jednog asfaltnog sloja reba da je otporna na zatezanje.).

Iz prethodne analize proizilazi da ovaj nedostatak vibracionih valjaka *manje dolazi do izražaja ako je materijal dobrog granulometrijskog sastava*.

5.8.5. Vibracioni valjci su mehanički vrlo osetljivi—lomljivi. To ne treba da nas čudi: konstruktori mehaničkih uređaja svih vrsta ulažu značajne napore u borbi protiv vibracija postavljajući antivibracione sisteme baš zbog toga što vibracija uništava oruđa koja oni konstruišu i proizvode. Konstruktori vibracionog valjka moraju — suprotno navedenom — prihvatiti tu potrebu. Oni još nisu u potpunosti uspeli da otklone sve nedostatke na mehanizmima koje prodaju.

Potrebno je ipak istaći da su oni danas u znatnoj meri poboljšali svoje uređaje u tom pogledu. Teški vibracioni valjci sa jednim točkom, bez obzira da li su samohodni (sa ugrađenim pogonskim delom) ili vučeni, predstavljaju uređaje na kojima je najviše učinjeno u pogledu navedenih poboljšanja.

Uz to, ukoliko korisnik dozvoli da vibracioni valjak prelazi više puta preko zemljanog materijala koji je već zbijen, valjak će početi da skače (pogotovu ako je frekvencija visoka) i oštetiće se pod dejstvom vibracija, već što je izložen stvarnim udarima.

5.9. Dopunska oprema

5.9.1. Kabina za vozača i osvetljenje spadaju u vrlo korisnu neophodnu dopunsku opremu.

5.9.2. Sada je već uobičajeno da se na valjak montira rezervoar za vodu radi kvašenja, izuzev kod nekih vrsta malih vibracionih valjaka (manjih od 1 tone).

5.9.3. Mala brzina kretanja vibracionih valjaka pri premeštanju s jednog radnog mesta na drugo navela je neke proizvođače da predvide prikolice, bar za manje uređaje.

5.10. Vibracioni valjci s ovčijim nogama i njima slični (ježevi)

Ova vrsta uređaja nepoznata je u Francuskoj, mada ih proizvode u nekim zemljama, naročito u SAD. U Francuskoj su neki konstruktori prikazali takve uređaje. Verujemo da, prema onom što je nama poznato, nisu naišli na očekivani uspeh.

Ova ideja donekle i iznenađuje. U stvari, valjci sa ovčijim nogama namenjeni su naročito zbijanju kohezivnih zemljanih materijala; svrha vibracije je da smanji ugao unutrašnjeg trenja (ili da ga anulira u izvesnim područjima zahvaljujući postojanju „ekspanzionog pritiska”); čemu može doprineti vibracija kod jednog uređaja za zbijanje namenjenog zbijanju kohezivnih zemljanih materijala?

Moguće je odgovoriti da ne postoji potpuno kohezivan zemljani materijal i da u takvom slučaju vibracija može takođe biti efikasna.

Nisu nam poznata ispitivanja koja su obavljena s takvim uređajima za zbijanje.

5.11. Vibracioni uređaji sa gumenim točkovima

Ni ovi uređaji nisu poznati u Francuskoj, ali ih proizvode u inostranstvu, naročito u SAD.

Ideja je primamljiva: drobljenje i sitnjenje zrnastih materijala pod dejstvom udara krute ploče ili valjka pri vibriranju prestajali bi ili bi se znatno umanjivali ako bi vibraciona površina koja je u direktnom dodiru sa zemljanim materijalom bila fleksibilna, što je slučaj sa gumom.

Suprotno tome, neki smatraju da gumeni točak ima amortizujuće dejstvo za oscilacije i da ne smanjuje efikasnost vibracije. Za sada ne raspoložemo dokumentacijom koja bi nam omogućila da zauzmemo određeni stav u vezi s ovim različitim gledištem.

5.12. Valjci sa gumenim točkovima povezani sa vibracionim glatkim čeličnim točkom

Ideja koja je prethodila stvaranju ovakvih uređaja za zbijanje sastojala se u sledećem:

Videli smo da vibracija izaziva „ekspanzioni pritisak” sličan odgovarajućem unutrašnjem pritisku kojeg je moguće izmeriti. Dinglaova iskustva (videti poglavlja 2.9.5 i 5.8 I glave) [VI] pokazala su da ne dolazi do zbijanja materijala dok pritisak prenet na zemljani materijal ne premašuje ekspanzioni pritisak.

Dejstvujući istovremeno i vibracijom, uređaj za zbijanje s gumenim točkovima koji stvara polje napona može u znatnoj meri povećati efikasnost zbijanja; u tom slučaju se uvodi postupak *vibrokompresije* za koji se jedino može pretpostaviti da treba da je vrlo efikasan, bar ako ne igra ulogu efekta *filtra* navedenog u poglavlju I.5.8.

Mi nemamo, na žalost, veće iskustvo sa ovom vrstom uređaja tako da nismo u stanju da detaljnije tretiramo njihovu efikasnost: prva istraživanja koja smo mogli pratiti čine nam se prilično ohrabrujućim⁽¹⁾.

6. VIBRACIONE PLOČE

6.1. Opšti deo

Kao i vibracioni valjci, vibracione ploče (vibroploče, vibrosoli) su se pojavile ne tako davno na francuskom tržištu.

Uz to, one do danas nisu uspele na francuskom tržištu da postignu ono što bi se moglo očekivati za ovu vrstu vozila.

⁽¹⁾ Sa obradenim šljunkovima postižu se zapremnske težine u suvom stanju veće od onih koje se postižu sa klasičnim uređajima za zbijanje (vibracionim ili sa gumenim točkovima). Preostaje još da se utvrdi da li je korišćenje ovih *mešovitih* uređaja za zbijanje ekonomski opravdano. Potrebno je istaći da je često vrlo korisno obavljati zbijanje postavljanjem vibracionog valjka napred [VII].

Njihov način dejstva sličan je onom koji imaju vibracioni valjci, tj. da vibracija otklanja ili smanjuje unutrašnja trenja.

Ova vrsta uređaja ima znatne dubine dejstva.

Pomeranje ovih uređaja pri radu postiže se ili preko nosećeg vozila na gusenicama ili na gumenim točkovima, ili zahvaljujući horizontalnoj komponenti rezultante između statičke težine i dinamičkog dejstva. U stvari, rezultanta težine i sila inercije ekscentra mogu davati jednu horizontalnu komponentu koja, za vreme odlepljivanja uređaja od tla postignutog pri svakoj promeni, omogućava pomeranje uređaja napred. Na isti način se može ostvariti, primenom opisanog postupka, izvesno upravljačko dejstvo koje omogućava usmeravanje uređaja za zbijanje po željenoj putanji.

6.2. Opšti opis i klasifikacija

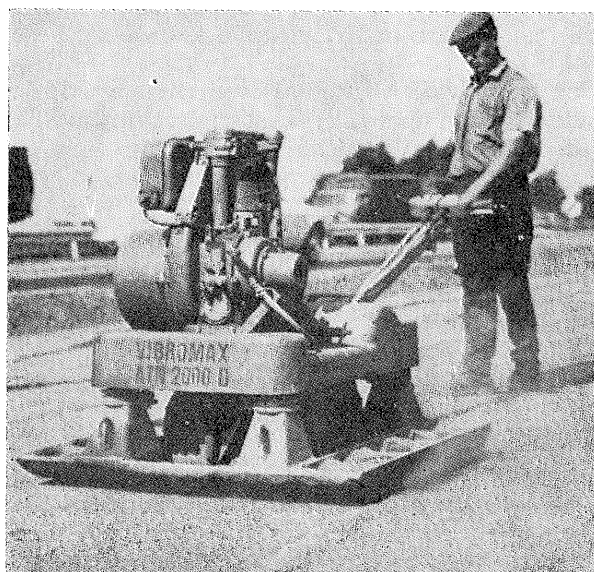
Aktivni elemenat ovih uređaja za zbijanje je čelična ploča koja se direktno oslanja na sloj zemljanog materijala predviđenog za zbijanje i koja preko sinusoidalnog kretanja kojem je izložena stvara vibracije u zemljanom materijalu.

Ploče su različitih dimenzija (od $0,3 \text{ m} \times 0,75 \text{ m}$ do $0,7 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$).

Srednji kontaktni pritisak varira od $0,15$ do $0,25 \text{ kp/cm}^2$. Frekvencija vibracije, najčešće nepromenljiva za jedan dati model, menja se u zavisnosti od modela — od 600 do $4\,500 \text{ c/m}$, tj. od 10 do 75 Hz .

Amplituda vibracije praktično je uvek manja od 1 cm , a skoro uvek manja od 5 mm .

Debljina na kojoj se postiže zbijanje utoliko je veća ukoliko je površina ploče veća a opterećenje značajnije. Videli smo u poglavlju I.5.7.3 da je idealna površina veličine oko $1,5 \text{ m}^2$. Ploča može dostići težinu od 4 t one.



Sl. II.XVI — Vibraciona ploča. (Foto kolekcija Couthon)

Neke ploče je moguće povezati međusobno tako da se na taj način dobija garnitura sa više ploča koje omogućavaju relativno veliki učinak pri zbijanju.

Neke ploče su namenjene montiranju na vozilo. One su u takvom slučaju brojnije.

Predložena klasifikacija koristi kao kriterijum postupak namenjen upravljanju pločom. Postoji pri tome izvesna korelacija između toga postupka i težine ploče; oruđa koja raspolažu posebnim sistemom za upravljanje su istovremeno i teža, pa je zbog toga veća i njihova efikasnost. Njihova složenost, a samim tim i cena, takođe se povećavaju.

6.2.1. Vibracione ploče s ručnim upravljanjem. Suprotno sledećoj vrsti, ova vrsta ploča karakteristična je po tome što je za promenu pravca kretanja potrebno ručno pomeriti ploču. Potreban mišićni napor koji se pri tome ulaže smanjuje se zbog činjenice da je u toku jednog dela pokreta ploča olakšana vertikalnom dižućom komponentom centrifugalne sile. Nasuprot tome, kod teške ploče sa nevelikom centrifugalnom silom, ovaj mišićni napor je nemoguće postići.

Ova vrsta ploče je zbog toga, uglavnom, ograničena po težini, mada su u njoj uređaji težine do 1 tone.

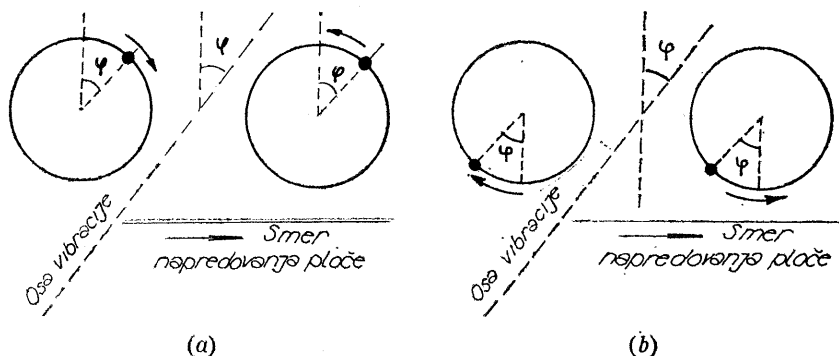
Postupak pomeranja. Postoje različiti postupci koji omogućavaju pomeranje ploče pri zbijanju:

a) Najlakše ploče s najmanjim mogućnostima upravljanja poseduju samo dejstvo kružne vibracije koja se postiže preko jedne osovine sa ekscentrom. Obe komponente — horizontalna i vertikalna — centrifugalne sile su sinusoidalne; one u određenom vremenskom toku (trenutku) imaju srednju vrednost jednaku nuli; zbog toga horizontalna komponenta ne omogućava pomeranje ploče unapred te je mora vući ili gurati sam vozač. Kod nekih vrsta uređaja, ploča se vuče preko posebnog kabla ili se priključuje za lako vučno vozilo.

Jasno je da ovaj sistem postaje neprihvatljiv čim se težina ploče povećava.

b) Prvi sistem nemanuelnog pomeranja ploče pri zbijanju mogao bi se realizovati (postići) pomeranjem vertikalne osovine ekscentra i vertikalne težišta ploče.

c) Drugi sistem sadrži dva vibratora koji se obrću u suprotnom smeru; vibracija koja odatle proističe usmerena je prema jedinstvenom pravcu, koji sa vertikalom zaklapa ugao φ . Kad sinusoidalna sila koja rezultira iz tog kretanja zaklopi ugao φ sa penjućom vertikalom (slika II.30a), ploča je olakšana i njena horizontalna



Sl. II.30 — U trenutku prikazanom na sl. a) dolazi do napredovanja ploče. U trenutku prikazanom na sl. b) nema vraćanja ploče unazad jer je ploča jako nalegla na tlo

komponenta je usmerena unapred, izazivajući kretanje ploče unapred. Suprotno tome, kad sinusoidalna sila zaklopi ugao φ sa *spuštajućom vertikalom*, horizontalna komponenta je usmerena unazad ali ona pri tom ne izaziva kretanje unazad jer je u tom trenutku ploča jako oslonjena (nalegla) na zemljani materijal koji se zbija.

d) Jednostavniji sistem prethodne vrste uređaja poseduje nepromenljiv — fiksna ugao φ . Ali moguće je usavršiti mehanizam da bi se omogućilo menjanje ugla φ ; na taj način se omogućava regulisanje napredovanja uređaja pri zbijanju, jer se većim ili manjim zaklopanjem sinusoidalne sile u odnosu na horizontalu, omogućavaju promene odnosa sile paralelne zemljanom materijalu sloja koji se zbija i njenom reakcijom. Na taj način se može menjati brzina pomeranja ili prilagoditi pomeranje promenljivom koeficijentu trenja između ploče i zemljanog materijala.

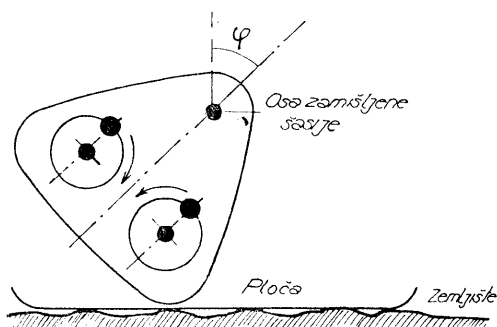
Moguće je pri tome ići i dalje i prelaziti sa pozitivnog ugla φ na negativan ugao φ i na taj način omogućiti promenu smera pomeranja uređaja za zbijanje pri zbijanju (radu).

Korist od mogućnosti kretanja uređaja unazad je evidentna: time se omogućava, po dolasku na kraj zbijane površine, povratak unazad bez okretanja ploče po cenu vrlo mučnog manevra, a, s druge strane, vožnja unazad omogućava, u slučaju nailaska na prepreke ili teške zone, da se vrati unazad i da se zaobiđe ta zona koju nije moguće direktno zbijati.

Dva različita mehanička rešenja omogućavaju promenu ugla φ .

d₁) Kod prvog, sistem zupčaste šine i zupčanika omogućava da se promeni nagib dva ekscentra i da se direktno promeni ugao svakog ekscentra; razumljivo, ovaj sistem zupčaste šine i zupčanika je takav da dve kružne vibracije imaju isti ugao φ sa vertikalom.

d₂) Kod drugog sistema, koji je češće upotrebljavan od prethodno opisanog, dve osovine za ekscentre montirane su na pomoćnoj šasiji koja se može obrtati oko jedne horizontalne osovine (slika II.31).

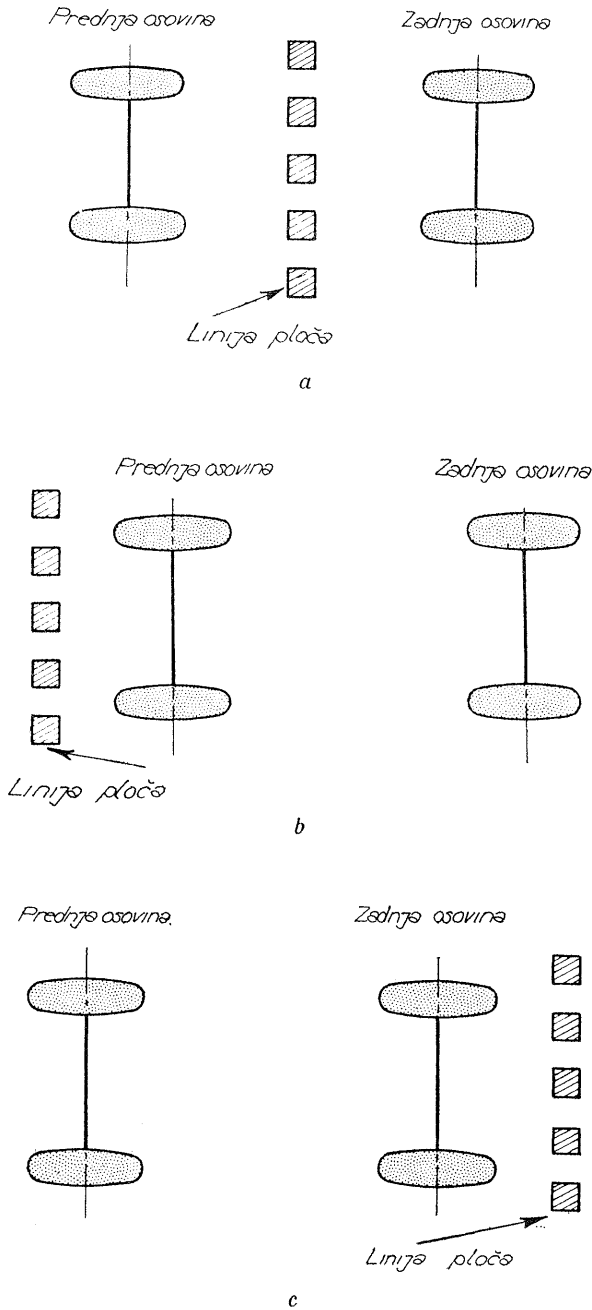


Sl. II.31 — Okrećući pomoćnu šasiju oko horizontalne ose, menja se nagib-veličina ugla φ prema horizontali tako da se može menjati brzina kretanja ploče napred ili čak promeniti smer njenog napredovanja

6.2.2. Vibracione ploče kojima se može upravljati. Jasno je da prethodno opisane ploče imaju lošu pokretljivost. Nažalost, mogućnosti upravljanja i pokretljivost ploče poboljšavaju se uz znatne komplikacije, koje se odražavaju povećanjem težine (što ne predstavlja nedostatak) i znatnim povećanjem cene koštanja.

Upravljanje pločom može se postići samo pomeranjem njene površine naleganja na tlo. To pomeranje može se ostvariti na sledeći način:

Na ploči su montirane dve pomoćne šasije kao što su one predstavljene na slici II.31, od kojih je jedna na levoj a druga na desnoj strani ploče. Postoje znači četiri



Sl. II.32 — Položaj ploča u odnosu na osovine

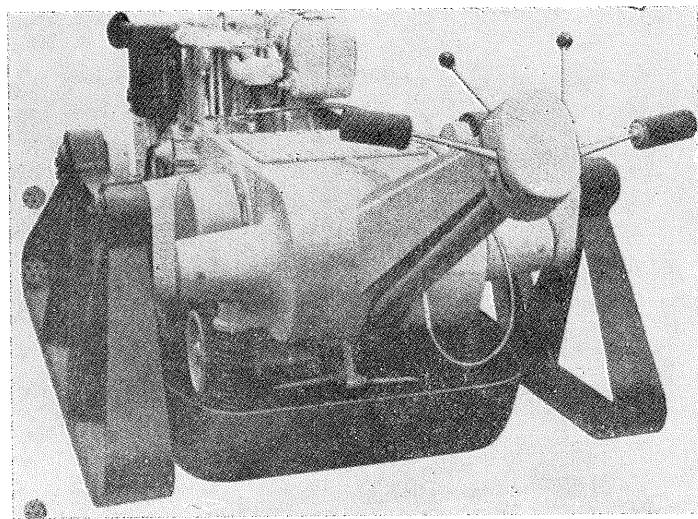
osovine ekscentara. Mehanizam na desnoj strani stvara usmerenu vibraciju koja sa vertikalom zaklapa ugao φ_D koji se može regulisati. Na isti način mehanizam na levoj strani stvara usmerenu vibraciju koja sa vertikalom zaklapa ugao φ_G koji je takođe moguće regulisati. Povećavajući φ_D i smanjujući φ_G , omogućuje se desnom delu ploče brže napredovanje od levog dela tako da ploča pravi skretanje ulevo. Dajući uglu φ_D pozitivnu vrednost a uglu φ_G negativnu vrednost $-\varphi_D$, moguće je čak ploču okrenuti u mestu.

6.2.3. Uredaji za zbijanje s većim brojem vibracionih ploča. Mala širina jedne vibracione ploče, zajedno sa vrlo malom brzinom kretanja ovih uređaja, ograničava njihov učinak.⁽¹⁾ Da bi povećali učinak, neki proizvođači su predvideli mogućnost povezivanja više ploča u jednu celinu, preko bočnih veza.

Moguće je uz to, dajući tako povezanim pločama različite brzine napredovanja pri radu, upravljati garniturom ploča i povećati pokretljivost.

Ostali proizvođači usvojili su drugo rešenje. Oni su postavili garnituru ploča na jedno noseće vozilo učvršćujući ih za sistem koji obezbeđuje podizanje i spuštanje ploča na tlo. Sa podignutom garniturom ploča (gornji položaj) vozilo se može kretati relativno velikom brzinom na samom gradilištu ili od gradilišta do gradilišta; pokretljivost je znači vrlo velika. U položaju kada se ploče oslanjaju na tlo (donji položaj) na njih je moguće preneti i deo težine vozila; jasno je da su mogućnosti u tom smislu donekle ograničene, jer treba omogućiti da točkovi vozila ne budu preopterećeni kako bi se omogućilo da oni mogu obaviti svoju ulogu pogonsku i upravljačku. Najčešće primenjeni sistemi montaže ploča prikazani su na slici II.32.

Umesto postavljanja ploča na vozilo s gumenim točkovima, neki proizvođači ploča montiraju ih na oruđa sa gusenicama, koja mogu posedovati promenljiv



Sl. II.XVII — Samohodne ploče sa klizačima-papučama. S obe strane ploče vide se klizači u momentu napredovanja, u toku kog se ploča oslanja na tlo zbijajući ga. U momentu kad ekscentri budu u položaju koji obezbeđuje napredovanje, klizači će se osloniti na tlo a potom će se ploča izdići

⁽¹⁾ Učinak je zapremina zbijenog materijala u jedinici vremena (videti poglavlje V.2.2).

broj ploča (najčešće 6). One su međusobno nezavisne pa je moguće menjati njihovu širinu. Brzina kretanja je znatno manja nego kod uređaja sa gumenim točkovima.

Može se postići ukupna širina zbijanja do 4 m.

Osim toga, ovi uređaji mogu raditi na bilo kakvim terenima dok, na nekim vrstama zemljanog materijala ploče montirane na vozila s gumenim točkovima ne uspevaju da napreduju pri radu.

6.2.4. Specijalni uređaji za zbijanje i mehanički sistemi

a) *Samohodne ploče sa klizačima.* — Jedan proizvođač je postavio ploču na klizače koji se oslanjaju na tlo i omogućuju izdizanje ploče radi omogućavanja njenog pomeranja (slika II.XVII).

b) *Vibracione ploče specijalno prilagođene za montažu na utovarne kašike.* — Montiraju se umesto i na mesto utovarne kašike pomoću dva klina. Pokretanje se postiže hidrauličnim motorom koji snabdeva pogonski sistem utovarne kašike.

Težina je reda 300 do 400 kp a površina ploče je veličine 2 500 cm².

c) *Vibracione grede.* — Nabrajamo ih samo radi kompletiranja svih vibracionih uređaja, a namenjene su isključivo za zbijanje betona u putogradnji. Njihova širina je vrlo promenljiva, a kreće se od 0,40 do 7 m. Frekvencija je između 4 000 i 6 000 c/m (66 do 100 Hz).

6.3. Težine⁽¹⁾

Kao što se vidi iz tablice V, ploče sa ručnim upravljanjem imaju vrlo različite karakteristike, dok su ploče kojim se može automatski upravljati sve vrlo teški uređaji.

TABLICA V.

Statistički podaci koji se odnose na vibracione ploče (samo jedna ploča)

Vrsta ploče	Približan broj modela	Težine (kp)	Frekvencije (Hz)	Širine zbijanja (m)	Površine naleganja (cm ²)	Brzine kretanja (m/min)	Napomena
Sa ručnim upravljanjem	Oko 50	45 do 1 000	13 do 100	0,25 do 1,10	1 000 do 12 000	12 do 25	Samo desetak modela može da se kreće unazad. Neki od njih mogu da se kreću promenljivom brzinom
Moguće upravljanje	Nekoliko modela	1 600 do 2 800	25 do 30	Oko 1,0	Oko 10 000	Brzina promenljiva najveća 20	Dijapazon (gamma) modela je vrlo ujednačen. <i>Teške ploče</i>

⁽¹⁾ Statistički podaci koji se odnose na težine, dimenzije, frekvencije, brzine, itd., suprotno pravilu koje smo primenjivali kod ostalih uređaja za zbijanje, prevazilaze modele koji se mogu naći na francuskom tržištu da bi se dala obuhvatnija slika o većini modela ploča proizvedenih u svetu, bar u zapadnom svetu; značajan deo te proizvodnje otpada na Nemačku (oko 70%).

6.4. Dimenzije

Iz tablice V vidi se da je dijapazon (gama) vrlo širok, počevši od vrlo malih modela do teških uređaja za zbijanje.

6.5. Frekvencije

Generalno uzev, teški uređaji imaju niske frekvencije, dok ploče malih dimenzija mogu imati vrlo visoke frekvencije.

Greška koja se katkad čini sastoji se u uverenju da će se povezivanjem u celinu više vibracionih ploča iste frekvencije N , i dajući pločama zadovoljavajuću razliku u fazi, uvećati frekvencija sa brojem ploča.

6.6. Brzina napredovanja kretanja u radu

Jasno je da ona ima smisla samo kod samohodnih ploča (koje nisu montrirane na neko vozilo) i varira, kao što pokazuje tablica V, između 12 i 25 m u minutu. Ova brzina je vrlo mala i predstavlja nedostatak, koji treba otkloniti, za ovu vrstu uređaja za zbijanje.

6.7. Efikasnost i područje primene

6.7.1. Dejstvo po dubini ove vrste uređaja često je vrlo veliko, možda čak veće od onih vibracionih valjaka.

6.7.2. Kao i vibracioni valjci, ploče su vrlo dobro prilagođene i pogodne za zbijanje veoma uglatog materijala (sa nezaobljenim zrnima), tj. one vrlo dobro odgovaraju za zbijanje slojeva savremenih kolovoznih konstrukcija.

6.7.3. Osim toga, kao i vibracioni valjci, one se mogu vrlo dobro iskoristiti za zbijanje peskova uniformnog sastava i male vlažnosti, kamenih materijala i asfaltnih mešavina.

6.7.4. Dok su male ploče, male površine, lake i uglavnom sa visokom frekvencijom (preko 50 Hz) namenjene manjim radovima, za zbijanje u skućenim prostorima i za opravke kolovoznih konstrukcija, teške ploče koje najčešće koriste srednje ili niske frekvencije (ispod 35 Hz) podjednako dobro su prilagođene velikim zemljanim radovima, kao i zbijanju slojeva kolovozne konstrukcije.

Uređaji sa većim brojem međusobno povezanih ploča koriste se u inostranstvu za navedene radove. Oni se primenjuju i pri zbijanju asfaltnih mešavina.

6.7.5. Ploče, a naročito teške ploče, ne koriste se u većoj meri u Francuskoj. Nedostaci koje ćemo navesti u sledećem poglavlju 6.8 doduše delimično objašnjavaju ovu činjenicu. Ali je verovatnije da francuski preduzimači i tehničari nisu shvatili značaj ove vrste uređaja za zbijanje. Francuski stručnjaci za puteve koji su u toku poslednjih 50 godina prihvatili isto toliko modela stvorenih preko

Atlantika kao i preko Rajne, i koji nastoje danas da održe i primene što više sopstvenih ideja, možda će u toku narednih godina otkriti i ove uređaje, koji su konkurentni vibracionim valjcima

6.8. Prednosti i nedostaci

U odnosu na uređaje za zbijanje statičkim dejstvom (pritiskom), vibracione ploče imaju iste prednosti i nedostatke kao i vibracioni valjci. U vezi s tim treba pogledati poglavlja II.5.7 i II.5.8. U odnosu na vibracione valjke, samohodne vibracione ploče imaju nedostatak da su još sporije, a često i manje pokretljive.

Ovaj nedostatak su brzo osetili stručnjaci zaposleni u operativi i u tome treba tražiti osnovnu prepreku daljem razvoju primene ove vrste uređaja za zbijanje.

Suprotno tome, vibracione ploče montirane na vozila, zahvaljujući njima, lako se prebacuju sa jednog radnog mesta na drugo i lake su za manevrisanje.

Osim toga, ovi uređaji mogu raditi na bilo kom terenu dok, na nekim zemljanim materijalima, ploče vezane za vozila s gumenim točkovima ili samohodne ploče, ne uspevaju da se kreću.

Ploče bolje obavljaju zbijanje po površini od valjaka (bočno uklještenje)

7. UREĐAJI ZA ZBIJANJE UDAROM

7.1. Opšti deo

Najstarije korišćeni princip pri zbijanju je princip ove vrste uređaja, tj. ručnog nabijača, koji je danas skoro iščezao iz upotrebe. To je pad jedne mase na površinu zemljanog materijala predviđenog za zbijanje.

Ovaj princip primenjuje se na laboratorijskim uređajima za zbijanje (Proktorov malj).

On se primenjuje takođe i na modernijim uređajima, smanjene efikasnosti ali relativno lake mogućnosti korišćenja u skućenim i teško pristupačnim zonama (rovovi, zbijanje iza stubova objekata ili između krila, itd.).

7.2. Opšti opis i klasifikacija

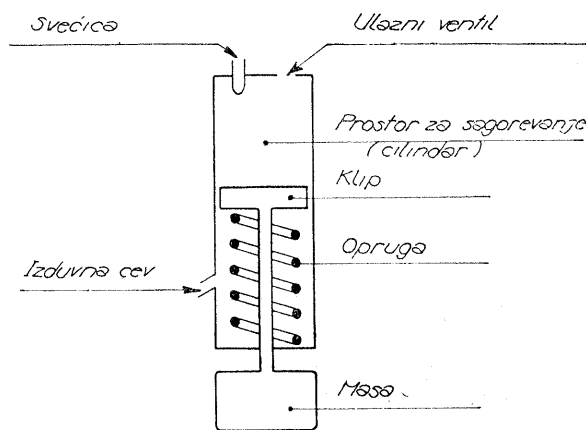
Današnji uređaji za zbijanje — nabijači — koji dejstvuju udarom poseduju jednu masu koja umesto da se diže ljudskom snagom biva odbačena uvis eksplozijom gasa u komori za sagorevanje. Ovaj gas se može stvoriti mešanjem goriva i vazduha, kod motora sa unutrašnjim sagorevanjem, ili to može biti komprimovani vazduh.

Potrebno je odvojeno posmatrati (razlikovati) lake ili teške nabijače i vibronabijače. Ovi poslednji kompenziraju njihove manje statičke pritiske (0,05 do 0,10 kp/cm² prema 0,15 do 0,20 kp/cm²) i njihovu manju visinu pada većom frekvencijom udara (videti poglavlje II.7.2.3).

7.2.1. Laki udarni nabijači (žabe). Opisacemo jedan eksplozivni nabijač ali se ovaj opis može lako proširiti i na uređaje s komprimovanim vazduhom. Pogonski elemenat (slika II.33) je cilindar (komora za sagorevanje) snabdeven klipom, koji je čvrsto povezan sa masom koja dolazi u direktan kontakt sa zemljanim materijalom koji se zbija. U komoru za sagorevanje uvodi se mešavina goriva i vazduha analogna onoj koja se koristi kod klasičnih motora s unutrašnjim sagorevanjem; zahvaljujući komandnom dugmetu kojim upravlja rukovalac uređaja za nabijanje, stvara se električna varnica koja pali mešavinu.

Širenje gasa nastalog pri eksploziji izdiže uređaj koji se oslanja pri tome na tlo, i to izdizanje se završava povlačenjem uvis mase (često uz korišćenje opruge kao što je pokazano na slici II.33). Pri tome izdizanju izbacuju se plamen i izgoreli gasovi. Ceo uređaj posle toga ponovo pada na tlo zbijajući ga pri tom. Težina lakih nabijača iznosi oko 100 kp.

Napredovanje pri radu ove vrste uređaja postiže se zakošenjem ose uređaja u odnosu na vertikalu. Na taj način se stvara horizontalna komponenta kretanja.



Sl. II.33

7.2.2. Teški udarni nabijači. Po istom principu izrađeni su mnogo teži uređaji, čije težine idu od 1 200 kp, sa kontaktnim površinama koje su znatno veće (oko 6 000 cm²). Takvim uređajima mora se obezbediti potrebna pokretljivost kao i mogućnost upravljanja posredstvom dovoljno dugih rukunica radi zaštite rukovaoca uređaja od eventualnih nezgoda.

Rukovalac uređaja nije više u situaciji da sam obezbeđuje kretanje uređaja pri radu — njegovim zakošavanjem u odnosu na vertikalu, — već to mora učiniti sam proizvođač, konstruišući uređaj sa zakošenom osom cilindra u odnosu na vertikalu.

7.2.3. Vibronabijači. Kao što je već napomenuto, vibronabijači (nabijači sa vibracionim dejstvom) koji funkcionišu na istom principu kao i prethodno opisani uređaji razlikuju se od njih uglavnom po znatno većoj frekvenciji udara (400 do 2 500 udara u minutu prema 50 do 100 koje postizu teški nabijači). Odatle proizilazi da vibronabijači raspolažu većim vibracionim dejstvom koje im omogućava dobru efikasnost.

7.2.4. Nabijači sa slobodnim padom montirani na bageru sa kranom. Radi se o pločama koje slobodno padaju, a diže ih bager sa kranom. Ploče kojima se obavlja zbijanje najčešće su kvadratnog oblika sa stranicom dužine 80 cm, a njihova visina posle dizanja kranom je 1,5 do 2 m. Njihova težina kreće se između 2 i 3 tone. Njihov statički pritisak je od 0,05 do 0,40 kp/cm².¹

Neravnu površinu koja se dobije posle zbijanja, ako je to potrebno, treba izravnati valjkom sa glatkim čeličnim točkovima.

Učestalost udara je mala (5 do 20 udara u minutu). Vrlo visok kontaktni pritisak nabijača sa pločom naročito je pogodan za zbijanje kamenih materijala zbog drobljenja i smanjenja šupljina u nasipu.

7.3. Efikasnost i područje primene

Ovi uređaji imaju dobro — pa čak i izvrsno — dejstvo do osrednjih dubina. Efikasnost zbijanja po dubini povećava se sa povećanjem mase uređaja i veličinom njene kontaktne površine sa zemljanim materijalom. Ona se isto tako povećava sa visinom pada. Ovi uređaji se mogu koristiti za zbijanje plastičnih zemljanih materijala ili zrnastih materijala zadovoljavajućeg granulometrijskog sastava. Najveći broj se koristi za zbijanje materijala u zonama koje su teško pristupačne i skućene za rad (rovovi, blizina različitih prepreka).

7.4. Prednosti i nedostaci

Osnovno preimućstvo ove vrste uređaja predstavlja njihova mala zapremina (prostor koji zauzimaju i koji im je potreban za rad). Ali pošto je i njihov učinak mali (nekoliko kubnih metara na čas), to dovodi do visokih cena koštanja, koje su znatno veće od onih koje odgovaraju valjcima.

Primena ovih uređaja ograničena je zbog toga najčešće na manje radove i na slučajevima kada se oni obavljaju u skućenom prostoru.

8. SPECIJALNI UREĐAJI

Postoje uređaji namenjeni specijalno za određene vrste poslova. Nabranjanje uređaja koje je vrlo sažeto i nekompletno ima informativni karakter.

8.1. Uređaj za zbijanje proširenja

Neki od uređaja za zbijanje opisani u poglavljima 5, 6 i 7 ove glave vrlo su pogodni za ovu vrstu posla.

Postoji priličan broj vibracionih valjaka i vibracionih ploča različitih širina koje se mogu iskoristiti za različite poslove, zavisno od potreba. U takvim slučajevima pomenuti uređaji su vrlo efikasni.

Osim toga, neki proizvođači su plasirali na tržište uređaje koji su specijalno prilagođeni za zbijanje iskopa i proširenja. Najčešće su to dodatni mehanizmi ili oprema koji se montiraju na normalne uređaje za zbijanje, katkad umesto nekog elementa standardnog uređaja. Neke vrste uređaja za zbijanje sa gumenim točkovima, čiji se točkovi mogu pomerati u vertikalnom smislu i na taj način dovoditi na različite nivoe, vrlo su pogodni i za ovakve radove.

Najčešće se ovi uređaji koriste za zbijanje kolovoznih konstrukcija na putevima koje treba proširivati.

Zbijanje se postiže dejstvom točka, čija je čelična obloga glatka, uz mogućnost vibriranja ili bez te mogućnosti, koji se spušta u iskopani deo radi proširenja. Ovaj točak je održavan u vertikalnom položaju pomoću šasije koja nosi točak i omogućava njegovo vođenje po željenoj putanji, a oslanja se na kolovoznu konstrukciju pomoću točkova koji se mogu dizati i spuštati zahvaljujući hidrauličkom sistemu ugrađenom na uređaju. Zahvaljujući takvom rešenju šasija je skoro uvek u horizontalnom položaju iako je točak kojim se obavlja zbijanje spušten u iskopani rov.

Održavanje pravca, zahvaljujući hidrauličkim komandama, obezbeđeno je preko prednjeg točka koji se kreće po kolovozu (slika V.2).

Pomeranje unapred pri radu postiže se preko samog čeličnog točka. Model koji je korišćen pri ovom opisu težak je 4 tone, širina koju je moguće zbiti iznosi 1,50 m, maksimalna brzina je 3 km/čas. Maksimalna dubina iskopanog rova ili proširenja na kojoj je još moguće zbijanje iznosi 0,63 m.

Jedan konstruktor je adaptirao valjak sa tri glatka čelična točka tako što je zadnji točak zamenio oscilirajućim kućištem (karterom) koje nosi jedan gumeni točak, koji je pogonski.

Hidraulični uređaj, kojim se upravlja sa komandnog mesta za upravljanje valjkom, kontroliše položaj kućišta, — a preko njega i gumenog točka u odnosu na ravan kretanja ostalih točkova ovog valjka.

Ovakvom adaptacijom omogućeno je zbijanje gumenim točkom dna rova — iskopa za proširenje i slojeva kolovozne konstrukcije ugrađenih u taj iskop.

Postoje dva moguća načina montaže, tj. s jednim ili s dva točka:

a) S jednim točkom:

- širina iskopa 0,50 do 0,80 m;
- maksimalna dubina iskopa 0,48 m;
- opterećenje po točku 3 500 do 4 000 kp.

b) S dva točka:

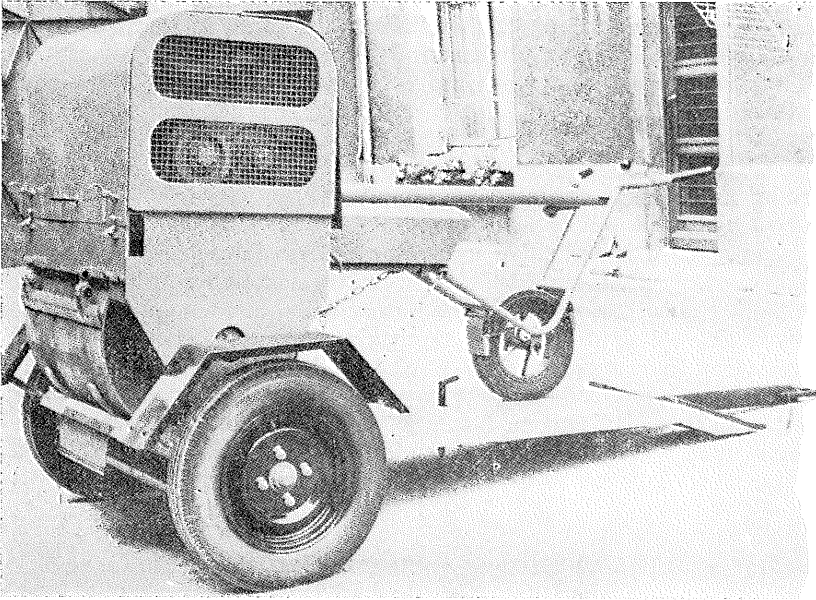
- širina iskopa 0,90 do 1,30 m;
- maksimalna dubina iskopa 0,48 m;
- opterećenje po točku 1 650 do 1 900 kp.

8.2. Uređaj za zbijanje rovova

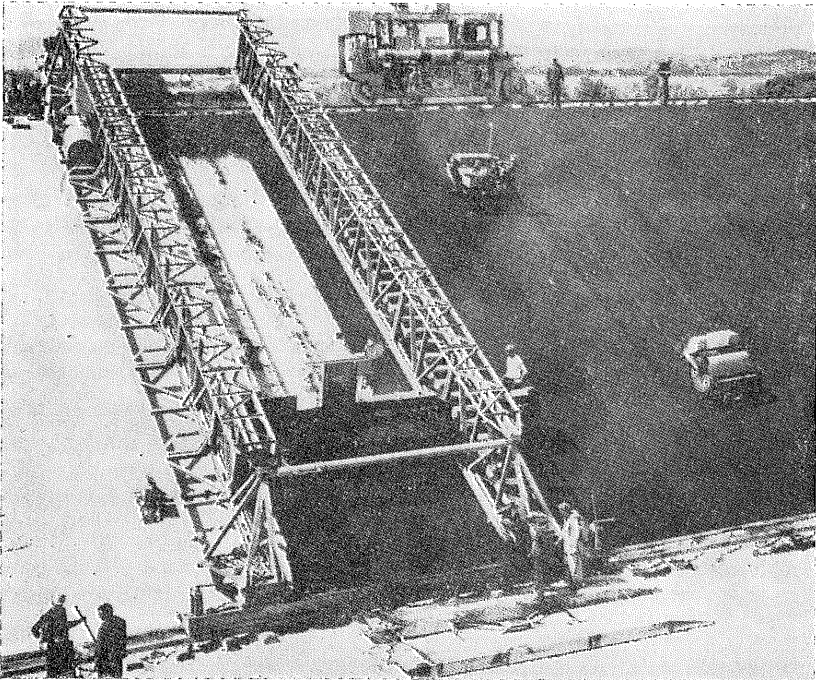
Neki od opisanih uređaja za zbijanje u poglavljima 5, 6 i 7 ove glave vrlo su pogodni za ovu vrstu posla.

Tako postoje izvesni mali vibracioni valjci, a naročito laki udarni nabijači koji su namenjeni ovoj vrsti posla.

Pojedini proizvođači opreme nude specijalne uređaje koji su analogni uređajima namenjenim zbijanju proširenja, tj. kod kojih se šasija kreće po horizontalnom



Sl. II.XVIII — Mali vibracioni valjak (naročito pogodan za zbijanje rovova i proširenja) i njegova prikolica za transport
(Foto Piquard-Durey-Sohy)



Sl. II.XIX — Zbijanje zastora (obloge kanala) vibracionim i statičkim valjkom (kanal Diranse) (Canal de la Durance)
(Foto Albaret)

tlu s jedne i druge strane rova. Šasija nosi jedan valjak sa glatkom čeličnom oblogom, vibracioni ili statički, ili jedan odnosno dva točka sa gumama.

Upozorićemo na jedan originalan uređaj namenjen zbijanju rovova ili kosina. To je vibraciona ploča vezana za vučno vozilo koja može raditi u dnu rova ili na kosini od nagiba od 50%.

8.3. Uređaj za zbijanje spojeva

Problem spojeva između dve uzastopne trake asfaltne mešavine koje ugradi jedan finišer vrlo je delikatan. Najčešće se smatra dovoljno dobrim ako se zbijanje obavi valjkom koji se koristi za zbijanje na normalno izrađenom delu trake, tj. valjak sa gumenim točkovima i valjak sa glatkim čeličnim točkovima.

Pokušava se da se zagrevanjem površine ranije izrađene trake olakša prijanjanje asfaltne mešavine novoizrađene trake za već postavljenu. Jedan proizvođač montirao je dopunski mehanizam na bok uređaja za zbijanje sa gumenim točkovima. To je jedan mali valjak s glatkim čeličnim točkom širine tridesetak santimetara koji se spušta na kolovoz pomoću hidraulične prese.

8.4. Uređaji za zbijanje zastora—obloga na strmim obalama

Navešćemo samo uređaje namenjene zbijanju zastora—obloga na strmim obalama (videti sliku II.XIX). Radovi su se jako proširili poslednjih godina, zahvaljujući E.D.F.

BIBLIOGRAFIJA UZ II GLAVU KNJIGE

- [I] J. DEWANDELEER: *Les engins de compactage*. I. *Généralités sur les engins de compactage*, Rapport de Recherche du C.R.R., Bruxelles.
- [II] *Groupe de travail »Compactage» de la C.E.M.A.G.*, Étude des caractéristiques des matériels de compactage: a) fascicule *Dp Rouleaux vibrants automoteurs*; b) fascicule *Dv Compacteurs à pneus automoteurs*; c) fascicule *Dk Rouleaux compresseurs à bandages lisses*.
- [III] Sans nom d'auteur: *Tableaux des caractéristiques des matériels*, Supplément au n° 19, du 11 mai 1968, du Moniteur des Travaux publics.
- [IV] J. PARAMYTHIOTI: *Essai d'étude des variations de pressions réelles moyennes de contact d'un pneu de compacteur en fonction du degré d'avancement du compactage*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 18.
- [V] G. LUTHER: *Die Wirkungsgewise und kennzeichnenden Merkmale von selbstfahrenden Gummiradwalzen*. *Revue Strasse und Autobahn*, n° 7, de 1966, traduit par le Service spécial des Autoroutes, Agence Méditerranée.
- [VI] J. DUNGLAS: *Contribution à l'étude de l'influence des vibrations sur le comportement mécanique d'un matériau granuleux*, Thèse de Doctorat, imprimée par le Centre de Recherches et d'Expérimentation du Génie rural.
- [VII] G. MOREL et B. FRANCESCHINA: *Essai d'un cylindre vibrant mixte* (C.V. 415). Centre d'expérimentations Routières de Rouen.
- [VIII] G. ARQUIÉ: *Le compactage par vibration*, *Revue Générale des Routes et des Aérodrômes*, n° 470, novembre 1971.

GLAVA III

KONTROLA ZBIJANJA

I. UVOD

1.1. Značaj kontrola

Moglo bi se smatrati logičnijim stavljanje ovog poglavlja na kraj knjige. Mi smo mu, međutim, dali centralno mesto jer smatramo da se ne može ozbiljnije razmatrati problem zbijanja materijala a da se pre toga ne objasni kako se obavlja kontrola njegove zbijenosti, tj. da se ne definiše *postupak utvrđivanja i procene dobivenih rezultata* i vrednost instrumenta ili instrumenata koji se koriste za merenje i procenu.

Sažetim prikazom različitih metoda koje se danas koriste za procenu dobivenih rezultata pokazaćemo i pojavu nedovoljne preciznosti, koja s jedne strane *otežava upoređenja (između) različitih uređaja za zbijanje* i koja s druge strane pokazuje, da je pojednostavljena kontrola često bez signifikantnosti, a da je *ozbiljnija kontrola neizbežna i vrlo teška*, bar pri sadašnjem stanju stvari.

1.2. Klasifikacija metoda kontrole

Postupak zbijanja moguće je kontrolisati:

- proučavanjem dobijenih rezultata, tj. merenjem ili procenom mehaničkih ili fizičkih kvaliteta zbijenog tla ili
- kontrolom uređaja za zbijanje i načina njegovog korišćenja.

Kao što smo naveli u prethodnom poglavlju (1.1), svaka od metoda koju ćemo opisati, a pripada jednoj od navedenih kategorija, ima ozbiljne nedostatke: odatle jasno proizilazi da se dobra kontrola postiže jedino kombinovanjem više metoda.

Smatramo na osnovu toga da dok se ne postigne značajniji napredak u jednom od navedenih pravaca (kontrola karakteristika zbijenog tla ili kontrola uređaja za zbijanje i načina njegovog korišćenja), ne bi trebalo štedeti na njihovom objedinjavanju.

2. KONTROLA KARAKTERISTIKA ZBIJENOG ZEMLJANOG MATERIJALA

2.1. Rasipanje rezultata merenja

Ove metode se mogu međusobno razlikovati po izboru kontrolisane karakteristike i po uređajima, odnosno upotrebnoj metodi za merenje te karakteristike. No one imaju jedan opšti nedostatak: vrlo veliko relativno rasipanje dobijenih rezultata; uočene razlike od jednog *mernog mesta do drugog* na gradilištu su reda veličine koju treba izmeriti i koja izdvaja izvrsno zbijanje od jednog osrednjeg rada.

Drugim rečima, jedna data fizička karakteristika, na primer zapreminska težina u svom stanju, nije samo funkcija kvaliteta zbijanja kome je bila izložena već, takođe, i drugih vrlo brojnih faktora, kao što su granulometrijski sastav, vlažnost, efekat lokalnog uklinjavanja, stvarna debljina sloja u posmatranoj tački, oblik zrna (uglatost) materijala koji se zbija, slučajna greška pri merenju, itd. Svi ovi faktori imaju, od jednog do drugog mesta zbijanog sloja, varijacije koje izazivaju oscilacije odabrane karakteristike.

Ove oscilacije su, konačno, vrlo znatne, pošto su reda veličine razlika koje je moguće postići kvalitetom samog zbijanja.

Na taj način dolazi se u iskušenje da prerano zaključimo o neophodnosti odbacivanja ovog postupka. To bi predstavljalo ignorisanje mogućnosti koje nam pruža statistički aparat. Pod uslovom da se obavi dovoljan broj merenja, moguće je izolovati dejstvo samo jednog faktora koji nas interesuje. Jasno je da se to postiže uz povećanje cene koštanja kontrolnih ispitivanja i eventualno zakašnjenje u dobijanju rezultata, zakašnjenje koje, ako nije kompenzirano na zadovoljavajući način, može imati znatno teže posledice nego koštanje kontrole.

Poboljšanje preciznosti jednog izolovanog — pojedinačnog merenja odabrane karakteristike svakako je neophodno, ali nije potpuno dovoljno. Čak je moguće da bi u izvesnim slučajevima bilo znatno efikasnije *ubrzati merenja* radi omogućavanja njihovog umnožavanja, što bi trebalo da obezbedi ne samo poboljšanje preciznosti merenja (slučajna greška u odnosu na srednju vrednost bila bi podeljena sa kvadratnim korenom broja obavljenih merenja) već, isto tako, i znatno ublažavanje prethodno pobrojanih parazitskih uticaja.

Verujemo da ove ideje ne bi lako prihvatila većina praktičara, iako ih je Žef-roa već izložio u svom radu [I].

Mišljenja smo da je neophodno izložiti iskustva zasnovana na ovim razmišljanjima i opitima obavljenim u opitnom centru u Ruanu. O njima je takođe vođeno računa u ovom izlaganju [II].

Posle vrlo brižljive pripreme materijala krupnoće 0/18 mm, njegovog razastiranja pri vrlo strogim uslovima u pogledu ujednačenosti debljine i gustine (pre zbijanja), obavljeno je zbijanje valjkom sa gumenim točkovima, uz posebne mere predostrožnosti kako bi se proverili pritisci u gumama, brzina kretanja valjka, preklapanje tragova pri pojedinim prelazima, itd., i postiglo da se to sve obavi uvek na isti način. Merenje gustine obavljano je nuklearnim denzitometrom Rokoplan R 18 (Rocoplan) na 20 mesta (videti naredno poglavlje 2.4.2.)

Ponavljajući više puta opisani postupak, bilo je moguće odrediti sa kakvom se aproksimacijom može reprodukovati fenomen.

Pre nego što se pristupi analizi samih rezultata neophodno je još insistirati na nepromenljivosti (konstantnosti) faktora koje je trebalo utvrditi ovim ispitivanjem.

2.1.1. Granulometrijski sastav. Na slici III.1 prikazano je rasipanje granulometrijskog sastava materijala u eksperimentalnom rovu. Takvo rasipanje može se procenjivati samo ako su poznate dimenzije uzoraka na kojima su obavljena merenja [III]; u ovom slučaju uzorci za ispitivanje bili su malih dimenzija (12 kp), što znači da bi rasipanje bilo znatno smanjeno da je statistički uzorak bio uvećan ili čak i znatno veći.

U toku svakog postupka zbijanja uzimano je po 4×10 uzoraka za ispitivanje granulometrijskog sastava (10 posle svake serije prelaza uređaja za zbijanje). Na slici III.1 prikazano je područje granulometrijskog sastava u kome je ležalo tih četrdeset linija granulometrijskog sastava, a pored toga i uže područje u kome leže četiri srednje linije dobijene kao prosek za svaku grupu od deset linija granulometrijskog sastava.

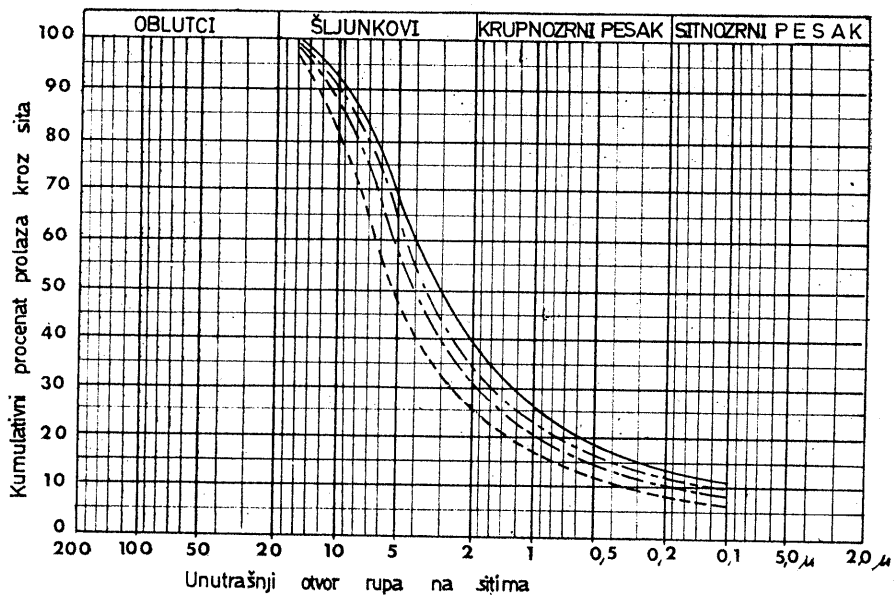
Upoređivani su osim toga i granulometrijski sastavi materijala posle više obavljenih postupaka pri istim uslovima. To znači da su pet puta ponavljana merenja koja su upravo opisana. Dobijena odstupanja od postupka do postupka su neznatna, kao što se vidi iz tablice:

		Minimum	Prosek	Maksimum	Rasipanje
Prolaz kroz sito od 2 mm	Postupak 96	26 %	33 %	38 %	12 %
	Postupak 97	29 %	34 %	40 %	11,5 %
	Postupak 98	23 %	33 %	43,9 %	20 %
	Postupak 99	24,6 %	32 %	35,8 %	11,2 %
	Postupak 100	26,7 %	32,5 %	37,6 %	10,9 %
Prolaz kroz sito od 8 mm	Postupak 96	73 %	81 %	86 %	13 %
	Postupak 97	73 %	82 %	87 %	14 %
	Postupak 98	75 %	81,5 %	86 %	11 %
	Postupak 99	73,4 %	82,5 %	88,6 %	15,2 %
	Postupak 100	75,6 %	82,3 %	88,6 %	13 %
Prolaz kroz sito od 5 mm (gde je širina promena najveća)	Postupak 96	48,3 %	61,5 %	68,6 %	20,3 %
	Postupak 97	51,1 %	62 %	68,7 %	17,6 %
	Postupak 98	49,1 %	60,5 %	67,5 %	18,4 %
	Postupak 99	51,5 %	59 %	68 %	17,5 %
	Postupak 100	52,5 %	61,5 %	70,9 %	18,4 %

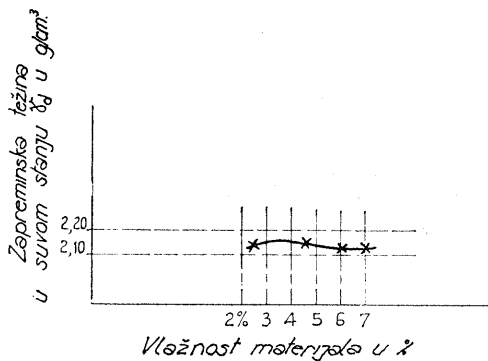
Može se zaključiti da je granulometrijski sastav materijala bio neobično ujednačen i nepromenljiv, ne samo u toku jednog postupka (slika III.1) već isto tako i u toku različitih postupaka izvođenih sukcesivno (prethodna tablica). Danas je moguće postići slične rezultate na dobro organizovanim gradilištima, na industrijskoj osnovi proizvodnih procesa.

2.1.2. Vlažnost materijala. Iako se radilo o materijalu malo osetljivom na promene vlažnosti, jer su Proktorove linije određene po normalnom i modifikiranom postupku izdužene i ravne (slike III.2 i III.3), kontrolisan je uticaj i ovog faktora.

Razlike su neznatne: ekstremne zabeležene vrednosti su 2,80 (postupak 98, prelaz 6.) i 3,642 (postupak 99, prelaz 1.); detaljnija statistička analiza pokazala je da je bilo uočljivih razlika u pogledu vlažnosti pri različitim postupcima.

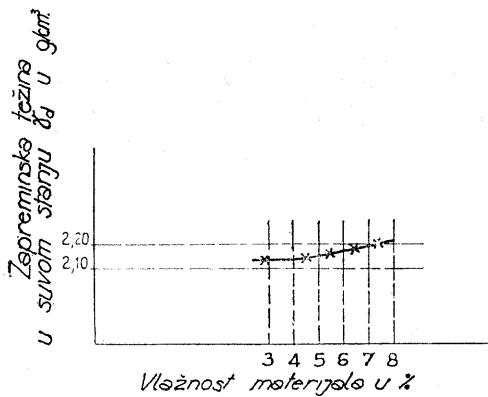


Sl. III.1



Sl. III.2 — Normalni Proktorov dijagram materijala iz Majeraja (La Maille-raye)

Sl. III.3 — Modificirani Proktorov dijagram



2.1.3. Analogue mere predostrožnosti bile su preduzete u pogledu obezbeđenja krutosti osnove (efekat nakovnja), brzine kretanja uređaja za zbijanje, unutrašnjeg pritiska u gumama, težine uređaja za zbijanje, itd.

2.1.4. *Merenja zapreminskih težina u suvom stanju.* Uprkos preduzetim merama, zapreminske težine materijala u suvom stanju su oscilirale (menjale su se):

1) S jedne strane, u toku jednog istog postupka zbijanja i od jednog do drugog mesta eksperimentalnog rova, kao što se uočava iz sledeće tablice u kojoj su prikazane gustine na dvadeset ispitivanih mesta. Odatle se uočava da je prosek (srednja vrednost) gustine definisan sa približnošću od oko $\pm 0,015$.

Zapreminske težine u suvom stanju: postupak 96

Mesto	3 prelaza	4 prelaza	5 prelaza	6 prelaza
F 7	2,16	2,18	2,17	2,24
F 11	2,13	2,16	2,20	2,23
F 15	2,14	2,13	2,15	2,21
F 19	2,13	2,14	2,20	2,17
F 23	2,15	2,14	2,15	2,25
F 27	2,15	2,15	2,18	2,19
F 31	2,15	2,12	2,16	2,21
F 35	2,16	2,16	2,18	2,21
F 39	2,18	2,14	2,17	2,19
F 43	2,16	2,16	2,20	2,21
L 7	2,13	2,17	2,20	2,30
L 11	2,13	2,22	2,18	2,25
L 15	2,11	2,17	2,14	2,20
L 19	2,16	2,11	2,12	2,18
L 23	2,14	2,14	2,19	2,14
L 27	2,15	2,16	2,16	2,21
L 31	2,17	2,13	2,20	2,24
L 35	2,16	2,14	2,18	2,19
L 39	2,14	2,17	2,11	2,21
L 43	2,12	2,19	2,14	2,20
Prosek . . .	2,146	2,154	2,17	2,21
σ^2	0,0003	0,0006	0,0007	0,0011
$\frac{19,6 \sigma'}{\sqrt{n}}$	0,008	0,011	0,012	0,015

2) S druge strane, od jednog postupka do drugog: otpočinjući isti postupak iznova, tj. koristeći isti uređaj za zbijanje pri istim uslovima i na istom materijalu (već smo naveli kakve su mere predostrožnosti bile preduzete radi dobijanja što tačnijeg rezultata) sa vlažnošću koja je neznatno varirala, nisu dobivane potpuno tačne i istovetne zapreminske težine u suvom stanju. U narednoj tablici su prikazane uočene i registrovane razlike:

		3 prelaza	4 prelaza	5 prelaza	6 prelaza
Postupak	96	2,146 ± 0,008	2,154 ± 0,01	2,17 ± 0,01	2,21 ± 0,015
Postupak	97	2,17 ± 0,014	2,198 ± 0,02	2,195 ± 0,02	2,218 ± 0,013
Postupak	98	2,06 ± 0,020	2,128 ± 0,014	2,142 ± 0,015	2,163 ± 0,013
Postupak	99	2,179 ± 0,014	2,162 ± 0,013	2,196 ± 0,014	2,254 ± 0,013
Postupak	100	2,161 ± 0,010	2,170 ± 0,017	2,205 ± 0,010	2,210 ± 0,013

Čak, eliminišući postupak 98 u toku koga se javila greška pri merenjima, uočava se da nije moguće odrediti zapreminsku težinu u suvom stanju γ_d sa većom preciznošću od ± 3 jedinice. Da bi se to potvrdilo, bilo je neophodno preduzeti ponovo istraživanje, posle čega je dobijena ista vrednost.

2.1.5. Korišćenje stepena zbijenosti. Da li je moguće zameniti zapreminske težine u suvom stanju (ili specifičnu gustinu suvog materijala) stepenom zbijenosti, zamenjujući γ_d odnosom:

$$\frac{\gamma_d}{\gamma_d \text{ optimalno po modificiranom Proktoru}} ?$$

Pojavljuju se ista rasipanja.

Studija I Nasip male visine od materijala vrlo dobrog i homogenog, izrađen pri izvanredno povoljnim uslovima ugrađivanja	Studija II Tlo je mešavina gline i oblutaka iz reke. Predstavlja, približno, prosečnu promenljivost materijala za zbijanje	Studija III Obavljena u priobalnoj oblasti, neravnoj, u nestabilnom terenu: neuniforman i vlažan materijal	
92,86 %	90,54 %	93,64 %	\bar{x} = prosek relativne zbijenosti
2,44	3,09	5,52	σ = tipsko odstupanje
0,026	0,034	0,059	$\frac{\sigma}{\bar{x}}$ = koeficijent varijacije
200	200	176	n = broj merenja

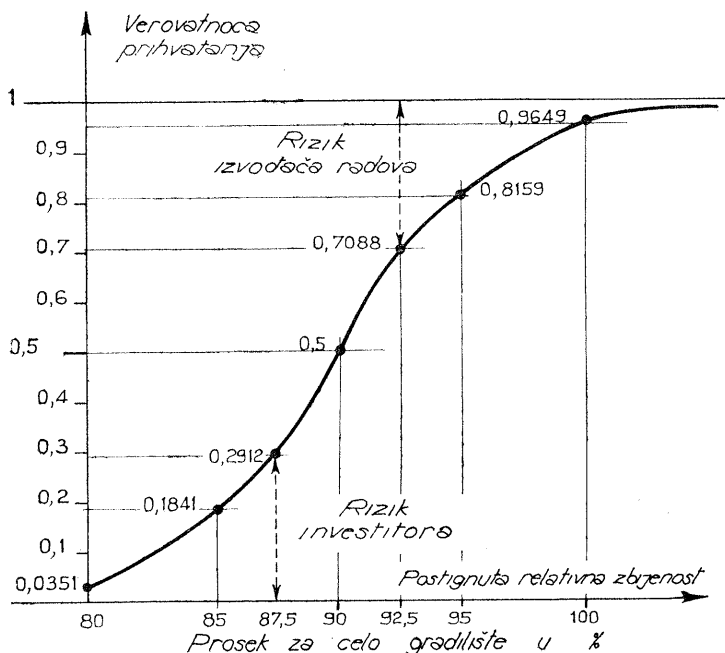
Nismo samo mi konstatovali ovu pojavu. U Kaliforniji [X], obavljene su tri studije u vezi sa relativnom zbijenošću i rasipanjem rezultata koji su sažeto prikazani u prethodnoj tablici.

Ti rezultati, izraženi na jedan drugačiji način, pokazuju da pri jedinstvenom opitu postoji 95 šansi prema 100 da se dobije vrednost koja se nalazi između 82% i 104% od referentne vrednosti (studija br. III).

Ako se pri donošenju odluke o prihvatanju ili o odbijanju određene zbijenosti odlučuje ne na osnovu pojedinačnog merenja već na osnovu proseka od 9 merenja,

taj prosek ima 95 šansi prema 100 da će se naći u intervalu između 90% i 97% od referentne vrednosti (koristeći uvek rezultate studije br. III).

Bazirajući se sada na rezultatu studije br. II, gde je manje rasipanje nego kod studije br. III, i pretpostavljajući da će se odluka o prihvatanju ili o odbijanju doneti na osnovu proseka za 9 merenja, zavisno od toga da li je veći ili manji od 90%, moguće je nacrtati liniju efikasnosti prikazanu na slici III.4.



Sl. III.4 — Linija efikasnosti prijema u vreme građenja zasnovanog na devet rezultata merenja relativne zbijenosti. Podsećamo da ova linija daje — u funkciji od stvarno određenog prosečnog rezultata, ali nepoznatog, — verovatnoću da se prihvati ili odbije

Linija pokazuje, na primer, da iako je prosečna stvarna zbijenost celokupnog testiranog posla samo 87,5% umesto 90%, postoji pri tome skoro jedna šansa prema tri (0,2912) da će prosek za 9 merenja biti veći od 90% i da će zbijanje biti prihvaćeno. U obrnutom smislu, čak ako je realno postigao rezultat od 92,5% relativne zbijenosti, izvođač radova ima skoro jednu šansu prema tri da će mu posao biti odbijen.⁽¹⁾

Na osnovu izlaganja treba zaključiti s jedne strane da ograničen broj merenja zapremine težine materijala u suvom stanju ima vrlo malu signifikantnost, a da se, s druge strane, čak i pri umnožavanju merenja, ne dobija rezultat sa većom preciznošću nego oko ± 3 jedinice.

⁽¹⁾ Navodimo napomenu autora pomenute Kalifornijske studije. Kada nadzorni organ odbije da primi zbijanje kao konačno i ako izvođač izvrši naknadno zbijanje, a potom se ponovo obavi kontrola, ukupna šansa da se posao prihvati postaje vrlo znatna. Pretpostavimo da je pri prvobitnom opitu verovatnoća prihvatanja bila 1/2 i da pri kasnijem zbijanju nije postignuto nikakvo poboljšanje, tj. da verovatnoća prihvatanja bude još uvek 50%, ukupna verovatnoća za prihvatanje posla je 0,75, tj. $0,5 + 1/2 \cdot 0,5$.

Svako upoređenje uređaja za zbijanje mora se obavljati uz uvažavanje ovog rezultata.

Nije neophodno posebno naglašavati da se pri svakom prijemu radova, kao i pri usvajanju tehničkih uslova za odgovarajuće poslove za sada treba uzdržavati od preteranih ili isključivih zahteva.

2.1.6. Merenja pločom. U toku ispitivanja navedenih u prethodnom poglavlju obavljana su istovremeno i ispitivanja primenom opita pločom. Nećemo se zadržavati na detaljnijem opisivanju korišćenog postupka ispitivanja, već ćemo uopšteno prikazati dobijeni rezultat. Generalno uzev, utvrđeno je da razlike između operacija nisu ili su slabo signifikantne, što će reći da su rasipanja u toku pojedinih operacija istog reda veličine kao i ona unutar istog postupka. Utvrđeno je, takođe, da za isti postupak razlika između defleksija izmerenih posle trećeg ili šestog prelaza uređaja za zbijanje nije izrazita.

Na kraju, pri interpretaciji rezultata utvrđeno je da je merenje elastičnih defleksija pomoću ploče istovremeno i vrlo osetljivo i nedovoljno osetljivo:

- vrlo osetljivo na neuobičajene lokalne promene,
- nedovoljno osetljivo za opšte fenomene koje je trebalo otkriti, a naročito na smanjenja koja je trebalo konstatovati blagovremeno sa napredovanjem zbijanja.

Navodimo, ipak da je po završenom zbijanju uočeno izvesno povećanje krutosti.

2.2. Karakter „a posteriori,, ovih metoda

Pokatkad se metode kontrole zasnovane na merenju karakteristika zemljanih materijala posle zbijanja svrstavaju u kategoriju metoda po završenom poslu (a posteriori), što nije potpuno netačno ali može izazvati i nespornost i konfuziju.

Pojam kontrole a posteriori (po završenom poslu) suprotan je pojmu *kontrole a priori* (*unapred*) koji podrazumeva — obuhvata kontrolu vrste — tipa upotrebjenog uređaja za zbijanje, njegovih karakteristika, uslova njegovog korišćenja, vlažnosti zemljanog materijala predviđenog za zbijanje, itd. *pre početka zbijanja*. *Za vreme zbijanja* kontroliše se, takođe, broj prelaza uređaja za zbijanje ali se ne pokazuje veća zainteresovanost za dobijeni rezultat.⁽¹⁾

Pod kontrolom „a posteriori” podrazumevaju se metode koje utvrđuju dobijeni rezultat.

Ali, u *navedenom slučaju*, ovaj pojam može stvoriti konfuziju pripisujući ovim metodama jedan nedostatak koji im se ne sme pripisati. Ovaj pojam može u stvari navesti na zaključak da se ova kontrola može sprovesti samo ako je rad završen i kada je bilo kakva intervencija nemoguća, jer je za nju kasno.⁽²⁾

Međutim, kontrola zbijenosti na osnovu merenja izvesnih karakteristika zemljanog materijala može se sprovesti između dva prelaza uređaja za zbijanje, tako da se rezultati merenja mogu iskoristiti za donošenje odluke o nastavku ili prekidu daljeg zbijanja.

(1) Izuzev ako se, kao što mi preporučujemo (i kao što će to predviđati buduća sveska 25 Specijalnih tehničkih uslova), objedine kontrole pre početka i po završenom poslu (a priori i a posteriori).

(2) U drugim oblastima ali ne i u zbijanju, ovaj nedostatak nekih metoda „a posteriori” je evidentan.

Doduše, u takvom slučaju, da se ne bi usporavali radovi na gradilištu, potrebne su brojne i dobro opremljene ekipe koje su u stanju da brzo obave nužne proračune, naročito statistička sračunavanja.⁽¹⁾ Neophodno je shvatiti da se samo uz povećane troškove mogu očekivati uočljivi rezultati kao i rezultati koji nisu apsurdni.

Međutim, ispunjavanjem ovog osnovnog uslova, koga nije lako ostvariti na gradilištu, kontrola sprovedena merenjima u stanju je da pruži neophodne podatke za blagovremenu intervenciju.

2.3. Različite metode kontrole karakteristika zbijenog materijala

U sledećoj tablici navedene su metode ove vrste:

			Zapažanja
1. Merenje zapreminske težine u suvom stanju (specifične težine)	Po težini i zapremini	Pesak	
		Ulje	
		Gips	
		Normalna membrana	
		Velika membrana	
	Pomoću metoda sa radioaktivnim izotopima (nuklearne)	Nuklearni denzito- metar sa šipkom: DR 10 DR 18 DR 30 DR 50	
		Nepokretna zaštitna obloga	
Pokretna zaštitna obloga			
2. Mehanički opit (utiskivanje, različiti moduli, defleksije)	Proktorova igla		Problemi u vezi sa vlažnošću
	Opiti pločom		
	Probno valjanje		
	Deflektograf Lacroix		
	Deflektograf za nasip		

2.4. Kontrole merenjem zapreminske težine u suvom stanju

2.4.1. Merenje specifične težine zemljanog materijala da bi se koristio pojam utvrđen na Kongresu za mehaniku tla u Parizu, 1961. godine, ili zapreminska težina u suvom stanju, ako se koristi uobičajeno upotrebljavani izraz francuskih stručnjaka,

⁽¹⁾ Korišćenje novih metoda, brzih ili sa kontinualnim radom, izmeniče perspektive u potpunosti.

može se obavljati direktno: u takvom slučaju kopa se rupa u proučavanom sloju, meri izvađen materijal iz rupe i određuje najpre težina u prirodno vlažnom, a zatim i težina u suvom stanju — na osnovu utvrđivanja vlažnosti (sadržine vode) materijala. Na kraju se određuje zapremina rupe.

Merenje materijala izvađenog iz iskopane rupe ne predstavlja nikakav problem izuzev potrebe da se pažljivo prikupi sav materijal, bez ikakvih gubitaka ili dodataka: za to je potrebna samo brižljivost. Izvršiti korektno merenje ne predstavlja teškoće ali zahteva brižljivost. Merenje vlažnosti je znatno delikatnije. Pošto se mogu desiti ozbiljnije greške, ono se mora sprovesti na delu od ukupnog materijala uzetog iz rupe koji mora biti alikvotan deo. Najbolje je u takvom slučaju osušiti celokupan materijal izvađen iz rupe; ali, iako se u takvom slučaju izbegava opasnost od eventualnih grešaka, povećava se trajanje merenja, a taj nedostatak utiče, kao što smo već videli, na praktično smanjenje stvarne preciznosti.

Najveće teškoće javljaju se, međutim, pri određivanju zapremine rupe, budući da ona nema jednostavan geometrijski oblik. Na zidovima rupe postoje neravnine različite veličine koje u znatnoj meri komplikuju problem.

1) Najpreciznija metoda, bar u njenom području dejstva, je, prema Putnoj istraživačkoj laboratoriji (Road Research Laboratory), metoda boce sa peskom. Sastoji se u ispunjavanju iskopane rupe suvim peskom uniformne granulacije koji ističe u rupu sa određene visine. Određuje se, merenjem boce, pre i posle, težina suvog peska koji je istekao iz boce, a time i zapremina peska.

Prednost ovog postupka je u tome što se pesak dobro prilagođava neravninama zidova rupe, čak i kad su vrlo velike.

2) Pesak se može zameniti i uljem, dovoljno viskozim da se ne infiltrira u pore materijala.

Bilo je pokušaja i sa korišćenjem gipsa. Međutim, ova dva postupka se malo koriste u Francuskoj.

3) Najviše korišćen postupak u Francuskoj je onaj sa denzitometrom sa membranom.

Aparat se sastoji od cilindra zatvorenog sa donje strane elastičnom membranom a sa gornje strane jednim klipom. Cilindar je ispunjen vodom a na šipki klipa je ugravirana skala koja omogućava direktno očitavanje zapremine. Da bi se obavilo merenje, neophodne su dve operacije: u prvoj fazi membrana se postavlja na površinu sloja u kome će se kopati rupa (na istom mestu). Očitava se zapremina na skali. Posle kovanja rupe i vađenja materijala aparat se ponovo postavlja u isti položaj kao i u I fazi zahvaljujući vodici koja je pažljivo fiksirana za tlo. Klip se pritiskuje dotle dok membrana ne ispuni potpuno rupu i nalegne na površine njenih zidova. Zatim se obavlja drugo očitavanje zapremine i iz razlike dva čitanja dobija zapremina rupe.

Pri tome su moguće sledeće greške:

a) Postoji opasnost zatvaranja vazduha u prostorima između zida rupe i membrane⁽¹⁾.

b) Ako membrana nije dovoljno elastična (fleksibilna), neće biti u stanju da potpuno ispuni sve neravnine u rupi. Ovaj nedostatak se može otkloniti povećanjem pritiska. To je i razlog zbog koga veliki model, poseduje manometar koji omogućava-

⁽¹⁾ Ova napomena važi samo za kohezivne zemljane materijale vrlo slabo propustljive za vazduh.

va da se izmeri pritisak vode. Bavo (Baveux) [IV] dokazuje da bi on trebao da iznosi bar 100 g/cm^2 .

c) Nužno je onemogućiti pojavu izdizanja aparata koja nastupa kao posledica daljeg povećanja pritiska pošto se membrana osloni na dno jame. Ova vrlo retka vrsta greške, izuzev kod nekih peskovitih zemljanih materijala koji onemogućavaju dobro fiksiranje vodice aparata, moguća je jedino kod aparata s malom membranom.

Da bi se dobila predstava o preciznosti aparata, navešćemo da je Bavo u pomenutoj studiji naveo sledeći odnos između zapreminske težine u suvom stanju γ_d i izmerene zapreminske težine m :

$$\gamma_d = m - 0,02 \pm 0,01, \text{ za zemljani materijal } 0/40 \text{ mm};$$

$$\gamma_d = m - 0,03 \pm 0,02, \text{ za zemljani materijal } 0/80 \text{ mm}.$$

Naveli smo da denzitometri sa membranom postoje u dve veličine.

Čim dimenzije najvećeg zrna u materijalu pređu 20 do 25 mm, potrebno je koristiti veliki modul, iako on ima nedostataka zbog svoje veličine (smanjenje brzine rada).⁽¹⁾

2.4.2. Metode sa radioaktivnim izotopima (nukleološke metode). Prošlo je već dvadesetak godina od momenta kada je postalo moguće meriti zapreminsku težinu materijala u prirodno vlažnom stanju primenom metoda sa radioaktivnim izotopima. Međutim, prvi aparati su imali brojne nedostatke, od kojih nedostatak reproduktivnosti merenja nije bio najmanji.

Bila su neophodna strpljiva proučavanja, zasnovana na proučavanjima specijalista visokog nivoa i na eksperimentisanjima vrlo obimnim i često vrlo vešto zamišljenim da bi se dobili upotrebljivi i precizni aparati.

Bez detaljnijeg opisivanja teškoća na koje se tom prilikom naišlo, korisno je upozoriti da su eliminacija hemijskog porekla čestica tla, s jedne strane, i određivanje korisne zapremine⁽²⁾, s druge strane, iziskivale višemesečna istraživanja.

1) *Aparati sa šipkom.* U Francuskoj se koriste četiri aparata ove vrste. Sva četiri su zasnovana na istom principu: radioaktivni izvor koji zrači u svim pravcima unosi se u ispitivani zemljani materijal (tlo), do dubine konstruktivno utvrđene na:

10 cm za aparat DR 10,

18 cm za aparat DR 18,

30 cm za aparat DR 30,

50 cm za aparat DR 50.

Na površini ispitivanog sloja postavljena su dva Gajgerova brojača koji prikupljaju emitovano zračenje, ili tačnije deo zračenja koje propušta *geometrija* aparata. U stvari, između izvora zračenja i svakog od Gajgerovih brojača postavljen je po jedan olovni ekran; svaki od ekrana probušen je u vidu prozora koji je pažljivo kalibriran tako da propušta samo jedan uzan snop gama zraka. Neophodno je često baždarenje da bi se onemogućilo svako odstupanje aparata i njemu odgovarajuće (priključne) elektronike.

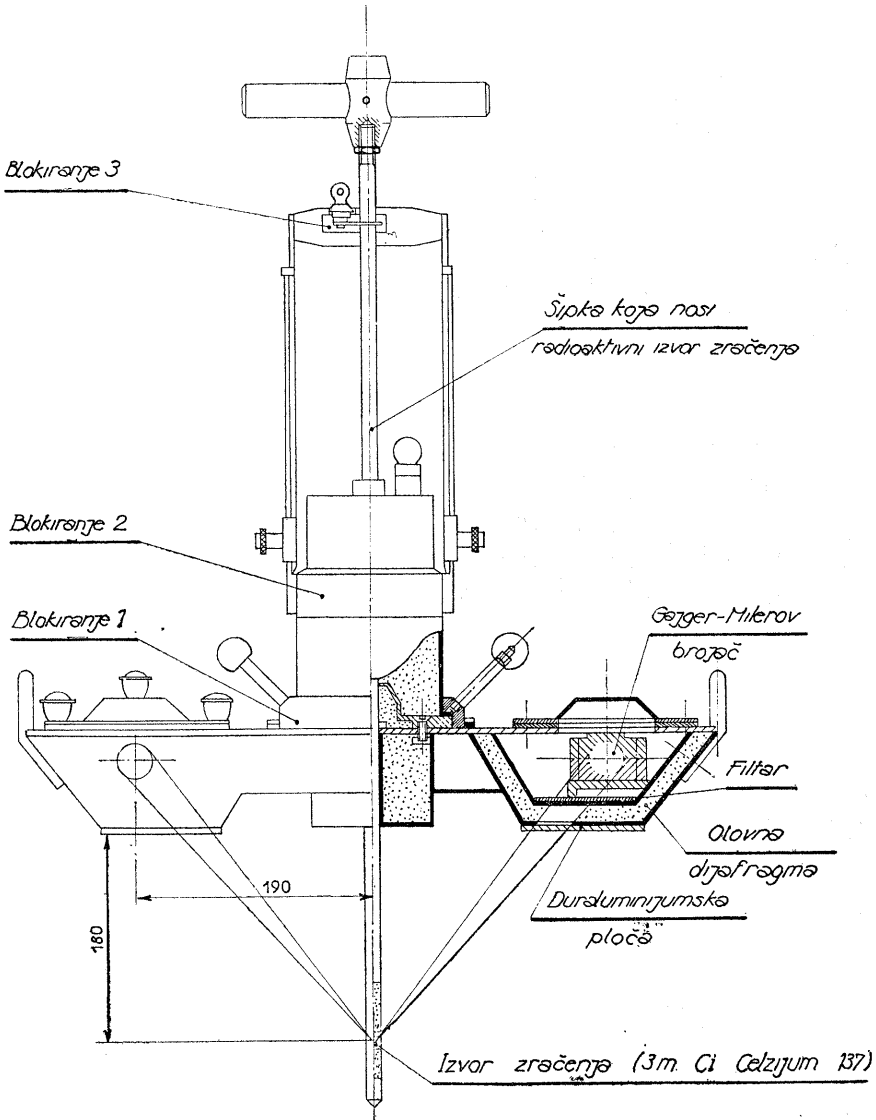
⁽¹⁾ To je razlog više za njihovo korišćenje pri kontroli mehanički stabilizovanih slojeva kolovozne konstrukcije od materijala sa maksimalnim zrnima ograničene veličine (25 mm ili 18 mm).

⁽²⁾ Što će reći zapremine čija je težina pri određivanju gustine najveća; ova zapremina je, kod brojnih aparata, vrlo mala i vrlo bliska površini kolovoza.

Nivo korišćene energije je takav da je merenje praktično neosetljivo na vrstu (hemijsko poreklo) čestica od kojih je izgrađen zemljani materijal.

Korisna zapremina aparata sastoji se od dve prizme čiji je zajednički vrh radioaktivni izvor, a čija je svaka baza otvor isečen u olovnom ekranu postavljenom ispred Gajgerovog brojača.

Poželjno je povećati korisnu zapreminu vršenjem dva merenja u istoj rupi, pri čemu se aparat okreće oko vertikalne ose za 90° između dva merenja. Na taj način se povećava preciznost merenja aparata. Ako se merenje obavlja pod tim uslovima, potrebna su dva čoveka, a i deset minuta vremena za rad na merenju.



Sl. III.5 — Shema aparature DR 18, model 1967.

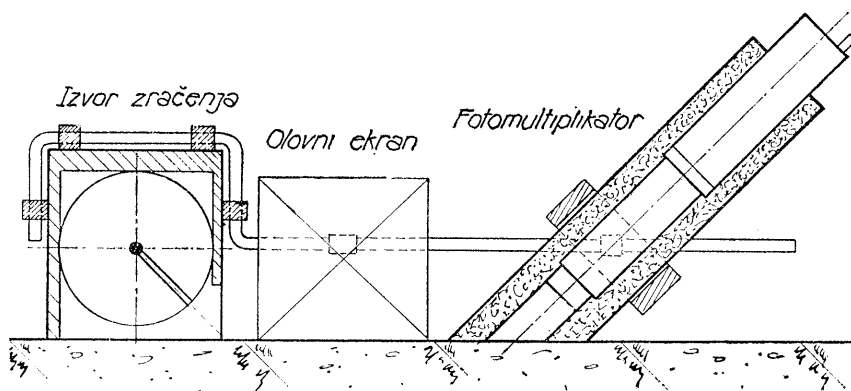
Mnogi smatraju merenje pomoću ovog aparata nedestruktivnim, što je samo delimično tačno. Nužnost da se izbuši rupa, malog prečnika, dovodi do neznatnog poremećaja. Ukoliko se želi upotrebiti ovaj aparat u toku samog zbijanja, radi praćenja istog moguće je, koristeći jednostavno označavanje, ponavljati merenja na istom mestu i na taj način pratiti tok povećanja gustine na željenom mestu. Čak je moguće, vađenjem materijala sa mernog mesta po završenom zbijanju, izvršiti njegovo zbijanje u laboratoriji po modificiranom Proktorovom postupku i dobiti ne samo zapreminsku težinu u suvom stanju već i relativne zbijenosti (izraženu odnosom zapreminske težine u suvom stanju izmerene u zbijenom sloju i po modificiranom Proktorovom postupku). Nažalost, dokazano je, bar kada se radi o jednom sloju kolovozne konstrukcije, da ponovno vraćanje na isto mesto remeti u izvesnoj meri rezultat merenja, dovodeći do dopunskog zbijanja, pošto se cev može uvući samo uz razmicanje i zbijanje materijala oko nje.

Ovom napomenom se smanjuje samo delimično značaj ove metode jer ju je moguće otkloniti uvođenjem korekture.

Uprkos učinjenim kritičkim primedbama, ovi aparati su za sada znatno pogodniji, brži i sigurniji od metoda koje se koriste po obavljenom poslu (a posteriori).

Potrebno je navesti da se aparatima meri samo zapreminska težina u vlažnom stanju zbog čega je neophodno dopunsko merenje vlažnosti. S pravom se može očekivati da će se to uskoro obavljati primenom nedestruktivnih postupaka.

2) *Fiksni aparati sa retrodifuzijom.* Obloga sa promenljivim parametrima predstavlja aparat namenjen istraživanjima. Ovaj aparat snabdeven je radioaktivnim izvorom kobalta 60 koji se postavlja na površinu proučavanog sloja (slika III.6). Emitovani gama-zraci odbijaju se retrodifuzijom i prihvataju u fotomultiplikatoru. *Nivo diskriminacije* odabran je tako da se njime eliminiše hemijsko poreklo (priroda) materijala, a geometrija aparata fiksirana je tako da se njome poboljšava korisna zapremina; ona ostaje, međutim, veoma mala i bliska površini, kao što pokazuje sledeća tablica.



Sl. III.6 — Obloge aparata s promenljivim parametrima (crtež dobijen ljubaznošću M. Barona (Baron) iz Centralne laboratorije za puteve i mostove — Laboratoire Central des Ponts et Chaussées)

Na istom principu konstruisan je *nepokretan-fiksni gamadenzitometar G.D.F.30*, kojim je danas snabdeveno više francuskih laboratorija. Korisna zapremina ovog aparata može se uporediti sa onom kod obloge sa promenljivim parametrima (videti

narednu tablicu). To je, u stvari, aparat namenjen određivanju stepena zbijenosti asfaltnih mešavina.

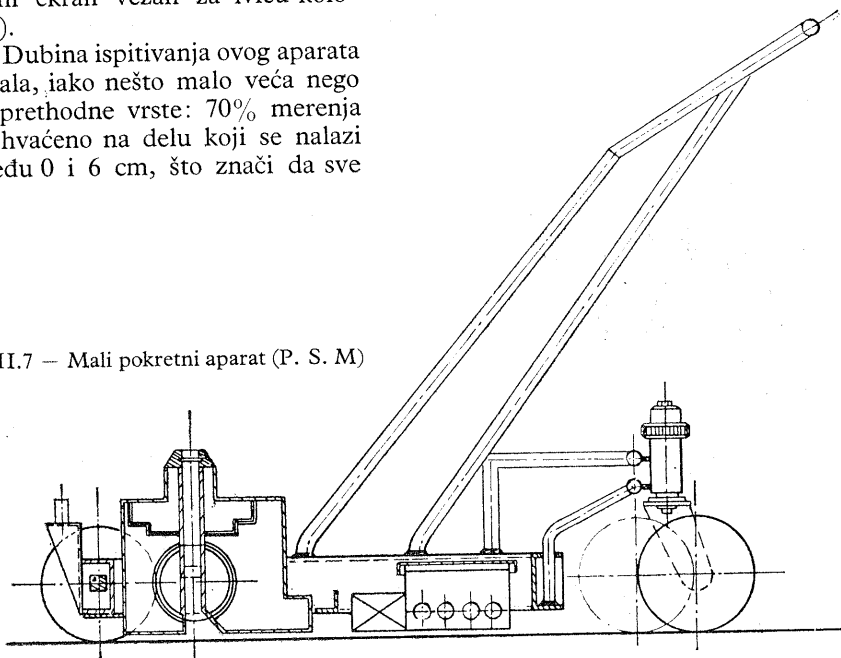
Dubina — između (cm)	Uticaj označene zone na izmerenu zapreminsku težinu (%)	Kumulativni uticaj zona računajući od površine (%)
0 — 1	19,17	19,17
1 — 2	18,38	37,55
2 — 3	16,71	54,26
3 — 4	13,82	68,08
4 — 5	9,83	77,91
5 — 6	6,84	84,75
6 — 7	4,84	89,59
7 — 8	3,43	93,02
8 — 9	2,28	95,30
9 — 10	1,71	97,01
10 — 11	1,14	98,15
11 — 12	0,85	99,00

3) *Pokretni aparati.* Prethodno opisani aparati služe za lokalna merenja u pojedinim tačkama. Jasno je da bi bilo vrlo interesantno sprovesti merenja uz pribavljanje podataka o *profilima* zapreminskih težina u suvom stanju. Jedini način da se do takvih podataka dođe je umnožavanje broja obavljenih merenja.

To se postiže *malim pokretnim uređajem sa oblogom* (sabot mobile) koji se koristi u većem broju francuskih laboratorija. Na slici III.7 prikazan je princip bez detaljnijeg objašnjenja metode koja omogućava eliminisanje vazdušnog talasa (pokretni olovni ekran vezan za ivicu kolo-voza).

Dubina ispitivanja ovog aparata je mala, iako nešto veća nego kod prethodne vrste: 70% merenja je zahvaćeno na delu koji se nalazi između 0 i 6 cm, što znači da sve

Sl. III.7 — Mali pokretni aparat (P. S. M)



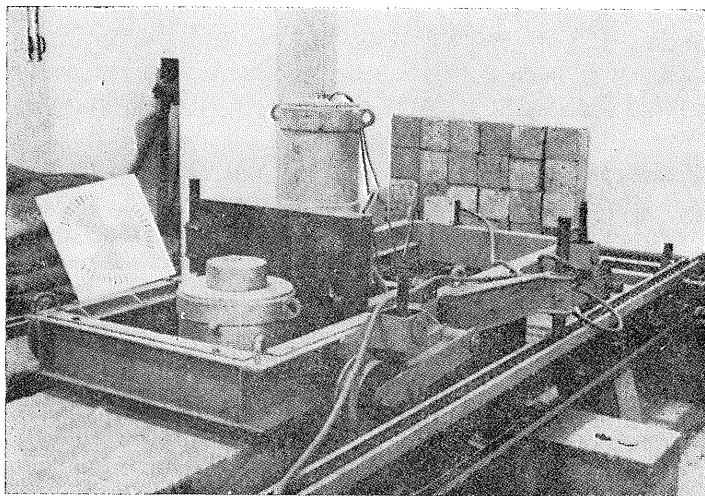
ono što je ispod 6 cm ima težinu 0,3 u merenju prema 0,16 kod prethodno prikazanog aparata.

Laboratorije koje upotrebljavaju aparate G.D.F.30 i P.S.M. počinju merenja s drugim aparatom radi određivanja zona u kojim je asfaltna mešavina sa najmanjom gustinom. U tim tačkama upotrebljava se aparat G.D.F.30 radi obavljanja lokalnih (mestimičnih) preciznijih merenja.

Dva aparata su montirana na poljoprivredni traktor. Brzina intervencije celine omogućava praćenje i kontrolisanje dva gradilišta na kojima se razastire materijal.

4) Radi povećanja dubine ispitivanja neophodno je koristiti mnogo jače radioaktivne izvore (400 do 500 mCi).

Studije su u završnoj fazi i uskoro se može očekivati puštanje u rad aparata G.D.M.45 koji će raditi na dubini ispitivanja do 13 cm. (Na slici III.I prikazan je uređaj za studije i prototip na pokretnom postolju sa tračnicama.) Uticaj vazdušnog talasa i hemijskog porekla (vrste) materijala biće tako dobro eliminisani da će pokretni aparat *davati apsolutne mere (rezultate)*. Ovaj aparat predstavljaće *značajno sredstvo za kontrolu* asfaltnih mešavina.



Sl. III.I

2.5. Kontrola pomoću metoda s mehaničkim merenjem

Zapreminska težina materijala u suvom stanju nije jedina fizička karakteristika kojom se pokušava odrediti kvalitet zbijanja. Moguće je, takođe, koristiti u tu svrhu mehaničke opite opterećenja. Princip različitih metoda je nepromenljiv. Radi se najčešće o opterećenju zbijenog materijala i u merenju nanetog opterećenja, s jedne strane, i dobijene deformacije — elastične ili plastične — s druge strane.

2.5.1. Proktorova igla. Najstariji postupak ove vrste je opit utiskivanja korišćenjem Proktorove igle; može se koristiti samo za sitnozrne zemljane materijale. To je šipka povezana s oprugom koja služi za merenje naprezanja koja ona preuzima

i prenosi. Na donji deo šipke postavlja se igla cilindričnog oblika (kružnog preseka) čija je površina prilagođena vrsti proučavanog zemljanog materijala (0,3 do 6,25 cm²). Igla se utiskuje u ispitivani zemljani materijal brzinom od oko 1 cm/sec dok se ne izvrši utiskivanje do dubine od 7,5 cm, a potom se meri maksimalno naprezanje F .

Najpre se etalonira materijal predviđen za zbijanje; u tu svrhu se obavi Proktorov postupak sa različitim vlažnostima materijala pri zbijanju, pa se zatim, za svaku vlažnost, meri otpornost prodiranja Proktorove igle. Na taj način se dobija linija $F = f(w)$ koja izražava otpornost F u funkciji od vlažnosti materijala w . Pri tome se sa F_0 označava vrednost koja odgovara optimumu po Proktoru (Proktorovom optimumu).

Po završenom etaloniranju (baždarenju) postupak kontrole na gradilištu je dvostruk:

a) Kontrola vlažnosti materijala obavlja se na taj način što se uzme dovoljna količina materijala za ispunu Proktorovog kalupa; materijal u prirodno vlažnom stanju zbijaju za energijom koja odgovara Proktorovom postupku; zatim se vrši opit Proktorovom iglom i proverava da li je dobijeni rezultat blizak F_0 . Ukoliko je to potvrđeno, vlažnost je zadovoljavajuća.

b) Zatim se kontroliše da li je zbijanje zadovoljavajuće — proverom na gradilištu (*in situ*) da li je i otpornost F bliska otpornosti pri optimalnoj vlažnosti F_0 .

Ovaj postupak se malo koristi u Francuskoj, naročito zbog velike disperzije rezultata — usled čega se gubi znatan deo njegove signifikantnosti.

2.5.2. Brojni opiti pločom omogućavaju proveru zbijanja određenog zemljanog materijala.

Oni, u odnosu na postupak kontrole Proktorovom iglom, imaju nedostatak da ne eliminišu uticaj vlažnosti materijala koji može izazvati nesumnjive greške. Loše zbijen i suv plastičan zemljani materijal daje veliki modul, što stvara pogrešnu predstavu. Kasnije ispod kolovozne konstrukcije može doći do povećanja vlažnosti, a nedostatak zbog nedovoljne zbijenosti manifestovaće se na taj način što će na kolovozu doći do oštećenja.

Ovaj nedostatak je mnogo manje ozbiljan kod čistih krupnozrnih materijala koji se koriste za izradu kolovozne konstrukcije, jer uticaj vlažnosti, iako nije za zanemarivanje, nije tako ozbiljan. Najčešće korišćenje standardne metode u Evropi su: nemačka (norme ZTVE, STB 59) i švajcarska (norme SNV 40 172 i 70 317).

1) *Nemačka metoda* zasniva se na upoređenju dva modula deformacije, od kojih se jedan dobija pri prvom ciklusu opterećenja, a drugi pri drugom ciklusu opterećenja. Deformacija koja se uzima za proračunavanje pri prvom ciklusu opterećenja je deo ukupne deformacije (elastične deformacije + prvom ciklusu opterećenja), dok je ona koja se uzima pri drugom ciklusu sličnija elastičnoj deformaciji (pošto se izdvaja zaostala deformacija pri prvom ciklusu). Potrebno je ipak naglasiti da i jedan deo ukupne deformacije naliči takođe na elastičnu deformaciju.

Koriste se sledeće formule:

$$a) \quad E_{v_1} = 1,5 \frac{\Delta_p a}{\Delta Z_{t_1}},$$

u kojoj je E_{v_1} modul određen pri prvom ciklusu opterećenja na osnovu priraštaja ΔZ_{t_1} ukupne deformacije pri opterećenjima (pritiscima) odgovarajućim 3/10 od

izvesnog maksimalnog pritiska i 7/10 od istog maksimalnog pritiska. Δ_p je razlika između ta dva pritiska: Δ_p , dakle, odgovara veličini od 4/10 maksimalnog pritiska; maksimalni pritisak je onaj koji dovodi do ukupne deformacije od 2 mm. Najzad, a predstavlja poluprečnik kružne ploče korišćene za prenošenje opterećenja na ispitivani sloj, a najčešće je 150 mm.

$$b) \quad E_{v_2} = 1,5 \frac{p a}{Z},$$

u kojoj je p pritisak pretposlednjeg stupnja prvog ciklusa, a Z je jednako razlici ($Z_{t_2} - Z_{r_1}$) između ukupne deformacije Z_{t_2} pri drugom ciklusu (opterećenja) pri opterećenju jednakom p i zaostale deformacije pri prvom ciklusu opterećenja (Z_{r_1}).

Razlika između dva modula E_{v_1} i E_{v_2} je utoliko veća što je zemljani materijal manje zbijen (pošto je Z_{r_1} veće u tom slučaju).

Nemački propisi predviđaju maksimalnu vrednost odnosa $\frac{E_{v_2}}{E_{v_1}}$ i minimalnu vrednost za E_{v_1} :

$$- \text{ za sitnozrne kohezivne materijale: } \frac{E_{v_2}}{E_{v_1}} \leq 2;$$

$$- \text{ za peskove i šljunkove: } \frac{E_{v_2}}{E_{v_1}} \leq 2,2.$$

2) *Švajcarski opit V.S.S.* obavlja se kružnom pločom poluprečnika 150 mm (ili 80 mm), a određuje se modul M_E , nazvan *modul stišljivosti*, primenom formule:

$$M_E = 2 \frac{\Delta_p a}{\Delta Z_{t_1}}.$$

Opit se vrši na taj način što se usvaja da je povećanje pritiska $\Delta_p = 1$ bar i u tom intervalu se određuju ukupne deformacije pri prvom opterećenju. U tom slučaju, ΔZ_{t_1} je povećanje ukupne deformacije odgovarajuće jednom povećanju pritiska Δ_p veličine 1 bar; a je poluprečnik kružne ploče korišćene pri opterećenju.

Modul stišljivosti M_E mora imati sledeće minimalne vrednosti:

a) Prirodno tlo — posteljica $M_E > 150$ bara (ova vrednost ne primenjuje se za slojeve nasipa i ne odnosi se na nekoherentne peskovite i šljunkovite materijale);

b) Osnovni sloj $M_E > 800$ bara;

c) Noseći sloj (nestabilizovan) $M_E > 1\,000$ bara.

Ovi propisi se mogu smatrati kao uprošćeni: oni ne vode računa o kvalitetu materijala koji može biti takav da se, uprkos nepotpunom zbijanju istog, dobija vrednost M_E koja se može smatrati zadovoljavajućom, dok se produžetkom zbijanja ista može povećati u vrlo velikoj meri. U stvari, ovaj opit je u većoj meri provera nosivosti ispitivanog sloja nego kontrola njegove zbijenosti.

3) Pored ranije navedenog nedostatka (uticaj vlažnosti materijala na dobivene rezultate) opiti pločom imaju još jedan nedostatak — vrlo su dugotrajni; postavljanje uređaja za ispitivanje i vozila koje služi kao kontrateret iziskuje prilično vremena iako se čine ozbiljni naponi da se to vreme svede na minimum uz maksimalno korišćenje opreme za mehanizovanje postupka. Sam opit iziskuje ponavljanje opterećenja, što je relativno dugotrajno.

2.6. Metode ispitivanja prelazom vozila

Primenom sledećih metoda izbegava se navedeni nedostatak.

2.6.1. Provera zbijanja (*Proof rolling*). To je jednostavan postupak koji ne omogućava dobijanje rezultata merenja ali pruža interesantnu mogućnost procene: preko ispitivanog sloja prolazi težak valjak za koga se može smatrati da će izazvati zbijanje sloja ekvivalentno zbijanju koje bi mogao izazvati saobraćaj. Tako se otkrivaju slaba mesta ili zone na površini ispitivanog sloja.

Pri tome, razume se, postoji opasnost da se najpre otkriju zone velike vlažnosti, a da loše zbijene zone male vlažnosti izmaknu kontroli. Prvi nedostatak je bez većeg značaja, jer je na svaki način vrlo interesantno da se zone utvrde i da se blagovremeno očiste ili uklone mesta u sloju koja su mnogo raskvašena. Drugi nedostatak je vrlo ozbiljan.

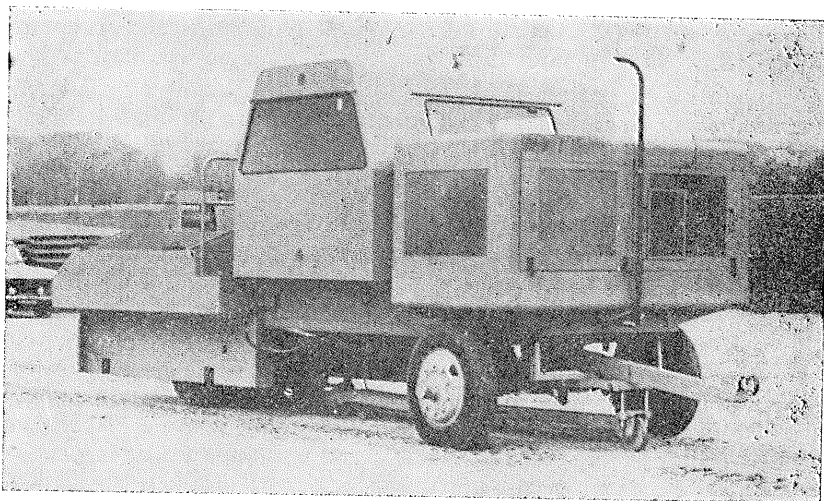
2.6.2. Deflektografi. U sve većoj meri se nastoji da se prethodno opisani postupak ispitivanja zbijenosti zameni merenjem defleksije.

Zahvaljujući velikom kapacitetu analiziranja deflektografa Lakroa (*Deflectographe Lacroix*) moguće je proučavati znatnu dužinu posteljice u toku jednog časa. Doduše, neophodno je potom analizirati dobivene rezultate registrovane na traci. Brzo ispitivanje deflektografom omogućava vrlo jednostavno i brzo određivanje loših i defektnih površina ispitivanog sloja. Osim toga, uskoro se očekuje mogućnost korišćenja uređaja za automatsku analizu.

Ako se otkloni lažna sigurnost kao posledica nedovoljno zbijenih zona u kojim je vlažnost materijala mala (suv materijal), korišćenje ovog postupka je vrlo efikasno.

Nastoji se da se on usavrši korišćenjem aparata namenjenih samo u ovu svrhu (deflektograf za nasipe koga bi trebalo nazvati deflektografom za posteljicu).

Neophodno je, razume se, uz to koristiti aparature za kontrolu vlažnosti da bi se onemogućile greške na koje je više puta ukazano.



Sl. III.II — Deflektograf za nasipe ili posteljicu

3. KONTROLE NA UREĐAJU ZA ZBIJANJE

Pre nego što se ispituju fizičke karakteristike (zapreminska težina u suvom stanju) ili mehaničke karakteristike (moduli) zbijenog zemljanog materijala, potrebno je utvrditi sredstva i načine kojima se može postići zadovoljavajući rezultat pri njegovom ugrađivanju. U takvom slučaju kontrola se sastoji samo u proveri da li izvođač radova koristi predviđene uređaje.

Teškoća se sastoji u činjenici što, u brojnim slučajevima, ignorišemo koja su sredstva za ugrađivanje neophodna da bi se postigao prihvatljiv rezultat i koji je broj potrebnih prelaza.⁽¹⁾

3.1. Opitna polja

Idealno bi bilo realizovati, pre početka radova na gradilištu, jedno ili više opitnih polja radi proučavanja mogućnosti zbijanja materijala predviđenog za ugrađivanje; pri tom je neophodno da se i radovi u toku građenja obave pri istim uslovima kao i pri izradi opitnog polja. Ne dozvoliti da se zbog ovoga problem odloži za kasnije. Potrebno je, u stvari, kontrolisati rezultate dobivene na opitnom polju ili na opitnim poljima uz primenu jedne od prethodno navedenih metoda. Ova primedba, razume se, važi samo u slučaju ako se pri radovima na opitnom polju obezbedi dovoljna koncentracija laboratorijske opreme radi eliminisanja, primenom statističkih metoda, parazitnih faktora o kojima je već bilo reči.

Ukoliko se stvarno koncentrišu dovoljna sredstva za laboratorijska ispitivanja, s opitnih polja se dobijaju vrlo korisni podaci na osnovu kojih je moguće odabrati najpogodniji uređaj ili garnituru uređaja za zbijanje, kao i način korišćenja. Uz to je neophodno izbegavati izvesne iluzije: smatramo da jedno opitno polje bez dovoljnog broja potrebnih ispitivanja i bez dovoljne pažnje pri njegovom izvršenju može stvoriti samo pogrešne predstave. Da bi se u to uverili, dovoljno je pogledati izvesne linije koje izražavaju zavisnost između zbijenosti i broja prelaza uređaja za zbijanje: naglo smanjenje zbijenosti u toku zbijanja, koje se primećuje na nekim od tih linija, predstavlja najverovatnije samo ekstremum (maksimum) disperzije obavljenih merenja i nizak stepen njihove signifikantnosti.

Metoda opitnih poligona ima značajan opšti interes. Postepenim uvećanjem dobivenih podataka i njihovim klasificiranjem došlo bi se do izvanredno korisnog kataloga koji bi koristio inženjerima i koji bi ih u doglednom vremenu oslobodio potreba za izradom opitnih polja (da izvršavaju opitna polja).

Iskustvo nam pokazuje da je neophodno, ukoliko se želi da opitno polje bude izvedeno uz potrebnu brižljivost i preciznost, da isto bude završeno *pre licitacije*, po potrebi uz posebnu tehničku pogodbu sa izvođačem radova i plaćanje prema stvarnim troškovima. Ako je licitacija obavljena i odabran ponuđač sa pripremljenom mehanizacijom za obavljanje radova, investitoru, izvođaču radova pa čak i laboratoriji nedostaje potrebna sigurnost neophodna za ovakav posao, ali se u takvom slučaju može pribeći *eksperimentalnom gradilištu*.

⁽¹⁾ Videćemo u glavi IV da nam to nije potpuno nepoznato. Možda će neki čitaoci proceniti da nam je pre neophodno da bolje preciziramo naša saznanja nego da ih steknemo.

3.2. Kontrola uređaja za zbijanje i broja prelaza

Ukoliko smo stvarno u stanju da definišemo, po mogućstvu po izvršenju opitnih polja, garnituru sredstava za zbijanje i uslove korišćenja uređaja za zbijanje koji je u stanju da da zadovoljavajući rezultat, ne preostaje ništa drugo do da se kontroliše da li je vlažnost materijala usaglašena s predviđenom i da li se uređaj koristi prema predviđenim pravilima. Kontrola postaje vrlo jednostavna.

Smatramo da ona ne oslobađa inženjera provere koju je neophodno obaviti po završenom zbijanju, merenjima koja treba da pokažu da li je postignut zahtevani rezultat i da li u toku rada nije došlo do nepredviđenog poremećaja koji je izmakao pažnji i koji je poremetio postupak zbijanja.⁽¹⁾

I pored teškoća na koje smo ukazali, ova metoda bi trebalo da postane standardnom metodom za zbijanje asfaltnih slojeva i slojeva od obrađenih drobljenih materijala.

3.2.1. Poznato je da se kod asfaltnih mešavina savremenog tipa [stroge formule koje preporučuju Sotre (Sauterey) i Dirije (Durrieu)], postižu zadovoljavajući ili čak i izvrsni rezultati ako se, neposredno iza finišera, upotrebi težak samohodni valjak s gumenim točkovima (težine dvadesetak tona). Ne navodimo pravila za korišćenje ovog valjka podsećajući ipak da pri valjanju treba skoro *dodirivati* finišer, a zbijati samo po ivicama razastrtog sloja. Iza toga treba obavljati zbijanje tandem valjkom s glatkim čeličnim točkovima ili nekim drugim kojim može da se postigne ravna površina sloja.

Ponovo ćemo se vratiti na ovaj predmet u poglavlju IV.7.

3.2.2. Kod cementom stabilizovanih šljunkova ili zgurom stabilizovanih šljunkova moguće je obezbediti željenu vlažnost (obrađeni šljunkovi pripremljeni u centralnom postrojenju — bazi) ili je vlažnost bez uticaja (*izvesni* šljunkovi stabilizovani zgurom).

Poznato je da se uvek dobija zadovoljavajući rezultat, a često i izvrstan, ukoliko se koriste sledeći postupci:

a) Zbijanje uz dva do pet prelaza teškog vibracionog valjka sa dve vibrirajuće mase (kao što je Bomag) uz prekid rada na zbijanju ukoliko uređaj *skače*.

b) Zbijanje teškim samohodnim valjkom s gumenim točkovima (3 do 5 tona po točku) sa četiri do dvanaest prelaza.⁽²⁾

Vratićemo se ponovo na opis garniture za zbijanje u poglavlju IV.6.

3.2.3. Moguće je, prema tome, kod asfaltnih mešavina kao i kod šljunkova stabilizovanih cementom ili zgurom, ukoliko na gradilištu postoje potrebni uređaji za zbijanje, kontrolisati da li se oni koriste korektno s obzirom na zahtevane težine i pritiske, obezbeđujući potreban broj propisanih prelaza.

Mišljenja smo, međutim, da isto tako treba proveriti da li se dobija željeni rezultat dodajući kontroli „pre početka radova” jednu kontrolu koja (u ovom slučaju zaslužuje ime — „po završenim radovima”) može biti manjeg obima i ograničava se na ocenu da li je kod izvođača radova sve u redu.

⁽¹⁾ Član 41 novog Uputstva (Fascicule 25) ima isti stav.

⁽²⁾ Moguće je sići na 2 tone po točku kod peskova i delimično drobljenih šljunkova.

3.3. Kontrola prestanka efikasnosti uređaja za zbijanje

Moguće je pokušati kontrolu zbijanja određujući broj prelaza uređaja za zbijanje posle koga prestaje njegovo dejstvo.

Razumljivo je da pri tome nije potpuno sigurno da neki drugi uređaj za zbijanje ne bi izazvao dopunsko zbijanje na posmatranom zemljištu. Uz to nismo sigurni ni da budući saobraćaj, zajedno sa težinom slojeva koji će biti izrađeni preko posmatranog sloja, neće izazvati sleganja ili deformacije.

Zbog toga nije neinteresantno utvrditi granicu efikasnosti dejstva jednog uređaja za zbijanje, kako bi se izbeglo uzaludno produžavanje posla i sprečilo trošenje novca.

3.3.1. U tom cilju pokušalo se sa konstruisanjem jednog *kompaktometra* (*uređaja za merenje zbijenosti*), tj. aparata koji omogućava merenje otpora pri napredovanju uređaja za zbijanje. Jasno je da se ovaj otpor postepeno smanjuje sa povećavanjem zbijenosti materijala u toku zbijanja. Prvi opiti koji su izvršeni sa kompaktometrom bili su ohrabrujući, ali zaključci izvedeni na osnovu njih nisu bili jednoznačni i kategorični. Ponovljeni opiti sa nedavno konstruisanim uređajem izgleda da omogućavaju bolje upoređenje između registrovanih naprezanja pri vuči, merenja zapreminskih težina u suvom stanju i *merenja sleganja*.

3.3.2. Mi smo u stvari predvideli da se meri *sleganje* gornje površine zbijenog sloja.

Kako se sa povećanjem broja prelaza povećava i sleganje, postoji korist od povećanja broja prelaza, jer se, u stvari, efektivno zbija tlo i to na nepoznatoj dubini (nivou) zbijenog masiva. Drugim rečima, utvrđuje se ne samo površinsko povećanje gustine kao sa kompaktometrom, već celokupno povećanje gustine bez obzira na nivo na kojem ono nastaje.

Znači da su ovakva merenja jednostavna za sprovođenje i iziskuju samo dobro poznati nivelmanski instrumenat.

Ova metoda je korišćena pri opitima sa kompaktometrom. Utvrđen je izvrstan paralelizam sa linijama zapreminske težine u suvom stanju. Metoda je brza, jer je dovoljno samo nekoliko minuta za određivanje kota desetine tačaka. Za petnaest ili dvadeset minuta, koliko iznosi vreme potrebno za kompletno merenje uređajem sa radioaktivnim izotopima (bušenje rupe, postavljanje aparata, brojanje impulsa u prvom položaju aparata, brojanje u položaju upravnom na prvi položaj, odnošenje aparata), potrebno je odrediti kote trideset tačaka i na taj način dobiti *vrlo signifikantnu srednju vrednost* — prosek (pod uslovom da se ne pomera nivelmanski instrument i da se sačuva reper).⁽¹⁾

Ovakvo merenje sleganja treba da usmeri kontrole u novom pravcu, naročito u vezi s opitnim poljima (videti naredno poglavlje — 4). Razumljivo je da se na ovaj način mogu dobiti samo maksimalne zapreminske težine u suvom stanju koje je moguće postići s datim uređajem; ovom metodom se ne izbegava potreba za određivanjem referentnih zapreminskih težina u suvom stanju (po Proktoru ili na drugi način), što kod sleganja sa vrlo heterogenim zemljanim materijalima može komplikovati interpretaciju. Smatramo da će čak i u tom slučaju statističke metode omogućiti iznalaženje rešenja.

⁽¹⁾ Ova metoda korišćena je i po zahtevu izvodača radova pri izradi opitnog polja na Auto-putu A6, deonica Bonpas — Senas.

4. NACRT NOVE METODE

Ova metoda, koju smo preporučili u prvom izdanju ove knjige, iako je za nju zainteresovan sve veći broj inženjera, nije još u potpunosti prihvaćena. U vezi sa slojevima kolovozne konstrukcije predmet je jedne preporuke S.E.T.R.A. Mišljenja smo da ju je moguće primeniti i pri izvršenju zemljanih radova uprkos teškoćama zbog heterogenosti i varijacije vlažnosti.

4.1. Izrada opitnih polja kontrolisanih na osnovu merenja sleganja i primenom radioaktivnih izotopa

4.1.1. Izbor uređaja za zbijanje (jednog ili više) radi ispitivanja. Retko se događa da nemamo nikakvu ideju o vrsti uređaja za zbijanje koga treba odabrati za jednu određenu vrstu materijala. Kao orijentacija može poslužiti glava IV ove knjige.

Najčešće će se unapred odabrati vrsta uređaja za zbijanje, ali će biti neophodno odrediti nekoliko karakteristika u vezi s njegovim korišćenjem, kao: najpogodnija veličina unutrašnjeg pritiska u gumama, veličina opterećenja, učestalost (frekvencija) vibracija itd., a naročito minimalni broj prelaza uređaja za zbijanje.

Vrlo je važno da se ne uvećava broj činilaca koje treba proučiti, jer se naglo povećavaju sredstva koja je za to potrebno obezbediti.

Pored broja prelaza, nastojati da se usvoji još samo jedan promenljivi element — modalitet koji zavisi od odabranog uređaja za zbijanje, izuzetno dva. Ako sa C označimo broj promenljivih elemenata odabranog uređaja za zbijanje, a sa P broj promenljivih elemenata broja prelaza, prihvaćićemo da utvrdimo vrednosti P uz pretpostavljanje da je C jednako ili 1, ili 2.

4.1.2. Izbor debljine sloja za zbijanje. Izuzimajući teške vibracione valjke za koje se smatra da mogu obavljati zbijanje debelih slojeva, debljina koju uobičajeni uređaji za zbijanje mogu sabiti pri normalnim radnim uslovima iznosi oko 0,25 m (u nesabijenom stanju). Zbog toga preporučujemo, za najveći broj slučajeva, da se ispitivanja obavljaju sa različitim debljinama koje ne izlaze iz granica između 0,25 i 0,35 m.

S nekim vibracionim uređajima moguće je pokušati sa debljinama između 0,35 i 0,60 m.

Broj promenljivih elemenata faktora debljine, označen sa E , biće, prema tome, jednak 1 ili 2.

4.1.3. Izbor vlažnosti materijala. Najčešće imamo potrebne podatke o vlažnosti materijala koju bi trebalo koristiti pri zbijanju:

- optimalnu po standardnom Proktorovom postupku za nasipe (ili nešto malo manju);
- optimalnu po modificiranom Proktorovom postupku za gornji deo nasipa, neobrađene završne slojeve nasipa, nestabilizovane slojeve kolovozne konstrukcije, zgrom stabilizovane šljunkove (za koje treba reći da vlažnost nema većeg uticaja);
- optimalnu vlažnost po modificiranom Proktorovom postupku umanjenu za jednu tačku (izraženu procentima) za cementom stabilizovane šljunkove.

Ukoliko nadzorni organ proceni da su klimatski uslovi oblasti u kojoj će se obavljati radovi i period u kome ih treba realizovati takvi da će izvođač radova biti u stanju da održava vlažnost u predviđenim granicama, nije neophodno obavljati ispitivanja sa više vlažnosti.

Ali i pored optimističkih predviđanja, ovaj slučaj se retko događa tako da treba obazrivo odabrati uslove koji se stvarno mogu očekivati u toku zbijanja.

Videli smo (a ponovo ćemo to pokazati) da je vlažnost prirodnih zemljanih materijala — ukoliko se ne radi o industrijski proizvedenim materijalima ili prethodno pripremljenim — pri zbijanju najčešće približna prirodnoj vlažnosti. U takvom slučaju bi se mogla usvojiti dva promenljiva elementa za vlažnost ovakvih materijala: prirodna vlažnost i ta vlažnost uvećana za dva poena⁽¹⁾ (izražena u procentima). Broj promenljivih elemenata W u tom slučaju je 2.

U slučaju da se koriste prethodno obrađeni materijali (slojevi od mehanički obrađenih ili neobrađenih materijala), moguće je znatno bolje uticati na njihovu vlažnost. U najvećem broju slučajeva može se pretpostaviti da će materijali biti razastrti pri predviđenim uslovima, ali da se može dogoditi da im se pre zbijanja poveća vlažnost, ako zbijanje ne mogne da se obavi dovoljno brzo. Ispitivanja bi se u takvom slučaju morala obaviti s optimalnom vlažnošću po modificiranom Proktorovom postupku i vlažnošću koja je od te veća za dva ili tri poena (izražena u procentima).

U slučaju cementom stabilizovanih šljunkova poznato je da promene vlažnosti za \pm dva poena (izražena u %) oko prethodno označene vrednosti kao optimalne (optimalna po modificiranom Proktorovom postupku smanjena za jedan poen) dovode do ozbiljnih posledica. Zbog toga je, uglavnom, nekorisno obavljati proveru.

Prema tome, generalno posmatrano, broj promenljivih elemenata W biće 1 ili 2.

4.1.4. Broj polja. Konačno, za svaki ispitivani zemljani materijal uradiće se $C \times E \times W$ polja ili najviše 8 polja, a najčešće dva ili četiri.

Ukoliko je potrebno proučiti dva zemljana materijala, imaćemo, najčešće, šest do deset polja (jedan materijal sa dva polja i jedan sa četiri ili osam polja).

4.1.5. Dimenzije pojedinih polja.

1) Širina l polja određuje se na osnovu zahteva da se homogena zbijenost sloja postigne na širini od najmanje 1,5 m. Eliminisaće se 0,75 m od svake ivice, kako bi se otklonili eventualni efekti zida. Minimalna širina biće zbog toga 3 m. Ona bi se morala povećati da bi se vodilo računa o dijagramu pokrivanja (poglavlje II.1).

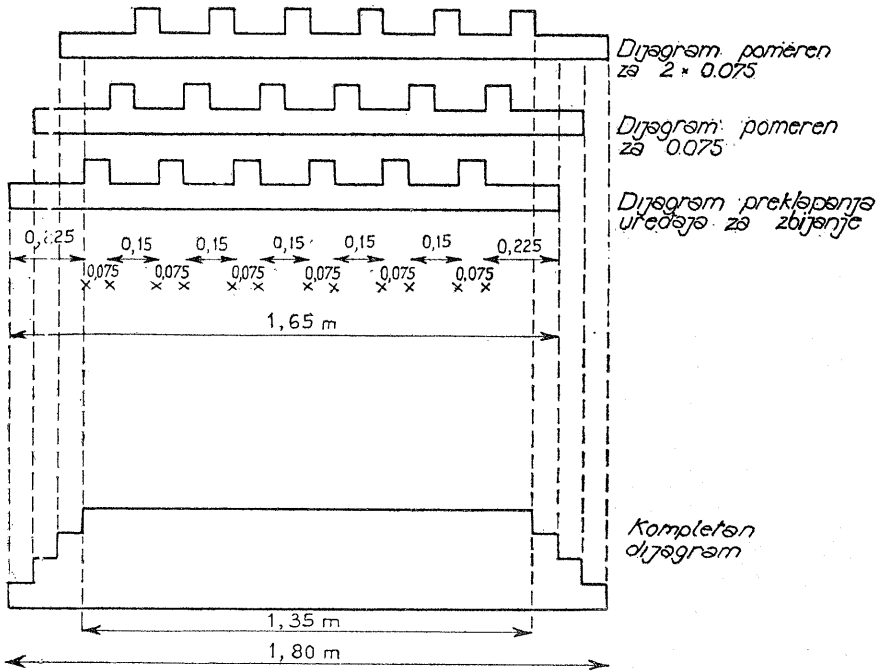
Drugim rečima, širinu opitnog polja bi trebalo odrediti istovremeno sa programom prelaza uređaja za zbijanje, i to u funkciji od dijagrama preklapanja. Najbolje je da se prikaže jedan primer.

Neka jedan potpuno imaginaran uređaj za zbijanje ima dijagram preklapanja prikazan na slici III.8. Slika pokazuje da postavljajući tri puta dijagram preklapanja — pokrivanja, jedan iznad drugog, pomerajući ga pri tome svaki put za 0,075 m, dobijamo kompletan dijagram prikazan u dnu slike. Na taj način se postiže ujednačeno zbijanje na širini od 1,35 m, tako da nije potrebno eliminisati po 0,225 m sa

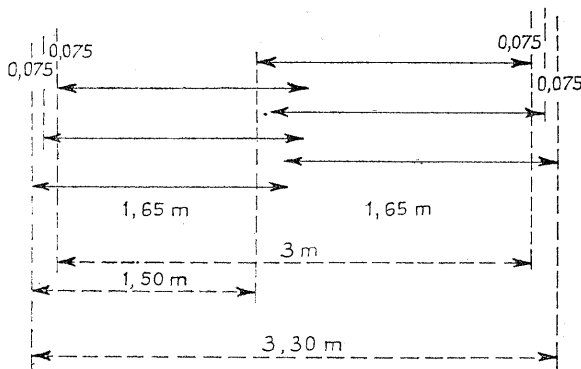
⁽¹⁾ Podsećamo na činjenicu da, ukoliko laboratorijsko proučavanje pokaže da vlažnost materijala izaziva katastrofalne rezultate, treba pristupiti obradi zemljanog materijala, njegovom uklanjanju ili delimičnoj zameni. U tom slučaju ne treba raditi opitna polja sa takvim zemljanim materijalom.

svake strane. Lično smatramo ovu širinu nedovoljnom. Potrebno je izvršiti superpoziciju dva programa analogna onom na slici III.8, pomerajući ih za 1,50 m da bi se dobio definitivni program prikazan na slici III.9, po kome će eksperimentalno polje imati širinu od 3,30 m a zbijanje će biti ujednačeno (uniformno) na širini od 3 m, pošto su preko svake tačke na toj širini od 3 m obavljena po četiri prelaza (videti definiciju u poglavlju II.1.3.2.). Po odbacivanju širine po 0,80 m sa svakog kraja preostaje širina od 1,7 m na kojoj se mogu obaviti merenja.

Potrebno je napomenuti da je za ostvarenje korektnog dijagrama nužan veliki broj prelaza; u takvim uslovima teško je sa sigurnošću odrediti prve tačke linije



Sl. III.8



Sl. III.9 – Program preklapanja jedne trake (korektan program)

koja izražava veličine zapreminske težine u suvom stanju u funkciji od broja prelaza uređaja za zbijanje.

Potrebno je izraziti i sumnju u vezi sa *milimetarskom preciznošću* rada sa uređajem za zbijanje. Već smo napomenuli da je stvarno preklapanje vezano za način prilagodavanja guma materijalu za zbijanje.

Zbog toga ćemo zaključiti sa preporukom da se, posle proučavanja programa preklapanja, obavi *uprošćavanje istog radi uzimanja u obzir praktičnih mogućnosti realizacije*. Tada se računa sa završnim rezultatima merenja u pojedinim tačkama radi eliminisanja ili ublažavanja efekta loših preklapanja.

U takvom slučaju je potrebno definisati *metodu izbora mernih tačaka*, kako bi se na taj način izbegla opasnost od sistematskog izbora tačaka u kojima broj *prelaza* (videti definiciju u poglavlju II.1) ima realne izgleda da bude drugačiji od prosečnog broja za celo polje. Trebalo bi, na primer, izbeći međusobno udaljšavanje radnih tačaka na veće odstojanje od višestrukog ritma dijagrama preklapanja uređaja za zbijanje. To nije lako, jer se pojedine merne tačke ne mogu mnogo približiti jedna drugoj bez većih teškoća (videti naredno poglavlje 4.1.8).

2) Dužina L opitnog polja mora se odabrati tako da obezbeđuje usvojeni program rada. Potrebno je eliminisati nekoliko metara na oba kraja gde je materijal loše raspodeljen (razastrt), gde uređaj za zbijanje kliza, gde obavlja operaciju kočenja ili vraćanja u zahtevani položaj, itd. Preporučujemo da ukupna dužina bude jednaka korisnoj dužini uvećanoj za 2×5 m.

Da bi se dobio zadovoljavajući broj mernih tačaka, neophodno je da radna površina (*radno polje*) bude između 10 i 25 m²; to iziskuje, uz poštovanje navoda označenih u prethodnom primeru gde je korisna širina 1,30 m, ukupnu dužinu od dvadesetak metara.

4.1.6. Podloga za opitna polja. Ukazali smo na postojanje izvesnog „*efekta nakovnja*”, što će reći da se, zavisno od toga da li se zbijanje obavlja na vrlo krutoj ili deformabilnoj podlozi, ne dobijaju potpuno isti rezultati. Neophodno je zbog toga da se odredi krutost podloge na kojoj se rade opitna polja.

1) Ukoliko je namena opitnih polja da posluže za upoređenja, neophodno je izbeći bilo kako ometanje ovih upoređenja usled razlika u efektu nakovnja na pojedinim opitnim poljima. Zbog toga je neophodno kontrolisati uniformnost podloge. Najbolje je obaviti ispitivanja opitima pločom uz proveru da li se tako dobivene defleksije *znatnije ne razlikuju* od jednog opitnog polja do drugog. Radi postizanja dovoljne preciznosti, pri ovom upoređenju neophodno je obaviti desetinu merenja po svakom opitnom polju (uvek sa istom veličinom ploče, dovoljnom da obuhvati deformabilnost sloja podloge do potrebne dubine: ploča prečnika 0,50 m je dovoljna).

2) Izbor vrste podloge obavlja se u funkciji od vrste zemljanog materijala čije se zbijanje proučava. Ukoliko se radi o materijalu za nasip, najbolje je da se za podlogu izabere isti materijal, zbijen na način označen u narednom članu 3.

Ukoliko je reč o završnom sloju nasipa — posteljici, ili o osnovnom sloju kolovozne konstrukcije koji će se raditi na tlu, kao podlogu treba iskoristiti dobro zbijeno tlo koje ima modul deformacije određen pločom veličine između 1 000 i 2 000 kp/cm².

Ukoliko se radi o osnovnom sloju koji će se raditi preko dobrog završnog sloja nasipa-posteljice, ili ako je u pitanju noseći sloj kolovozne konstrukcije, potrebno je odabrati kruću podlogu (moduli deformacije između 2 000 i 3 000 kp/cm²).

3) Zbijanje podloge. Iz razloga koji će biti izloženi u poglavlju 4.1.9 nije poželjno da se zbijanje podloge obavlja preko sloja ugrađenog u opitno polje. Korisno je da se podloga zbijе (potpuno) iz osnove pre nego što se počne sa nanošenjem sloja. Najbolje je da se nivelanjem proveri da li pri dopunskom zbijanju ne dolazi do promena visina.

Radi se kao i svuda o preciznoj proverі „*suprotstavljanja*” kao što se postupa pri pobijanju šipa.

4) Izdvajanje površine podloge. Na površinu podloge postavlja se, ako je to neophodno, sredstvo (polietilenska prevlaka, bitumenski premaz, itd.) koje obezbeđuje jasno razdvajanje podloge od ispitivanog sloja pri njegovom kasnijem skidanju.

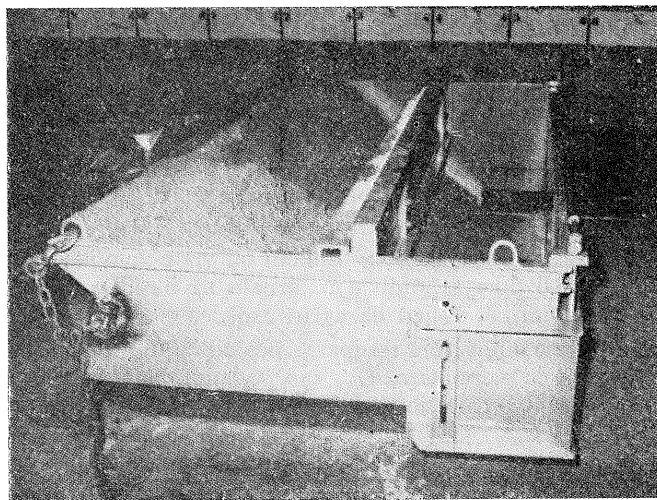
Iznad ovog sloja za razdvajanje obavlja se poslednja serija merenja visina, na istim mestima — tačkama na kojima će se obaviti merenja visina na sloju opitnog polja.

4.1.7. Izrada opitnog polja. Pri razastiranju materijala moraju se preduzeti sve mere predostrožnosti da bi se izbegao čitav niz promena koje bi mogle uticati na krajnji rezultat ili ga učiniti manje sigurnim.

1) Granulometrijski sastav mora biti nepromenljiv (konstantan). Danas je moguće obezbediti neznatno rasipanje [V] što se postiže upotrebom savremenih sredstava za pripremu materijala ili za njegovo homogeniziranje.

2) Isto je i u vezi sa vlažnošću materijala. Bez sumnje da je, uprkos posebnih mera predostrožnosti, teško održati vlažnost u predviđenim granicama [II]. Treba nastojati da se materijal zaštiti od padavina i isparavanja postavljanjem polietilenskih prevlaka.

3) Neophodno je obezbediti da se i nanošenje materijala po kvadratnom metru vrši u određenim količinama, nepromenljive težine, što je po našem saznanju moguće uspešno ostvariti jedino primenom raspodeljivača sa dva odeljka (slika III.III).



Sl. III.III — Specijalni raspodeljivač Centra za istraživanja u Ruanu

4) Zbijanje mora biti ravnomerno. Za to je neophodno, kao što je navedeno u poglavlju 4.1.5, pripremiti program zbijanja koji delimično vodi računa o dijagramu preklapanja.

4.1.8. Merenja sleganja. Povremeno, sa napredovanjem postupka zbijanja, obavlja se merenje visina nivelmanskim instrumentom, uzimajući nasumce (bez reda) trideset tačaka. Izbor ovih tačaka mora se obaviti u saglasnosti sa uputstvima navedenim u poglavlju 4.1.5. Predlažemo sledeći postupak: odabiraju se nasumce koordinate mernih tačaka (*izražene u santimetrima*). Ako su dve tačke međusobno vrlo bliske, jedna se odbacuje a dodaje druga (odabrana takođe nasumce po koordinatama).

Trideset mernih tačaka (mesta) odabranih na taj način ostaju *stalne u toku čitavog postupka* zbijanja; pored merenja visina (kota) ispod sloja zemljanog materijala čija se zbijenost proučava (tj. onih koje su na prevlaci za razdvajanje), obavlja se merenje visina iznad tih tačaka.

Nivelanje trideset tačaka zahteva oko trideset minuta uključujući u to i vreme neophodno za postavljanje nivelanskog instrumenta. Ako instrumenat nije moguće postaviti samo u jednoj stanici, onda se vreme potrebno za praćenje postupka zbijanja merenjem kota menja, tako da je za samo merenje potrebno petnaest minuta i po dva minuta za svaku rektifikaciju instrumenta, uz preciznost od 1/10 mm.⁽¹⁾

Prvu seriju merenja treba obaviti čim to bude moguće: pre početka nabijanja to često nije moguće jer je materijal razastrt i rastrešen tako da nije moguće postaviti letvu na površinu sloja opitnog polja. U takvom slučaju prva serija merenja obavlja se posle najmanjeg mogućeg zbijanja nakon koga se dobije ujednačena ravnost radne površine.

Serije merenja se razređuju s napredovanjem postupka zbijanja, što znači da se merenja obavljaju posle dva prelaza, četiri prelaza, osam prelaza, šesnaest prelaza, trideset dva prelaza.

Kada prosečna vrednost visine prestane da se menja, to znači da uređaj za zbijanje ne izaziva nikakvo dopunsko zbijanje ni proučavanog sloja, ni njegove podloge.

4.1.9. Merenje gustine i završne zbijenosti. Po završenom zbijanju obavlja se merenje postignute zapreminske težine u suvom stanju. Za to se obavlja merenje zapreminskih težina (gustine) u svih trideset odabranih tačaka, korišćenjem denzitometara sa membranom ili sa radioaktivnim izotopima.

Ovo merenje je dugotrajno jer iziskuje, za obavljanje cele serije od trideset zapreminskih težina u suvom stanju,⁽²⁾ pet do šest časova, ali će se ono obavljati samo po završenom zbijanju.⁽³⁾

⁽¹⁾ Budući da je greška učinjena na svakoj od nivelanih tačaka reda veličine 1/2 mm, greška za srednju vrednost je:

$$\frac{1 \text{ mm}}{2\sqrt{30}} \neq \frac{1}{10} \text{ mm.}$$

Napominjemo uz to da bi bila jezička zabluda govoriti o prosečnoj koti opitnog polja. To je samo prosečna kota za trideset mernih tačaka. Ali je to *dovoljno* pod uslovom da se merenje obavlja uvek u istim tačkama. Ukoliko bi se želelo određivanje zapreminske težine u suvom stanju deljenjem ukupnih težina materijala ugrađenog u opitno polje sa njihovom zapreminom, bila bi za to neophodna prosečna debljina, a za to je potrebno više od 30 mernih tačaka (mesta).

⁽²⁾ Ovaj interval obuhvata i merenje vlažnosti.

⁽³⁾ Zbog mera predostrožnosti potrebno je katkad obaviti merenje i na početku zbijanja.

Razumljivo je da se pri tom određuju i vlažnosti materijala, radi preračunavanja zapreminskih težina u vlažnom stanju na zapreminske težine u suvom stanju.

U takvom slučaju se iskopava i vadi materijal sa ispitivanih mesta, vodeći računa da se pri tom ne ošteti površina prevlake za razdvajanje.

Na svakoj vertikali od 30 tačaka (mernih mesta) određuje se kota donjeg dela zbijenog sloja.

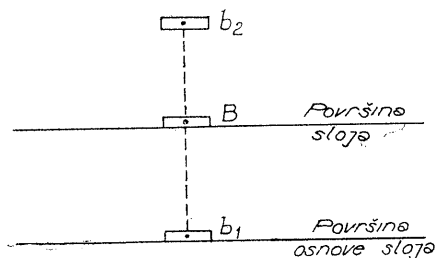
U većini slučajeva prosečna kota podloge ispitivanog sloja biće, posle zbijanja, ista kao i pre zbijanja, pošto je usvojeno da se podloga dobro zbijе pre nego što se počne sa nanošenjem sloja za ispitivanje (4.1.6—3).

Na taj način je jednostavno odrediti debljinu sloja u svakom stadijumu zbijanja na svakom mernom mestu (tački).

Moguće je čak, poznavajući završnu prosečnu zbijenost u suvom stanju i završnu prosečnu debljinu, sračunati prosečne zapreminske težine u suvom stanju u svakom stadijumu zbijanja.

Ukoliko se završna prosečna kota podloge ispitivanog sloja razlikuje od početne, potrebno je obaviti korekciju. Može se usvojiti da se promena prosečne kote obavlja linearno u funkciji od zbijanja. Na polju od asfaltne mešavine, garniture aparata P.S.M i G.D.F. 30 mogu pružiti korisne usluge (videti poglavlje 2.4.2, 3).

4.1.10. Elektrotasometri (aparati za merenje sleganja električnim putem). Navedene teškoće mogu se izbeći merenjem debljine u svakom stadijumu zbijanja korišćenjem elektrotasometra [VI] čiji princip rada sadrži sledeći postupak (slika III. 10).



Sl. III.10

U tlo se postavlja bobina b_1 kroz koju prolazi električna struja. Na površini tla postavlja se druga bobina B . Predviđa se merenje rastojanja b_1B . U tu svrhu se postavlja treća bobina b_2 koju je moguće pomerati, pri čemu kroz bobinu b_2 prolazi ista struja kao i kroz bobinu b_1 .

Ako je $b_2B = b_1B$, onda se polja stvorena u B bobinama b_1 i b_2 kompenziraju.

Nikakva indukovana struja ne prolazi kroz bobinu B . Nasuprot tome, ako je $b_1B \neq b_2B$, dolazi do toka struje u B . Zbog toga se pomera bobina b_2 dok ne nastupi potpuno iščezavanje struje u B i tako se određuje b_2B ili b_1B . Nažalost, za obavljanje preciznih merenja s ovim aparatom potrebno je prilično dugo vremena. To je jedan od razloga što smo preporučili korišćenje nivelmanskog instrumenta.

4.1.11. Opštu metodu koju smo opisali koristio je Piroton (Pirrotion) [VII] pri ispitivanju zbijanja drobljenog krupnozrnog kamenog materijala vibracijom. Prosečna kota bila je određena fotogrametrijom.

4.1.12. Realizovanjem opitnog (ili opitnih) polja dolazi se do najpogodnijeg uređaja za zbijanje, za određenu vlažnost pri zbijanju, za određeni broj prelaza.

4.2. Izrada i kontrola izrade

Preostaje još jedino da se kontroliše da li je zbijanje dobro obavljeno i pri određenim uslovima na opitnim poljima ili na kasnijim gradilištima.

Kontrolišu se, prema tome: granulometrijski sastav, vlažnost, vrsta uređaja za zbijanje, njegovo opterećenje, unutrašnji pritisak u njegovim gumama, frekvencija i amplituda vibracije, broj ostvarenih prelaza i korekcija čišćenja.

Teškoće se javljaju kod vlažnosti i čišćenja.

4.2.1. U vezi sa vlažnošću, koristićemo ciklus proučavanja koja je obavila Direkcija puteva [VIII] i tablicu sadržanu u materijalu koju prikazujemo u ovom radu.

4.2.2. Često je delikatno sprovođenje kontrole, od jednog do drugog prolaza, pomeranja uređaja za zbijanje na propisani način, zbog teškoća i ometanja radova na gradilištu.

Ukoliko je odabrani uređaj za zbijanje valjak sa gumenim točkovima, *primenom kompaktometa* se ova teškoća izbegava: ukoliko vučna sila na kraju zbijanja ne varira na delu površine na kojoj se obavlja zbijanje, dok u drugom varira i dalje to je znak da treba nastaviti sa zbijanjem u drugom delu do prestanka promena; ako je vučna sila nepromenljiva na čitavoj površini koja se zbija, postoje uslovi da je zbijenost ujednačena.⁽¹⁾

Potrebno je takode da se omogući određivanje slabih zona merenjima deflektografom (videti sledeće poglavlje 4.2.4).

4.2.3. Pri sadašnjem stanju naših saznanja, neophodno je kompletirati kontrolu pre početka radova (a priori) kontrolom po završenom poslu (a posteriori), koja će obuhvatiti različite forme u zavisnosti od vrste materijala predviđenog za zbijanje.

a) *Zemljani radovi. Probnim zbijanjem* (2.6.1.) proveriće se vizuelno da li nema slabih zona, uz dopunska merenja aparaturom tipa DR (birajući najpogodnije s obzirom na debljinu kontrolisanog sloja).

b) *Posteljica, završni sloj donjeg stroja.* Slaba mesta treba odrediti prolaskom deflektografa; naknadnim zbijanjem slabih mesta obezbediti ravnomernu zbijenost. Nekoliko kontrolnih merenja obaviti aparaturom DR 18 ili DR 30.

c) *Slojevi od mehanički obrađenih materijala.* Kontinualnim merenjima odrediti slabe zone (deflektografom), uz dopunska merenja aparaturom DR 18.

d) *Asfaltni slojevi.* Koristiti aparaturu koja se sastoji od garniture uređaja montiranih na traktor (P.S.M. i G.D.F. 30). Uređaj P.S.M. omogućava integrisanje, tj. daje prosek za profil određene dužine, jer je neophodno sumirati brojanje primljenih impulsa usled zračenja u dovoljno dugom vremenskom intervalu. Dužina je utoliko veća što se traktor brže kreće. Pri uobičajenoj brzini kretanja od 15 m/min (koja je dva do tri puta brža od uobičajene brzine kretanja finišera) meri se heterogenost na dužini od 8 m i utvrđuju kraće heterogenosti (više od 1 m dužine); zatim se na tako utvrđenim mestima vrši apsolutno merenje uređajem G.D.F. 30. Pri kretanju, traktor na svojoj putanji automatski označava liniju po kojoj je obavljeno merenje, tj. odabrani profil.

Povezivanje dva aparata i njihovo montiranje na jedan uređaj omogućava korišćenje samo jednog elektronskog sistema. Uređaj mora biti osposobljen za kretanje po asfaltnoj mešavini pripremljenoj po toplom postupku.

S obzirom na kratkotrajno vreme za ispitivanje, uređaj G.D.M. 45 će omogućiti merenja na većoj dubini. Merenja će istovremeno biti bliža apsolutnim vrednostima nego što je to bilo u slučaju korišćenja uređaja P.S.M.

⁽¹⁾ Potrebno je istaći da kompaktometar daje indikacije, možda pomalo uprošćene, ali ne i čišćenje.

Merenje vlažnosti

	Sušenje u sušnici na 105°C	Infracrveno zračenje	Sagorevanje alkohola	Sušenje na peći	Piknometar (sa vazduhom)	Piknometar (sa vodom)	Karbid
Bržina izvršenja	12 časova	30 do 60 min.	30 minuta	45 minuta	5 minuta	15 minuta	10 minuta
Težina uzorka	Bilo kakva	Prema veličini aparata	Bilo kakva	Bilo kakva	1,2 do 1,5 kp	Prema karakteristikama aparata	manje od 20 grama
Upotrebljivost na zemljanim materijalima: — nekohezivnim .. — kohezivnim	Da Da	Da Da	Ne Da	Ne Da	Da ⁽¹⁾ Da	Ne ⁽¹⁾ Da	Da Da ⁽²⁾
Preciznost merenja	Precizno	Precizno	Prilično neprecizno	Prilično neprecizno	Precizno	Prilično precizno	Prilično precizno
Relativno približne vrednosti	< 5%	< 5%	> 5%	> 5%	± 1 poen po apsolutnoj vrednosti	> 5%	> 5%
Glavne prednosti	1. Preciznost 2. Referentna metoda	1. Preciznost 2. Relativna brzina	1. Brzina 2. Jednostavnost	1. Brzina 2. Jednostavnost	1. Preciznost 2. Brzina 3. Prilično široko područje prireme	1. Relativna brzina 2. Jednostavnost	1. Brzina 2. Jednostavnost
Glavni nedostaci	Sporost, iziskuje električnu struju	Iziskuje električnu struju	Opasnost od sagorevanja zemljanog materijala iziskuje strpljivost (potrebno nekoliko paljenja)	Opasnost od sagorevanja zemljanog materijala	Rezultati na vrlo plastičnim materijalima manje precizni; kontrolisati temperaturu aparata i uzorka	Veliki uticaj globula vazduha (vazdušnih mehura)	Rezultati na vrlo plastičnim materijalima neprecizni; nije za primenu kod zrnastih zemljanih materijala

(1) Merenje nedovoljno sigurno uprkos brojnim merama predostrožnosti.

(2) Izuzev zemljanih materijala sa krupnim zrnima i vrlo plastične gline

4.3. Slučaj nasipa izrađenih od materijala sa krupnim elementima

Potrebno je istovremeno obezbediti dobre uslove izrade nasipa (korišćenje dovoljno teških vibracionih uređaja, itd.) i sprovesti kontrolu *po obavljenom poslu* (*a posteriori*).

Prisustvo velikih blokova u materijalu remeti u znatnoj meri merenja opitima pločom ili merenja gustine tako da one nisu pogodne za ove svrhe.

Nasuprot tome, merenja sleganja su izuzetno povoljna. Sa ovakvim materijalima vršio je merenja Piroton [VII] i za njih su bili konstruisani elektrotasometri [VI]. Nije nemoguće koristiti i metode sa nivelanjem.

Najzad, neophodno je učiniti i jednu *apsolutnu* napomenu: jedna od opasnosti sastoji se u mogućnosti da se krupni elementi (blokovi) oslone stvarajući lukove i ispod njih šupljine koje će se kasnije popuniti. Zbog toga je neophodna provera da li su veliki blokovi dobro obavijeni i *uklopljeni*. Dobra metoda za proveru sastoji se u prokopavanju rova i u utvrđivanju da li su krupni blokovi dobro složeni i uklopljeni, naročito ispitivanjem bokova rova. Napominjemo da ova metoda ima dvostruki nedostatak: teško se obavlja i destruktivna je. Nju je moguće primenjivati samo u ograničenom obimu.

Neophodno je iznaći nove postupke. Očekuje se da bi moćnije metode koje koriste radioaktivne izotope mogle jednog dana rešiti ovaj problem.

BIBLIOGRAFIJA UZ III GLAVU KNJIGE

- [I] G. JEUFFROY: *Conception et construction des chaussées*, tome II, pages 120 et sq. Editions Eyrolles.
- [II] G. ARQUIÉ: *Le centre d'essais de Rouen*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 17.
- [III] G. ARQUIÉ: Commentaires sur l'article de J.-P. Lefebvre intitulé: *Contrôle de fabrication d'une grave siliceuse 0/30 pour couche de base à la ballastière de Breuilpont (Eure)*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 16.
- [IV] M. BAVEUX: *Précision d'une mesure de compacité en place effectuée au gros densitomètre à membrane*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 5.
- [V] E. PRANDI: *Aspects nouveaux de l'utilisation des laitiers granulés en technique routière*, Annales de l'Institut technique du Bâtiment et des Travaux publics, n° 242.
- [VI] D. DELAHAYE et T. DELOBELLE: *L'électrotasomètre*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 31.
- [VII] G. PIROTON: *Essai de compactage par vibration d'envrochement tout-venant*, Annales des Travaux publics de Belgique (janvier 1966).
- [VIII] Sans nom d'auteur: *Influence de l'eau dans la construction et la vie des routes*, Cycle d'études de la Direction des Routes et de la Circulation routière (15 avril 1964).
- [IX] M. CAMBOURNAC: *Compactage et construction des chaussées*, Revue générale des Routes et des Aérodrômes, nos 385 et 386.
- [X] JOHN L. BEATON: *Statistical Specifications? Analysis phase of quality control study raises many questions*, Revue California Highways and Public Works, traduction du bulletin des laboratoires routiers, n° 39 (traducteur Jeuffroy).

GLAVA IV

PRILAGOĐAVANJE POSTUPAKA I ORUĐA ZA ZBIJANJE MATERIJALIMA PREDVIĐENIM ZA ZBIJANJE

Poznato je da izvesna oruđa za zbijanje bolje odgovaraju od drugih za izvesne vrste materijala predviđenih za zbijanje.

Pošto smo opisali različite vrste oruđa za zbijanje (u II glavi) i ukratko izložili osnovne karakteristike tih oruđa, u mogućnosti smo da prikazemo glavni problem koji se, konačno, svodi na izbor jednog oruđa za zbijanje i na način njegovog korišćenja s obzirom na zemljani materijal predviđen za zbijanje.

Zbog toga je neophodno poznavati karakteristike zemljanog materijala. Doduše, ta su svojstva uopšteno prikazana u prvom poglavlju. Ovde će biti prikazana pomenuta svojstva uz nastojanje da se zemljani materijali (tla) klasiraju s obzirom na izbor oruđa za zbijanje i izbor načina njegovog korišćenja.

To je i razlog što IV glavu započinjemo klasifikacijom zemljanih materijala uz posebno proučavanje svake veće grupacije s obzirom na najbolje iskorišćenje određene vrste uređaja za zbijanje ili grupe uređaja.

1. KLASIFIKACIJA ZEMLJANIH MATERIJALA

1.1. Uvod

Poznato je da se zemljani materijali mogu razvrstati u velike grupe sa unapred utvrđenim geotehničkim karakteristikama tako da je uvrštavanjem odabranog materijala u jednu od tih grupa moguće odrediti približno njegove geotehničke karakteristike, što je za praksu vrlo korisno.

Doduše, kao i pri svim ostalim razvrstavanjima, postoji problem razgraničenja: zemljani materijali čije su karakteristike unutar jedne od oblasti ali vrlo bliske granici imaju svojstva koja je teško razdvojiti. Osim toga, postoje takođe i anomalije, što će reći da izvesni zemljani materijali (tla), i ako poseduju karakteristike jedne

tačno definisane grupe, imaju jedno ili čak i više nenormalnih svojstava. Međutim, ovi slučajevi su vrlo retki.

Najzad, postoje i zemljani materijali i tla čije je karakteristike, neophodne za razvrstavanje, vrlo teško izmeriti. To je slučaj naročito kod kreda, koji je neophodno posebno ispitivati.

Ovo razvrstavanje je naročito korisno u vezi sa zbijanjem: vrsta jednog oruđa ili grupe oruđa koji su najpogodniji za zbijanje određene vrste zemljanog materijala, izbor postupka zbijanja, problemi koji se pri tome javljaju, zapreminske težine materijala u suvom stanju koje treba ostvariti, mehaničke karakteristike zbijenog zemljanog materijala — dovoljno su precizirane tako da se jednostavnim razvrstavanjem tla dobijaju potrebni elementi za dobijanje odgovora na postavljena pitanja, često i vrlo precizna.

Usvojicemo klasifikaciju poznatu pod imenom LCPC (Laboratorije za puteve i mostove — Laboratoires des Ponts et Chaussées), koja je vrlo slična klasifikaciji U.S.C.S [1] [1 bis].

1.2. Sitnozrni i krupnozrni zemljani materijali

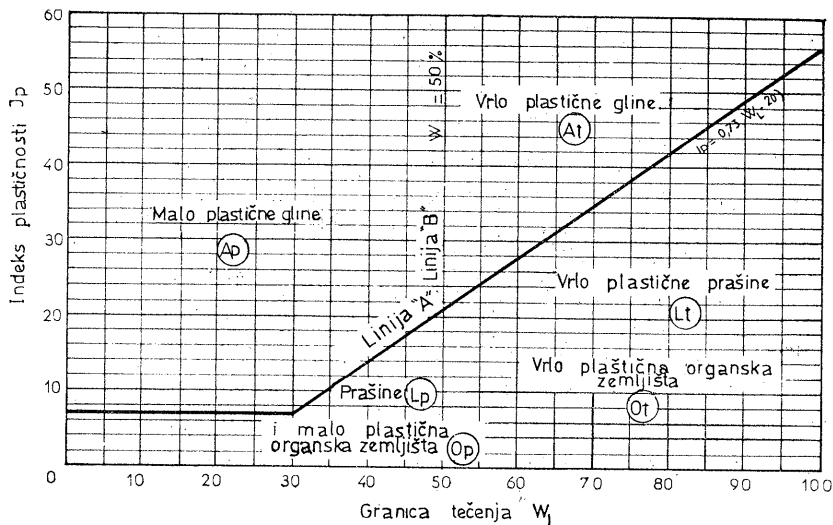
Klasifikacija predviđa prvu selekciju u funkciji od prolaza kroz sito od 80 mikrona (0,08 mm).

Krupnozrni zemljani materijali sadrže manje od 50% čestica koje prolaze kroz navedeno sito.

Sitnozrni zemljani materijali sadrže više od 50 čestica koje prolaze kroz to sito.

1.2.1. Sitnozrni zemljani materijali. Uglavnom su podeljeni na prašine i gline, čime su organska zemljišta posebno izdvojena.

Izdvajanje prašina i glina obavlja se pomoću dijagrama prikazanog na slici (IV.1) nanošenjem granice tečenja W_L na apscisu, a indeksa plastičnosti I_p na ordinatu.



Sl. IV.1 – Laboratorijska klasifikacija sitnozrnih zemljanih materijala. Dijagram plastičnosti

Sa slike se uočava da su sitnozrni zemljani materijali dalje podeljeni na malo plastične ili vrlo plastične, u zavisnosti od toga da li je granica tečenja manja ili veća od 50.

Na taj način se dobijaju četiri vrste sitnozrnih zemljanih materijala:

Malo plastične gline, označene simbolom *Ap*.

Malo plastične prašine, označene simbolom *Lp*.

Vrlo plastične gline, označene simbolom *At*.

Vrlo plastične prašine, označene simbolom *Lt*.

Prikazani dijagram ne pruža mogućnost razdvajanja prašina od organskih zemljišta čija su mehanička svojstva vrlo različita.

1) Utvrđivanje organskih zemljišta može se obaviti u laboratoriji fizičko-hemijskim određivanjem sadržine organskih materija.

Na gradilištu ih je moguće prepoznati, kao što pokazuje sledeća tablica, po boji, mirisu, teksturi i po malo zapreminskoj težini.

a) Miris organskih zemljišta nije naročito jasan kao kod svežih zemljanih materijala; progresivno se smanjuje s vremenom izlaganja vazduhu, a ponovo se povećava pri zagrevanju vlažnog uzorka. Ovaj miris je često miris biljne truleži;

b) Boja organskih zemljišta je naročito jasna na vlažnom zemljištu: tamne ili sive nijanse sivog ili mrkog, boje skoro crne. Življe boje, kao što su svetlosiva, mrka, crvena, žuta, bela i sl. uglavnom su karakteristične za neorganske zemljane materijale;

c) Fibrozna tekstura, i prisutnost biljnih ostataka omogućavaju, najčešće, prepoznavanje organskih zemljišta. Ona imaju sunderastu strukturu;

d) Najzad, ove vrste zemljišta sadrže vrlo velike količine vode pa su im zbog toga zapreminske težine vrlo male.

2) Diferenciranje između glina i prašina obavlja se na osnovu laboratorijskih ispitivanja, određivanjem Aterbergovih granica i korišćenjem dijagrama na slici IV.1.

Medutim, postoje i drugi postupci na osnovu kojih je moguće diferenciranje. To su gradilišne metode čije je korišćenje prilično delikatno. U tablici prikazanoj na str. 157 navedene su tri:

a) *Trešenje*. — Dodavanjem vode zemljanom materijalu prosejanom kroz sito otvora 0,40 mm pripremi se kolačić zapremine oko 8 cm³, s tim da zemljani materijal bude vlažan a ne lepljiv. Kolačić se postavlja u šaku koja se potresa u horizontalnom smislu tako što se ona jače udara o drugu šaku nekoliko puta. Pod dejstvom potresa voda će izbiti na površinu ukoliko su zemljani materijali male ili nikakve plastičnosti. Uzorak će postati sjajan, a efekat će biti utoliko brži što je zemljani materijal neplastičniji (manje plastičan). Ovaj sjaj će nestati ukoliko se zemljani materijal stisne između prstiju*). Moguće je praviti razliku između brzih, sporih ili nikakvih reakcija pri opitu trešenja, a na osnovu brzine sjaja.

b) Utvrđivanje konsistencije na gradilištu vrši se valjanjem između dve šake valjića prečnika 3 mm; vlažnost uzorka se smanjuje u toku postupka valjanja, a valjić se prekida-lomi kada je zemljani materijal na granici plastičnosti *L_p*.

U tom trenutku se procenjuje konsistencija tla-zemljanog materijala lomljenjem između prstiju: što je ona veća, veća je i plastičnost zemljanog materijala.

*) Ili ako se prst stavi odozgo i lagano pritisne. Ovaj gubitak sjaja postiže se širenjem (dilatacijom). Pod dejstvom vibracije kolačić od zemljanog materijala se zbija, pri čemu se voda kreće prema površini, usled čega se javlja sjaj. Pritiskom prsta dolazi do smičućeg dejstva, pa prema tome i do razmicanja (dilatacije) čime je omogućeno vodi da se vrati u zemljani materijal (kolačić).

BRZA KLASIFIKACIJA SITNOZRNIH ZEMLJANIH MATERIJALA

Postupak identifikacije na gradilištu (Težine frakcija procenjuju se)		Oznake grupe – Simboli (USCS)*			Geotehnička oznaka – klasifikacija materijala	
		Određivanje plastičnosti na gradilištu				
		Promena oblika trešenjem	Konsisten- cija	Čvrstoća u suvom stanju		
Više od polovine čestica krupnijih od 0,08 mm SITNOZRNI ZEMLJANI MATERIJALI (TLA) – GLINA I PRAŠINA	Granica tečenja ispod 50%	Brza do spora	Nikakva	Nikakva	Lp (ML)*	Prašine malo (slabo) plastične
		Nikakva do spora	Srednja	Srednja do velika	Ap (CL)	Gline malo (slabo) plastične
		Spora	Mala (slaba)	Mala do srednja	Op (OL)	Organske prašine i gline malo plastične
	Granica tečenja preko 50%	Spora do nikakva	Mala (slaba) do srednja	Mala do srednja	Lt (MH)	Prašine vrlo plastične
		Nikakva	Velika	Velika do vrlo velika	At (CH)	Gline vrlo plastične
		Nikakva do vrlo spora	Mala (slaba) do srednja	Srednja do velika	Ot (OH)	Organske prašine i gline, vrlo plastične
	Preovlađuju organske materije	Prepoznaju se po mirisu, tamnoj boji, fibroznoj teksturi sa žilicama i maloj zapreminskoj težini u vlažnom stanju !			T (Pt)	Treset i druga vrlo organska tla

c) Čvrstoća u suvom stanju utvrđuje se modeliranjem zemljanog materijala u muljevitom stanju (blato) i sušenjem (na vazduhu ili suncu).

Tako dobijena čvrsta epruveta slama se između prstiju pa se na osnovu veličine otpora određuje stepen plastičnosti zemljanog materijala — veličina otpora se povećava sa porastom stepena plastičnosti (Ova čvrstoća proističe iz sisanja, kao što je istaknuto u poglavlju 1.2.12).

Korišćenje ovih gradilišnih metoda nije preporučljivo početnicima, mogu ih koristiti samo ukoliko potom izvrše proveru u laboratoriji.

1.2.2. Krupnozrni zemljani materijali. Prema česticama krupnijim od 80 mikrona (0,08 mm) dele se na šljunkove i peskove. Ako više od polovine tih čestica ima prečnik veći od 2 mm, zemljani materijal je šljunak; u suprotnom slučaju to je pesak.

Potrebno je napomenuti da pri gornjim definicijama postoji tendencija razvrstavanja u grupu peskova i materijala koje dobar broj francuskih inženjera svrstava, instinktivno, u grupu šljunkova: čim pesak sadrži u sebi nekoliko zrna krupnoće 2 do 20, 30 ili 50 mm, uobičajeno je da se odmah smatra da je u pitanju šljunak, dok je to, u stvari, dobro granuliran pesak.

1) Peskovi. Prva razlika proizilazi iz procenta materijala koji prolaze kroz sito od 80 mikrona; po definiciji on je ispod 50%:

a) Ako je veći od 12%, ispituje se poreklo-vrsta zemljanog materijala od koga su postale sitne čestice i peskovi razvrstavaju kao prašnasti (*SL*) ili glinoviti peskovi (*SA*), u zavisnosti od toga da li se Aterbergove granice veziva na dijagramu slike IV.1 nalaze ispod ili iznad *A* linije.

b) Ako je procenat prolaza kroz sito od 80 mikrona manji od 5%, ne vodi se više računa o sitnim česticama već se proučava linija granulometrijskog sastava.

Za proučavanje linije granulometrijskog sastava koriste se dva koeficijenta: koeficijent zakrivljenosti C_c i koeficijent uniformnosti C_u . U sledećim formulama za C_u i C_c , sa D_{60} označen je prečnik sita kroz koje prolazi 60% materijala, D_{30} prečnik sita kroz koje prolazi 30% materijala, a sa D_{10} prečnik sita kroz koje prolazi 10% materijala.

Po definiciji je, prema tome:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}; \quad [1]$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}. \quad [2]$$

Ako se istovremeno dobije:

$$C_u > 6; \quad [3]$$

$$1 < C_c < 3, \quad [4]$$

znači da je taj pesak čist i dobro granuliran (Simbol *Sb*).

LABORATORIJSKA KLASIFIKACIJA KRUPNOZRNH ZEMLJANIH
 MATERIJALA

(više od 50% čestica je većih dimenzija zrna od 0,08 mm)

		Šljunkovi		
		Više od 50% čestica > od 0,08 mm je sa prečnikom većim od 2 mm	Manje od 5% čestica < 0,08 mm	
Šljunkovi	Više od 50% čestica > od 0,08 mm je sa prečnikom većim od 2 mm	Manje od 5% čestica < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ i $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ između 1 i 3 Gb (GW)*	Čist šljunak dobro granuliran
			Jedan od uslova za Gb (GW) nije ispunjen Gm (GP)	Čist šljunak loše granuliran
		Više od 12% čestica < 0,08 mm	Aterbergova granica ispod „A” linije GL (GM)	Prašinast šljunak
			Aterbergova granica ispod „A” linije GA (GC)	Glinovit šljunak
		Peskovi		
		Više od 50% čestica > od 0,08 mm je sa prečnikom manjim od 2 mm	Manje od 5% čestica < 0,08 mm	
Peskovi	Više od 50% čestica > od 0,08 mm je sa prečnikom manjim od 2 mm	Manje od 5% čestica < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ i $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ između 1 i 3 Sb (SW)	Čist pesak dobro granuliran
			Jedan od uslova za Sb (SW) nije ispunjen Sm (SP)	Čist pesak loše granuliran
		Više od 12% čestica < 0,08 mm	Aterbergova granica ispod „A” linije SL (SM)	Prašinast pesak
			Aterbergova granica ispod „A” SA (SC)	Glinovit pesak

Ako je procenat čestica manjih od 0,08 mm između 5% i 12%, koristi se dvostruki simbol grupe

* Oznake grupa u zagradi su internacionalne (U.S.C.S.) a van zagrade — prema francuskim standardima (napomena prevodioca)

Ako jedan od prethodno navedenih uslova [3] ili [4] nije ispunjen, to je onda čist i loše granuliran pesak (Simbol S_m).

c) U slučaju da je procenat prolaza kroz sito od 80 mikrona (0,08 mm) između 5 i 12%, koristi se dvostruki simbol, što znači da se istovremeno uzimaju u obzir plastičnost veziva (sitnih čestica) i oblik linije granulometrijskog sastava. *Primer: SLb* — prašinst pesak dobro granuliran.

Kao što to pokazuje tablica sa strane 159, postupa se na isti način kao i za šljunkove, počinjući sa analiziranjem frakcija koje prolaze kroz sito od 0,80 mm uz korišćenje istih granica od 5 i 12%.

Jedina razlika je u graničnoj veličini koeficijenta C_u definisanog formulom [1].

Uslov [3] zamenjen je formulom [3 bis]:

$$C_u > 4. \quad [3 \text{ bis}]$$

Formula [4] ostaje nepromenjena.

3) Kao i kod sitnozrnih zemljanih materijala, moguće je razvrstavanje krupnozrnih zemljanih materijala na gradilištu, uz ranije navedeno ograničenje u vezi sa peskovima koji u sebi sadrže šljunkovite frakcije, pri čemu je ovo razvrstavanje nešto manje delikatno od onog za sitnozrne materijale. Međutim, i ovde je neophodna opreznost i laboratorijska kontrola.

U tablici su prikazane metode klasifikacije na gradilištu i one ne iziskuju opažanja.

1.2.3. Poseban slučaj kreda. Kreda predstavlja materijal koga je teško razvrstati jer njen granulometrijski sastav varira u funkciji od preduzetih mera predostrožnosti pri vršenju opita; čestice se, u stvari, lako raspadaju u vodi.

Ovaj materijal se najčešće menja pod dejstvom gnječenja gradilišne mehanizacije, uključujući tu i uređaje za zbijanje, pretvarajući se u plastičnu kašu, a katkad i u blato u kome je nemoguće raditi.

Posebno ćemo govoriti o kredi u poglavlju 3 ove glave, a naročito ćemo se osvrnuti na teške probleme koji nastaju pri zbijanju krednih zemljanih materijala. Potrebno je napomenuti da su krede koje se ne transformišu u zemljane materijale prikazane u poglavlju 5, a posebno u članu 5.4. U stvarnosti, pri iskupu čvrstih kreda dobijaju se slabije ili bolje granulirani šljunkovi, sa većim komadima koje je zbog male čvrstoće krečnjaka moguće zbijati valjcima sa čeličnom rešetkom, koristeći princip drobljenja komada. Tako je postupano pri izgradnji Auto-puta A6 između Oksera i Avalona (Auxerre et Avallon) uz postizanje izvrsnih rezultata.

1.2.4. Opšta tablica. Opšta tablica (prilog iza strane 206) predstavlja odličan sažet prikaz pogodnosti različitih vrsta zemljanih materijala za zbijanje.

Ipak pokatkad nisu date pojedinosti u pogledu izbora oruđa za zbijanje, nisu prikazana ni vibraciona oruđa za zbijanje.

Zbog toga radije savetujemo čitaocu da se upozna sa ovim delom poglavlja koji se odnosi na zemljane materijale i da ga koristi pri izboru oruđa za zbijanje željenog materijala. Mogao bi isto tako koristiti i tablicu prikazanu u poglavlju 9 (str. 207).

BRZA KLASIFIKACIJA KRUPNOZRNIH ZEMLJANIH MATERIJALA						
Postupak identifikacije na gradilištu (čestice krupnije od 60 mm isključene; težine pojedinih frakcija procenjuju se)		Oznaka grupe – simbol (USCS)*	Geotehnička oznaka – klasifikacija materijala			
Više od polovine čestica u materijalu imaju dimenzije veće od 0,08 mm KRUPNOZRNI ZEMLJANI MATERIJALI (TTLA)	Više od polovine čestica krupnijih od 0,08 mm je sa prečnikom većim od 2 mm ŠLJUNKOVI	Bez sitnih čestica	Zastupljeni su svi prečnici zrna – nijedan ne preovlađuje	Gb (GW)*	Čist šljunak dobro granuliran	
		Sa sitnim česticama	Preovlađuje jedna veličina ili jedna grupa veličina zrna	Gm (GP)	Čist šljunak loše granuliran	
		Bez sitnih čestica	Sitnozrne čestice bez kohezije	GL (GM)	Prašnast šljunak	
		Sa sitnim česticama	Sitnozrne čestice kohezivne	GA (GC)	Glinovit šljunak	
	Više od polovine čestica u materijalu imaju dimenzije veće od 0,08 mm KRUPNOZRNI ZEMLJANI MATERIJALI (TTLA)	Više od polovine čestica krupnijih od 0,08 mm je sa prečnikom manjim od 2 mm PESKOVI	Bez sitnih čestica	Zastupljeni su svi prečnici zrna – nijedan ne preovlađuje	Sb (SW)	Čist pesak dobro granuliran
			Sa sitnim česticama	Preovlađuje jedna veličina ili jedna grupa veličina zrna	Sm (SP)	Čist pesak loše granuliran
			Bez sitnih čestica	Sitnozrne čestice bez kohezije	SL (SM)	Prašnast pesak
			Sa sitnim česticama	Sitnozrne čestice kohezivne	SA (SC)	Glinovit pesak

Glavna podela		Simboli			N A Z I V	Valjanost kao posteljica, ako nije izložena mrazu	Valjanost kao donja podloga ako nije izložena mrazu
		Oznaka	Šrafura	Boja			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Krupnozrna tla	Šljunak i šljunkovita tla	Gb (GW)		Svetlo žuta	Dobro granulisan šljunak ili mešavina šljunak-pesak Malo ili nimalo sitnih čestica	Odlično	Odlično
		Gm (GP)			Loše granulisani šljunak ili mešavina šljunak-pesak Malo ili nimalo sitnih čestica	Dobro do odlično	Dobro
		GL (GM)		Svetlo mrka	Prašinasti šljunak	Dobro do odlično	Dobro
		GA (GC)			Mešavina šljunka-peska-prašine	Dobro	Zadovoljavajuće
	Pesak i peskovita tla	Svetlo žuta	Sb (SW)		Dobro granulisani pesak ili šljunkoviti pesak. Malo ili nimalo sitnih čestica	Dobro	Zadovoljavajuće do dobro
			Sm (SP)		Loše granulisani pesak ili šljunkoviti pesak. Malo ili nimalo sitnih čestica	Zadovoljavajuće do dobro	Zadovoljavajuće
			SL (SL)		Prašinasti pesak	Zadovoljavajuće do dobro	Zadovoljavajuće do dobro
		Svetlo mrka	SA (SC)		Mešavina peska-prašine	Zadovoljavajuće	Osrednje do zadovoljavajuće
					Glinoviti pesak Mešavina pesak-glina	Osrednje do zadovoljavajuće	Osrednje
Sitnozrna tla	Prašine i gline W _L manje od 50	Lp (ML)		Narandžasta	Neorganske prašine i sitnozrni peskovi. Prašinasti ili glinoviti sitnozrni pesak ili glinovita prašina malo plastična	Osrednje do zadovoljavajuće	Ne odgovara
		Ap (CL)			Neorganske gline, malo ili srednje plastične, šljunkovite gline, peskovite ili prašinate gline; posne gline	Osrednje do zadovoljavajuće	Ne odgovara
		Op (OL)			Organske prašine i glinovite prašine male plastičnosti	Osrednje	Ne odgovara
	Prašine i gline W _L veće od 50%	Crvena	Lt (MH)		Neorganske površine, peskovita ili prašinovita tla	Osrednje	Ne odgovara
			At (CH)		Neorganske gline velike plastičnosti Masne gline	Osrednje do zadovoljavajuće	Ne odgovara
		Ot (OH)		Organske gline srednje ili velike plastičnosti. Organske prašine	Osrednje do loše	Ne odgovara	
Tla izrazito organska		T (Pt)		Crna	Treset ili druga izrazito organska tla	Ne odgovara	Ne odgovara

$$SL \text{ ili } GL \quad a = I_p < 7 \quad \mu = I_p > 7$$

Otpornost kao odloga ako je izložena mrazu	Osetljivost na dejstvo mraza	Mogućnost sleganja i bubrenja	Mogućnosti odvodnja- vanja (dreniranja)	Mehanički uredaji za zbijanje	Zaprem. težina u suvom stanju kg/m ³	Karakteristične vrednosti	
						C.B.R. %	Modul reakcije postel- jice kg/cm ²
(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Dobro	Nikakva do vrlo mala	Nikakva	Odlične	Traktori guseničari, valjci sa gumama, valjci sa glat- kim čeličnim točkovima	2022 do 2265	40–80	7–14
Zadovolja- vajuće do dobro	Nikakva do vrlo mala	Nikakva	Odlične	Traktori guseničari, valjci sa gumama, valjci sa glat- kim čeličnim točkovima	1780 do 2264	30–60	7–14
Zadovolja- vajuće do dobro	Nikakva do srednja	Vrlo mala	Zadovolja- vajuće do male	Valjci sa gumama, ježevi. Neophodna stroga kontro- la vlažnosti	2022 do 2345	40–60	7–14
O srednje do neupotrebi- ljivo	Nikakva do srednja	Mala	O srednje do praktič. vodo- nepropusno	Valjci sa gumama, ježevi	1860 do 2184	20–30	5–14
O srednje do neupotrebi- ljivo	Nikakva do srednja	Mala	O srednje do praktič. vodo- nepropusno	Valjci sa gumama, ježevi	2103 do 2345	20–40	5–14
O srednje	Nikakva ili vrlo mala	Nikakva	Odlične	Traktori guseničari, valjci sa gumama	1780 do 2103	20–40	5–10
O srednje do neupotrebi- ljivo	Nikakva ili vrlo mala	Nikakva	Odlične	Traktori guseničari, valjci sa gumama	1699 do 2184	10–40	4–10
O srednje	Mala do velika	Vrlo mala	Zadovolja- vajuće do osrednje	Valjci sa gumama, ježevi. Neophodna stroga kontro- la vlažnosti	1940 do 2103	15–40	4–10
Ne odgovara	Mala do velika	Mala do srednja	O srednje do praktič. vodo- nepropusno	Valjci sa gumama, ježevi	1618 do 2103	10–20	3–8
Ne odgovara	Mala do velika	Mala do srednja	O srednje do praktič. vodo- nepropusno	Valjci sa gumama, ježevi	1618 do 2184	5–20	3–8
Ne odgovara	Srednja do vrlo velika	Mala do srednja	Zadovolja- vajuće do osrednje	Valjci sa gumama, ježevi Stroga kontrola vlažnosti	1456 do 2103	15 ili manje	3–5
Ne odgovara	Srednja do vrlo velika	Srednja	Praktično vodonepropusna	Valjci sa gumama, ježevi	1456 do 2103	15 ili manje	1,5–4
Ne odgovara	Srednja do vrlo velika	Srednja do velika	O srednje	Valjci sa gumama, ježevi	1456 do 1698	5 ili manje	1,5–3
Ne odgovara	Srednja do vrlo velika	Velika	Zadovolja- vajuće do osrednje	Ježevi, valjci sa gumama	1294 do 1698	10 ili manje	1,5–3
Ne odgovara	Srednja	Velika	Praktično vodonepropusna	Ježevi, valjci sa gumama	1456 do 1860	15 ili manje	1,5–4
Ne odgovara	Srednja	Velika	Praktično vodonepropusna	Ježevi, valjci sa gumama	1294 do 1780	5 ili manje	0,7–3
Ne odgovara	Mala	Vrlo velika	Zadovolja- vajuće do osrednje	Zbijanje neizvodljivo	—	—	—

2. ORGANSKA TLA

Ovaj deo poglavlja mogao bi se prikazati samo jednom kratkom rečenicom: *organska tla (zemljane materijale) ne treba koristiti u putogradnji*, za nasipe i pri izradi slojeva kolovozne konstrukcije.

Međutim, ukoliko je ova definicija u potpunosti tačna za jako organska tla razvrstana u prethodnim tablicama u grupu sa simbolom *T*, potrebno je izvesno izdvajanje ukoliko se radi o zemljanim materijalima koji sadrže mali procenat organskih materija, naročito neznatne ostatke humusa (obradive zemlje).

2.1. Jako organska tla (simbol T)

Njihovo korišćenje mora se posebno propisati.

2.2. Organske prašine i organske gline

Videćemo kasnije, u poglavlju 3, da zbijanje prašina i glina nije jednostavno. Prisustvo organskih materijala ne poboljšava ove materijale pa ih zbog toga ne treba koristiti za izradu nasipa.

Potrebno je naglasiti da njihovo korišćenje nije nemoguće.

2.2.1. Slučaj živih tla. G. Peltije (Peltier) [II] je ukazao na izvesna tla koja pored organskih materija sadrže u sebi i žive mikroorganizme. Kada su živi, ovi mikroorganizmi se razmnožavaju, apsorbuju mnogo vode i čine da tlo bubri. Ukoliko se pristupi njihovom uništenju ili ako budu uništeni usled bilo kakvog fenomena, voda koju su apsorbovali otiče, što dovodi do znatnih sleganja.

Otkrivanja njihovog postojanja se obavlja uz vršenje dva opita po Proktorovom postupku: prvi bez sušenja materijala u sušnici, tako da su mikroorganizmi živi; drugi Proktorov opit se vrši posle intenzivnijeg sušenja materijala u sušnici na najmanje 130°C, posle čega mikroorganizmi uginu. Ukoliko se rezultati tako dva obavljena Proktorova opita međusobno razlikuju znak je da se radi o živom tlu, pa je poželjno da se ono ukloni iz nasipa.

2.2.2. Slučaj obradive zemlje (humusa)

Obradiva zemlja je živa. Uopšte uzev, inženjer se stara da joj očuva tu osobinu da bi je mogao iskoristiti za pokrivanje kosina.

Međutim, iskustvo pokazuje da ukoliko se ona dugo deponuje u velikim gomilama, srednji deo deponije gubi te osobine. Materijal postaje inertan, što ne znači da on više ne sadrži u sebi organske materije. To je najčešće zemljani materijal grupe *Op*, što znači — organska prašina.

Može se koristiti za izradu nasipa ali uz *mного pažnje*. Potrebno je potvrditi da je tlo potpuno „mrtvo”.

3. SITNOZRNA TLA

3.1. Opšti deo

Malo ili jako plastične gline ili prašine, sitnozrni zemljani materijali koji spadaju u grupe *Ap*, *Lp*, *At* i *Lt* prethodno objašnjene klasifikacije, imaju u manjoj ili većoj meri, sledeće dve hidrauličke karakteristike:

a) Oni su slabo vodopropustljivi; vodopropustljivost se smanjuje idući od malo plastične prašine ka vrlo plastičnoj glini.

b) Oni imaju veliko upijanje (sisanje) koje raste idući od malo plastične prašine ka vrlo plastičnoj glini.

Odatle proizilazi da su problemi zbijanja sitnozrnih zemljanih materijala znatno drugačiji od problema zbijanja krupnozrnih zemljanih materijala.

Utvrđili smo u stvari, u prvom poglavlju knjige, značajan uticaj vodopropustljivosti na mehaničko ponašanje zemljanih materijala pa prema tome i na njihovu pogodnost pri procesu zbijanja.

Ponašanje materijala u prisustvu vode nije isto i zavisi od toga da li je u pitanju prašina ili glina. Znatno veća vodonepropustljivost glina izaziva znatno sporije natapanje. Odatle proizilazi da vlažnost jedne gline neznatno varira posle kiše.

Nasuprot tome, prašina se znatno brže natapa vodom tako da je i posle samo jedne kiše vlažnost veoma povećana.

Obe vrste zemljanog materijala sporo gube vodu i to zbog dve napred navedene karakteristike: s jedne strane njihova mala vodopropustljivost znatno koči kretanje vode; s druge strane sisajući fenomeni zadržavaju vodu u kontaktu sa zrnima. Dođuše, prašina brže gubi svoju vodu od gline, međutim oba fenomena, — natapanje vodom i dreniranje — isparavanje, umanjuju pozitivne šanse prašini koja se, u praksi, ponaša lošije od gline.

U vreme padavina prašina se brzo natopi vodom, dok se glina natopi vrlo malo. Po prestanku padavina prašina znatno brže gubi svoju vodu ali je količina koja se tom prilikom akumulira (*u zavisnosti od karakteristika plastičnosti prašine*) toliko velika da ju je nemoguće zbijati, dok je promena vlažnosti gline neznatna.

Razumljivo je da se ova količina vode mora utvrđivati u relativnim veličinama. Pojam indeksa konsistencije objašnjava ovo gledište. Daljim rasmatranjem istog videćemo da se time još više pogoršava slučaj prašina.

3.1.1. Indeks konsistencije. Videli smo (I glava, član 1.2.16) da se indeksom konsistencije označava veličina:

$$I_c = \frac{W_L - w}{I_p}$$

To znači da na osnovu Aterbergovih granica treba utvrditi vlažnost zemljanog materijala, a prašina s indeksom plastičnosti 10, granicom tečenja 40 i vlažnošću od 35% biće u vlažnijem stanju i stvaraće više teškoća pri zbijanju nego glina sa vlažnošću od 40% sa granicom tečenja 70 i indeksom plastičnosti 45.

Indeksi konsistencije bili bi u tom slučaju 0,5 za prašinu i 0,67 za glinu.

Granica koja odvaja prašine i gline ima jednačinu oblika:

$$I_p = 0,73 (W_L - 20),$$

tako da je za prašinu (indeks plastičnosti) I_p manji od 0,73 ($W_L - 20$), dok je za glinu I_p veći.

To znači da je imenitelj indeksa konsistencije veći za glinu nego za prašinu što će reći da je promena indeksa konsistencije u funkciji od vlažnosti materijala brža kod prašine nego kod gline.

Zajedno s prethodnim razmatranjima, ova primedba objašnjava zašto zbijanje prašine stvara neobično mnogo problema, znatno više nego zbijanje gline.

3.1.2. Očekivana vlažnost pri zbijanju. Podsetimo se najpre (videti I glavu, član 2.12) da je prirodna vlažnost zemljanih materijala w u francuskim klimatskim uslovima (izuje na jugoistoku Francuske) bliska granici plastičnosti koja je opet veća od optimalne vlažnosti određene po standardnom i modificiranom Proktorovom postupku. Odatle proizilazi da je:

$$W_{opM} < W_{opN} < W_p \neq w.$$

Ukoliko se pokušava da se zemljani materijal zbija pri takvim uslovima (vodeći pri tome računa o činjenici da su ovakvi materijali malo vodopropustljiviji ili čak i nepropustljiviji), brzo se dolazi do zone mehaničke nestabilnosti, pre nego što se dostigne zapreminska težina u suvom stanju γ_d zemljanog materijala odgovarajuća optimumu određenom po standardnom Proktorovom postupku, zapreminska težina koja je dugo vremena predviđena opštim tehničkim uslovima.

Manje je zlo ako se samo približimo ovoj vrednosti, ako se npr. dostigne 95% od zapreminske težine u suvom stanju određene po normalnom Proktorovom postupku γ_{doN} , jer je u tom slučaju približno postignuto zbijanje zemljanog materijala, pa ne treba mnogo insistirati na realizaciji nasipa koji mnogo ne sleže (i ne suviše neravnomerno), i približno zadovoljavajuća nosivost.

Postoje i drugi slučajevi, naročito brojni kada su u pitanju prašine, gde je vlažnost materijala u prirodnom stanju w vrlo velika da bi se mogla postići zahtevana zbijenost. Počinje se sa zbijanjem; materijal se zgušnjava, a zatim naglo i skoro naglo, dok se je još relativno daleko od zbijenosti propisane tehničkim uslovima, nosivost se gubi, zemljani materijal se razriva ili formira tzv. gumeni jastuk (pri prolazu valjka sleže a po odlasku diže videti prvo poglavlje, član 2.8)).

Izvođač radova u takvom slučaju traži pomoć i pita kojim oruđem treba da zameni do tada korišćeno oruđe za zbijanje da bi mogao nastaviti posao.

Jedini odgovor koji mu se u takvom slučaju može dati je nažalost, da je to trebalo predvideti pre početka zbijanja — nastojeći da se utvrdi *očekivana vlažnost pri zbijanju*, tj. vlažnost sa kojom se može računati s obzirom na vlažnost materijala u prirodnom stanju w , klimu i godišnje doba u kome će se obavljati radovi.

Pre nego što se pristupi analiziranju ovih činilaca, nije nekorisno i besmisleno insistirati na opasnosti od preteranog optimizma u ovoj oblasti. Inženjer koji projektuje i izvođač radova koji priprema licitacionu ponudu često su raspoloženi (spremni) da zajednički usvoje pretpostavku o spremnosti da provetravanjem prosuše suviše vlažan zemljani materijal, smatrajući da neće morati vršiti polivanje vodom zatravljenih površina (kosina) useka i nasipa. Jedan i drugi, a katkad i obojica, zaboravljaju da često nije dovoljan ni čitav dan lepog vremena za prosušivanje jako nakvašenog zemljanog materijala.

Kako odrediti očekivanu vlažnost pri zbijanju?

1) Pri radu u kišnim klimatskim uslovima ili u vlažnom periodu najviše što se može postići je sprečavanje znatnijeg povećanja vlažnosti u odnosu na prirodnu.

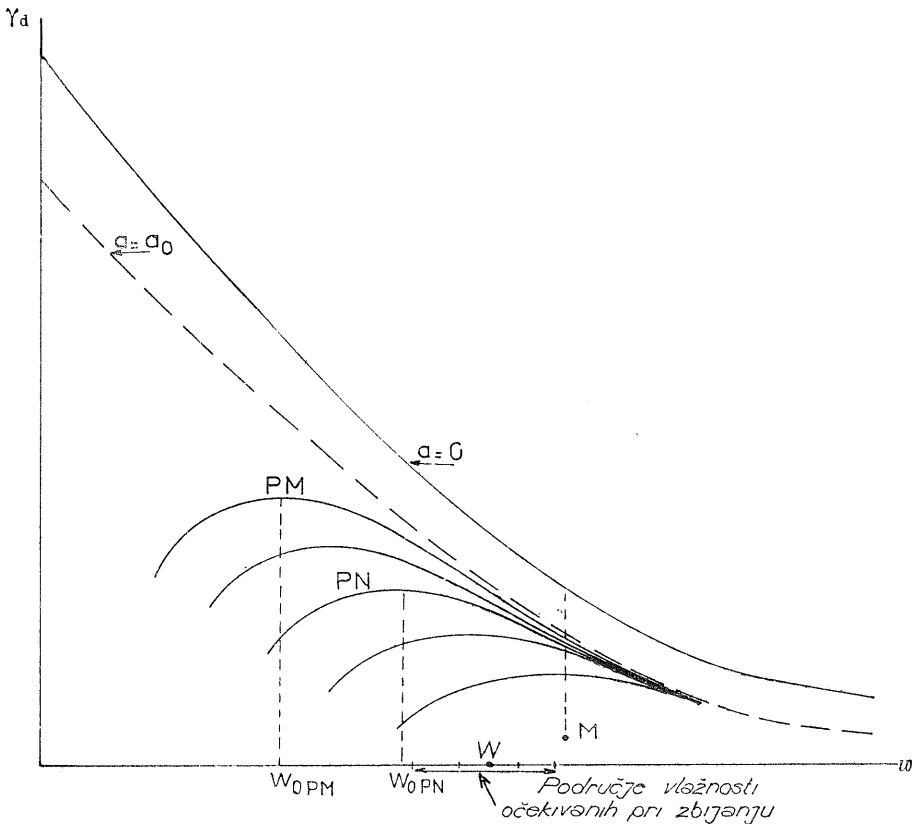
Videćemo kasnije (član 3.1.5) da se to može postići preduzimanjem određenih zaštitnih mera. Potrebno je samo još biti *spreman za efikasno preduzimanje zaštitnih mera*.

Uz navedena ograničenja, usvojiće se da područje očekivanih vlažnosti pri zbijanju bude između vlažnosti materijala u prirodnom stanju w i one koja je uvećana za 2 jedinice (izražene u procentima).

2) Ukoliko postoji *izvesna sigurnost* da će se radovi obavljati u suvim klimatskim uslovima i u lepom godišnjem periodu, i to samo u takvom slučaju, izvođač radova će biti u stanju da vlada situacijom u vezi sa vlažnošću, a područje očekivane vlažnosti pri zbijanju može se nalaziti između optimalnih vlažnosti određenih po standardnom i modificiranom Proktorovom postupku zbijanja.

3.1.3. Očekivani uslovi pri zbijanju. U fazi projektovanja i priprema gradilišta, neophodno je potvrditi se radi utvrđivanja očekivanih uslova pri zbijanju. Razume se da je ovo predviđanje naročito značajno u slučajevima kada ne postoje mogućnosti da se vlažnost održi u predviđenim granicama.

1) Zbog toga je neophodno da se pripremi dijagram kao što je onaj na slici IV.2 (videti I glavu, član 3.3), koji će pokazati kakva se zapreminska težina u suvom



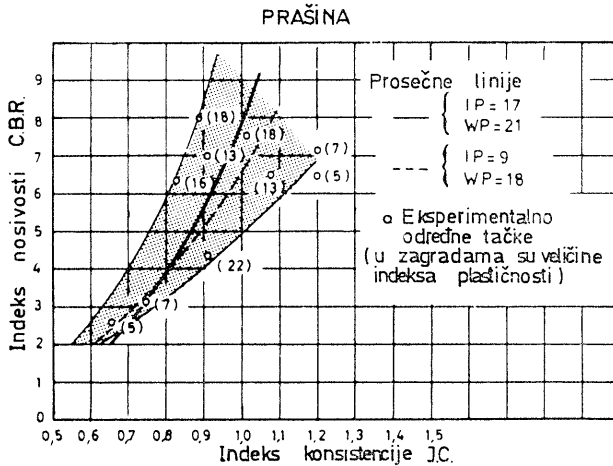
Sl. IV.2

stanju može postići bez opasnosti da dođe do pojave mehaničke nestabilnosti, koju smo detaljnije pokušali objasniti u prvoj glavi (članovi 2.10 i 3.3).

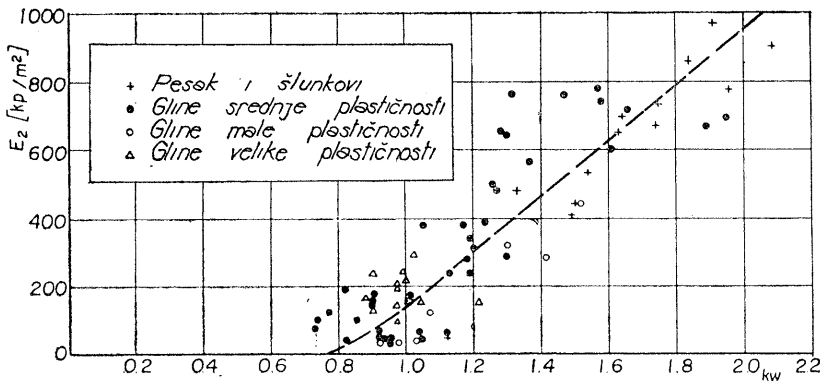
2) Sračunaće se takođe i područje indeksa konsistencije koji odgovaraju očekivanim vlažnostima pri zbijanju.

Ukoliko indeks konsistencije padne ispod 0,5, zemljani materijal je u stanju tečnog blata tako da nije moguće njegovo zbijanje. Izvesni rezultati se mogu postići ako se radi o posteljici puta u useku. Prandi navodi da je pri izradi devijacije puta za Domon(Daumont), razastiranjem sloja peskovite zgure veće debljine (0,30 do 0,40 m) preko posteljice u glinovitom materijalu potpuno natopljenom vodom, omogućena izrada kolovozne konstrukcije zadovoljavajućeg kvaliteta. Otvaranjem kolovozne konstrukcije na odabranim mestima konstatovano je da je se glina u nižem sloju sanirala i očvrsla. Moguće je da tu dolazi do fenomena rasipanja unutrašnjeg pritiska, a naročito pritiska vazduha, analognog onome što smo naveli u I glavu, član 3.3.2.

Pri indeksima konsistencije između 0,5 i 0,75 zbijanje materijala je veoma otežano: slike IV.3 i IV.3 bis pokazuju da su veličine indeksa nosivosti CBR i modula deformabilnosti E_2 (određene pločom) vrlo male [III] [VIII].



Sl. IV.3 — Promena indeksa nosivosti CBR u funkciji od indeksa konsistencije



Sl. IV.3bis — Veličine nosivosti E_2 u funkciji od konsistencije I_c

Pri indeksima konsistencije iznad 0,75 ili 0,80 zbijanje je moguće ali je nedovoljno efikasno, a postignuta nosivost je mala (slaba). Potrebno je da indeks konsistencije dostigne vrednost 1 da bi zbijanje postalo efikasno.

3.1.4. Priprema gradilišta. Prethodna razmatranja će svakako dovesti do odluke na osnovu koje je moguće proceniti veličinu i stepen rizika; ona bi mogla biti odabrana između prikazanih koje ćemo razjasniti u daljem izlaganju.

1) Upotrebiti zemljani materijal za nasip, bez ikakvih posebnih mera predostrožnosti i bez rešenja o njegovoj zameni.

2) Upotrebiti zemljani materijal za nasip predviđajući izvesne mere predostrožnosti pri njegovom iskopu i u toku zbijanja ali bez rešenja o zameni.

3) Kao i u prethodnom slučaju, ali uz rešenje o zameni materijala u slučaju da se uslovi pokažu nepovoljnim.

4) Obraditi zemljani materijal što je već u izvesnom smislu rešenje o zameni.

5) Iskopati zemljani materijal i odbaciti ga u deponiju a umesto njega upotrebiti drugi za izradu nasipa.

Bez obzira na donetu odluku, potrebno je pripremiti metodologiju za njegovu korišćenje i planirati postupak i dinamiku iskopa materijala, utvrditi nagibe slojeva u nalazištu u toku njegove eksploatacije i objekata za odvođenje vode — odvodnjavanje, predvideti mere za održavanje u dobrom stanju nagiba i objekata za odvodnjavanje a na isti način postupiti u pogledu organizovanja gradilišta pri ugrađivanju materijala u nasip, predvideti koje će oruđe (uređaj) obavljati zatvaranje (glačanje) površine izrađenog sloja, predvideti način deponovanja kreča potrebnog za obradu zemljanog materijala, itd.

Izvođač radova koji dozvoljava svom šefu gradilišta da se „snađe” u trenutku nastajanja teškoća, bez prethodno preduzetih zaštitnih mera, direktno srlja u propast.

Inženjer koji ne zahteva od izvođača radova dokaz da su navedene pripreme obavljene i da su preduzete zadovoljavajuće mere predostrožnosti, može očekivati uspešno produžavanje roka izvršenja radova.

3.1.5. Metode za obezbeđenje zadovoljavajuće ili dozvoljene vlažnosti. Videli smo da je moguće ostvariti dovoljnu verovatnoću u određivanju vlažnosti samo u izvesnim klimatskim područjima i u izvesnim godišnjim dobima. Može se dogoditi da, čak i pri vlažnim klimatskim uslovima i u kišnom godišnjem dobu, postoje šanse da se naiđe na povoljne uslove u radu; bilo bi apsurdno lišiti se pogodnosti koje proističu iz jedne takve situacije⁽¹⁾.

Napomenuli smo da je u vlažnim klimatskim uslovima moguće zahvaljujući izvesnim merama predostrožnosti, očuvati vlažnost neznatno drugačiju od vlažnosti materijala u prirodnom stanju.

Razdvojićemo sve ove metode na dve grupe zavisno od toga da li se primenjuju pri iskopu zemljanih materijala ili pri njihovom ugrađivanju u nasip [IV].

Bez obzira da li je u pitanju radilište na kome se vrši iskop ili ugrađivanje materijala u nasip, neophodno je pratiti vremenske prognoze; jer odluke koje se donose moraju biti usklađene s atmosferskim prilikama u toku narednog dana.

⁽¹⁾ Artiljerac koji je sračunao da mu je potrebno ispaliti 800 hitaca radi postizanja zadovoljavajuće verovatnoće da će pogoditi željeni cilj, i ako je to postigao od prvog hica, neće ispaliti preostalih 799 hitaca.

1) *Radilište na kome se vrši iskop zemljanog materijala*⁽¹⁾

a) Ukoliko je sigurno da će vreme biti lepo i stabilno, korisno je da se zemljani materijal otkopa unapred, radi provetravanja u cilju smanjenja vlažnosti do ispod vlažnosti u prirodnom stanju, jer je ona skoro uvek, kao što smo to već napomenuli, bliska vlažnosti na granici plastičnosti W_p koja je i sama veća od optimalne vlažnosti po standardnom Proktorovom postupku W_{op} , a još veća od one po modificiranom Proktorovom postupku.

b) Ako je vreme lepo ali postoji opasnost od pogoršanja, ne treba iskopavati mnogo zemljanog materijala, a provetravati samo onu količinu za koju je sigurno da se može ugraditi u nasip i sabiti pre pogoršanja vremena.

c) Ako je vreme osrednje ili loše, treba izbegavati provetravanje zemljanog materijala jer se na taj način olakšava prodiranje oborinske vode (kišnice) u materijal uz opasnost od povećanja vlažnosti preko prirodne.

Potrebno je isto tako, na kraju radnog dana, posle pažljivog uspostavljanja nagiba i odvođenja vode kao što je naznačeno, izravnati i izglatiti (zatvoriti) površinu pozajmišta prolaskom valjaka sa glatkim čeličnim točkovima.

d) U svim slučajevima neophodno je sledeće:

— obezbediti nagibe potrebne za brzo i nesmetano oticanje vode: ti nagibi treba da budu znatni, bar 15%;

— predvideti niska mesta objekata za odvodnjavanje;

— *održavati uvek u ispravnom stanju* nagibe na radilištu gde se obavlja iskop i objekte za odvodnjavanje. Razumljivo je da treba nastojati da na radilištu ne bude nikakvih ulegnuća ili rupa u kojima bi se mogla zadržavati voda⁽²⁾.

2) *Radilište na kome se materijal ugrađuje u nasip*

a) Ako je vreme lepo i stabilno, dozvoljeno je da protekne izvesno vreme između razastiranja zemljanog materijala i njegovog zbijanja — da bi se poboljšalo provetravanje. Za ovakav način rada potrebne su velike površine za razastiranje materijala da bi se izbegla opasnost od pokrivanja nezbijenog ili nedovoljno sabijenog sloja novim. Zbog toga je bolje da se provetravanje materijala obavlja u pozajmištu nego u nasipu.

b) Ako je vreme loše, promenljivo ili jednostavno — nestabilno, potrebno je što pre obaviti zbijanje zbog opasnosti natapanja razastrtog materijala.

c) U svim slučajevima neophodna je izrada nagiba potrebnih za što brže odvođenje vode. Pre svakog prekida radova potrebno je obezbediti na površinama nasipa dovoljno veliki poprečni pad (najmanje 10%) bez ulegnuća i talasa, pri čemu površina mora biti dobro zbijena i dovoljno glatka da ne bi zadržavala vodu.

Pored ravnjanja (radi postizanja glatke površine) povećava se i vodonepropustljivost površine sloja. To se postiže sa nekoliko prelaza valjka sa glatkim čeličnim točkovima (videti član 3.2.4.).

d) Moguće je postaviti pitanje da li je oportuno povećati zbijanje i u slučaju kada je zemljani materijal mnogo vlažan, zbog opasnosti od pojave fenomena gume-

⁽¹⁾ Smatramo korisnim da upozorimo, iako se radi o problemu koji nije u vezi sa zbijanjem, vrlo interesantnu englesku studiju o uticaju padavina na radilište u kome se obavlja iskop i ne transport zemljanih materijala (Congres de la Route, Tokio, pitanje II, engleski izveštaj)

⁽²⁾ Japanski izveštaj na Kongresu u Tokiju navodi seriju mera predostrožnosti i metoda za smanjenje vlažnosti i svodenje na minimum dejstva padavina u toku izvršenja radova. Navodimo iskop rovova širine 1 m i 2 do 3 m dubine iskopenih u pozajmištu i unapred održavanih u prvotnom stanju, umesto klasičnih iskopa (pitanje II).

nog jastuka. Japanski izveštaj podnet na Kongresu u Tokiju (pitanje III) predviđa smanjenje uobičajenog stepena zbijanja. Morali bi se predvideti novi uslovi (standard) koji bi iziskivali zbijanje materijala dok se ne postigne procenat šupljina ispunjenih vazduhom između 2 i 10%, tj. stepen zasićenosti od 85 do 95%. Na taj način bi se obezbedila stabilnost nasipa i njegovo držanje pod dejstvom padavina.

Zahvaljujući naknadnom poboljšanju otpornosti vlažnih i kohezivnih zemljanih materijala, koje japanski izveštaj pripisuje tiksotropiji i koje je možda izvesno rasturanje unutrašnjeg pritiska, nasip bi bio stabilan.

Ovaj stav predstavlja izvesno približavanje engleskim propisima koji predviđaju zbijanje trupa nasipa dok se ne postigne procenat šupljina ispunjenih vazduhom niži od 10%, a gornji — završni — deo nasipa dok se ne postigne procenat šupljina ispunjenih vazduhom niži od 5%.

Navodeći ove podatke sa izvesnom rezervisanošću, mišljenja smo da oni predstavljaju obimno područje za razmišljanja i proučavanja.

3.2. Prašine

3.2.1. Osnovni problem je u vezi sa vlažnošću (sadržinom vode) materijala i sve što je do sada rečeno ostaje i dalje u važnosti. Pretpostavićemo, dakle, da su preduzete sve potrebne mere predostrožnosti. Ako su one dovoljne, to znači da vlažnost materijala pri zbijanju dopušta postizanje određene zapreminske težine u suvom stanju i prihvatljive stabilnosti, zbijanje je moguće obaviti.

3.2.2. Ako to nije slučaj, danas se koristi rešenje koje, pod uslovom da je bilo predviđeno i pripremljeno, rešava problem zbijanja. Ovaj postupak se vrlo mnogo koristi u nekim zemljama u inostranstvu, a počinje da se koristi i u Francuskoj, gde mu se predviđa lepa budućnost: obrada prašina negašenim krečom. Postupak obrade sastoji se u sledećem:

- kreč hidratiše na račun zemljanog materijala čija se vlažnost zbog toga smanjuje;
 - hidratacija je praćena znatnim oslobađanjem toplote koja pretvara vodu u paru, čime se smanjuje vlažnost zemljanog materijala;
 - dolazi do izmene jona kreča Ca^{++} sa jonima prašine (najčešće joni Na^+).
- Ova transformacija se izražava promenom sledećih geotehničkih karakteristika:
- povećavaju se granice plastičnosti i tečenja, a njihova razlika, tj. indeks plastičnosti, ostaje skoro nepromenjena;
 - optimalne vlažnosti određene po standardnom i modificiranom Proktorovom postupku povećavaju se istovremeno sa Aterbergovim granicama;
 - zapreminske težine u suvom stanju γ_d dobijene po standardnom i modificiranom Proktorovom postupku smanjuju se;
 - poboljšava se indeks nosivosti CBR zemljanog materijala.

Na osnovu prikazanog postupka (izvučeni su) proizilaze sledeći zaključci:

Veliko smanjenje vlažnosti usled hidratacije kreča i isparavanja utiče na indeks konsistencije u istom smislu kao i povećanje Aterbergovih granica. Indeks konsistencije se jako uvećava. Zemljani materijal se može zbijati a olakšan je i saobraćaj u onoj meri u kojoj su povećane optimalne vlažnosti. *Transformacija je vidljiva.*

Maksimalne zapreminske težine po standardnom i modificiranom Proktorovom postupku zaista su smanjene ali ih je moguće postići dok pre obrade mate-

rijala to nije bilo moguće. *Praktično uzev, postignute su veće zapreminske težine u suvom stanju.*

Najzad, povećana je nosivost materijala a izbegnuta je mogućnost pojave gumenog jastuka.

Protiv ovog postupka obrade moguće je staviti dve vrste primedaba:

Postupak je skup. Iako se dodaje samo nekoliko procenata kreča, postupak dovodi do značajnog povećanja cene koštanja izrade nasipa. Cena kubnog metra nasipa bez obrade od 2 franka povećava se na 10 franaka, prema sledećoj strukturi:

Cena neobrađenog materijala 2 F

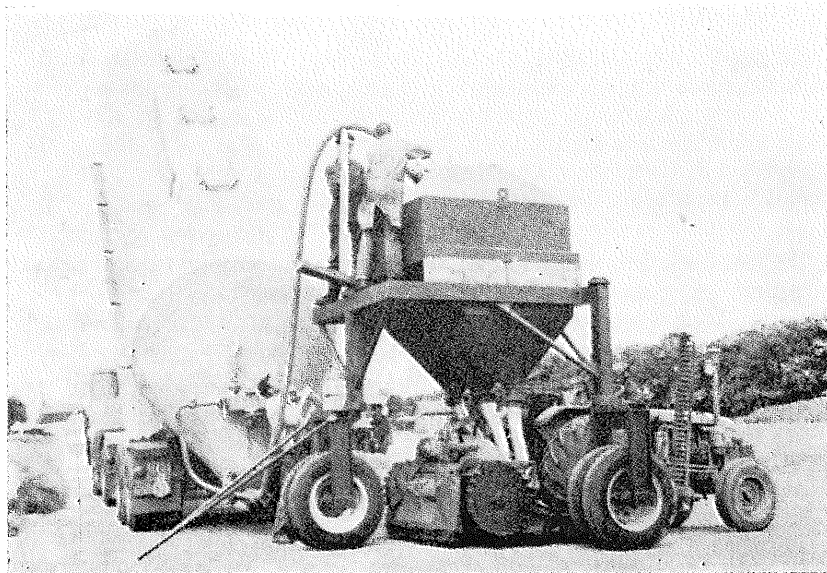
Nabavka kreča i transport do gradilišta 6 F

$$\frac{1,6 \text{ t} \times 5}{100} \times 75 \text{ F po toni.}$$

Ugrađivanje kreča $\frac{2 \text{ F}}{10 \text{ F}}$

10 F

No, ovu cenu treba upoređivati sa cenom onog rešenja koje je moguće *stvarno* koristiti. Praktično gledano, jedino rešenje koje još dolazi u obzir sastoji se u odbacivanju prašine u deponiju i u dovlačenju kvalitetnog materijala uz povećanje troškova prevoza. U brojnim slučajevima, realna cena koštanja kretala bi se između 15 i 20 F.



Sl. IV.I — Aerodrom Bos (Bos) (76):
punjenje uredaja za razastiranje kreča

Tako je posle obavljenih ekonomskih računica „Pariski aerodrom” odlučio da obradi krečom oko 2 000 000 m³ prašine na aerodromu Roasi an Frans (Roissy-en-France) [XXIII]. U konkretnom slučaju trebalo je ne samo transportovati materijal do istovarnog mesta (deponije) već platiti i pravo na istovar, koje je u

okolini Roasija bilo skupo, 5 do 7 F/m³. Osim toga, transport materijala do istovarnog mesta stvarao je posebne teškoće a naročito je težak bio problem obezbeđenja (putne) sigurnosti na putevima uprljanim prašinom koja ih je činila vrlo klizavim pri vlažnom vremenu.



Sl. IV.II — Obrada prašine krečom:
aerodrom Bos (Bos) (76)

Najzad, trebalo je nabaviti materijale kojima bi zamenili prašinu, što bi izazvalo dopunske troškove jer bi nabavka tako velikih količina materijala, sasvim sigurno, izazvala povećanje nabavne cene zbog špekulacije.

Najzad, nasip od materijala predviđenog da zameni prašinu (zečiji pesak) koštao bi između 15 do 25 Fm³.

Osim toga, obrada prašine krečom obavljala se u Roasiju samo ako su to zahtevali atmosferski uslovi.

U mnogo običnijim slučajevima nego što je ovo gradilište posebnog značaja i veličine smatramo, zajedno sa Relotijusom (Relotius) [XVI], da je obrada prašine krečom za završne slojeve nasipa interesantnija i ekonomičnija od dovoženja materijala zadovoljavajućeg kvaliteta iz pozajmišta. Za nasipe, obrada prašina je ekonomična ukoliko materijal za zamenu treba dovoziti sa većih udaljenosti od 15 km. Pomenuti autor procenjuje da je za nasipe interesantno vršiti obradu svakog drugog sloja.

Mnogo ozbiljnijom nam se čini druga primedba: korišćenje negašenog kreča opasno je za osoblje. U praksi, kreč se razastire po zemljanom materijalu koga treba obraditi neposredno po njegovom planiranju i potom meša uz korišćenje pogodnog uređaja (pulvimikser, rotavator). U toku razastiranja, a naročito ako se radi po vetru, kreč se raznosi. Poznato je da negašeni kreč stvara opekotine. Teorijski posmatrano dovoljno je da osoblje na gradilištu nosi masku i rukavice ali oni to uvek ne čine.

Potrebno je, prema tome, koristiti uređaj koji omogućava razastiranje kreča bez opasnosti za zaposleno osoblje⁽¹⁾.

Napominjemo da je u Japanu sa uspehom ispitivano dodavanje kreča materijalu u samom pozajmištu, bušenjem rupa nešto ranije pre unošenja negašenog kreča u njih.

3.2.3. Pretpostavimo sada da je prašina pri zadovoljavajućoj vlažnosti ili da je prethodno obrađeno krečom. Koji uređaj za zbijanje odabrati?

1) Valjak sa bodljama (jež) i njemu slični uređaji izrađeni su radi zbijanja zemljanih materijala ove vrste. On im je dobro prilagođen. Uređaju tipa *tamping* koji su proizašli iz valjaka s ovčijim nogama (ježevi) odgovaraju takođe i za ove zemljane materijale. Po Ejereu (Ailleret) [XXIII] ovi uređaji su posebno pogodni za zbijanje krečom obrađenih prašina.

2) I valjak sa gumenim točkovima odgovara isto tako ovoj vrsti zemljanih materijala. Njegovo dejstvo po dubini je utoliko efikasnije što je jače opterećen (teži).

3) Vibracioni uređaji takođe su pogodni. Pri tome ne treba gubiti iz vida činjenicu da se dejstvo ovih uređaja postiže smanjenjem trenja. Finozrna tla, kao što su prašine, imaju mali ugao unutrašnjeg trenja, bar pod dejstvom brzih naprezanja kao što su ona pri zbijanju. (Bili bi zanemarljivo mali ukoliko bi zemljani materijal bio potpuno zasićen vodom, ali bi zbijanje u takvom slučaju bilo nemoguće). Potrebno je ipak naglasiti da vibracioni uređaji nisu najpogodniji za zbijanje prašina. Oni se mogu vrlo dobro iskoristiti za zatvaranje površine nabijanog sloja, tj. za *gladenje* — *izravnavanje* (videti 3.2.4.).

4) Valjci sa glatkim čeličnim točkovima su neznatno efikasni za zbijanje ove vrste zemljanih materijala. Moguće ih je koristiti samo ako se razastiru vrlo tanki slojevi, pošto je dubinsko dejstvo valjaka sa glatkim čeličnim točkovima vrlo slabo.

Mogu se korisno upotrebiti radi gladenja ili izravnavanja⁽²⁾.

3.2.4. Gladenje. Na kraju radnog dana, pa čak i u toku rada ako su atmosferske prilike nepovoljne, treba, kao što smo već napomenuli, zaštititi površinu nasipa protiv eventualnog natapanja vodom već zbijene prašine.

Videli smo da je za to bilo neophodno predvideti dovoljne poprečne nagibe (preko 10%) kojima se obezbeđuje brzo oticanje vode, što znači dobro projektovane izvedene i *dobro održavanje*.

Uz to, kao što navodi Bonanfan (Bonnenfant), potrebno je izglacati površinu, što znači učiniti je što zatvorenijom i zaglađenijom. Na taj način nastaje na površini izrađenog sloja kora povećane gustine i znatno vodonepropustljivija od preostalog materijala u donjem delu sloja, koja je dovoljna da spreči prodiranje vode ukoliko padavine nisu dugotrajne.

Za zatvaranje i gladenje površine može se upotrebiti valjak sa glatkim čeličnim točkovima ili vibracioni valjak. Valjak s bodljama (jež) i valjak s gumenim točkovima nisu pogodni za ovu vrstu posla, pa je zbog toga neophodno da se nabavi i valjak druge vrste (s glatkim čeličnim točkovima); no pošto se on koristi samo za

⁽¹⁾ Jedan ovakav uređaj verovatno će se uskoro pojaviti u prodaji (podzemna bušilica).

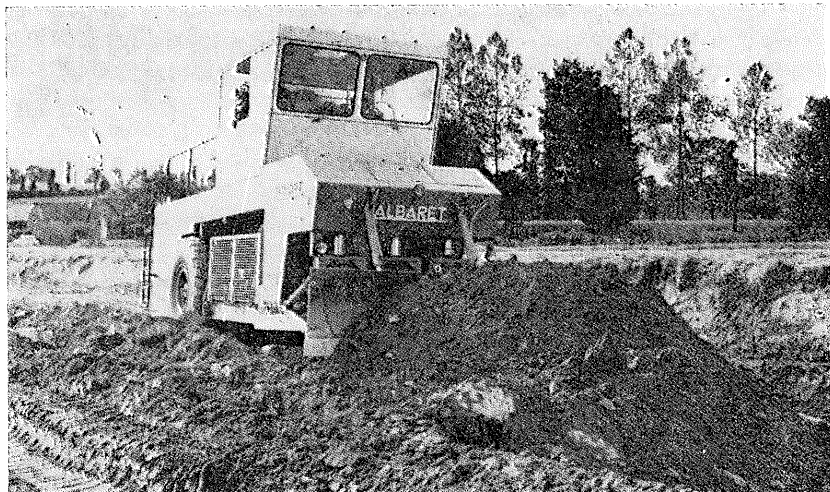
⁽²⁾ Za prašinu obrađenu krečom Relotius preporučuje kombinaciju valjka sa bodljama (ježa) čija je visina bodlji određena u funkciji od dubine obrađivanog materijala, koji lomi grudve i koji, treba da obavi 5 do 6 prelaza, teškog valjka sa gumenim točkovima i valjka s glatkim čeličnim točkovima koji zatvara površinu sloja (Ovo gladenje može se takođe obaviti i valjkom s gumenim točkovima).

radove pri lošem vremenu, može se upotrebiti i valjak manjih dimenzija. Po našem mišljenju, najbolje je posedovati manji vibracioni valjak koji je inače neophodan za obavljanje zbijanja u zonama teško pristupačnim većim valjcima.

3.3. Glina

3.3.1. Problemi pri zbijanju glina

1) Vrsta gline korišćene za nasipe. Bonanfan je u svom čuvenom članku objavljenom u „*Analima za puteve i mostove*” [V] predložio da bi trebalo zabraniti upotrebu svih materijala s indeksom plastičnosti većim od 25 ili granicom tečenja većom od 50.



Sl. IV.III — Zbijanje sitnozrnog zemljanog materijala pri odgovarajućoj vlažnosti samohodnim valjkom s gumenim točkovima težine 50 tona koji je snabdeven buldožerskim nožem (Foto Albaret)

Mi se ne slažemo s ovim mišljenjem i smatramo da je vrlo često moguće, relativno lako, obaviti zbijanje glina. To ne znači da ne treba biti oprezan u izvesnim slučajevima koje Bonanfan navodi u svom radu.

Istina je da je prirodna vlažnost glina najčešće bliska granici plastičnosti, što istovremeno znači da je veća i od optimalne vlažnosti određene po standardnom Proktorovom postupku. Međutim, ukoliko se preduzmu sve mere predostrožnosti koje ćemo navesti, skoro da možemo biti sigurni da se vlažnost materijala neće povećati. Šta više, kao što smo već naveli na početku ove glave, indeks konsistencije iako manji od 1, nije mnogo mali.

Doduše, teške gline stvaraju probleme u vezi sa stabilnošću kosina, koji se pojavljuju tek nekoliko meseci nakon puštanja objekta (nasipa) u eksploataciju, ali to ne znači da ne treba upotrebljavati glinu u svim nasipima. Dovoljno je preduzeti potrebne mere predostrožnosti od kojih se najjednostavnija sastoji u izradi kosine nasipa od drugog materijala.

Korišćenje glina pri izradi nasipa koje može dovesti do znatnih ušteda još je opravdanije ukoliko glina sadrži krupnih zrna — komada (sileks) — u dovoljnom

broju da mogu stvoriti kostur materijalu. Istina je da oni moraju biti vrlo brojni da bi se njihov uticaj mogao osetiti. U takvom slučaju radi se pre o glinovitom šljunku nego o glini.

2) *Problemi vlažnosti.* Razumljivo je da su vrlo značajni problemi vlažnosti koji nastaju pri ugrađivanju gline u nasipe pa je u vezi sa tim, a u funkciji od klimatskih uslova, potrebno preduzeti sve mere predostrožnosti navedene u članu 3.1.5. Razumljivo je da obavljanje potrebnih mera predostrožnosti mora biti sprovedeno na način označen u članovima: 3.1.2, 3.1.3 i 3.1.4.

3) *Obrada.* S obzirom da su indeksi konsistencije glina najčešće bolji od onih kod prašina, iz napred pobrojanih razloga njihova obrada je manje interesantna.

3.3.2. Izbor uredaja za zbijanje. Ostajemo pri istoj klasifikaciji kao i kod prašina.

1) Valjak sa bodljama (jež) izrađen je za zbijanje sitnozrnih materijala. On najbolje odgovara za zbijanje gline.

2) Valjci s gumenim točkovima takođe odgovaraju. Velika optrećenja po točku omogućavaju povećanje dubine zbijanja.

3) Valjci s glatkim čeličnim točkovima mogu se koristiti samo za zatvaranje zaglađivanje površine zbijenog sloja.

4) Vibraciona sredstva slabo se primenjuju u ovoj oblasti.

3.3.3. Gladenje. Problem gladenja (zatvaranja) i glačanja javlja se kao i kod prašina.

3.4. Kreda

Problemi u vezi sa zbijanjem krede još su nedovoljno razjašnjeni.

3.4.1. Kreda stena ili kreda tlo? Da li kredu dalje treba razmatrati kao jedno sitnozrno tlo? Ne izgleda li da se ona javlja kao stena? Zaista, pri pregledu čela iskopa u useku skoro uvek se dobija utisak da se radi o steni, a vrlo često se događa da se izgled potpuno izmeni na mestu ugrađivanja u nasip gde se, pod dejstvom točkova uredaja za zbijanje (valjaka), gusenica i točkova različitih oruđa, materijal pretvara u platičnu kašu.

Pri poseti gradilištu devijacije puta kod Etama (Etampes), Polu-Masa (Paulou-Massat) je, da bi jasnije prikazao fenomen, vodio svoje posetioce na čelo iskopa u useku, moleći ih da uzmu u ruke jedan komad krede težine stotinak grama i da pokušaju da ga gnječe. Nakon nekoliko stiskanja komad je se pretvarao u vrlo plastičnu kašu.

Ako se ovaj fenomen javlja kod mnogih krede, to je zbog toga što se on sastoji od akumuliranih ljuštura mikroorganizama (kao što su foraminifere) međusobno povezanih cementom od kristala kalcita koji najčešće stvaraju malobrojne i vrlo slabe veze. Odatle proističe vrlo krhka struktura i visoka poroznost.

Pod dejstvom gnječenja usled prolaza oruđa za zbijanje i transport, ove veze se kidaju a materijal se pretvara u pravo tlo zemljani materijal. Ova vrsta strukture i njene promene u zavisnosti od postupka rukovanja dobro su poznati i ispitani pomoću elektronskog mikroskopa [XXVI].

Ovakvo ponašanje nije univerzalno zbog čega je neophodno, pri suočavanju sa jednim specifičnim slučajem na koji se naiđe u praksi, utvrditi da li će se naići ili ne na sledeće fenomene.

Prema Masonu (Masson [VI]) razlikovaćemo:

- krečnjačke krede;
- ostale vrste krede (bela kreda i marnska kreda).

1) *Krečnjačka kreda*. „Na terenu“ — piše Mason — „ova kreda se poznaje po svom kristalnom izgledu, tvrdom opipu, svojom stratifikovanošću u velikim bankovima. Ona je često ispucala vertikalno.

Unutar prslina može nastati karstificirana mreža koja se može upoređivati sa onom koja se susreće u čistim krečnjačkim masivima“ . . . Sa fizičkog stanovišta, ova kreda ima svojstva slična onima koja se nailaze kod krečnjaka:

- velika gustina: reda veličine od 2,10;
- brzina prostiranja zvuka (merena na uzorku) 3 500 m/sec kao prosek;
- jednoaksijalna čvrstoća na pritisak: 200 do 300 kp/cm²;
- osetljivost na mrzaz: prilično je promenljiva. Novija ispitivanja su pokazala da je otpornost izvesnih kocki posle 25 ciklusa mržnjenja—kravljenja između —10 i —20°C.”

Ova kreda će se ponašati uglavnom kao stena a njeno zbijanje će se obavljati na isti način kao i kod šljunkova (videti IV glavu, poglavlje 5) ili kao blokovi—obluci (glava IV, član 5.4).

2) Nasuprot tome, ostale krede će se ponašati kao sitnozrni zemljani materijali (tla). Ovo poglavlje posvećeno je toj vrsti kreda.

Ove vrste kreda mogu se pojaviti u različitim morfološkim oblicima: nalaze se u strmim obalama (visokim stenama pored mora) što dozvoljava pretpostavku o prilično velikoj koheziji, ali Mason [VI] ukazuje na izvesnu asimetričnost dolina koja se primećuje skoro uvek, bar u Normandiji; padine okrenute jugu imaju mnogo blaže nagibe od onih koje su izložene severu, i to zbog toga što padine izložene jugu trpe dnevne cikluse mržnjenja i kravljenja koji ih transformišu u kašu zasićenu vodom koja ističe po kosini, padine izložene severu neprekidno su zamrznute i na njima se ne primećuju navedene pojave.

Uvek bi, prema Masonu, fizička svojstva ovih kreda bila:

- prilično velika gustina: 1,70 do 1,80 u proseku;
- brzina prostiranja zvuka (merena na uzorku): 2 000 do 2 500 m/sec;
- jednoaksijalna čvrstoća na pritisak: 20 do 90 kp/cm²;
- velika osetljivost na mrzaz: slaba otpornost pri ponovljenim ciklusima mržnjenja—kravljenja, do —5°C.

Potrebno je istaći osim toga:

- vrlo visoku poroznost ovih kreda (više od 36% kod belih kreda);
- vrlo jasno povećanje otpornosti na pritisak (jednoaksijalna čvrstoća) posle prosušivanja;
- uočljivo smanjenje ovog parametra izmerenog na osušenom uzorku, koji je ponovno hidratizovao pri vlažnosti bliskoj vlažnosti u prirodnom stanju.

Napominjemo da jedan nedavno uveden opit (*opit vibracionog drobljenja*) omogućava prilično dobro klasificiranje kreda prema njihovoj pogodnosti za izvršenje zemljanih radova i za zbijanje.

3.4.2. Zbijanje krede koja se javlja u obliku sitnozrnog tla. Ako je neophodno zbijanje krede koja je u stanju da se pretvori u sitnozrno tlo, što prema klasifikaciji M. Masona označava drugačiju kedu od krečnjačke, sve ono što je rečeno u poglavlju 3.1 u vezi sa zbijanjem sitnozrnih materijala može se ponoviti, a naročito važnost očekivane vlažnosti materijala pri ugrađivanju, fenomena gumenog jastuka, mehaničke nestabilnosti, mera predostrožnosti koje treba preduzeti pri iskopu i ugrađivanju u nasip, i sl.

Jedino u slučaju marnovitih kreda, možda, koje sadrže montmorionitsku glinu, osetljivost na vodu izgleda nam veća od osetljivosti prašina ili glina.

Značajna razlika ovih materijala u odnosu na obične sitnozrne materijale je u pojmu *očekivana vlažnost pri ugrađivanju*, koji nije uvek jasan kada se radi o kredama; voda sadržana u porama bloka ili komada krede neće imati uticaja dok se on ne zdrobi; posle drobljenja potrebno ju je uzimati u obzir.

1) Ukoliko se može vlažnost održavati u nepromenjenom stanju (suva klima ili suv godišnji period), zbijanje je relativno lako.

2) Ako je pak očekivana vlažnost pri zbijanju visoka (u meri u kojoj je ova napomena jasna u slučaju krede), postupak oko ugrađivanja biće otežan.

Skorašnja razmišljanja navode, za sada, na primenu sledećih preporuka (Puig [XXVI]).

Razvrstavanje krede obavlja se na osnovu čestica sitnijih od 1,25 mm proizvedenih pri opitu *vibrositnjenja* izvršenom na materijalu *u zasićenom stanju* ili na *zasićenom materijalu potopljenom u vodu*; *dobre krede* su one koje daju manje od 30% takvih čestica pri jednom i drugom opitu; *sumnjive krede* su one koje daju manje od 30% čestica sitnijih od 1,25 mm pri *opitu* na materijalu *u zasićenom stanju* i više od 30% pri opitu na *materijalu zasićenom i potopljenom u vodu*; *loše krede* su one koje pri oba opita daju manje od 30% čestica sitnijih od 1,25 mm. Krede koje su razvrstane kao dobre ne iziskuju nikakve posebne mere predostrožnosti osim uobičajenih. Loše krede treba odbaciti ili ih koristiti samo uz primenu znatno obimnijih mera predostrožnosti od onih koje se predviđaju za sumnjive krede.

Pri ugrađivanju sumnjivih kreda predviđene mere predostrožnosti moraju biti usklađene sa visinom nasipa. Potrebno je izbegavati svako manipulisanje sa kredom koje bi moglo izazvati drobljenje komada (blokova) ili transformisanje krede u tlo — sitnozrni materijal. Na žalost, ovaj postupak je prihvatljiv samo pri skromnijem zbijanju. Ukoliko je nasip velike visine, težina gornjih slojeva izaziva zgušnjavanje slojeva u nižem delu nasipa, lomljenje komada (blokova), transformišući na taj način kedu u sitnozrni materijal čija će vlažnost biti utoliko bliža zasićenju, što je voda sadržana u porama pojedinih komada — slobodnija. Na taj način će nasip, posmatran kao celina, imati Poasonov koeficijentat oko 0,5, zbog čega postoji opasnost da to izazove ozbiljniju nestabilnost nasipa [IX] [XXVI].

a) Nasip male visine (0 do 5 m)

Težina koju prenosi je relativno mala; može se očekivati neznatno zgušnjavanje (sabijanje) koje može biti opasno ili neprijatno samo na prilazima objektima ili na ivicama kosina. Zbog toga se može tolerisati manja zbijenost i ugrađivanje krede veće vlažnosti, ali će voda u njoj ostati u porama komada (blokova) koji se neće sitniti na manje delove (ili koji će se samo neznatno sitniti). Zbog toga će se pri iskopu — u useku — koristiti utovarna kašika koja zahvata odozdo materijal i utovara ga u kamione ili dampere; ugrađivanje će se vršiti u relativno tankim slo-

jevima (0,30 m posle zbijanja) uz zbijanje teškim valjkom s gumenim točkovima ili uređajima *bez vibracije*. Treba brzo obavljati zaštitu posteljice radi sprečavanja prodiranja vode (obezbeđenje potrebnog poprečnog nagiba, ravnanje i glađenje površine kao za sitnozrne zemljane materijale).

b) Nasip srednje visine (5 do 12 m)

Zgušnjavanje (sabijanje) se može očekivati, uz znatnija sleganja. Problemi stabilnosti su relativno malo opasni. Treba postići osrednju zapreminsku težinu u suvom stanju ($1,60 \text{ gr/cm}^3$).

Ukoliko je posle drobljenja izvesnih komada (blokova) vlažnost mnogo velika, pojavice se fenomen *gumenog jastuka* (videti poglavlje 2.8, I glava) zbog čega bi trebalo primeniti prethodno pobrojane postupke za sitnozrne materijale ili, još bolje, one koji su u narednom članu navedeni za nasipe velike visine.

c) Nasip velike visine (preko 12 m)

Još u toku izrade projekta jedan ovakav nasip se mora tretirati kao veštački objekat. To znači da je neophodno sprovesti proračune napona kojem će biti izloženo tlo u osnovi nasipa uz različite hipoteze o veličini Poasonovog koeficijenta da bi se odatle odredile zapreminske težine u suvom stanju koje će materijal dostići.

Radi onemogućavanja zgušnjavanja (zbijanja) nižih slojeva nasipa, kao i nestabilnosti nasipa potrebno je, još u toku njegovog ugrađivanja, postići zapreminske težine u suvom stanju previđene prethodno obavljenim proračunom (preko $1,70 \text{ g/cm}^3$).

To se može postići samo drobljenjem komada (blokova). Zbog toga će se iskop krede obavljati snažnim oruđima (riperi, buldozeri, skreperi). Zbijanje treba obavljati uređajima koji istovremeno drobe i sitne komade krede (valjak sa rešetkom ili najpre *Tamping*). Ukoliko je vlažnost velika (više od 20%), pojavice se uobičajene teškoće (gumeni jastuk, pretvaranje materijala u tečnu kašu).

Biće neophodno da se primeni jedan od sledećih postupaka:

1) Dodavanje sitnozrnog suvog peska uz mešanje pulvimikserom čime se mešavina koja je natopljena vodom prosušuje.

2) Metoda sendviča (devijacija kod Etana i Pasi-sir-Era (Pacu-sur-Eure): prethodno opisani postupak i ovaj kod Pasi-sir-Era).

Da bi se izbegli klasični nedostaci koji su se pojavili na početku radova na gradilištu, sloj krede razastiran je između slojeva šljunka. U stvari, u blizini devijacije, u dolini Era (Eure) postojalo je nalazište šljunka. Materijali iz ove šljunkare imali su istovremeno diskontinualnu liniju granulometrijskog sastava (šuplju) i malu vrednost ekvivalenta peska, što nije uvek slučaj sa materijalima koji se, kao u ovom slučaju, vade iz vode. Ovakav materijal nije mogao predstavljati kvalitetan sloj kolovozne konstrukcije (postojala su za tu svrhu druga nalazišta, ne mnogo udaljenija i već osposobljena za eksploataciju), ali je mogao biti iskorišćen za izradu nasipa.

Rezultati dobijeni po sendvič—postupku mogu se oceniti kao zadovoljavajućim.

Na ovaj način mogla je se koristiti kreda čije su se vlažnosti kretale do 22%. Njeno korišćenje je zabranjivano ako je vlažnost (maksimalna vlažnost) iznosila 30%.

Na kraju radnog dana posao je uvek završavan slojem krede koji je dobro izravnat, lako prevaljan i izgladen da bi se sprečilo prodiranje vode u šljunak.

Naizmernični slojevi su rađeni u debljinama od 0,30 do 0,40 m, što je po našoj oceni vrlo mnogo.

Napominjemo da ova sendvič-metoda ima i još jednu prednost: da obezbeđuje stabilnost kosina nasipa. Ubacujući materijal čiji je ugao trenja priličan, a Poasonov koeficijent niži od 0,5, povećavamo stabilnost nasipa.

3) Obrada cementom ili letećim pepelima kojima je prethodno dodat kreč.

4) Armiranje nasipa (metoda do nedavno malo korišćena ali koja bi mogla dati dobre rezultate ukoliko bi se tačno utvrdio položaj armatura i njihova vrsta).

4. PESKOVI

Pri zbijanju peskova javljaju se vrlo raznoliki i raznovrsni problemi tako da se slobodno može reći da njihovo objašnjenje obuhvata skoro sve probleme zbijanja, izuzimajući jedino one koji se odnose na kamene materijale i obrađene materijale.⁽¹⁾

Plastični peskovi, označeni simbolima *SL* ili *SA*, stvaraju iste probleme pri zbijanju kao i sitnozrni zemljani materijali.

Čisti loše granulirani peskovi, označeni simbolom *Sm*, zbijaju se teško kao i čisti loše granulirani šljunkovi.

Čisti dobro granulirani peskovi, označeni simbolom *Sb*, lako se zbijaju i ugrađuju kao i čisti dobro granulirani šljunkovi.

Radi sveobuhvatnosti treba dodati i dve značajne karakteristike:

a) Oblik zrna (uglatost ili zaobljenost) igra značajnu ulogu pri zbijanju i stabilnosti posle zbijanja koja bi se mogla nazvati i sposobnošću protiv rastresanja (gubljenja zbijenosti); ova pojava uočava se kod izvesnih šljunkova, čistih i loše granuliranih (višak-peska);

b) Pesak je jedno od područja primene vibracionih uređaja. Pri izlaganju problema u vezi sa zbijanjem peskova, koristićemo istu klasifikaciju kao i u članu 1.2.2.: najpre prašinovite i glinovite peskove (poglavlje 4.1.), zatim čiste dobro granulirane peskove (poglavlje 4.2) i, najзад, čiste loše granulirane peskove (poglavlje 4.3).

4.1. Prašinasti i glinoviti peskovi

Pošto je vrlo mala razlika između prašinstog peska koji sadrži 49% čestica koje prolaze kroz sito od 0,08 mm i prašine koja sadrži peska i 51% čestica koje prolaze kroz isto sito, nije sasvim lako razdvojiti ova dva materijala, i to se čini samo za potrebe klasificiranja.

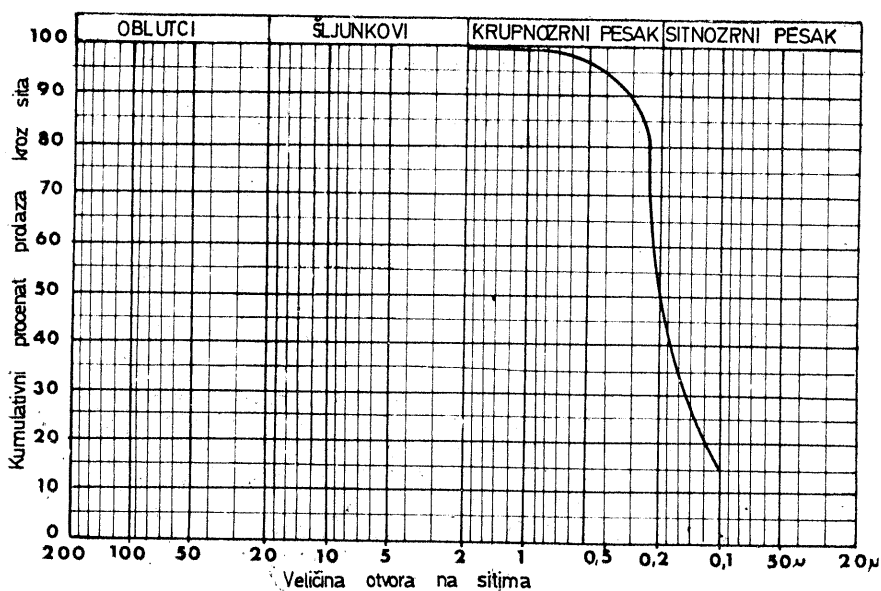
Zbog toga zaprljani (nečisti) peskovi mogu stvarati potpuno identične probleme kao i gline, odnosno prašine usled toga što se lako natapaju vodom, bliži su glinama i prašinama nego peskovima.

Sve što je rečeno u prethodnim poglavljima može se ponoviti, uz ograničenje da, u zavisnosti od smanjenja sadržaja sitnih čestica, tu i tamo može doći do znatnog smanjenja teškoća usled promena vlažnosti.

⁽¹⁾ Potrebno je, takode, dodati da je problem u vezi s obrađenim peskovima sličan problemu obrađenih šljunkova.

4.2. Čist pesak loše granuliran

Radi se uglavnom o peskovima diskontinualnog sastava, sa jako suženim područjem, koji se teško zbijaju i čija je stabilnost, čak i posle zbijanja, neznatna, što znači da se oni lako rastresaju (gube zbijenost). Na slici IV.4 prikazana je linija granulometrijskog sastava jednog takvog zemljanog materijala.



Sl. IV.4 — Linija granulometrijskog sastava peska iz Anglekeville

4.2.1. Dejstvo vode. Generalno uzev, peskovi su vodopropustljivi i neosetljivi na vodu. Ukoliko su sitnozrni (zrna veličine 0,5 mm i sitnija), oni stvaraju neznatno sisanje, a prisustvo vode im obezbeđuje neznatnu (laku) koheziju, povoljnu za stabilnost a često i za zbijanje.

Na njihovoj Proktorovoj liniji zbijanja najčešće se ne uočava jasno izražen maksimum a završava se na liniji zasićenja bez naglog pada.

Ne postoji područje mehaničke nestabilnosti jer je materijal usled toga vrlo propustljiv (propustljiv za vodu a još više za vazduh).

4.2.2. Izbor uređaja za zbijanje. Uređaji s glatkim čeličnim točkovima i uređaji sa bodljama (ježevi) nemaju nikakvog praktičnog dejstva na ovim zemljanim materijalima.

Uređaji s gumenim točkovima mogu imati izvesno dejstvo, ali ako je stabilnost mala (videti sledeći član 4.2.3.), često se događa da uređaj za zbijanje poništi efekat koji je pre toga realizovao. Osim toga, ovi materijali stvaraju velike teškoće oko obezbeđenja gradilišnog saobraćaja. Iskustva stečena u Opitnom centru, sa peskom iz Anglekeville (Anglesqueville) (videti liniju granulometrijskog sastava prikazanu na slici IV.4), to jasno pokazuju (videti poglavlja 1.2. i 1.3, glava V).

4.2.3. Stabilnost. Uticaj uglatosti (oblika zrna). Ova vrsta peskova poseduje vrlo malu stabilnost, jer homogenost zrna smanjuje ostvarenu zapreminsku težinu, a poznato je da to izaziva povećanje ugla unutrašnjeg trenja (videti I glavu, poglavlje 3.2).

Ako su čestice sa zaobljenim ivicama (obla zrna), ugao unutrašnjeg trenja je mali i materijal je nestabilan. U takvom slučaju se lako rastresa, bar na površini sloja.

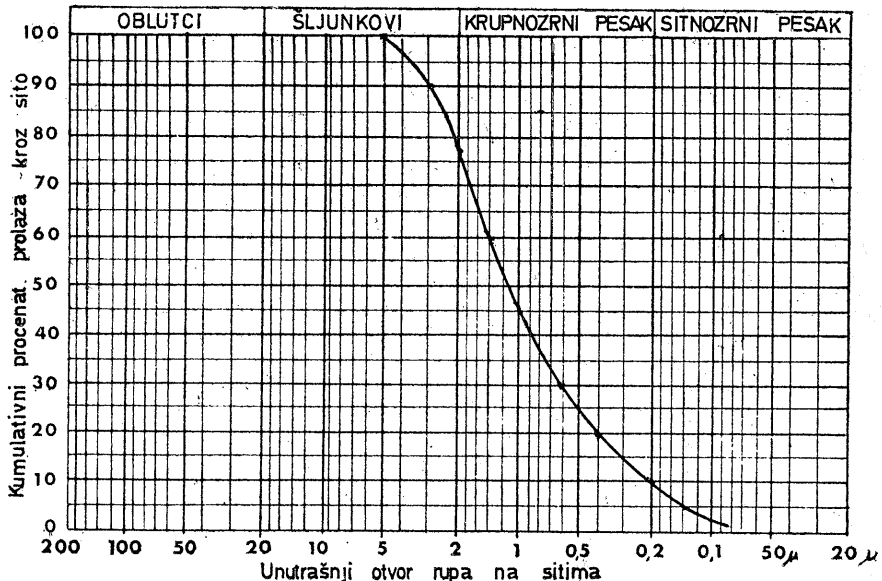
Situacija je nešto povoljnija ukoliko pojedine čestice materijala imaju različite oblike i ako je uglatost visoka. Zbijenost jednog drobljenog peska bolje se održava nego zbijenost dinskog (pustinjskog) ili morskog peska.

4.2.4. Zbijanje preko drugog materijala. Pomenuti nedostatak stabilnosti navodi često stručnjake da pesak zatvore ispod nekog drugog šljunkovitog materijala zadovoljavajućeg granulometrijskog sastava. U takvom slučaju pokušava se sa zbijanjem peska indirektno, preko drugog materijala. Neophodno je, razume se, da debljina pokrivajućeg šljunkovitog sloja ne bude prevelika, jer se dejstvo zbijanja ne bi osetilo na sloju peska. Neophodno je, međutim, predvideti debljinu šljunkovitog sloja da bi se istovremeno sprečilo i njegovo utiskivanje u peskoviti sloj. Za to je uglavnom dovoljna debljina od desetak santimetara.

U ovom slučaju može se upotrebiti valjak s gumenim točkovima mnogo opterećenim ili, još bolje, težak vibracioni valjak.

4.3. Čist pesak dobro granuliran

Na slici IV.5. prikazan je primer granulometrijskog sastava jednog ovakvog materijala. Prethodno navedene teškoće su znatno umanjene pa čak i potpuno otklonjene.



Sl. IV.5 — Linija granulometrijskog sastava čistog peska (Sb)

Materijal se može zbijati bezmalo sa svim uređajima za zbijanje izuzev onih koji nisu namenjeni za ovu vrstu materijala.

4.3.1. *Valjci sa glatkim čeličnim točkovima* mogu se koristiti ali uz uslov da debljina slojeva predviđenih za zbijanje bude jako mala, samo nekoliko santimetara.

4.3.2. *Valjci sa bodljama (ježevi)* mogu se koristiti u izuzetnom slučaju, tj. ako materijal nije sasvim čist i ako predstavlja prelaz između čistog dobro granuliranog peska i glinovitog ili prašinstog peska (simboli *SbSl* npr.).

4.3.3. *Valjci s gumenim točkovima* vrlo su pogodni i mogu vršiti zbijanje do veće dubine ako su dobro opterećeni.

4.3.4. *Uređaji s vibracionim dejstvom* su najpogodniji za zbijanje ove vrste zemljanih materijala.

4.3.5. Ako su dovoljno čisti, ovi materijali ne stvaraju ozbiljnije probleme u vezi sa vlažnošću.

Pri korišćenju vibracionih uređaja *moгуće je zbijati ove materijale čak i u suvom stanju*, uz postizanje izvrsnih rezultata (videti I glavu, član 5.7.8). Ovi materijali se mogu zbijati isto tako i *u vodom zasićenom stanju* (Videti prilog br. I posvećen izradi nasipa hidrauličkim postupkom).

Međutim, ako se poveća njihova zaprljanost, a naročito ako su mešovitog tipa (simboli *SbSL* ili *SbSA*), vlažnost materijala se mora vrlo pažljivo kontrolisati.

5. NEOBRAĐENI ŠLJUNKOVI

Iste napomene kao i one koje su učinjene u poglavlju 4 u vezi sa peskovima navode na potrebu jasnog razdvajanja čistih šljunkova i nečistih šljunkova označenih simbolima *GL* ili *GA*.

Razlika između gline sa sileksnim skeletom i vrlo glinovitog šljunka više je u stepenu nego u poreklu.

Šta više, unutar čistih šljunkova potrebno je praviti jasnu razliku između dobro granuliranih šljunkova, koje je moguće zbijati skoro na sve načine⁽¹⁾ (pod uslovom da se usklade debljine zbijanih slojeva i broj prelaza sa kapacitetom zbijanja odabranog uređaja), i loše granuliranih šljunkova koji mogu stvarati vrlo delikatne probleme; oni su, uostalom, različiti i prema tome da li se radi o jednom šupljem (uniformnom) šljunku ili o šljunku s viškom peska.

5.1. Plastični šljunkovi (GL ili GA)

Ovi materijali, koji se nalaze u znatnim količinama u starim terasama rečnih dolina ili u deponijama osulina, vrlo su cenjeni jer omogućavaju lakšu izradu nasipa i lakše zbijanje nego zemljani materijali iz useka.

⁽¹⁾ Što ne znači da su svi postupci zbijanja u ovom slučaju ekvivalentni, naročito u pogledu ekonomičnosti, već samo to da se posao može obaviti sa bezmalo svim uređajima za zbijanje.

Stručnjaci su vrlo skloni da ih koriste kao rešenje za zamenu ako ih velika očekivana vlažnost u vreme ugrađivanja gline ili prašine (videti član 3.1.4) navodi da zabrane korišćenje tih materijala.

5.1.1. Bilo bi neoprezno i pogrešno reći da ovi materijali ne stvaraju nikakav problem.

Prema tome da li je procenat čestica koje prolaze kroz sito od 0,80 mm veći ili manji,⁽¹⁾ prema tome da li je plastičnost veziva (maltera) u materijalu viša ili niža, prema tome da li je uglatost zrna u materijalu veća ili manja, problemi će biti manje ili više naglašeni. Dobri elementi za procenu navedenih teškoća su grupni indeks, bubrenje pri CBR-opitu, veličina indeksa nosivosti CBR, oblik Proktorove linije zbijanja, položaj optimalne vlažnosti određene po Proktorovom postupku i očekivane vlažnosti pri zbijanju u vreme građenja.

U najvećem broju slučajeva izlaganje i napomene učinjene u članu 3.1. ovog poglavlja primenljive su i ovde uz izvesna ublaženja.

U stvari, neophodno je da plastičan šljunak bude dovoljno vodonepropustljiv za vodu i vazduh da bi se teorije prikazane u prvoj glavi knjige mogle smatrati primenljivim.

Tako smo imali prilike da kod šljunkova primetimo fenomen gumenog jastuka, ali ne i *tečno* ponašanje takvog materijala.

Ako je takav šljunak mnogo vlažan da bi se u takvom stanju mogao zbijati, i ako atmosferske prilike i predviđeni rokovi za izvršenje radova onemogućavaju čekanje na njegovo prosušivanje, lako ga je pripremiti za zbijanje obradom cementom ili krečom. Može se smatrati da je najčešće, izuzimajući jedino vrlo plastične šljunkove, do povećanja vlažnosti u materijalu došlo usled greške u rukovanju: materijal je ostavljen da se natapa vodom iznad njegove prirodne vlažnosti. Dovoljno je da se pri iskopu, razastiranju i pri zbijanju preduzmu mere predostrožnosti navedene u članu 3.1, pa da se sve neprilike, u najvećem broju slučajeva, izbegnu.

Nismo zaboravili da istaknemo da predviđene mere važe za materijale koji se kopaju usuvo. Ako je situacija drugačija, ako se koristi šljunak vađen direktno iz vode, bilo bi za osudu ne iskoristiti povoljnu okolnost i materijal osloboditi većeg dela plastičnih sitnozrnih čestica. U takvom slučaju šljunak se pretvara u čist šljunak, najčešće dobrog granulometrijskog sastava, a katkad u pomalo šupalj-uniforman ako se, istovremeno sa finim česticama, ispere i sitan pesak. U svakom slučaju, on više ne spada u kategoriju o kojoj je reč u ovom članu.

Veštački komponovani šljunkovi čak ne spadaju u ovu kategoriju: oni su znatno skuplji od prirodnih šljunkova, pa ne dolaze u obzir zbog toga za izradu nasipa već samo za izradu slojeva kolovozne konstrukcije. Ne bi u takvom slučaju bilo nikakve diskusije da li dozvoliti plastičnost i u kojoj meri. Ako su plastični, neophodno ih je obraditi.⁽²⁾ U oba slučaja takvi šljunkovi ne bi predstavljali predmet rasprave o kojoj je reč u ovom članu.

⁽¹⁾ U nemačkom izveštaju po II pitanju, na Kongresu u Tokiju, prikazana je vrlo interesantna studija laboratorijskih ispitivanja mešavina prašina i krečnjačke sitneži. Maksimalna zapreminska težina dostiže maksimum pri procentu sitneži između 60 i 70. Osim toga što je procenat sitneži veći, to je samo vezivo (malter) manje zbijeno, što nagoni na korisna razmišljanja. Pored toga modul $E_{0.2}$ prolazi kroz maksimum pri učešću sitneži u mešavine od 70 do 90%. Maksimum je dobijen za veličinu odnosa koji je utoliko veći, što je vlažnost prašine veća. Sam maksimum neznatno se smanjuje sa tom vlažnošću.

⁽²⁾ Prljav šljunak posle obrade ne predstavlja dobar noseći sloj, ali može predstavljati dobar završni sloj nasipa — posteljicu, osnovni sloj ili noseći sloj za put bez velikog saobraćaja.

5.1.2. *Kakve uređaje* upotrebiti za zbijanje plastičnih šljunkova prihvatljive (zadovoljavajuće) vlažnosti? U najvećoj meri valjke s gumenim točkovima, a naročito teški valjak (kompaktor) koji omogućava ugrađivanja materijala u debljim slojevima, često do 0,50 m.

1) Manje opterećen samohodni valjak sa gumenim točkovima, a naročito vučeni valjci s gumenim točkovima ukupne težine preko 15 tona odgovaraju za zbijanje slojeva debljine 20 cm.

2) Teški vibracioni valjci omogućavaju zbijanje slojeva debljine preko 0,50 m. Međutim, čim se plastičnost materijala poveća, materijal postaje kohezivan tako da se efekat vibracionih sredstava umanjuje, a time i njihova pogodnost za zbijanje.

3) Uredaji sa bodljama (jezevi) odgovaraju za ove materijale, naročito ako su kohezivni i ako ne sadrže u sebi jako krupna zrna (komade).

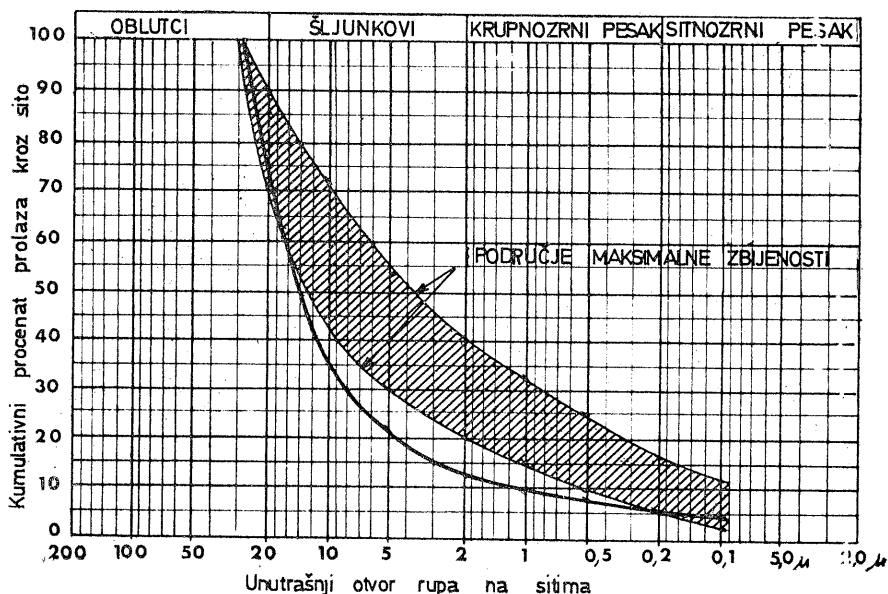
4) Valjci s glatkim čeličnim točkovima nedovoljno su efikasni, naročito ako je šljunak plastičan. Debljina slojeva za zbijanje ne sme biti veća od 10 cm, čak i za najteže uređaje ove vrste.

5.2. Loše granulirani šljunkovi (Gm)

Mogu se pojaviti dva međusobno različita nedostatka: kada materijal sadrži vrlo malo peska u sebi, kaže se da je „šupljeg granulometrijskog sastava”. Ako je šljunak vrlo peskovit, njegov granulometrijski sastav je grbav pa se kaže da *ima grbu — višak peska*.

Pre nego što pristupimo izlaganju preporuka u vezi sa zbijanjem ove vrste materijala, prikazaćemo rezultat jedne neobjavljene Konbarieove (Combarieu) studije [VII].

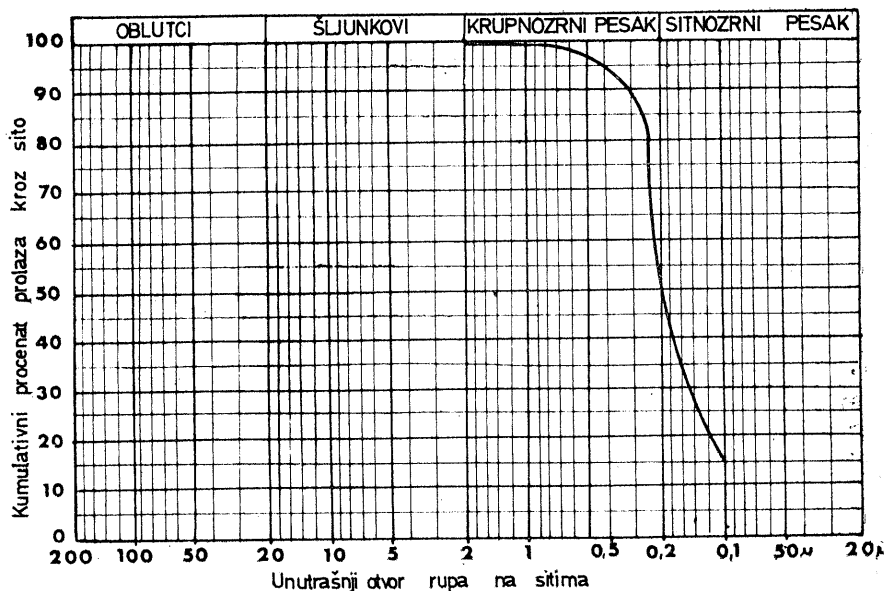
Za proučavanje su upotrebljena dva šljunka: jedan sa šupljim granulometrijskim sastavom (slika IV.6) i jedan sa jako suženim područjem granulometrijskog



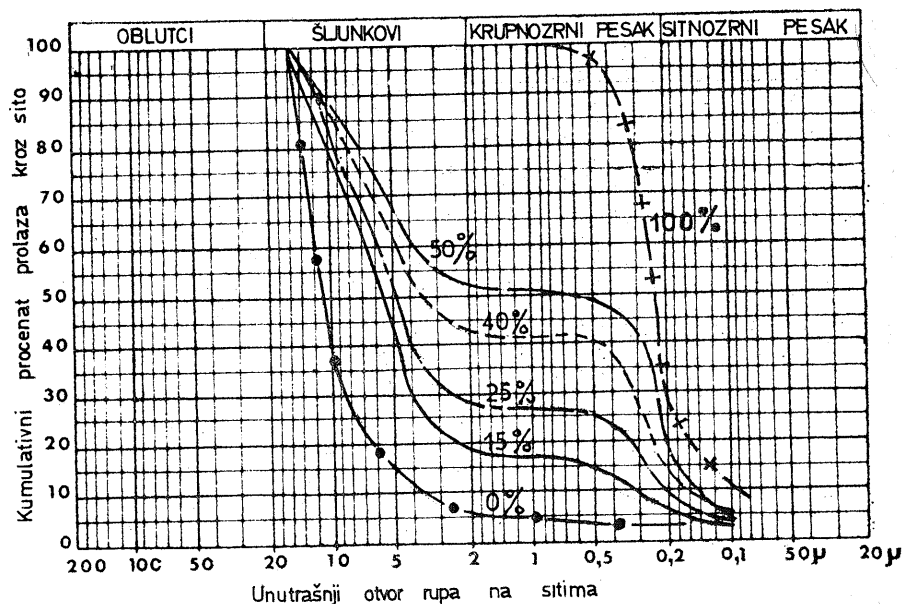
Sl. IV.6 — Linija granulometrijskog sastava šljunka iz osnove

sastava iz Anglkevija (Anglesqueville) (slika IV.7). Pripremljene su mešavine sa povećanim procentima peska iz Anglkevija.

Na slici IV.8 prikazan je granulometrijski sastav različitih šljunkova dobijenih mešanjem. Za svaki od njih sračunat je koeficijent uniformnosti i zakrivljenost (videti tablicu na str. 188).

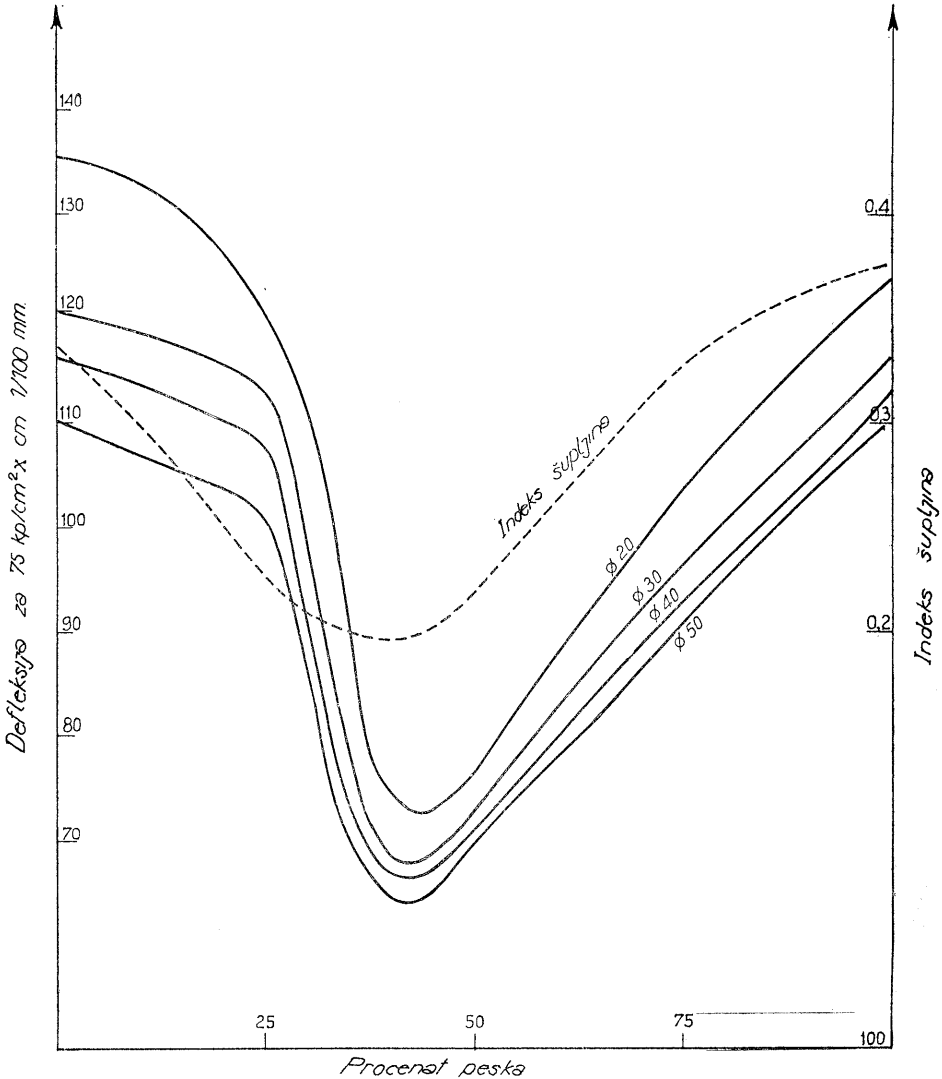


Sl. IV.7 — Granulometrijski sastav peska iz Anglkevija



Sl. IV.8 — Granulometrijski sastav dobijenih mešavina

Posle zbijanja dupleks-vibracionim valjkom, na nesreću vrlo lakim,⁽¹⁾ za svaki od korišćenih šljunkova mereni su indeks šupljina i defleksije pod pločama različitih prečnika. Vrednosti prikazane na slici IV.9 predstavljaju proseke (srednje vrednosti) od 20 merenja. Prikazane linije pokazuju da indeks šupljina i defleksije imaju minimum za određenu veličinu procenta peska koja nije precizno utvrđena ali koja je reda veličine od oko 40%.



Sl. IV.9 — Indeks šupljina i defleksije u funkciji od procenta peska iz Angkevijja dodatog prerađenom šljunku iz Mejeraja (La Meilleraye)

⁽¹⁾ Nije bilo moguće u to vreme nabaviti teški dupleks-vibracioni valjak koga smo želeli da upotrebimo.

Indeks šupljina i defleksije nisu, međutim, jedini faktori koje treba utvrditi, a postignuta stabilnost (merena indeksom nosivosti CBR) *ne evoluira obavezno u istom smislu*. U stvari, optimalna količina peska u mešavini je, u takvom slučaju, *nešto manja*, kao što pokazuje tablica.

	Procenat peska iz Anglikevija	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$	Simbol	CBR
Šljunak br. 1	15%	21	7,1	Gm	159
Šljunak br. 2	25%	26	5,3	Gm	437
Šljunak br. 3	40%	28	0,1	Gm	360
Šljunak br. 4	50%	28,5	0,1	Sm	190
Pesak	100%	2,7	1,5	Sm-SL	40

Ovo razmatranje stabilnosti je vrlo značajno za kasnije ponašanje (držanje) materijala. U stvari, ukoliko je stabilnost mala, materijal će se lako rastresati (gubiti zbijenost) i loše održavati zbijenost postignutu pri zbijanju.

Loše granulirani šljunkovi daju, u krajnjem slučaju, osrednje noseće slojeve i deformabilne površine kolovoznih zastora.

5.2.1. Ove šljunkove je moguće zbijati vibracionim sredstvima, samo ona imaju tendenciju da dovode do segregacije materijala u vertikalnom smislu koja izaziva nedostatke u granulometrijskom sastavu šljunka na površini sloja koji se zbija.

1) U stvari, ukoliko je granulometrijski sastav šupalj, krupna zrna se međusobnim oslanjanjem blokiraju dok sitnije frakcije, usled gravitacije i uticaja vibracija, padaju naniže. Na taj način gornji deo sloja ostaje bez (finijih) sitnijih čestica.

Pojavu spuštanja-padanja peska iskoristile su neke inostrane tehnike pri izradi slojeva kolovozne konstrukcije na sledeći način: najpre se razastre sloj krupnozrnog materijala, a potom preko njega pesak. Zbijanje se vrši vibracionim valjcima ili vibracionim pločama, pri čemu pesak pada nadole; pesak se ponovo dodaje i zbija, a operacija se ponavlja sve dok se ne postigne ispunjavanje svih međuprostora (šupljina) između krupnih zrna. Ova tehnika nije mnogo preporučivana u Francuskoj, iako po našoj oceni omogućava postizanje velikih gustina; umesto nje se više preporučuje ugrađivanje materijala kompletnog granulometrijskog sastava, a ne iz više frakcija.

2) Ako materijal sadrži previše peska, vibriranjem se cela masa dovodi u „lebdeće” stanje tako da krupnija zrna, usled težine i razlike u veličini padaju nadole, zbog čega se u površinskom delu sloja povećava količina peska.

5.2.2. Bolje je zbijanje ovih materijala vršiti valjkom s gumenim točkovima čiju je težinu — opterećenje po točku i unutrašnji pritisak u gumi — moguće uskladiti (doterati) radi onemogućavanja gubitka stabilnosti materijala.

Često ćemo biti dovedeni u situaciju da primenimo obradu površine (dodavanje peska ili krupnih frakcija radi stvaranja efekta uklinjanja) ali to je lošije rešenje i upotrebljava se samo u nevolji.

5.2.3. Može nastupiti i slučaj da smo prinuđeni upotrebiti valjak sa glatkim čeličnim točkovima za zbijanje loše granuliranog šljunka šuplje granulacije. Ovaj

uređaj, vrlo mnogo korišćen pri izradi makadamskih zastora, može se koristiti za ovakve šljunkove samo pod uslovom da se zbijanje obavlja u slojevima male debljine.

Nasuprot tome, valjak sa glatkim čeličnim točkovima ne može se primeniti, ni pod kakvim uslovima, za zbijanje vrlo peskovitih šljunkova.

5.2.4. Uređaji sa bodljama (ježevi) ne odgovaraju za zbijanje ove vrste materijala.

5.2.5. *Poseban slučaj šljunkova šuplje granulacije sa oblim zrnima.*

Bićemo dovedeni katkad u situaciju da upotrebimo šljunkove koji sadrže malo sitnih čestica, npr., šljunkove koji nemaju nikakvu ispunu (veziva), čak ni neplastičnu, i malo peska. Ako se uz to materijal sastoji samo od oblih zrna, njega je posebno teško zbiti.

Na nesreću, ovo je vrlo čest slučaj u praksi. Rečni šljunkovi izvađeni iz rečnog toka dreglajnom, bez ikakve prethodne obrade, najčešće odgovaraju prethodnom opisu. To je čest slučaj naročito s nekim šljunkovima iz Alzaske ravnice, koji su nam poznati već nekoliko godina.

Došli smo do sledećeg zaključka: ovaj materijal je moguće zbiti do izvesne mere, čime se postižu samo neznatna poboljšanja njegovih mehaničkih karakteristika; materijal ostaje i dalje nestabilan i posebno neotporan čak i na neznatna tangencijalna naprezanja.

Ukoliko je ovaj materijal predviđen za izradu nasipa, njegovo ugrađivanje se obavlja bez većih teškoća. Najpogodniji uređaj za njegovo zbijanje je težak valjak s gumenim točkovima slabo napumpanim (jer nije neophodno bezuslovno sabiti površinu, a poželjno je izbeći površinska naprezanja) ili neki vibracioni uređaj.

Ukoliko je predviđena izrada sloja kolovozne konstrukcije od ovakvog materijala, *neophodno* ga je prethodno poboljšati. Poboljšanje bi se sastojalo u drobljenju, čime bi se dobio materijal sa nezaobljenim zrnima, koji mu nedostaje, uz istovremeno poboljšanje granulometrijskog sastava — ukoliko je obavljeno u dovoljnoj meri.

Razume se da je u takvom slučaju neophodno produžiti sa poboljšanjem i tako dobijenom materijalu dodati granuliranu zguru. No, u tom slučaju se radi o potpuno drugačijem materijalu, o kome ćemo govoriti kasnije.

5.3. Dobro granulirani šljunkovi

Najbolja metoda za zbijanje ove vrste šljunkova sastoji se u kombinovanom korišćenju teških vibracionih uređaja i valjaka sa gumenim točkovima.

Ova napomena je naročito značajna ukoliko se radi o šljunkovima sa velikim uglom unutrašnjeg trenja koji je nastao uglavnom usled velikog procenta drobljenih frakcija sadržanih u najboljim od ovih materijala. Stručnjaci koriste veliku uglatost (procenat zrna sa nezaobljenim ivicama) za postizanje izuzetno dobre stabilnosti sloja kolovozne konstrukcije.

Ne postoji u ovom slučaju nikakva razlika u postupku zbijanja između jednog ovakvog šljunka i savremenih šljunkova obrađenih cementom ili granuliranom zguroum.

Vratićemo se na zbijanje ove vrste materijala u poglavlju 6.

Ukoliko je uglatost šljunka neznatna, korišćenje vibracionog uređaja i efekta vibracija je manje neophodno. U takvom slučaju je dovoljno upotrebiti težak valjak s gumenim točkovima, uz veliki unutrašnji pritisak u gumama. Debljine sloja za zbijanje su od 20 do 30 cm.

5.4. Materijali sa vrlo krupnim zrnima

U ovom članku prikazaćemo probleme u vezi sa zbijanjem kamenih materijala koji sadrže krupne komade-blokove, čija veličina može dostići i 500 mm ali koji mogu, takođe, sadržati i najsitnije čestice. Sa stanovišta klasifikacije LPC (ili USCS), ovi materijali spadaju u grupu dobro ili loše granuliranih šljunkova, plastičnih ili čistih.

Međutim, sa stanovišta zbijanja materijala, prisustvo vrlo krupnih komada kamena menja u velikoj meri problem.

U stvari, ovi krupni komadi se mogu međusobno povezati, ostavljajući velike šupljine-međuprostore. Kasnije, pri drobljenju usled dejstva vode, ove šupljine se ispunjavaju i nasip će se sleći, a kolovozna konstrukcija izrađena preko takvog nasipa deformisaće se.

5.4.1. Drobljenje (sitnjenje) krupnih komada. Neophodno je nastojati da se krupni komadi drobljenjem isitne kako bi se materijal pretvorio u šljunak, manje ili više plastičan, čije bi dimenzije omogućavale relativno lako ugrađivanje i zbijanje.

Ukoliko je materijal dovoljno mek, zadovoljićemo se smanjenjem veličine zrna do na 300—500 mm, a za zbijanje će se upotrebiti valjak sa rešetkom (mrežom) koji će izvršiti dopunsko sitnjenje pri zbijanju. Isti posao bi mogao obaviti i valjak sa šiljcima (jež sa jako špicastim bodljama) (slika II.VI, str. 83).

Nažalost, ova metoda je često teško izvodljiva.

Materijal o kome je reč dobija se najčešće iz useka u steni, manje ili više kompaktnoj, uz iskop primenom eksploziva. Na taj način se dobijaju veliki blokovi koje je neophodno dalje sitniti pre nego što se ubace u drobilicu. U stvari, najčešće nije moguće raspolagati na gradilištu drobilicom dovoljno velikog otvora čeljusti kao što je to slučaj u kamenolomima.

Sitnjenje materijala i ostali postupci u vezi sa njim su vrlo skupi i tegobni zbog čega ih treba izbegavati.

5.4.2. Zbijanje u debljim slojevima. Ukoliko se ne primenjuje postupak sitnjenja krupnih komada, neophodno je zbijanje obavljati u sloju velike debljine čija veličina odgovara dimenziji najvećih komada čije je ugrađivanje dozvoljeno tehničkim uslovima; sloj bi u takvom slučaju morao imati debljinu do 1,0 m.

Potrebno je ukazati na sledeće mere predostrožnosti koje je naveo Tanzi na savetovanju ATR-a u Mantonu (Menton).

1) Zadovoljavajući rezultat se postiže korišćenjem *teškog vibracionog uređaja*.

Za zbijanje ovih materijala mogu se isto tako upotrebiti udarni nabijači sa slobodnim padom (bageri sa pločom), čije je dejstvo u drobljenju i smanjenju šupljina oko krupnih komada; ovi krupni komadi se ili utiskuju u *sitne frakcije (malter)* ili drobe (videti poglavlje II.7.2.4).

Pri izgradnji puteva i aerodromskih pista potrebno je ispitati i mogućnost jedne metode koja se koristi pri izgradnji vodojaža (prilog br. I, na kraju knjige).

2) Jasno je da je pri kontroli zbijenosti nemoguće koristiti denzitometar, bez obzira na njegov tip (sa peskom, vazduhom, membranom).

Kontrola se mora obavljati (sprovoditi) opažanjem sleganja bez prekidanja zbijanja sve dok ona ne prestanu da se povećavaju. Za ovakva opažanja koristi se *uređaj za merenje sleganja (electrotassomètre)* proizveden za ovu vrstu nasipa.

3) Savetno je da se povremeno u nasipu iskopaju šlicevi radi utvrđivanja da li su krupni komadi dobro učvršćeni i uglavljeni u okolni materijal.

6. OBRADENI ŠLJUNKOVI

Savremena putna tehnika koristi u sve većoj meri slojeve (noseće i osnovne) od šljunkova obrađenih cementom ili granuliranom zgurom.⁽¹⁾

Sa stanovišta (zbijanja materijala) koji obrađujemo, ovi materijali imaju sledeće karakteristike:

- potpuno nepostojanje plastičnosti;
- izvrstan granulometrijski sastav;
- vrlo visok ugao unutrašnjeg trenja zahvaljujući velikom procentu frakcija dobijenih drobljenjem.

Dve prve karakteristike idu u prilog vibracionom uređaju, čiji se nedostaci (slabo dejstvo na kohezivnim materijalima — eventualna segregacija) ne pojavljuju zbog prve dve karakteristike.

Šta više, treća karakteristika nameće upotrebu ove vrste uređaja za zbijanje, koja je najpogodnija za ugrađivanje materijala sa jako velikim *trenjem*.

Međutim, dejstvo vibracionog nabijača mora se kompletirati (bar po površini sloja) dejstvom valjka s gumenim točkovima velike težine po točku i s velikim unutrašnjim pritiskom.

S obzirom na to, preporučuje se sledeća tehnologija [X] [XI]::

- prelaz teškog vibracionog valjka (najmanje 7 tona).

Predviđalo se, pre nekoliko godina, skoro isključivo korišćenje uređaja sa dva međusobno bliska vibraciona točka (valjkastog oblika). Danas je dokazano da su vibracioni valjci s jednim točkom (valjkastog oblika) ili kombinovani valjci (sa glatkim čeličnim vibracionim valjkom i osovinom sa gumenim točkovima *jako opterećenim*) isto toliko efikasni.

Ovaj uređaj treba koristiti bez ikakvog prethodnog zbijanja: takođe se mnogo ne preporučuje obavljanje prvog prelaza ovog uređaja bez uključenih vibracija.

Sa zbijanjem vibracionim valjkom nastavlja se sve dok se on ne počne odlepljivati pod dejstvom vibracija, što se događa posle dva do tri prelaza. Posle toga se upotrebljava samohodni valjak s gumenim točkovima čije je opterećenje po točku najmanje 2,5 t. Ovo opterećenje se mora smatrati nedovoljnim, iako se za sada ne može naći u Francuskoj mnogo uređaja koji ga premašuju. Paralelno sa mogućnošću nabavke težih uređaja (po točku) od navedenog, treba ih uvoditi u primenu za

⁽¹⁾ Napomene i uputstva iz ovog poglavlja u važnosti su i za zgurom stabilizovane peskove.

navedene poslove. Smatra se da je opterećenje od 5 tona po točku potpuno dovoljno: kontaktni pritisak, i u vezi sa tim unutrašnji pritisak u gumi — moraju biti najveći mogući. Preporučuje se postizanje ili premašenje pritiska od 7 bara. Pritisak od 10 bara izgleda nam zadovoljavajućim.⁽¹⁾

Ovaj uređaj se mora koristiti pri zbijanju sve dok se ne postigne željena zapreminska težina u suvom stanju (ili dok ne prestane sleganje).

Iako su uređaji za zbijanje i postupak njihove primene isti kao i kod šljunkova stabilizovanih ili obrađenih cementom i granuliranom zgurom, metode ugrađivanja i rezultati se znatno razlikuju.

6.1. Vlažnost

Šljunak stabilizovan zgurom je u izvesnoj meri neosetljiv na vlažnost pri zbijanju. Moguće je uvek raditi, čak i pri lošem vremenu.

Pojavljuje se, međutim, i izvestan broj nedostataka, koji umanjuju mogućnosti tolerancija s obzirom na vlažnost, a sa kojima se nije računalo pre nekoliko godina: s jedne strane sve učestalije korišćenje šljunka koji je u stanju da sitnjenjem stvara sitne čestice ili koji sadrži izvesnu količinu zgure visokog koeficijenta α , tako da pri drobljenju usled valjanja dolazi do stvaranja slabo vodopropustljivog zgurom stabilizovanog šljunka; u takvom slučaju na površini sloja dolazi do formiranja vodonepropustljive kore slične onoj koja nastaje usled razilaženja — razmicanja na finozirom pesku, kao i do pojave *gumenog jastuka*; ovaj fenomen je utoliko uočljiviji, što je šljunak manje uglast (sa više zaobljenih zrna). S druge strane može se dogoditi da jedan dobro vodopropustljiv šljunak izazove akumuliranje vode u donjem delu sloja zgurom stabilizovanog šljunka koji je u takvom slučaju nezbijen [XXIV].

Ukoliko se pokaže da je trenutno nemoguće obaviti zbijanje, poželjno je da se ono privremeno odloži. Najčešće se događa da se zgurom stabilizovan šljunak brzo proceduje, a kako nije propisan nikakav vremenski definisan interval između mešanja i zbijanja, rad se može nastaviti i kasnije. Ako nastane potreba, kao što pokazuje Astagneau (Astagneau) [XXIV], moguće je sav materijal iz sloja zgurom stabilizovanog šljunka ufigurisati duž puta (a ne samo iz gornjeg debla) i ponovo započeti posao.

Znači da je preporučljivo kontrolisati vlažnost u vreme zbijanja ali je područje tolerancija mnogo šire nego kod cementom stabilizovanih šljunkova koji moraju biti zbijeni pri određenoj vlažnosti i u vremenskom intervalu posle zbijanja koji je tačno određen vremenom hidratacije cementa.

Vlažnost pri zbijanju cementom stabilizovanog šljunka mora biti jednaka optimalnoj vlažnosti šljunka određenoj po modificiranom Proktorovom postupku (bez cementa) umanjenoj za jednu jedinicu (procent), i to uz vrlo neznatne tolerancije. Idealno je ako odstupanja u odnosu na optimalnu vlažnost po Proktorovom postupku ne bi prelazila sledeće intervale:

- dve jedinice (izražene u procentima) ispod;
- nula jedinica iznad.

Ovo područje je jako uzano da bi se u praksi moglo lako ostvariti.

⁽¹⁾ Ide se toliko daleko da se predviđa završno valjanje primenom valjka s glatkim čeličnim točkovima.

6.2. Period u kome se mora obaviti zbijanje

Zgurom stabilizovan šljunak može se zbijati i nekoliko dana posle obavljenog mešanja. To važi samo u slučaju ako mu saobraćaj, ukoliko se dozvoljava prolaz po materijalu, *obezbeđuje dopunsko zbijanje koje povećava njegove mehaničke karakteristike.*

To nije slučaj i sa cementom stabilizovanim šljunkom. Zbijanje mora biti potpuno završeno u periodu od pet časova posle zbijanja. Ovo je maksimalni period pa je poželjno da se ograniči na tri časa. Uputstvo [XIX], možda previše strogo, propisuje da ovaj period mora biti ograničen na dva časa, između mešanja i kraja zbijanja, odnosno *završnog planiranja — ravnanja* sloja, i to pri normalnim vremenskim i temperaturnim uslovima i sa uobičajenim vezivima: portland-cementima kao što su CPAL i CPAC. Ako se koriste cementi sa sporim vezivanjem i pri povoljnim vremenskim uslovima, uputstvo dopušta da se navedeni rok malo produži.

6.3. Saobraćaj

Sav težak saobraćaj po cementom stabilizovanom šljunku zabranjuje se, kao što pokazuje sledeće iskustvo:

Seriya eksperimentalnih deonica od cementom stabilizovanog šljunka bila je izložena saobraćaju odmah po završenom zbijanju, 24 časa kasnije ili je saobraćaj po njima bio potpuno zabranjen. Dinamički modul izmeren Gudmanovim vibratorom bio je manji prvih dana na deonicama izloženim saobraćaju. Ali treba priznati da su se moduli posle toga povećali i da su u sledećih 180 dana brzine prostiranja zvuka bile iste ili vrlo slične.

S druge strane, jedna od deonica izloženih saobraćaju namerno je urađena sa vlažnošću većom za dve jedinice od optimalne po modificiranom Proktorovom postupku (neobrađenog šljunka). Pored toga ona je neposredno po puštanju u saobraćaj bila izložena prilično dugotrajnoj kiši. Površina sloja je prilično oštećena, iako je granulometrijski sastav šljunka bio dobar. Merenja Gudmanovim vibratorom pokazuju da su brzine prostiranja zvuka (znači i dinamički moduli) manje u prvim danima (prvih 7 dana). Potrebno je istaći još da su brzine prostiranja zvuka posle 180 dana bliske ili identične sa onima na odgovarajućim deonicama na kojima nije bilo saobraćaja.

Nasuprot tome, puštanje saobraćaja preko sloja od zgurom stabilizovanog šljunka je od koristi jer se gustine naglo povećavaju.

6.4. Rezultati

Rezultati se razlikuju takođe u zavisnosti od toga da li su u pitanju šljunkovi stabilizovani cementom ili zgurom. U prvom slučaju može se zahtevati da prosečna veličina zapreminskih težina u suvom stanju bude 100% od zbijenosti po modificiranom Proktorovom postupku, sa 95% vrednosti iznad 97 ili 98% od te zapreminske težine usvojene kao referentne.⁽¹⁾

Moguće je za zgurom stabilizovane šljunkove dobiti veći rezultat i zahtevati, npr., da 95% vrednosti premašuju veličinu određenu po modificiranom Proktorovom postupku.⁽¹⁾

⁽¹⁾ Može se dogoditi da su ovakvi zahtevi preterano visoki.

Konačno, treba podsetiti na značaj potrebe za postizanjem visokih vrednosti zapreminskih težina u suvom stanju. Astanjo [XXIV] ukazuje na znatne promene otpornosti koje, šire posmatrano, proizilaze iz poboljšanja zbijenosti.

6.5. Proširenje na dobro granulirane neobrađene šljunkove sa nezaobljenim zrnima

Kao što smo već napomenuli u prethodnom poglavlju 5.3, neobrađeni šljunkovi dobrog granulometrijskog sastava, neplastični i sa velikim procentom drobljenih zrna, ponašaju se u vezi sa zbijanjem potpuno na isti način kao zgurom stabilizovan šljunak. Moguće ih je zbijati na isti način — istovremenim korišćenjem vibracionog valjka i teškog valjka s gumenim točkovima.

7. ASFALTNE MEŠAVINE

Asfaltne mešavine, kao i šljunkovi obrađeni cementom ili zgurom, nisu tla — zemljani materijali.

Pri njihovom zbijanju javljaju se, međutim, zbog analogije čije je postojanje dokazano u poglavlju 1.4 prve glave, isti problemi kao i kod zemljanih materijala.

Izvesne asfaltne mešavine jako bogate tečnošću, bitumenom, ali isto tako i vodom, mogu se ponašati kao plastični šljunkovi.

Većina od njih naliči pre cementom stabilizovanim šljunkovima, bez obzira što su najčešće propisana uputstva za zbijanje drugačija.

7.1. Asfaltne mešavine po hladnom postupku, emulzijom obavijeni šljunkovi

Njihovo ponašanje, pri zbijanju i pod saobraćajem, može se znatno razlikovati u zavisnosti od toga da li je granulometrijski sastav materijala šupalj, dobar ili je materijal jako peskovit.

Sa linijama granulometrijskog sastava koje imaju male indekse šupljina, može doći do pojave nestabilnosti kao što pokazuje sledeće razmatranje:

Asfaltne mešavine po hladnom postupku dobijaju se uglavnom korišćenjem šezdesetprocentnih bitumenskih emulzija. Da bi se dobila mešavina sa dovoljnom količinom bitumena, potreban je relativno veliki procenat emulzije. Ukoliko se u obzir uzme i voda prirodno sadržana u šljunku, uviđa se da ukupna sadržina tečnosti dostiže ili premašuje 10%.

Ukoliko je zbijanje asfaltne mešavine brzo, tj. ako voda oslobođena pri raspadanju emulzije kao i voda prirodno sadržana u agregatu, nema mogućnost da otekne pre nego što se materijal zbijanjem učini vodonepropustljivim, procenat vazduha će spasti na vrlo niske vrednosti. Zbog teorije objašnjene u prvoj glavi, (poglavlje 2.10), pojaviće se fenomeni mehaničke nestabilnosti.

Da bi se to izbeglo, potrebno je zadržati veliku poroznost skeleta u mešavini. Odgovarajuće vrednosti su potpuno prihvatljive za agregate sa šupljom granulacijom,

dok se sa materijalima dobre granulacije na taj način prihvata *privremeno nedovoljna zbijenost*.

Zbog toga je apsolutno neophodno da se, s jedne strane, ograniči ukupna količina tečnosti: vode sadržane u agregatu + ukupne količine emulzije (vode i bitumena) na veličinu optimalne vlažnosti određene po modificiranom Proktorovom postupku, a da se, s druge strane, reguliše brzina raspadanja emulzije, tako da se njen najveći deo dogodi u momentu otpočinjanja zbijanja, pre nego što materijal usled toga mnogo ne očvrсне.

To preporučuju Uputstva [XX].

Ako se ne preduzmu navedene mere predostrožnosti, postoji opasnost od sledećih neizvesnosti:

7.1.1. Da se upotrebi agregat šuplje granulacije i da se sve dobro svrši u vreme ugrađivanja, bez preduzimanja specijalnih mera predostrožnosti, ali da se zbog toga dobije šuplja asfaltna mešavina uz opasnost da ona zbog toga bude vodopropustljiva.

7.1.2. Ili, da bi se dobila zatvorena (gusta) asfaltna mešavina, upotrebiti agregat dobrog granulometrijskog sastava. U takvom slučaju je neophodno vršiti progresivno i intenzivno zbijanje, uz prihvatanje da će saobraćaj kasnije završiti posao oko zbijanja. To nije način da se postigne dobro zbijanje i dobar profil kolovoza.

Uz to je neophodno preduzeti mere radi obezbeđenja oticanja koje se ne obavlja uvek samo isparavanjem.

7.1.3. Pošto se uspešno sprovedu napred navedene mere predostrožnosti, predviđene i propisima [XX], zbijanje treba obavljati na sledeći način:

Zbijanje mora biti vrlo energično, jer su neophodna vrlo velika naprezanja da bi se prouzrokovalo raspadanje emulzije i da bi se eliminisala voda iz asfaltna mešavine. U tu svrhu se koriste vrlo teški valjci sa gumenim točkovima, mnogo opterećenim (2,5 do 4 tone po točku, zavisno od uglatosti zrna šljunka) i sa visokim pritiskom u gumama (preko 7 kp/cm^2). *Potrebno je osim toga proveriti da li vlažnost ne prelazi dopuštenu granicu.*

Navodimo da se izvrsni rezultati mogu dobiti korišćenjem vibracionih sredstava, *naročito vibracionih ploča.*

7.2. Asfaltna mešavina po toplom postupku

Savremena francuska tehnika predviđa ugrađivanje asfaltnih mešavina po toplom postupku koje poseduju sledeće karakteristike:

- poseduju zrnast granulometrijski sastav,
- sadrže visok procenat zrna sa nezaobljenim — oštrim ivicama.,
- koriste tvrd bitumen.

Ove karakteristike se koriste radi postizanja asfaltna mešavine visoke stabilnosti posle ugrađivanja; one izazivaju istovremeno otežano rukovanje u vreme ugrađivanja.

Ova tehnika je postala prihvatljivom posle uspeha postignutih na *unapređenju tehnike zbijanja* što je omogućilo postizanje visokih zapreminskih težina uprkos otežanog rukovanja i nedovoljne ugradljivosti ove vrste materijala.

Zbog toga je neophodno da se striktno postupa po sledećoj metodologiji:⁽¹⁾

7.2.1. Korišćeni uređaji za zbijanje. Savremena francuska tehnika zbijanja sastoji se u sledećem: na čelu, neposredno iza finišera, skoro ga dodirujući pri hođu napred, valjak s gumenim točkovima opterećenim sa 2 t po točku (najmanje ako je sloj srednje debljine, kao što je navedeno pod ⁽²⁾) i naduvanim s unutrašnjim pritiskom od najmanje 5 kp/cm². Još se ne raspolaze sa dovoljno iskustava u Francuskoj o još težim uređajima i sa većim unutrašnjim pritiskom u gumama⁽¹⁾. Uređaj za zbijanje s gumenim točkovima vrši i gnječenje materijala (videti poglavlje 6.2, I glava).

Valjak s gumenim točkovima ostavlja iza sebe kolotrage posle prvog prelaza, ali se oni u toku sledećih prelaza sve više smanjuju, tako da je za njihovo potpuno otklanjanje dovoljan samo jedan prelaz valjka sa čeličnim točkovima. Pri tome je tandem-valjak najpogodniji.

7.2.2. Redosled prelaza. Preklapanje. Redosled prelaza dva uređaja za zbijanje nije bez ikakvog uticaja. Dobiveni rezultati su lošiji ako se zbijanje započne valjkom s glatkim čeličnim točkovima a iza njega postavi valjak sa gumenim točkovima. U stvari, valjak sa gumenim točkovima, koji je jedini uređaj čije se dejstvo zbijanja prostire po dubini, obavlja u takvom slučaju zbijanje asfaltne mešavine koja nije dovoljno topla i koja u svom površinskom delu sadrži deo koji je već zbijen, što izaziva smanjenje naprezanja po dubini.



Sl. IV.IV — „Ortopaktor P.3” od 22 tone iza koga dolazi tandem-valjak DHT težine 8/12 tona. Zbijanje asfaltne mešavine postupkom „valjak s gumenim točkovima napred”, na nacionalnom putu R. N. 1

⁽¹⁾ Uz ograničenje da se vibracioni uređaji koriste vrlo malo za ovu vrstu radova u Francuskoj iako su, verovatno, vrlo efikasni.

⁽²⁾ Upozoravamo da Liter XII navodi da bi se lakim valjkom sa gumenim točkovima (1,3 t po točku) moglo obaviti zbijanje asfaltne mešavine u sloju debljine 6 cm, sa srednje teškim valjkom (2,7 t po točku) u sloju 10 do 12 cm, a sa teškim valjkom (4,6 t po točku) asfaltne mešavine u sloju debljine 18 do 20 cm.

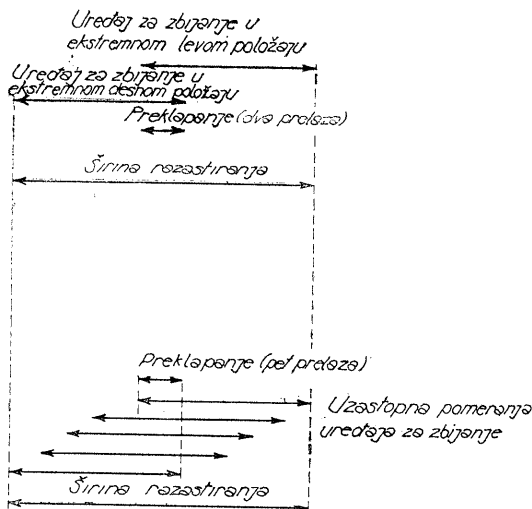
Rezultat zbijanja je u takvom slučaju nepovoljan a zbijanje nedovoljno.

Studija preklapanja pokazuje da, ukoliko se ne daju precizna uputstva vozaču uređaja za zbijanje, on previše zbjija srednji deo a nedovoljno ivice razastrtog sloja. Širine finišera i uređaja za zbijanje su takve da je širina uređaja za zbijanje veća od polovine širine finišera, a manja od njegove ukupne širine. Ukoliko se vozaču naredi da zbjija levi kraj razastrtog sloja, a zatim desni kraj, srednji deo sloja primiće već dva puta veći broj prelaza od bočnih (slika IV.10). Ali ako se takvo uputstvo ne da vozaču, on će se pomerati progresivno i postupno kao što je pokazano na primeru slike IV.11, a krajevi će biti zbijeniji od srednjeg dela (pet puta manje u slučaju prikazanom na slici IV.11).

Navodimo pored toga da problem bočnog tečenja nije još rešen kod asfaltnih mešavina velike debljine.

Sl. IV.10

Preporučeni način zbijanja



Sl. IV.11

Greška koju ne treba činiti

7.2.3. Temperatura asfaltna mešavine i gume valjka. Asfaltna mešavina mora biti topla u vreme zbijanja, i to utoliko više što je korišćeni bitumen tvrdi. U tu svrhu bi se mogla upotrebiti sledeća tablica uzeta iz Cirkulara Direkcije puteva br. 365, od 28. marta 1967., u kojoj su naznačene temperature asfaltna mešavine pri razastiranju.

Bitumen	Temperatura pri razastiranju	
	Pri normalnim uslovima	U hladnom periodu ili pri kišnom vremenu
180/220	oko 120°C	130 do 135°C
80/100	oko 130°C	140 do 145°C
40/50	oko 140°C	150 do 155°C

Korisno je pri tom da se valjku sa gumenim točkovima ne dozvoli veliko udaljavanje od finišera pri kretanju unazad jer bi, u takvom slučaju, zbijao jako ohlađenu asfaltnu mešavinu. Oblasna laboratorija u Marseju ograničila je dejstvo valjka

pomoću žice određene dužine koju finiše vuče za sobom. Dužnost je vozača valjka da pri radu ne prelazi dužinu valjanja fiksiranu tom žicom.⁽¹⁾

Osim toga, iskustvo pokazuje da se zrna obavijena bitumenom na početku zbijanja lepe za gume a potom, najčešće posle nekoliko minuta, ovaj fenomen prestaje. Konstatuje se čak da se već zalepljena zrna odlepljuju i sama padaju. Objašnjenje ove pojave leži u zagrevanju guma. Nelepljenje ili odlepljivanje nastaje u trenutku kada gume valjka dostignu jednu određenu temperaturu, koja zavisi od asfaltne mešavine, vrste veziva, itd.

Ako, kao što je to učinio Sotre (Sauterey), označimo sa θ_e temperaturu asfaltne mešavine pri razastiranju, a sa θ_m minimalnu temperaturu na površini gume da na nju ne bi prijanjala zrna obavijena bitumenom iz asfaltne mešavine i sa θ_s ravnotežnu temperaturu (ekvivalentnu celoj gumi) gume, dobijamo sledeće vrednosti:

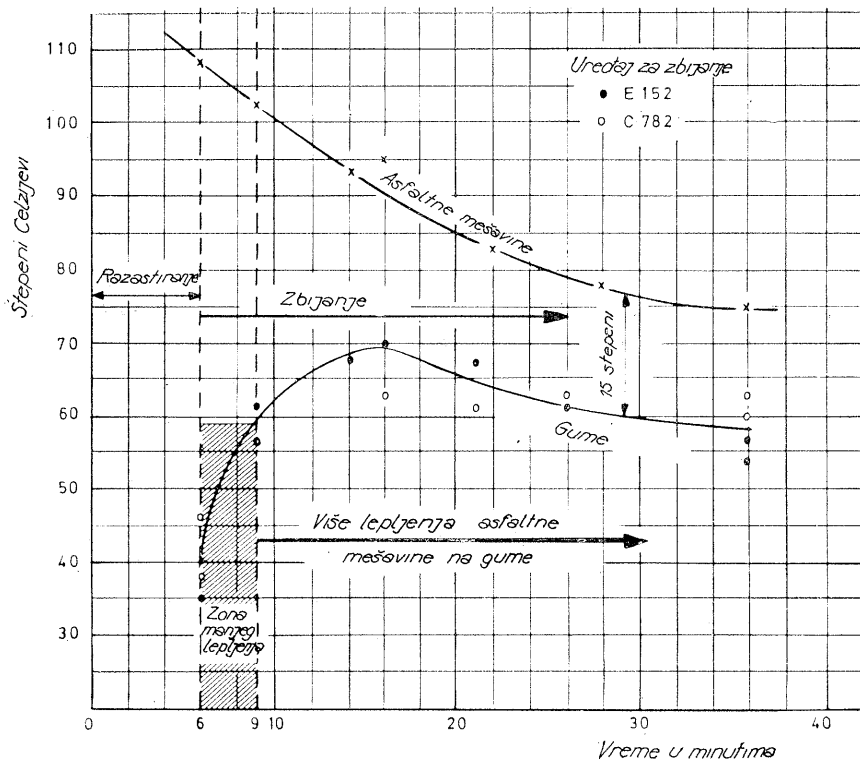
a) Pri vrlo toplom vremenu i bez vetra:

$$\theta_e = 130^\circ\text{C}, \quad \theta_m \approx 60^\circ\text{C}, \quad \theta_s \approx 75^\circ\text{C},$$

$$\theta_e = 160^\circ\text{C}, \quad \theta_m \approx 70^\circ\text{C}, \quad \theta_s \approx 90^\circ\text{C}.$$

b) Pri hladnom vremenu i bez vetra:

$$\theta_e = 130^\circ\text{C}, \quad \theta_m \approx 50^\circ\text{C}, \quad \theta_s \approx 65^\circ\text{C}.$$



Sl. IV.12 — Promene temperatura asfaltne mešavine i guma na uređaju za zbijanje

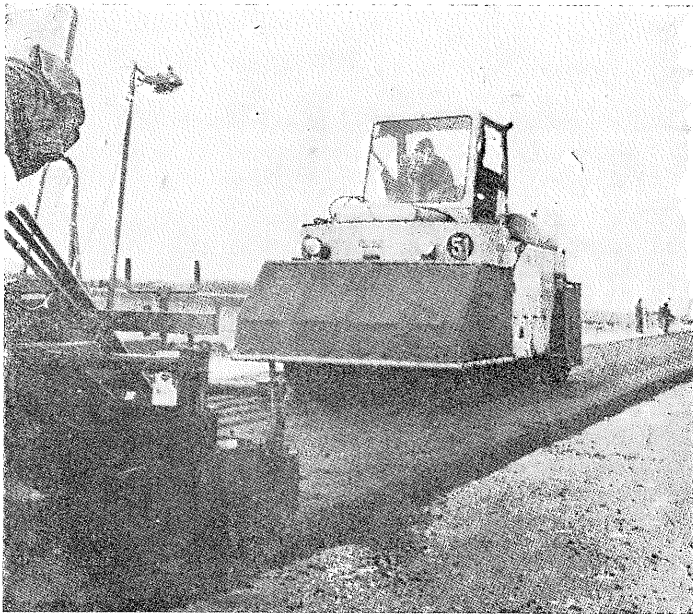
(1) Uputstvo [XXV] fiksira ovu dužinu na 50 m.

Merenja je obavila Oblasna laboratorija iz Bloa (Blois) i ona su omogućila utvrđivanje promena temperature guma u toku zbijanja s jedne strane, i efekat prijanjanja s druge strane. Shematski prikaz na slici IV.12 daje dobijene rezultate [XVII].

Napominjemo, takođe, da je zagrevanje guma utoliko brže što je njihov prečnik manji [XXI].

Da bi se sprečilo hlađenje guma pri hladnom vremenu ili pri vetru, one se zaštićuju posebnim oblogama. Predlaže se takođe i postavljanje uređaja za zagrevanje guma (infracrvenim zračenjem).

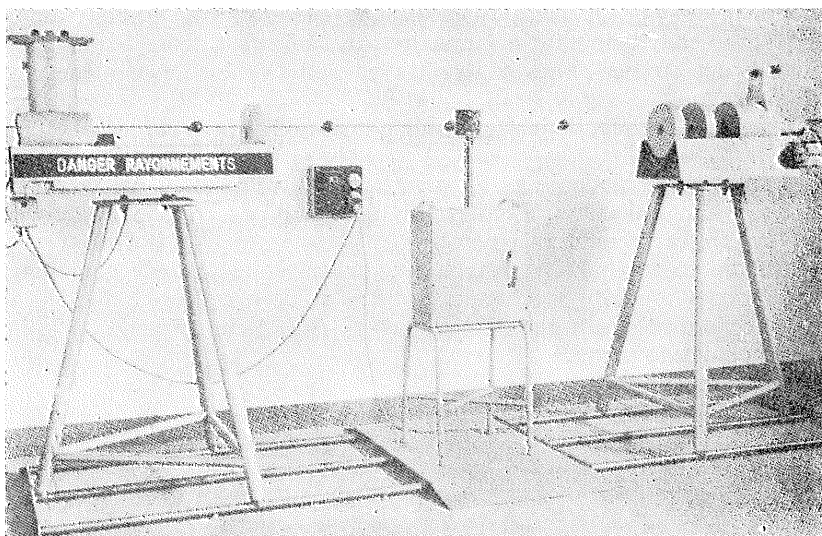
Preporučuje se isto tako, u istu svrhu, premazivanje gazeće površine guma hemijskim proizvodima koji sprečavaju lepljenje (silikoni). Pogledati što je u vezi sa ovom materijom rečeno u glavi II, poglavlje 4.3.5. Neki smatraju da je ovo rešenje koje se obavezno nameće.



Sl. IV.V — Valjak s gumenim točkovima snabdeven zaštitnim omo-
tačem pri zbijanju asfaltnih mešavina (Foto Richier)

7.2.4. Gradijent gustine. Proučavanjem temperature moguće je objasniti gradijente gustine u funkciji od debljine zbijanog sloja asfaltne mešavine, gradijente koje je moguće utvrditi na sledeći način: uzorak se vadi iz završenog kolovoznog zastora velike debljine (15 do 20 cm) i određuje njegova gustina pomoću nuklearne klupe (slika IV.VI). Uočava se da gustina najpre raste sa dubinom, postiže maksimum i potom opada (slika IV.12 bis).

Konstatovano je, takođe, da su veće gustine postignute na slojevima asfaltne mešavine veće debljine nego na slojevima manje debljine. Do toga dolazi iz razloga što se u dodiru sa nosećim slojem s jedne strane i atmosferom s druge strane, asfaltna mešavina brzo hladi, postaje manje obradljiva i teže se zbija od dela asfaltne mešavine koji je zaštićen od termičkih izmena toplote.

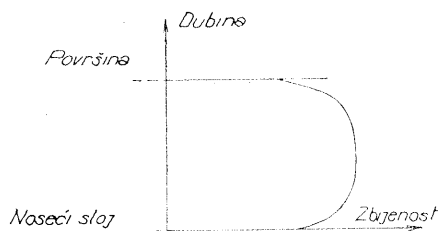


Sl. IV.VI — Nuklearna klupa koja omogućava merenje gustine po delovima debljine

7.2.5. Debljina. Korisno je i vrlo interesantno, *sa stanovišta zbijanja*, razastirati asfaltnu mešavinu u samo jednom debljem sloju nego tu debljinu deliti na dva dela.

Ova metoda ima još jednu prednost (korist): ona onemogućava stvaranje klizne površine između dva sloja. Nebrojeno puta je konstatovano da je veza između dva uzastopna sloja od asfaltne mešavine bila vrlo slaba, da se ne kaže nepostojeća. Čak je katkada konstatovano postojanje povećane vlažnosti na dodirnoj površini između dva sloja.

Nasuprot tome, ugrađivanjem deblje asfaltne mešavine u dva sloja postižu se znatno ravnije površine.



Sl. IV.12 — Promena gustine u funkciji od dubine

7.2.6. Eventualna segregacija prouzrokovana valjkom s gumenim točkovima postavljenim na čelo garniture valjaka za zbijanje. Neki stručnjaci, a naročito Liter [XII], pripisuju metodi zbijanja valjkom s gumenim točkovima na čelu pojavu segregacije materijala na površini sloja asfaltne mešavine. Ona nastaje usled vrlo velikog pritiska guma ili usled kretanja valjka velikom brzinom pri prvom prelazu. Valjak pri tome usisava vezivo sa površine kolovoznog zastora. Ovaj fenomen bi objašnjavao poreklo trake različite boje — bolje rečeno tonaliteta — koje se mogu uočiti na nekim kolovozima čija je asfaltna mešavina zbijana po metodi valjak sa gumenim točkovima na čelu garniture za zbijanje. Ovakve trake nastaju, u stvari, bez ikakve denivelacije poprečnog profila po završenim radovima.

Moguće je da se takva segregacija, uostalom neznatna, stvarno i događa. Ali bi uz to morali biti još i sigurni da ona izaziva i ozbiljnije nedostatke, što, po našem mišljenju, nije dokazano.

7.2.7. Upotreba vibracionih uređaja za zbijanje. Prirodno je nastojanje da se valjak sa gumenim točkovima koji započinje zbijanje neposredno iza finišera zameni vibracionim uređajem, utoliko pre ako treba ugraditi asfaltnu mešavinu sastavljenu od zrnastog agregata sa nezaobljenim — vrlo uglastim zrnima.

To se u stvari već praktikuje na nekim gradilištima u inostranstvu (izvan Francuske). Imali smo priliku u Nemačkoj da posmatramo ugrađivanje asfaltne mešavine u vezni sloj kolovozne konstrukcije, sa vrlo krupnozrnim agregatom (najmanje 18 mm). Razastiranje sloja vršeno je na širini od 10,75 m, a zbijanje je obavljano samo jednim vibracionim valjkom Bomag BW 200. Ovaj uređaj je obavljao zbijanje korišćenjem vibracija samo u jednom prelazu, krećući se skoro do same ivice raspodeljivača — finišera: pri svom kretanju napred, počinjao je vožnju po sloju koji je već zbijan, a dalje napredovanje zbijanja vršeno je bez korišćenja vibracija. Vozač uređaja za zbijanje zaustavljao ga je na odstojanju od oko 1,0 m ispred nalaska na nezbijani deo sloja. Materijal koji je upravo razastrt primiče na taj način i jedan prelaz sa vibracijom. Bio bi to jedini, jer čim stigne do ivice raspodeljivača, vozač uređaja za zbijanje isključuje vibracije i povlači se unazad za tridesetak metara.

Iza vibracionog uređaja pušta se valjak sa glatkim čeličnim točkovima (trickl) od oko petnaestak tona.

Prema dobijenim informacijama koje su nam date, na ovaj način se postiže zapreminska težina koja odgovara 100% zbijenosti dobivenoj po Maršalovom postupku (u navedenom slučaju se dobija indeks šupljina 7%).

Neki francuski inženjeri sumnjaju da upotreba vibracionih uređaja izaziva drobljenje krupnijih zrna agregata u asfaltnoj mešavini i da dovodi do glatkih (klizavih) površina.

7.2.8. Upoređenja različitih uređaja za zbijanje. Banašer i Fišer (K. Banascher, F. Fischer) [XIII] obavili su proučavanje zbijanja na eksperimentalnim deonicama uz korišćenje tri uređaja za zbijanje:

— Valjak s gumenim točkovima ukupne težine 16,5 t, sa sedam točkova opterećenih sa po 2,35 t i sa unutrašnjim pritiskom u gumama od 7 kp/cm². Kasnije istraživanja su pokazala da je kontaktni pritisak vrlo značajan, pa prema tome i unutrašnji pritisak u gumama, koji treba da su što veći. Uređaj za zbijanje bio je opremljen gumama bez ikakvih šara, nazvanih „specijalke za zbijanje”, tako da nije bilo potrebno nikakvo kasnije zatvaranje i gladenje;

— Vibracioni valjak sa dve osovine: frekvencija 47 Hz, težina 4,3 t, pritisak po dužnom santimetru generatrise 14,5 kp na točku za upravljanje (vođenje) i 25 kp na točku za pokretanje (motorni). Frekvencija vibracija posebno je odabrana pošto je Warganov (Warganow) dokazao da je frekvencija od 50 Hz najpovoljnija.

— Valjak s glatkim čeličnim točkovima ukupne težine 12 tona, sa pritiskom po dužnom santimetru generatrise od 39,2 kp/cm' (na točku za upravljanje) i 64,5 kp/cm' na točku za pokretanje.

Proučavano je više vrsta (tipova) asfaltnih mešavina i u više debljina slojeva za ugrađivanje. Valjak za zbijanje s gumenim točkovima pokazao je se u svim slučajevima najefikasnijim, ne samo u vezi s apsorpcijom vode iz šupljina (koje su uvek niže od onih na Maršalovim uzorcima) već i u pogledu zbijenosti (97,5 do 99% od Maršalove zbijenosti) i opšte teksture površine sloja.

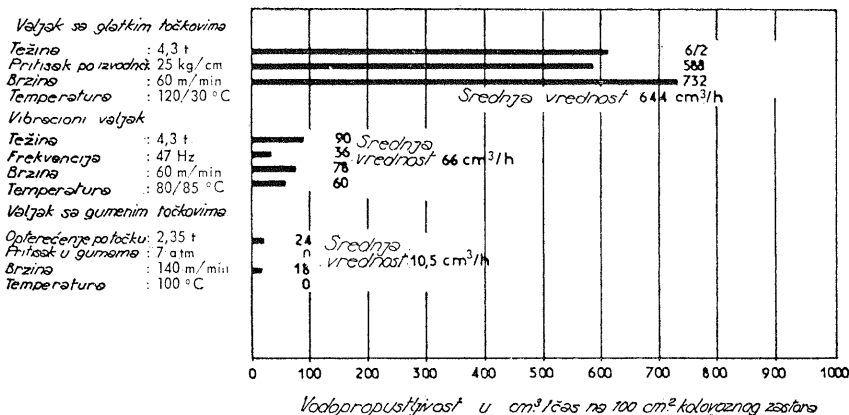
Vodopropustljivost je najmanja na deonicama sa asfaltnim mešavinama zbijanim valjkom sa gumenim točkovima, kao što pokazuje slika IV.13. Najzad, sledeća tablica pokazuje da bi upotreba valjaka s gumenim točkovima bila najekonomičnija.

Troškovi rada i učinci po radnom času nekoliko uređaja za zbijanje

Vrsta uređaja za zbijanje	Težine (t)	Cena novog uređaja (F)	Snaga (KS)	Širina zbijanja (m)	Brzina (km/h)	Faktor amortizacije (%)	Cena koštanja rada					Površina zbijanja na čas sa				Faktor koštanja (%)
							Amortizacija (F/h)	Opravke (F/h)	Gorivo (F/h)	Vozáč (F/h)	Ukupno (F/h)	1 prelazom (m ²)	2 prelaza (m ²)	5 prelaza (m ²)	2 + 4 prelaza(*) (m ²)	
Vibracioni tandem-valjak	4,3-5	46125	22	1,10	3,6	3,9	9,00	5,94	3,30	10,63	28,87	2770	—	554	462	100,0
Valjak s gumenim točkovima	6-12	71875	72	1,88	8,4	2,1	7,55	4,98	10,80	10,63	33,96	11000	—	2200	—	29,6
Valjak s gumenim točkovima	8,5-18	102205	110	1,96	8,4	2,1	10,73	7,08	16,50	10,63	44,94	11500	—	2300	—	37,7
Tandem-valjak	6-10	39250	33	1,20	3,6	1,7	3,34	2,20	4,95	10,63	21,12	3020	1510	—	—	67,5
Valjak sa tri glatka čelična točka	6-9	36875	22	1,90	3,6	1,7	3,14	2,08	3,30	10,63	19,15	4780	2390	—	—	39,0
Valjak sa tri glatka čelična točka	8-11	42875	33	1,90	3,6	1,7	3,65	2,40	4,95	10,63	21,63	4780	2390	—	—	43,4

(λ) Dva prelaza statičkim + četiri prelaza dinamičkim

U holandskom izveštaju na Kongresu u Tokiju navedena je druga vrsta upoređenja različitih uređaja za zbijanje, upoređenja zasnovanog na Nijberovom (Nijboer) koeficijentu valjanja. Koristeći metodu dimenzionalne analize, Nijber [XV]



Sl. IV.13 — Vodopropustljivost nosećeg sloja od asfaltnih mešavina 0/35 mm, posle zbijanja valjkom s glatkim čeličnim točkovima, vibracionim valjkom i valjkom s gumenim točkovima (debljine nosećeg sloja: 6,5 cm, sa 3,7% bitumena B 80)

označava dejstvo valjka sa glatkim čeličnim točkovima na datoj asfaltnoj mešavini „koeficijentom valjanja” R_t čija je potpuna vrednost data sa:

$$R_t = \frac{P}{lD\eta} N \left(\frac{h}{v} \right)^{0,4} \left(\frac{d\varepsilon}{dt} \right)^{-0,6},$$

gde je:

P/l težina po jedinici dužine generatriše,

D prečnik cilindra (valjka),

η viskoznost asfaltna mešavine izmerena pomoću triaksijalnog opita pri konstantnoj brzini deformacije date sa $\left(\frac{d\varepsilon}{dt} \right)$,

h debljina sloja asfaltna mešavine,

N broj prelaza valjka,

v brzina kretanja valjka pri zbijanju.

Lako se uočava da je na ovaj način definisan koeficijent R_t bez dimenzije,⁽¹⁾ ali kako je $\frac{d\varepsilon}{dt}$ konstantno, može se prihvatiti uprošćen izraz za R_t :

$$R_t = \frac{P}{lD\eta} N \left(\frac{h}{V} \right)^{0,4}$$

koga koristi Nijber i koji nije bez dimenzije.

(1) $P = MLT^{-2}$; $lD = L^2$; $\eta = ML^{-1}T^{-1}$; $\frac{h}{v} = T$; $\frac{d\varepsilon}{dV} = T^{-1}$; N bez dimenzije;

dimenzija za $R_t = \frac{MLT^{-2}}{L^2ML^{-1}T^{-1}} T^{0,4} \cdot T^{0,6} = 1$.

Nijber, s jedne strane, i autori holandskog izveštaja na Kongresu u Tokiju, s druge strane, konstatovali su izvrsne korelacije između ovog koeficijenta R_t i indeksa šupljina agregata u asfaltnoj mešavini (što znači računajući kao šupljine i one koje su ispunjene vazduhom i vezivom).

Evo nekoliko zaključaka autora iz Holandije koji su proširili ovaj koeficijent i na slučaj uređaja za zbijanje sa gumenim točkovima i vibracione valjke, zahvaljujući iskustvima stečenim upoređenjima pomenutih uređaja.

1) Konstatovano je da se zbijanje može smatrati završenim kada koeficijent valjanja postigne vrednost od 4 do 6×10^{-5} .

2) Pojavljuju se značajne razlike indeksa šupljina u poprečnom profilu kolo-voza proistekle iz razlika u zbijanju, što pokazuje da je koeficijent R_t promenljiv po istom poprečnom profilu, jer je i broj prelaza valjka N promenljiv po tom profilu. Ovaj podatak je u saglasnosti sa napomenom učinjenom u poglavlju 7.2.2.

3) Efekat brzine kretanja valjka pri zbijanju pokazao je se neznatnijim nego što pokazuje formula koja daje R_t .

4) Izraz:

$$\left(\frac{P}{ID}\right)_{\text{dinamički}}$$

za vibracioni valjak trebalo bi da je približno jednak dvostrukoj vrednosti izraza:

$$\left(\frac{P}{ID}\right)_{\text{statički}}$$

5) Sračunat je isto tako i izraz: $\frac{P}{ID}$ za valjak sa gumenim točkovima. Među-tim, vrednosti navedene u holandskom izveštaju teško je usaglastiti sa karakteri-stikama ovih valjaka, budući da oni nisu navedeni.

6) Ravnost površine, merena vijagrafom, nije pokazala nikakvu korelaciju sa korišćenim uređajem.

7.3. Poseban slučaj utiskivanja agregata

Da bi poboljšali otpornost protiv klizanja, neki inostrani stručnjaci razastiru po površini sloja od asfaltno mešavine prethodno obavijenu kamenu sitnež i utiskuju je u sloj asfaltno mešavine u trenutku zbijanja. Ova tehnika bi se mogla razviti i u Francuskoj.

Razastirati kvalitetnu kamenu sitnež i preko svežeg asfaltnog betona, a zbijanje asfaltno mešavine obavljati korišćenjem prethodno navedenih postupaka. Ovo zbijanje je dovoljno da omogući penetriranje prethodno obavijene kamene sitneži i da obezbedi njeno povezivanje za asfaltnu mešavinu. Prisutnost kamene sitneži koju ne treba previše utisnuti u asfaltnu masu može izazvati, možda, i izvesno smanjenje zbijenosti poslednje [XXII].

8. ZBIJANJE POVRŠINSKIH OBRADA

Mada je vrlo star i vrlo rasprostranjen, postupak izrade površinskih obrada vrlo je delikatan: da bi se to potvrdilo, dovoljno je nabrojati brojne neusphe, delimične ili potpune. Tehničari ne poznaju, dakle, uvek ili ne primenjuju uvek metode koje dovode do uspeha (viskozitet veziva, prethodno obavijanje kamene sitneži — agregata, prionljivost, itd.).

Ograničićemo se ovde, razume se, na izlaganje problema u vezi sa njihovim zbijanjem. Cilj je da se zrna agregata utisnu u prevlaku (film) razastrtog veziva, koja ga obavija i u koju se, u izvesnom smislu, on utapa. Potrebno je, znači, izvršiti *delimično obavijanje*, a za to je potrebno utrošiti izvesnu energiju, koja se stvara pri zbijanju.

Dugo vremena su za zbijanje korišćeni valjci s glatkim čeličnim točkovima i, na nesreću, još se koriste. Upotreba ovakvog uređaja za zbijanje ima sledeće nedostatke:

a) Ako površina kolovoznog zastora nije dovoljno ravna, valjak pri zbijanju ne naleže na sva zrna agregata tako da se neka i ne utisnu, a saobraćaj ih kasnije odnosi.

b) Oni drobe izvesna zrna agregata na koja pri radu naležu. Dakle, pošto je poznato da se vezivo površinske obrade lakše vezuje sa najsitnijim česticama, svrsishodno je zbog toga koristiti kameni agregat uniformne granulacije (uzano područje granulometrijskog sastava). Drobljenjem materijala pri zbijanju proširuje se područje granulometrijskog sastava, povećava broj neobavijenih zrna koja će vozila pri kretanju odbaciti sa kolovoza i na taj način pripremaju uslovi za pojavu znojenja — fleka sa viškom bitumena.

c) Premeštanje s jednog radnog mesta na drugo je vrlo sporo (zbog male brzine kretanja valjka).

Potrebno je, u stvari, danas korisiti samohodne valjke sa gumenim točkovima koji nemaju pobrojane nedostatke. Ne postoji nikakva potreba pri tome da opterećenje po točku bude veliko jer nema potrebe za zbijanjem sloja po dubini. Nije potrebno veće opterećenje od 1 do 1,5 tone po točku. Korisno je da gume budu manje naduvane (npr. 3 bara) radi izbegavanja drobljenja kamenog agregata. Valjak s gumenim točkovima ima još jednu prednost: sve tačke kontaktne površine točka nemaju u jednom trenutku t isto kretanje; postoje tangencijalna naprezanja, doduše ne mnogo velika, ali ipak dovoljna da omogućće pomeranja zrna agregata i na taj način olakšaju njihovo utiskivanje i obavijanje bitumenom. Ne bi trebalo ubuduće, pri izradi površinskih obrada, koristiti druge valjke osim ovih.

9. OPŠTA TABLICA

Nastojali smo da sve napomene i uputstva koje smo do sada dali rezimirano u jednoj opštoj tablici analognoj onima koje su dali različiti autori.

Ali, najtoplije preporučujemo čitaocu da se mnogo ne koristi ovom tablicom, koja može samo shematizovati — pa prema tome i deformisati našu ideju, već da koristi tekst koji se odnosi na obrađenu materiju u vezi sa problemom zbijanja koji ga interesuje. Šta više, smatramo da je potrebno čitanje obaviti *pre* nego što se po-

javi problem. Želeli bi smo, u stvari, još jedanput podsetiti da je „na gradilištu, u slučaju pojave teškoća u vezi sa zbijanjem, problem retko moguće rešiti iznalaženjem uređaja za zbijanje koji bi učinio čudo i koji bi jedini bio u stanju da obavi zbijanje. Tada je, uglavnom, već kasno pošto je izbor uređaja za zbijanje i postupka zbijanja materijala neophodno obaviti u fazi priprema gradilišta.

Promenom uređaja za zbijanje moguće je rešiti problem samo onda ako je uređaj bio potpuno neprilagođen materijalu za ugrađivanje. Ali, koji će inženjer i izvođač radova izabrati potpuno neprilagođen uređaj za zbijanje ignorišući postojeća pravila u vezi sa izborom odabranog postupka ugrađivanja i zbijanja?

Ukoliko se izmenom uređaja za zbijanje i ne očekuje čudo, to ne znači da nije moguće smišljenim izborom — i to, ponavljamo, smišljenim izborom *pre početka radova* na gradilištu — *postići bolje rezultate*. Videćemo u poglavlju V.3.4. da se na taj način mogu postići ne male uštede i poboljšanja kasnijeg ponašanja puteva i avionskih pista.

U tome smislu korisno je upotrebljavati opštu tablicu (poseban prilog između strana 206—207).

BIBLIOGRAFIJA UZ IV GLAVU KNJIGE

- [I] SCHOEN: *Classification géotechnique des sols*, Journées de Géologie des Laboratoires routiers, mai 1965).
- [I bis] Sans nom d'auteur: *Recommandations pour la reconnaissance géologique et géotechnique des tracés d'autoroute* (Document L.C.P.C.).
- [II] R. PELTIER: *Manuel du laboratoire routier*, Dunod.
- [III] J. CHIQUET: *Portance in situ des sols fins limoneux*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n° 24.
- [IV] G. ARQUIÉ: *L'eau et la route (terrassements, compactage, portance)*, Revue Générale des Routes et des Aérodromes, n° 391, septembre 1964.
- [V] BONNENFANT: *Les applications routières des sols cohérents*, Annales des Ponts et Chaussées, 1945.
- [VI] MASSON: *Origine, nature et propriétés techniques de quelques formations géologiques: la craie*, Journées de Géologie des Laboratoires routiers, mai 1965.
- [VII] O. COMBARIEU: *Étude sur la granularité des graves non traitées* (non publié).
- [VIII] Divers auteurs: *Rapport allemand à la question n° 2 du XIII^e Congrès de l'Association Internationale permanente des Congrès de la Route*, Tokyo, 1967.
- [IX] E. VARNEVILLE et PASTUREL: *Désordres dans un grand remblai de craie*, Bulletin Liaison des Laboratoires routiers, n° 36, janvier-fevrier 1969.
- [X] E. PRANDI: *Aspects nouveaux de l'utilisation des laitiers granulés en technique routière*, Annales de l'Institut technique du Bâtiment et des Travaux publics, n° 242, février 1968.
- [XI] Service d'Études techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.); *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves laitier et sables laitier*.
- [XII] G. LUTHER: *Die Wirkungungsweise und kennzeichnenden Merkmale von selbst fahrenden Gummiradwalzen*, Revue Strasse und Autobahn n° 7, de 1966, traduit par le Service spécial des Autoroutes, agence Méditerranée.
- [XIII] K. BANASHEK et FISHER: *Vergleichende Verdichtung Bitumöser Belage mit Gummiradwalzen vibrations, Walzen und Statischen Walzen*, dans la Revue Strasse und Autobahn, n° 5, de mai 1966).

- [XIV] M. CAMBOURNAC: *Compactage et construction des chaussées*, Revue générale des Routes et des Aérodrômes, nos 385 et 386, *La lecture de cet article est particulièrement recommandée.*
- [XV] L. W. NIJBOER: *Plasticity as a factor in the design of dense bituminous road carpets* (chapitre V).
- [XVI] F. RELOTIUS: *Traitement des limons à la chaux vive: trois ans d'expérience dans le Nord de la France*, Revue *La Technique routière*, n° 2, juin 1969.
- [XVII] M. CHAMPION et J. C. POIRIER: *Températures l'de l'enrobé et des pneumatiques au cours compactage*, Bulletin de liaison des laboratoires routiers n° 43.
- [XVIII] R. A. ARIMAS: *Consolidation des sols par vibration*, Revue Construction, octobre 1968 et juillet-août 1969.
- [XIX] Service Technique des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.), *Directive pour la réalisation des assises de chaussée en gravement.*
- [XX] Service Technique des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.), *Recommandation pour la réalisation des assises de chaussée en graves-émulsion.*
- [XXI] De La SAYETTE: *Caractéristiques des matériels de cylindrage et de compactage pour les enrobés bitumineux*, L'équipement Mécanique, carrières et matériaux, n° 93, avril 1970.
- [XXII] M. VIVIER: *Le béton bitumineux clouté de l'autoroute A1 dans le Pas-de-Calais, quelques contrôles et constatations*, Bulletin de liaison des laboratoires routiers, n° 45, mai — juin 1970.
- [XXIII] Table ronde. *Le traitement des sols à usage routier ou pour aérodrômes*, Expomat actualités, juin 1970.
- [XXIV] M. C. ASTAGNEAU: *Quelques aspects pratiques de la Technique de la grave-laitier*, Expomat-Actualités, février 1971, n° 25.
- [XXV] Service Technique des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.), *Directive pour la réalisation des couches de renforcement en béton bitumineux.*
- [XXVI] Divers auteurs: *Colloque sur la craie*. Journées d'études des 3 et 4 novembre 1971, Rouen.
- [XXVII] Commission VI des Commissions Techniques Tripartites: *Rapport sur le traitement des sols à la chaux*, Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, n° 472, février 1972.

GLAVA V

RAZLIČITI PROBLEMI PRI ZBIJANJU

Pri zbijanju nasipa, završnih slojeva nasipa i posteljice, slojeva kolovozne konstrukcije puteva i aerodromskih pista javljaju se drugačiji problemi od onih koje smo mogli razvrstati u prethodne glave.

Cilj poslednje glave ove knjige je da ukratko prikaže te probleme, od kojih su neki vrlo značajni za praksu, za čije rešavanje nam najčešće nedostaju praktična iskustva.

Zbog toga ćemo često biti prinuđeni da se u ovoj glavi pozovemo na ideje a priori, čija opravdanost ili mogućnosti praktične primene nisu dokazane.

Smatramo iluzornom, na primer, ideju o nabavci uređaja za zbijanje osposobljenog za zbijanje — u samo jednom prelazu — znatne debljine zemljanog materijala, ukoliko bi takav uređaj dovodio do takvih naprezanja u zemljanom materijalu da bi se on ulegao pod njim i onemogućavao kretanje uređaju pri zbijanju.

Sposobnost kretanja pri radu oruđa za zbijanje činiće prvi deo ovog poglavlja.

Nije moguće definisati učinak⁽¹⁾ jednog uređaja za zbijanje bez prethodnog proučavanja uticaja njegove brzine kretanja. To je ono što smo pokušali učiniti u drugom delu. Tome ćemo dodati i poglavlje o energiji zbijanja, za koju smatramo da predstavlja faktor koga je teško shvatiti i koji može izazvati zbrku ideja ili pogrešna tumačenja.

U trećem delu razmatraćemo ekonomske probleme u vezi sa praktičnim korišćenjem jednog uređaja za zbijanje.

U četvrtom delu prikazaćemo mogućnosti zbijanja u skućenim radnim uslovima (na ograničenim površinama).

U petom delu biće prikazano naizgled spontano rastresanje izvesnih zemljanih materijala.

U šestom delu razmatraćemo *efekat nakovnja*, tj. uticaj koji ima, na zbijanje sloja nasipa ili kolovozne konstrukcije, krutost podloge preko koje je taj sloj izrađen.

⁽¹⁾ Brojni autori nazivaju kapacitetom (proizvodnošću) jednog uređaja za zbijanje broj kubnih metara koje taj uređaj u toku jednog časa može sabiti do izvesne minimalne zapreminske težine u svom stanju. Mi za definisanje ovog pojma radije koristimo reč učinak, pošto reč kapacitet dovodi do odnosa manjeg od 1 između dveju veličina iste vrste, što ovde nije slučaj.

1. SPOSOBNOST KRETANJA UREĐAJA ZA ZBIJANJE

1.1. Uvod

Praktično dejstvo—efikasnost jednog uređaja za zbijanje ne izražava se samo upoređenjem mehaničkih karakteristika zemljanog materijala i ukupnih naprezanja koja uređaj za zbijanje proizvodi u dubini zbijanog sloja.

Potrebno je isto tako da se uređaj za zbijanje može kretati po sloju za zbijanje, tj. da ne tone u sloj zemljanog materijala koji se zbija i na taj način ne onemogućuje *kretanje i zbijanje*, i da se, njime može *upravljati*.

Znači, sposobnost kretanja može se izgubiti ako je granulometrijski sastav vrlo uniforman (pesak bez sitnih frakcija) ili ako je plastičan sitnozrni materijal mnogo vlažan. Čak se može reći da je u oba navedena slučaja praktična teškoća utoliko veća što je uređaj za zbijanje teorijski efikasniji.

U stvari, za povećanje efikasnosti dejstva po dubini uređaja za zbijanje potrebno je povećati naprezanja koja on stvara po dubini ili bar razliku između deviatora tih napona i otpornosti tla na smicanje. Bez obzira na postupak koji će se koristiti za postizanje tog cilja (povećanje ukupne težine ili vibracija) povećaće se, *hteli mi to ili ne*, tonjenje uređaja za zbijanje pri njegovom prvom prelazu. Uređaj za zbijanje s gumenim točkovima stvaraće duboke kolotrage i materijal ispred točkova koji se usled toga mogu zakopati i klizati u mestu. Ispred uređaja sa vibracionim dejstvom mogu se stvoriti pravi stepenici koje on ponekad ne može preći; to će povećati sleganje površine zemljanog materijala usled čega dolazi do ukopavanja uređaja za zbijanje, što onemogućuje dalje kretanje.

U oba slučaja uređaj za zbijanje se „ukopava” i zaglavljuje. Ovaj nedostatak se može izbeći ukoliko se obavi „prethodno zbijanje” radi postizanja zgušnjavanja materijala na površini sloja predviđenog za zbijanje, čime će se omogućiti kretanje uređaja za zbijanje. Međutim, prethodno razmatranje pokazuje da prethodno zbijanje, pored toga što je retko besplatno, smanjuje u izvesnoj meri efikasnost kasnijeg zbijanja.

a) Moguće je pokušati da se prethodno zbijanje ostvari korišćenjem prelaza sredstava za prevoženje zemljanog materijala ili za njegovo razastiranje. U ovom slučaju, pored toga što je besplatno, prethodno zbijanje ne stvara veće probleme. Dovoljno je, razume se, da se prelazi ovih sredstava ravnomerno rasporede po čitavoj širini nasipa ili kolovoza. Najčešće se dešava da se i kamioni za prevoženje „zaglavljuju i ukopavaju” pre uređaja za zbijanje, tako da ova napomena važi pre za dampere i skrepere. Generalno uzev, grejder je najbolji za prethodno zbijanje.

b) Ukoliko je ovaj postupak prethodnog zbijanja nedovoljan ili se slabo praktikuje, može se koristiti uređaj za zbijanje bez opterećenja (maksimalno rasterećen) ili pošto se prethodno isključi vibracija.

Na žalost, rasterećenje uređaja za zbijanje nije jednostavno, a skidanjem tereta sa točkova za upravljanje stvara se opasnost od smanjenja ili se stvarno smanjuje ono što nazivamo *sposobnošću vođenja—upravljanja*. Ako se koristi uređaj za zbijanje s vibracionim dejstvom, vrlo je korisno, ukoliko je to nužno, ostvariti jedan prelaz bez vibracija⁽¹⁾.

(1) Na materijalima s velikim trenjem (nezaobljena zrna), prelazom bez vibracija se uvodi opasnost od znatnog smanjenja efikasnosti pri kasnijim prelazima (videti napomenu uz d).

c) Najzad, ukoliko se ne želi obavljati rasterećenje oruđa predviđenog za zbijanje, može se upotrebiti drugi uređaj, lakši i manje efikasan. Ovakav postupak iziskuje, nažalost, angažovanje dva uređaja, što je iz razumljivih razloga teže prihvatljivo za izvođače radova.

Zbog navedenih razloga, sugestija da se obavlja prethodno zbijanje je teže prihvatljiva, izuzev u slučaju korišćenja uređaja za zbijanje sa vibracionim dejstvom.

d) Uz to, kao što smo napomenuli, prethodnim zbijanjem se smanjuje efikasnost uređaju za zbijanje kome se na ovaj način olakšava kretanje. Osnovni cilj prethodnog zbijanja je da poveća stepen gustine, a time i stepen mehaničkih karakteristika zemljanog materijala; drugim rečima, prethodnim zbijanjem se na površini sloja stvara vrsta kore, većeg modula nego kod preostalog materijala. Slab efekat ploče ove kore dovoljan je, a to je i željeni cilj, da se smanje naprezanja po dubini, čime se kasnije olakšava kretanje uređaja za zbijanje, ali čime se istovremeno smanjuje efikasnost kasnijeg zbijanja.

Pokazaćemo da je ova sposobnost kretanja uređaja za zbijanje povezana s efikasnošću njegovog dejstva po dubini, koja je u obrnutoj srazmeri sa njom.

Ali to uslovljavaju i drugi faktori, kao snaga motora ili traktora (vučne jedinice), prijanjanje pogonskih točkova ili gusenica, raspodela opterećenja po osovinama (pogonska i upravljačka osovina), prečnik točkova, širina guma, itd.

Utiču, razume se, i činioci u vezi sa zemljanim materijalom predviđenim za zbijanje: vrsta materijala, vlažnost, itd.

Među zemljanim materijalima koji su najteži (najnepogodniji) za zbijanje posebno se ističu peskovi sa zaobljenim zrnima uniformnog granulometrijskog sastava. Takav je pesak kojeg smo odabrali u nastojanju da prikazemo dve kvalitativne karakteristike od kojih zavisi sposobnost kretanja jednog uređaja za zbijanje: *sposobnost upravljanja* i *pokretljivost*.

1.2. Sposobnost upravljanja

Ovim grubim izrazom označili smo sposobnost usmeravanja uređaja za zbijanje prema želji vozača.

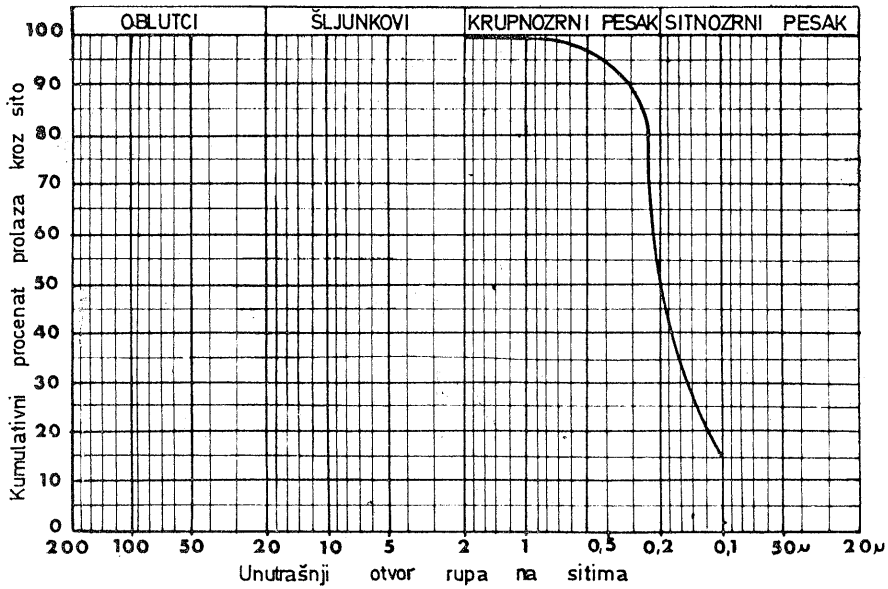
Sposobnost za upravljanje, u toku opita, utvrđuje se sledećim postupkom:

1.2.1. Opit je na jednom standardnom materijalu, koji je po granulometrijskom sastavu pesak uniformnog sastava, ugrađen po tačno utvrđenom profilu.

To je neplastičan pesak iz nalazišta Anglkevij (Anglesqueville). Njegov ekvivalenat peska, određen klipom, iznosi 32, a granulometrijski sastav je prikazan linijom na slici V.1.a. Njegova zapreminska težina u suvom stanju, određena po modificiranom Proktorovom postupku pri optimalnoj vlažnosti 11%, iznosi 1,73 g/cm³. Odgovarajuće karakteristike određene po standardnom Proktorovom postupku su $\gamma_d = 1,71 \text{ g/cm}^3$ i $w = 14\%$. Pesak je ugrađen u opitni rov Centra za putna istraživanja sa zapreminskom težinom u suvom stanju $\gamma_d = 1,37 \pm 0,03$ i vlažnošću $w = 11\%$. Prema tome, može se smatrati da je ugrađen pri strogim uslovima.

1.2.2. Zatim se uređaj za zbijanje postavlja u precizno određen položaj i upravljački točkovi vodećeg trapa zaokreću do određenog ugla. Prethodno je proučena teorijska trajektorija jedne precizno određene tačke A uređaja za zbijanje, a naročito položaj ove tačke na kraju izvesnih prolaza.

Potom se uklanja uređaj za zbijanje i upoređuje dobijeni položaj za tačku *A* sa teorijskim položajem.

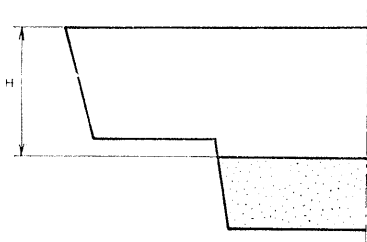


Sl. V.1a — Pesak iz nalazišta Anglkevij

		Podužno pomeranje:			
		5 m		10 m	
<i>H</i>		1,05	0,65	0,20	0,20
Pritisak napred		6	3	3	3
Pritisak nazad		6	6	6	6
Ugao $\alpha = 5^\circ$, ulevo	Teorijsko bočno pomeranje	0,64	0,64	0,64	1,81
	Vrednosti dobijene opažanjem	0,07	0,24	0,54 0,41 0,45 0,49	0,45 0,71
	Prosek			0,47	0,58
Ugao $\alpha = 10^\circ$, ulevo	Teorijsko bočno pomeranje	1,37	1,37	1,37	4,070
	Vrednosti dobijene opažanjem	0,80	1,07	1,27 1,10 1,37 1,62	3,27 3,34
	Prosek			1,34	3,35

1.2.3. Ispitivanje se ponovo obavlja uz posebne promene ugla zaokretanja i opterećenja upravljačkog trapa.

U narednoj tablici prikazani su rezultati dobijeni u funkciji od veličine tereta u kaseti za opterećenje postavljeno iznad upravljačkog trapa, sa eksperimentalnim uređajem za zbijanje (nije moguća njegova nabavka).



Sl. V.1b — H je neispunjeni prostor u kaseti za opterećenje; to je fiktivan način prikazivanja opterećenja po točku

Konstatovano je da se sposobnost upravljanja poboljšava sa povećanjem opterećenja na upravljački trap, kao što se i pretpostavljalo.

1.3. Pokretljivost

Ovaj izraz, takođe grub, označava prilagođenost uređaja za zbijanje za kretanje po lošem materijalu. Ova kvalitativna karakteristika određuje se sledećim postupkom:

1.3.1. Koristi se isti materijal kao i u prethodnom poglavlju, ugrađen pri istim uslovima vlažnosti i zapreminske težine u suvom stanju.

1.3.2. Upravljački trap se opterećuje teretom (određenim kao i u prethodnom slučaju) koji omogućava zadovoljavajuće upravljanje.

1.3.3. Druga osovina opterećuje se teretom koji se može smatrati kao *praktičan* minimum. To znači da se u odnosu na maksimalni teret skida samo onaj koga je lako ukloniti. Smatramo da izvođači radova izbegavaju opterećenje i rasterećenje svojih uređaja za zbijanje i da to čine samo sa delovima tereta koje je lako skidati i nameštati.

1.3.4. Postavlja se uređaj za zbijanje na ulaz u opitni rov dužine 25 m i određuje dužina koju on može preći bez tonjenja ili zaglavljivanja. Iskustvo pokazuje da, ukoliko stigne do sredine rova, neće doći do njegovog zaglavljivanja.

Dakle, zaustavlja se uređaj za zbijanje u sredini rova pa se nakon toga pušta da nastavi vožnju u istom smeru. Ovaj drugi deo opita je znatno teži od prvog dela, jer uređaj mora, posle paljenja i bez početne brzine, nastaviti kretanje po materijalu iako su njegove noseće površine već utonule u zemljani materijal.

1.3.5. Opit se ponavlja sa različitim debljinama zemljanog materijala.

Jasno je da je opit utoliko teži što je debljina materijala veća.

Uređaj za zbijanje će imati toliko veće performanse — karakteristike pokretljivosti i sposobnosti upravljanja što su debljine sloja preko koga mu je moguće kretanje veće.

1.4. Kritika ispitivanja

S obzirom na način ispitivanja može se reći da su ona sistematski oštrija od normalnih uslova na gradilištu.

1.4.1. U stvari, na svim gradilištima razasrti materijal je bio izložen — u izvesnoj meri — prethodnom zbijanju zbog toga što su se po njemu kretali uređaji za prevoženje i razastiranje materijala. U opisanom slučaju on je, suprotno tome, bio razasrt bez mogućnosti dopunskog zbijanja.

1.4.2. Odabrani materijal predstavlja jedan od najnepogodnijih za ugrađivanje. Mi smo smatrali, međutim, da je neophodno uvesti strožiji postupak ispitivanja.

Uz to je neophodno da se standardni materijal može ugraditi pod uslovima koji će u potpunosti odgovarati onim na gradilištu, a strahovali smo da bi se obavljanjem prethodnog zbijanja onemogućilo postizanje potpuno identičnih uslova na svim mestima.

1.5. Kako poboljšati pokretljivost uređaja za zbijanje

U uvodnom delu ovog poglavlja napomenuli smo da se efikasnost zbijanja po dubini jednog uređaja za zbijanje menja u obrnutom odnosu sa njegovom pokretljivošću.

Pokretljivost uređaja za zbijanje može se poboljšati uvođenjem dopunskih elemenata, kojima se postiže prethodno zbijanje zemljanog materijala, a koji se po potrebi mogu skidati i nameštati.

1.5.1. Već smo naveli mogućnost olakšavanja uređaja za zbijanje uklanjanjem tereta. Pri tome postoji opasnost da izvođač radova olakša uređaj za zbijanje, da bi mogao otpočeti zbijanje, i nastavi sa zbijanjem bez povećanja opterećenja u kasetama za teret tako da uređaj za zbijanje ne izvlači maksimum od njegovih mogućnosti.

Ovaj postupak je ostvarljiv samo ako je *jednostavno skidanje i nameštanje tereta*.

1.5.2. Napomenuli smo da je relativno jednostavno obaviti prethodno zbijanje puštajući uređaj za zbijanje sa vibracionim dejstvom da prvi prolaz obavi *bez vibracija*. Postupak je vrlo praktičan. Pri tome postoji opasnost, kao što smo napomenuli, od kasnijeg smanjenja efikasnosti zbijanja uređaja.

1.5.3. Moguće je takođe smanjiti pritisak (izduvati) u gumama uređaja za zbijanje s gumenim točkovima. Na taj način se povećava kontaktna površina i time smanjuju naprezanja na površini, bez promena naprezanja po dubini.

Prednosti ovoga postupka proizilaze iz činjenice što su moderni uređaji za zbijanje snabdeveni aparaturama koje omogućavaju promene pritiska u gumama pri kretanju; postupak je dovoljno brz i fleksibilan tako da je izvođač radova u stanju da bez velikih napora koristi ovaj elemenat.

Efikasnost ovog postupka je na žalost ograničena u pogledu pokretljivosti, konkretno zbog toga što naprezanja po dubini nisu izmenjena⁽¹⁾.

⁽¹⁾ Već smo videli u poglavlju II. 4.1.3 da je promena pritiska vrlo značajna i da može biti interesantna za okončavanje zbijanja, ali da je ta korist nedovoljno dokazana.

1.5.4. Na isti način moguće je povećati i *dimenzije guma* povećanjem kontaktne površine.

Bilo bi idealno ako bi čak postojao samo jedan točak na čitavoj širini valjka.⁽¹⁾

U stvari, svaki od točkova se utiskuje u zemljani materijal, a otpor kretanju unapred sastoji se od:

— napora neophodnog da se izravna ispučenje koje se stvara ispred svakog točka ili da se točak popne na to ispučenje;

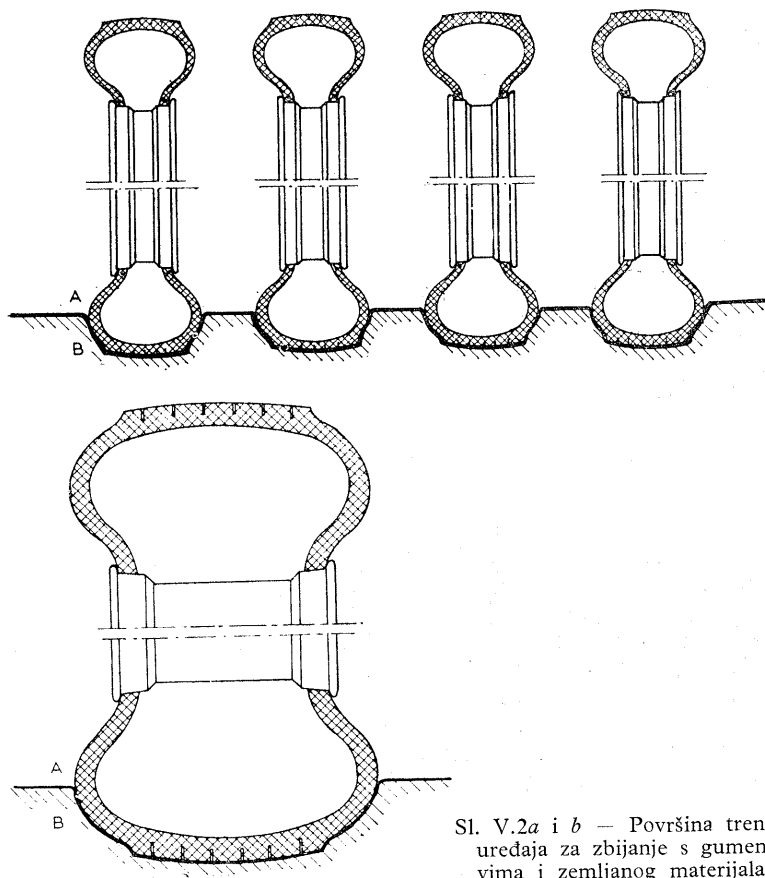
— bočnog trenja duž svih kontaktnih površina kolotruga i bokova svakog točka.

Na slici V.2a pokazano je da se sa četiri točka dobija osam površina trenja kao što su *AB*.

Da smo u stanju da izradimo jedan točak snabdeven samo jednom gumom (slika V.2b), dobili bi samo dve površine trenja kao što su *AB*.

— otpora kretanju koji je trenje kretanja duž površina točkova. Ovaj napor je istog reda veličine za oba rešenja prikazana shematski na slikama *a*) i *b*).

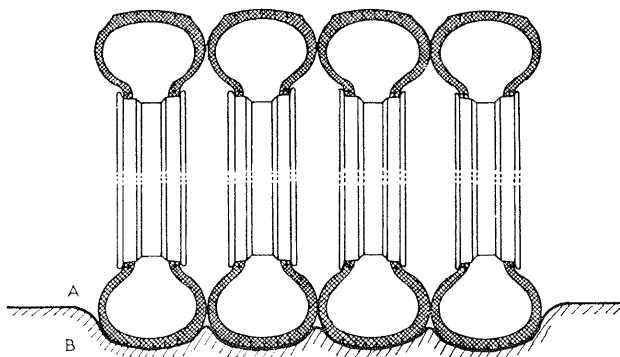
On je veći za slučaj *b*.



Sl. V.2a i b — Površina trenja između uređaja za zbijanje s gumenim točkovima i zemljanog materijala

⁽¹⁾ Razmatranja i preporuke koje smo naveli u daljem tekstu proizilaze iz razmene mišljenja i ideja sa M. Paramitiotiem (Paramythioti) iz Društva Albare (Albaret).

Jasno je da je nemoguće ili vrlo teško postići jedan jedinstven točak. Međutim, ako svaki od točkova ima dovoljno širok presek naplatka, tako da se susedne gume dodiruju, površina bočnog trenja je takode podeljena sa četiri, kao što pokazuje slika V.3.



Sl. V.3 — Površina trenja između uređaja za zbijanje s gumenim točkovima i zemljanog materijala. Smanjenje tih površina guma koje se međusobno dodiruju

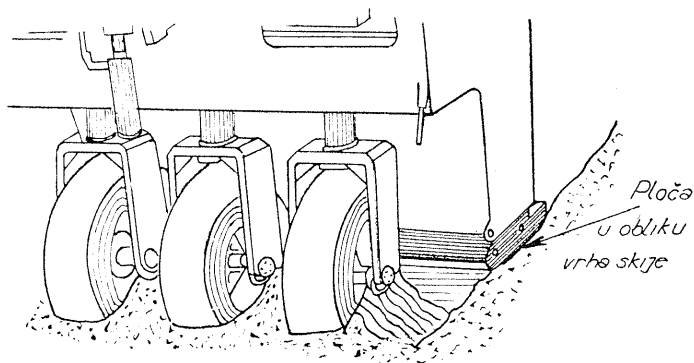
Ova analiza se može obaviti u inverznom smislu ukoliko je osovina pogonska za koju se zahteva maksimalno naleganje, pa prema tome i maksimalna trenja.

Ne idući na takav efekat, Liler [IV] navodi da se otpor trenja smanjuje ako se prečnik guma povećava (videti poglavlje V.1.5.6).

1.5.5. Uređaju za zbijanje može se dodati jedna ploča čija je širina odgovarajuća širini pogonskog trapa sa točkovima, koja rasterećuje točkove, oslanjajući se na površinu zemljanog materijala, a oblik joj je sličan vrhu skije. Razume se da je ovakva ploča montirana na hidraulični uređaj radi lakšeg pomeranja i podizanja u željenom trenutku.

Prvi pokušaji učinjeni u tom pravcu nisu krunisani uspehom. Bila je postavljena jedna ploča neposredno iza prednjeg trapa (slika V.4). Rezultati sa pločom i bez nje nisu se znatnije razlikovali.

Mišljenja smo da bi ispitivanja trebalo ponoviti, samo bi ploču trebalo postaviti pre trapa sa točkovima, a ne iza.



Sl. V.4 — Ispitivanje sa ugrađenom nosećom pločom u obliku vrha skije radi poboljšanja pokretljivosti

Pretpostavljamo da bi se na ovaj način postigla izvesna poboljšanja, kao:

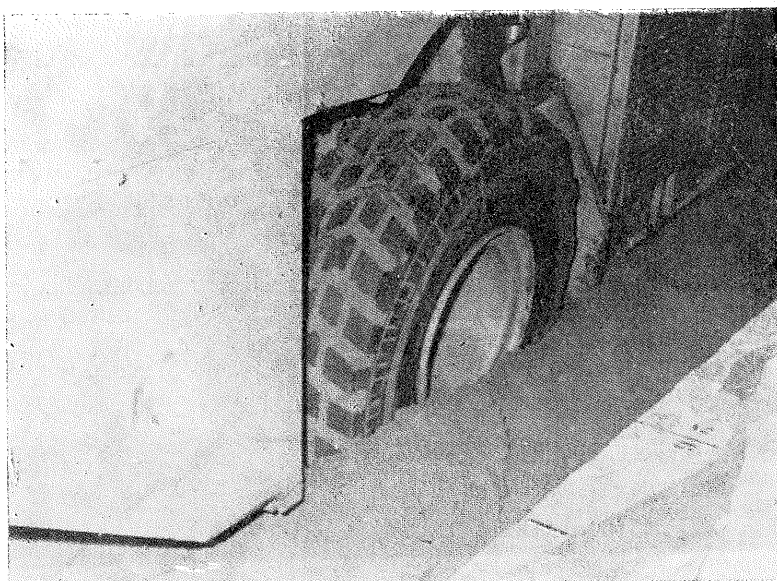
a) Smanjeno opterećenje prednjeg trapa a povećano zadnjeg pogonskog trapa, čime se postiže bolje prijanjanje. Zbog toga je umanjena sposobnost upravljanja, što je nedostatak.

b) Prednji točkovi se utiskuju u prethodno nabijen zemljani materijal zbog čega nastaju plići kolotrazi.

1.5.6. Moguće je povećati *prečnik točkova*, ili izdići *šasiju—zaštitnu oblogu*. U drugom slučaju postoji opasnost od izdizanja težišta uređaja za zbijanje i smanjenja njegove stabilnosti u poprečnom smislu.

U vezi sa prečnikom točka izvesni autori — a naročito Ponce-Montanj (Poncet—Montagne) [I] — smatraju da je sposobnost kretanja jednog opterećenog točka sa gumama, pri svim drugim elementima istim, proporcionalna širini površine naleganja i *kvadratu prečnika* točka. Razumljivo da je koeficijent proporcionalnosti potpuno različit za jedan pogonski i jedan nepogonski točak.⁽¹⁾

1.5.7. Moguće je isto tako povećati snagu. Međutim, u tom smislu javljaju se dva ograničenja: s jedne strane neophodnost ograničenja s obzirom na mogućnosti prijanjanja pogonskih točkova; s druge strane došlo bi do pretvaranja uređaja za zbijanje u buldozer koji bi gurao materijal ispred sebe.



Sl. V.I — U mekanom i rastresitom zemljanom materijalu duboke šare su beskorisne

(1) Karakterističan parametar je odnos $\frac{Q}{Y L r^2}$, gde je Q vertikalno opterećenje, L širina naplatka preseka, r poluprečnik točka, a Y koeficijent koji zavisi od vrste zemljanog materijala. Svi nepogonski (vučeni) točkovi koji imaju isti $\frac{Q}{Y L r^2}$ imaju i iste performase pokretljivosti, što znači da je Q proporcionalno proizvodu $L r^2$. Pogonski točkovi izdržavaju dvostruko veći $\frac{Q}{Y L r^2}$ od onog koji važi za nepogonske (vučene) točkove.

1) Prvo od navedenih ograničenja bi se moglo otkloniti povećanjem prianjanja upotrebom guma sa dubokim skulpturama — šarama.

Međutim, teškoće koje smo istakli, pojavljuju se naročito pri pokušaju zbijanja vrlo mekog (rastresitog) zemljanog materijala, bilo što mu je granulometrijski sastav vrlo uniforman, kao što je slučaj sa opisanim peskom iz Anglakevija, ili što mu je vlažnost vrlo velika. Zemljani materijal u takvim slučajevima brzo i lako ispunjava skulpture-šare (kao što je pokazano na slici V.I), tako da one postaju tada beskorisne.

U takvim slučajevima se postiže poboljšanje vučom uređaja za zbijanje pomoću traktora guseničara. To je i razlog zbog čega su skoro svi najteži uređaji za zbijanje sa gumenim točkovima vučeni uređaji (nisu samohodni).

2) Povećanjem prečnika točkova pomera se drugo ograničenje. Nasuprot tome, noseća ploča — navedena u poglavlju V.1.5.5 — može uticati na povećanje navedene opasnosti.

3) Najzad, pojavljuje se još jedno ograničenje: povećanje cene koštanja motora i kinematskog lanca.

1.6. Posledice

Konstruktor uređaja za zbijanje koristi sve ove (činioc) faktore za poboljšanje sposobnosti njegovog kretanja. Ako dva uređaja za zbijanja iste težine po točku i istog unutrašnjeg pritiska u gumama imaju, na datom zemljanom materijalu, istu efikasnost po dubini, stvarni učinak će se jako razlikovati ukoliko ta dva uređaja za zbijanje nisu podjednako jednostavna za upotrebu.

Mišljenja smo da između dva uređaja za zbijanje, koji se nalaze u prodaji i pripadaju istoj grupi (gami) uređaja, najčešće nema mnogo razlika u pogledu efikasnosti njihovog dejstva po dubini ali su razlike znatne u pogledu sposobnosti kretanja.

Nije nemoguće da *stvarna efikasnost po dubini bude, u praksi, ograničena sposobnošću kretanja uređaja za zbijanje.*

Za sada, izuzev uređaje za zbijanje sa vibracionim dejstvom, smatramo realnijim da inženjer ili izvođač radova pokušaju da poboljšaju zbijanje i učine ga efikasnijim razastirući slojeve manjih debljina (25 cm), umesto pokušaja sa korišćenjem teških uređaja za zbijanje predviđenih za zbijanje vrlo debelih slojeva.⁽¹⁾

U stvari, čak i uz korišćenje pogodnosti koje omogućava prethodno zbijanje, potrebno je uskladiti efikasnost zbijanja po dubini uređaja za zbijanje i njegove osobine koje se odnose na sposobnost upravljanja i pokretljivost.

Ukoliko materijali za zbijanje poseduju visoke mehaničke karakteristike (šljunkovi, a posebno potpuno drobljeni šljunkovi), jednostavno je i lako obezbediti sposobnost upravljanja i pokretljivost. Ali time je ograničena i efikasnost dejstva po dubini zbog unutrašnjeg trenja materijala.

Ukoliko su mehaničke karakteristike materijala predviđenog za zbijanje osrednje, efikasnost zbijanja po dubini može biti visoka, zahvaljujući velikim opterećenjima po točku, samo se sposobnost kretanja smanjuje jer se uređaj zaglavljuje zbog tonjenja.

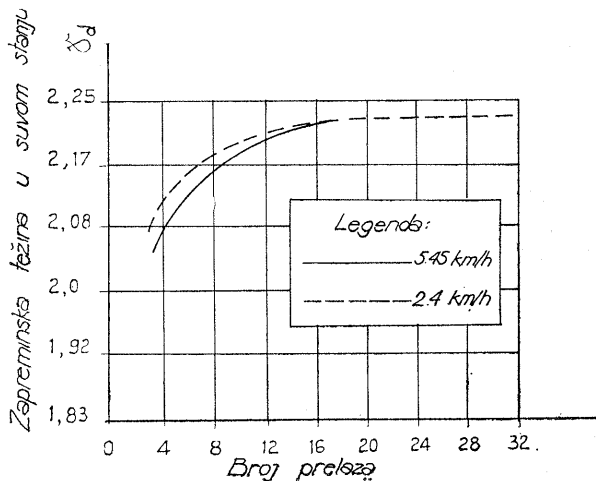
Nismo sigurni da se ovakav način rezonovanja može primeniti i na uređaje s vibracionim dejstvom.

⁽¹⁾ Ovo nije tačno za materijale sa krupnim zrnima (videti IV.5.4.2).

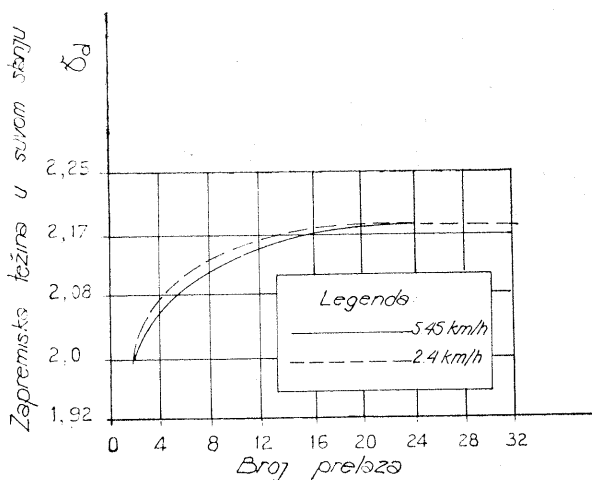
2. UTICAJ BRZINE ZBIJANJA NA UČINAK

2.1. Uticaj brzine

Ovaj uticaj je vrlo sporan, Luis, iz Road Research Laboratory, je obavio istraživanja pri kojim je valjak s gumenim točkovima bio vučen jednom prilikom brzinom od 1,5 milje na čas (2,4 km/h), a drugom prilikom od 3,4 milje na čas (5,45 km/h), po nečistom šljunku čija je vlažnost bila 7%. Na slici V.5 prikazana je zavisnost između broja prelaza valjka i povećanja zapreminskih težina u suvom stanju u toku zbijanja.



Sl. V.5 — Uticaj brzine zbijanja na zaprljanom šljunku

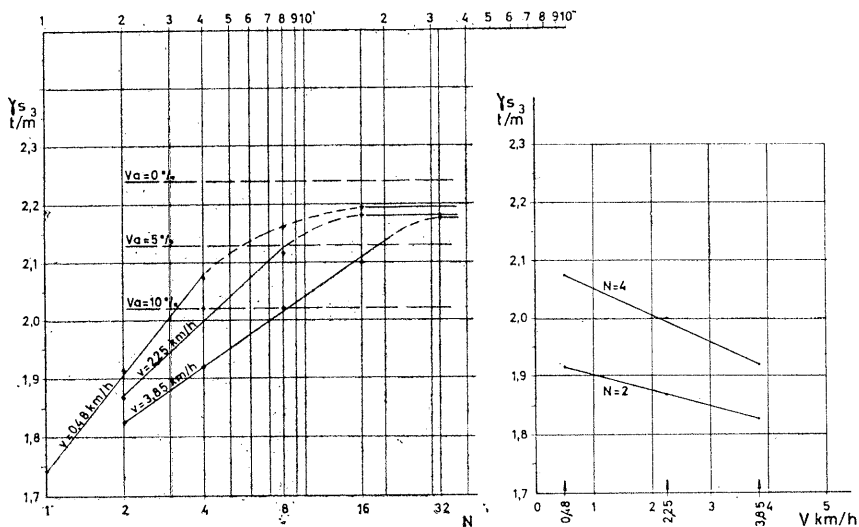


Sl. V.6 — Uticaj brzine zbijanja na dobro granuliranom pesku

Pri istim uslovima, isti uređaj za zbijanje, zbijajući dobro granulirani pesak koji je sadržao 15% sitnih čestica, postigao je rezultate prikazane na slici V.6.

Koristeći isti uređaj za zbijanje, Luis je dobio slične rezultate i na drugim materijalima (jedna teška glina i jedan glinovit pesak).

Osim toga, on je koristio vibracioni valjak težine 3,75 t za zbijanje dobro granuliranog peska koji je sadržao 15% sitnih čestica. Vibracioni valjak je korišćen sa tri različite brzine kretanja pri radu (0,48 km/h, 2,25 km/h i 3,85 km/h). Od poslednjih rezultata prikazaćemo one koje je obradio Vandeler (Wandeleer) (slika V.7).



Sl. V.7 — Uticaj brzine zbijanja na odnos $(N \cdot \gamma_d)$ (Vibracioni valjak težine 3,75 t. korišćen na dobro granuliranom pesku pri vlažnosti $w = 7,6\%$)

Na osnovu dobijenih rezultata Luis je zaključio da je zapreminska težina u suvom stanju (merena na gornjih 15 cm) bila nezavisna od brzine i da je zavisila samo od broja prelaza uređaja za zbijanje.

U takvim uslovima korisno je da se zbijanje obavlja pri najvećoj mogućoj brzini.

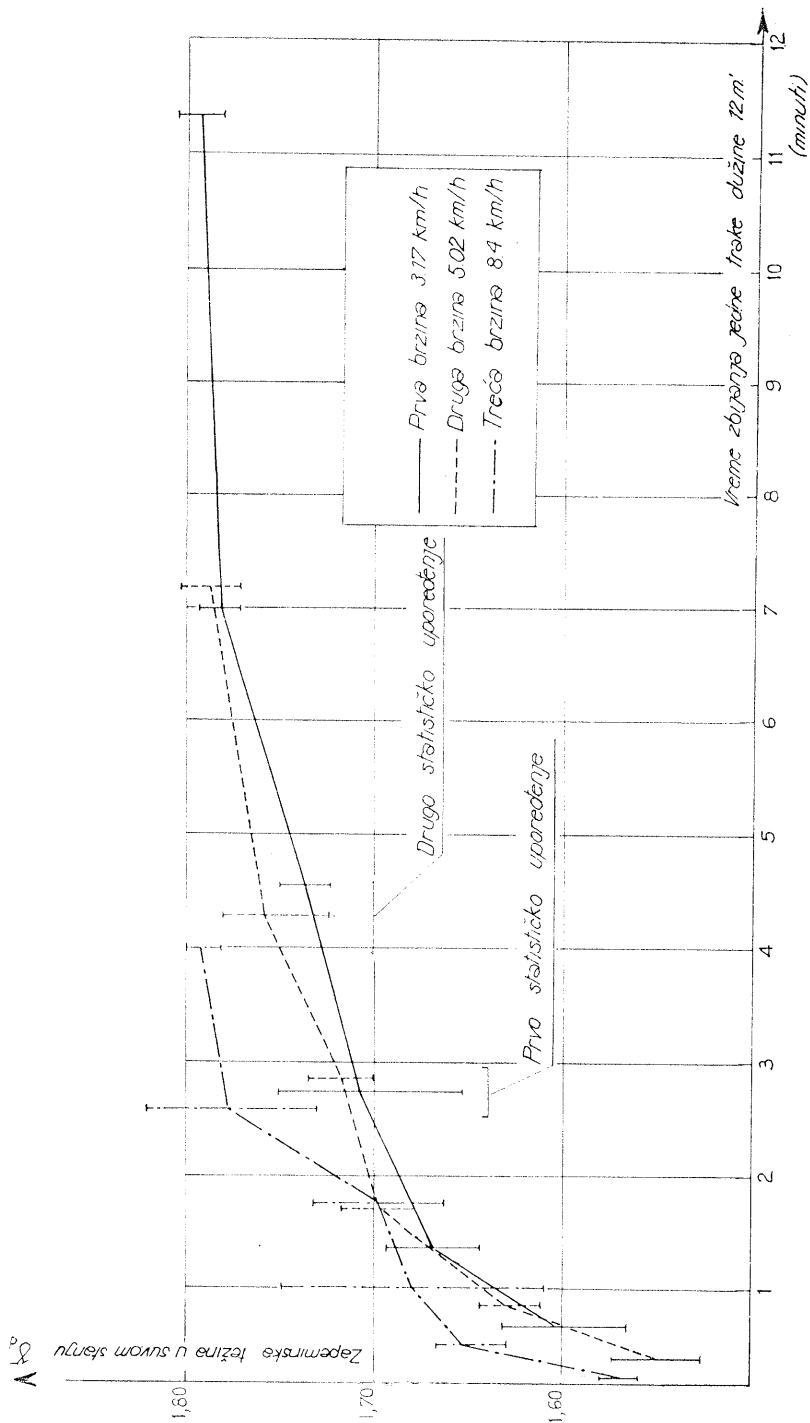
Opitni centar u Ruanu (Centre d'Essais de Rouen) obavio je ispitivanja na čistom šljunku, veličine 0/60 mm, koristeći valjak s gumenim točkovima IZOPACTOR pri dve brzine kretanja (3 i 9 km/h), vršeći zbijanje pri jednakim vremenima. Dobijeni rezultati su identični, što znači da nije primećena nikakva razlika koja bi ukazivala na eventualnu prednost jedne od korišćenih brzina.

Ispitivanja su obavljena i na prašinovitom materijalu Menij—Esnar (Mesnil—Esnard), pri brzinama kretanja valjka od 3,17 km/h, 5,02 km/h i 8,4 km/h. I ovde je korišćen valjak s gumenim točkovima ISOPACTOR.

Statističkom analizom rezultata dolazi se do sledećih zaključaka:

1) Pri jednakom broju prelaza uočljiv je uticaj brzine, a najbolji rezultati dobiveni su, kao što je prirodno i kao što je dokazao Luis, pri najmanjoj brzini.

Dobijene razlike su relativno neznatne.



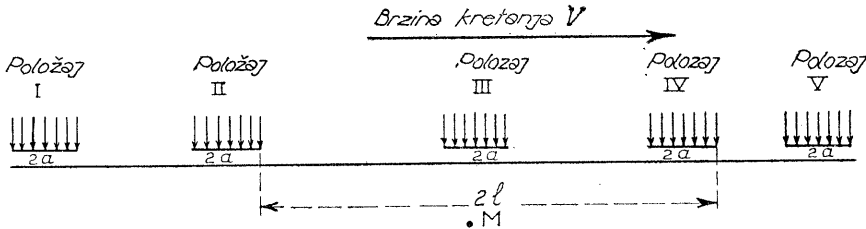
Sl. V.8 — Povećanje zapreminskih težina u suvom stanju u zavisnosti od vremena zbijanja; uticaj brzine kretanja uređaja za zbijanje

2) Pri jednakom vremenskom trajanju zbijanja uticaj brzine je takođe uočljiv (signifikantan), a najbolji rezultati dobiveni su pri najvećim brzinama (slika V.8).

Obavljena upoređenja su, kao što se vidi sa slike, vrlo nekompletna. Dovoljno je da se izvrši upoređenje posle jednog i dva minuta zbijanja da bi se zaključak u potpunosti izmenio.

Pored toga, obavljajući upoređenja ne kao u prethodnom slučaju na prvih 20 santimetara, već na 30 cm, konstatuje se da pri jednakom trajanju vremena zbijanja, uticaj brzine nije uočljiv.

Mišljenja smo da rezultati dosadašnjih istraživanja kojima raspolažemo ne pružaju dovoljno podataka za definitivno razgraničenje. Takođe smatramo korisnim



Sl. V.9 — Zona dejstva uređaja za zbijanje ($2l$)

prikazivanje naših razmišljanja koja, iako pojednostavljena, omogućavaju stvaranje izvesne predstave o efektu brzine.

Neka M bude tačka zemljanog materijala, a posmatraćemo uređaj za zbijanje predstavljen trakom širine $2a$ — koji će prelaziti preko tačke M , zauzimajući jedan za drugim (sukcesivno) položaje I, II, III, IV, itd. Uređaj za zbijanje kreće se pri radu brzinom V . Kada je uređaj za zbijanje u položaju I, koji je vrlo udaljen od vertikale iz tačke M , njegovo dejstvo u toj tački prestaje. Pretpostavimo da se ono počinje manifestovati kad se uređaj za zbijanje nađe u položaju II. To dejstvo će se povećavati, proći će kroz jedan maksimum za izvestan položaj uređaja za zbijanje, a zatim će se smanjivati i prestaće. Usvojicemo da položaj IV uređaja za zbijanje odgovara prestanku njegovog dejstva.

Napominjemo, da bi bili kompletni i da bi podsetili na ono što je rečeno u poglavlju I.4.8.2, da maksimum devijatora naprezanja koji uslovljava dejstvo uređaja za zbijanje može biti jedinstven ako je tačka M na dovoljnoj dubini ili može biti dvostruk ako je M blizu površine (slike V.10a i V.10b).

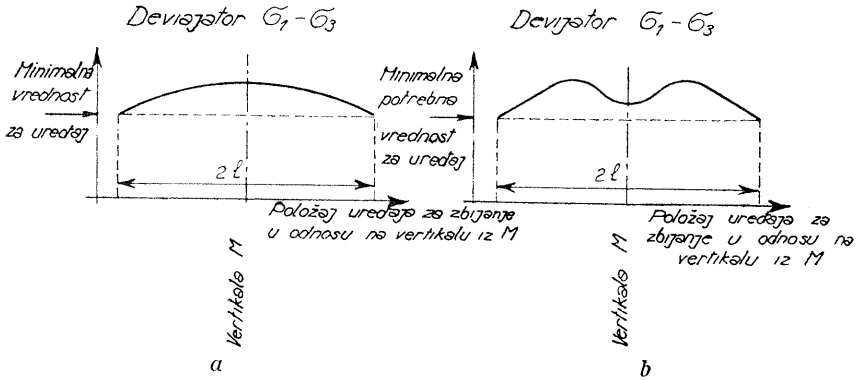
U jednom i u drugom slučaju dejstvo uređaja za zbijanje se oseća, sa promenljivim intenzitetom, za vreme:

$$t = \frac{2l}{V},$$

označavajući sa $2l$ maksimalno rastojanje između ekstremnih položaja efikasnosti uređaja za zbijanje.

U toku tog vremena t zemljani materijal u blizini tačke M se deformiše izvesnom brzinom deformisanja v koja nije konstantna, ali za koju se može usvojiti prosečna vrednost v_m . Jasno je da je v , izuzev u slučaju dejstva udara, nezavisno od V . Ona zavisi od karakteristika zemljanog materijala, eventualne njegove viskoznosti i

veliĉine devijatora, ali ne i brzine kretanja ureĉaja za zbijanje. Prema tome, v_m je nezavisna od V . Ukupna dobijena deformacija je $D = v_m t$, bar u sluĉaju ako je t dovoljno dugo da bi navedena blokiranja u vezi sa gnjeĉenjem imala dovoljno vre-



Sl. V.10 — Promena devijatora u taĉki M u funkciji od poloŹaja ureĉaja za zbijanje

mena potrebnog za njihovo nastajanje. Dobija se, prema tome, $D = v_m t$, izuzev ako je $v_m t \geq D_1$, u kom sluĉaju je $D = D_1$ (D_1 je veliĉina deformacije koja odgovara blokiranju). To se moŹe napisati joŹ i u obliku:

$$D = \frac{2 l v_m}{V},$$

izuzev ako je $V \leq V_1$ tako da:

$$D_1 = \frac{2 l v_m}{V_1}.$$

U ovom poslednjem sluĉaju $D = D_1$.

Da bi se od promene pomeranja D preŹlo na promene zapreminske teŹine u suvom stanju, usvaja se da je teŹina za jedinicu povrŹine konstantna. Tada se dobija da je $\gamma_d \cdot h = \gamma_{d_0} \cdot h_0$ (pri ĉemu je γ_{d_0} prvobitna zapreminska teŹina u suvom stanju, h_0 prvobitna debljina pre zbijanja, a $h = h_0 - D$ debljina po obavljenom zbijanju).

Na kraju se dobija:

$$\gamma_d = \gamma_{d_0} \frac{V \cdot h_0}{V \cdot h_0 - 2 l v_m},$$

izuzev ako je $V \leq V_1$, u kom sluĉaju je γ_d nezavisno od V i iznosi γ_{d_1} . Na slici V.11 prikazana je promena zapreminske teŹine u suvom stanju u zavisnosti od brzine. Jasno je sa slike da je korisno usvojiti brzinu koja je jednaka bar brzini V_1 .

Prelazeći na sledeći prelaz pri zbijanju, poĉetna zapreminska teŹina je veća, tj. $\gamma_{d_0'}$, a za blokiranje se pretpostavlja da je otklonjeno (uniŹteno) efektom gnjeĉenja. Doći će do ponovnog — ali drugaĉijeg blokiranja — ako je zapreminska teŹina $\gamma_{d_1'}$ veća od γ_{d_1} . Ali će razlika između $\gamma_{d_1'}$ i $\gamma_{d_0'}$ biti manja od razlike između γ_{d_1} i

Ako se usvoji brzina kretanja pri radu V i utvrdi da je potrebno N prelaza da bi se postigla unapred usvojena zapreminska težina u suvom stanju na dubini e , i ako je l širina na kojoj se vrši zbijanje, učinak q biće:

$$q = \frac{V \cdot e \cdot l}{N}. \quad [1]$$

2.2.2. Činioci koji utiču na učinak. Vrlo je teško, nažalost, dobiti više informacija iz navedene formule, jer korišćene (pojmovi) veličine utiču međusobno, a i same zavise od brojnih parametara.

1. Formula [1] naizgled pokazuje da se q povećava sa dubinom e . Ali je potpuno jasno da je N funkcija od e , tako da pri nastojanju da se obavi zbijanje jednog jako debelog sloja postoji opasnost da će biti neophodno povećati broj prelaza, zbog čega je možda bolje ograničiti e ograničavajući istovremeno i N .

Moguće je, doduše, povećati e bez promena N — povećavanjem opterećenja po točku uređaja za zbijanje s gumenim točkovima. U takvom slučaju javlja se opasnost ograničenja zbog mogućnosti kretanja (videti poglavlje V.1).

2) Formula [1] naizgled pokazuje da se povećavanjem brzine kretanja pri radu V povećava učinak q . Međutim, ne sme se zaboraviti da je N funkcija od V . Ukoliko bi vrlo teorijske ideje navedene u članu 2.1. bile u važnosti, bilo bi korisno povećavati brzinu V samo do izvesnih granica, i to samo za prve prelaze.

Uz to smo podsetili da povećanje brzine pri radu (naročito pri prvim prelazima) nije bez uticaja na cenu koštanja uređaja, a time i na samo koštanje zbijanja.

2.2.3. Kritika pojma učinka

1) Definicija obavezuje da se utvrdi (fiksira) merodavna zapreminska težina. To nije lako učiniti. Nije li bolje obaviti zbijanje materijala do veće gustine, uz smanjenje učinka uređaja za zbijanje, obezbeđujući na taj način sloj kolovozne konstrukcije sa znatno višim i boljim mehaničkim karakteristikama? Drugim rečima, kako objektivno odabrati najbolje rešenje između cene koštanja zbijanja i veka trajanja kolovozne konstrukcije? Nije li nužno da ovaj drugi ima osnovni značaj?

2) Najzad, neophodno je napomenuti da zbijanje nije samo sebi cilj i da je jedino merodavna kompletna cena koštanja kolovozne konstrukcije puta, uključujući i nju i buduće održavanje. Njeno poboljšanje je rezultat vrlo složenih i teških usaglašavanja između različitih činilaca i jedino iskustvo može omogućiti jasnije sagledavanje, uz napomenu da je ono za sada još vrlo nedovoljno i nepotpuno. Napomenućemo da zbijanje predstavlja vrlo mali procenat u ukupnoj ceni koštanja jednog puta ili avionske piste i da, pri takvim uslovima, *ne treba nastojati da se pri zbijanju ostvare male uštede koje izazivaju vrlo velike rizike za kvalitet gotovog objekta* (videti poglavlje V.3.4).

2.3. Energija zbijanja

Ako nam pojam učinka uređaja za zbijanje o kome je bilo reči u prethodnom poglavlju 2.2, nije najcelishodniji, bar naizgled, onda nam je definicija energije zbijanja još nesrećnije odabrana, bar za potrebe gradilišta.

2.3.1. Energija zbijanja pri laboratorijskom opitu. Doista, moguće je precizno utvrditi energiju zbijanja upotrebljenu pri laboratorijskom opitu; standardni Prok-

torov opit, modificirani Proktorov opit, Dirijezovo ili Maršalovo zbijanje, Kangov nabijač — odgovaraju energijama koje su dosta dobro definisane i koje su prilično precizne. Potrebno je pri tom obezbediti da se sva utrošena energija za dinamičko zbijanje Proktorovog ili Maršalovog tipa iskoristi za zbijanja. Kada masa za zbijanje dođe u dodir sa tlom, ona zgušnjava materijal pod sobom, ali ga isto tako, u izvesnoj meri, razbacuje oko sebe.

Moglo bi se isto tako diskutovati o reproduktivnosti energije zbijanja Kango-ovim nabijačem pri proučavanjima cementom stabilizovanih šljunkova.

Međutim, moguće je prilično lako sračunati energiju utrošenu pri tim postupcima s jedne strane, a potrebno je, s druge strane, smatrati da je skoro celokupna energija utrošena za zbijanje.

2.3.2. Energija zbijanja na gradilištu. Ako pojam energije zbijanja ima jedno značenje pri laboratorijskom opitu, smatramo da on nije isti na gradilištu.

1) Mogla bi se, možda, sračunati utrošena energija pri radu uređaja za zbijanje na tlu predviđenom za zbijanje. Ali ona nije reproduktivna, jer zavisi od vrlo velikog broja parametara koji ne mogu imati uvek istu vrednost i veličinu.

2) Radi savlađivanja navedene teškoće koristi se konvencionalno određena energija. Najbanalniji primer je slučaj sa kilometrima—tonama korišćenim pri zbijanju makadama valjcima s glatkim čeličnim točkovima, koji su predstavljali proizvod težine valjka po pređenom odstojanju.

Ako je ova konvencionalna definicija mogla da posluži za plaćanje preduzećima za zbijanje, jasno je, s druge strane, da je ona bez ikakve realne mehaničke i fizičke signifikantnosti: ništa u stvari ne dokazuje da će jedan dva puta lakši uređaj za zbijanje imati isti efekat ukoliko se duplira broj njegovih prelaza. Jasno je suprotno — da to neće biti slučaj. Ova konvencionalno određena jedinica ne predstavlja stvarni rad pošto su snaga i pomeranje upravni (perpednikularne); istina, može se reći, budući da je vučna sila u jednom određenom trenutku proporcionalna težini, izuzimajući jedan koeficijent, da je težina približno uzev vučna sila. U tom slučaju dobija se zaista rad. No, ovaj koeficijent nije konstantan pošto se otpornost pri kretanju smanjuje sa zbijanjem materijala. Najzad, ovaj rad utrošen za vuču nije rad na zbijanju.

3) To je, konačno, najozbiljnija primedba pojmu energije zbijanja. Znatan deo utrošene energije, koji nije za zanemarivanje, utrošen je u druge svrhe a ne u zbijanje; otpor kretanju je jedan od najznačajnijih gubitaka ove vrste.

Ne treba, takođe, zaboraviti ni činjenicu da znatan deo utrošene energije ide na rastresanje (proces suprotan zbijanju). To se događa u slučaju pojave nazvane gumenim jastukom, gde se unutrašnji akumulirani potencijal u jednom delu zemljanog materijala odmah troši u drugom delu.

4) Pojam energije zbijanja još jasnije pokazuje svoju štetnost ukoliko se koristi za proučavanje ekvivalencija između uređaja za zbijanje sa statičkim i vibracionim dejstvom. Sve informacije zasnovane na takvim ekvivalencijama, na primer one koje tvrde da je jedan određen vibracioni uređaj za zbijanje ekvivalentan jednom statičkom uređaju određene težine, loše su i pogrešne.

3. RAZLIČITA EKONOMSKA RAZMATRANJA

Prethodno poglavlje pokazuje da bi ekonomski proračuni morali biti dominantni u odnosu na praktične probleme, ali i da je to vrlo teško efikasno sprovesti.

Moguće je, međutim, istaći nekoliko osnovnih elemenata i dati nekoliko ideja, bez sumnje vrlo teorijskih, ali koje su nas dovele do onog što mi smatramo zlatnim pravilom zbijanja.

3.1. Teorijski ekonomski problemi

U prethodnom poglavlju (2.2.3) istakli smo da se problem ne sastoji u postizanju usvojene zapreminske težine u suvom stanju uz minimalnu cenu koštanja.

U stvari, povećanjem zapreminske težine moguće je na kolovoznoj konstrukciji puta ili pri njenom održavanju ostvariti znatno veće uštede od visine troškova neophodnih za postizanje te znatno veće zapreminske težine.

Da bi bolje prikazali teorijski karakter problema, onako kako ga mi postavljamo, nećemo razmatrati zapreminsku težinu već indeks gustine definisan u prvoj glavi (I.1.2.8), na sledeći način:

$$I_d = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}}$$

Ako se indeks šupljina menja od maksimalnog indeksa (nezbijen zemljani materijal) do minimalnog indeksa (maksimalno zbijen zemljani materijal), I_d se menja od 0 do 1.

3.1.1. Postoji bezbroj metoda za postizanje određenog indeksa gustine I_d . Moguće je, u stvari, menjati vlažnost materijala pri zbijanju, upotrebljeni uređaji ili uređaje za zbijanje, njihove karakteristike, njihov broj prelaza, debljinu zbijanog sloja, itd. Svaka metoda stvara određene troškove za svaki indeks I_d . Na osnovu toga moguće je izraditi tablicu I i odrediti, za svaku vrednost I_d , koja je minimalna cena koštanja, tj. koja je najmanja vrednost u jednoj koloni tablice.

TABLICA I

Postupak zbijanja	I_d					
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
A	0	a_1	a_2	a_3	a_4	∞
B	0	b_1	b_2	b_3	b_4	∞
C	0	c_1	c_2	c_3	c_4	∞
D	0	d_1	d_2	d_3	d_4	∞
E	0	e_1	e_2	e_3	e_4	∞
F	0	f_1	f_2	f_3	f_4	∞
Minimalno koštanje	0	C_1	C_2	C_3	C_4	∞

Poznato je da je ovaj posao već sada tako znatan da ga nije bilo moguće u potpunosti završiti.

Ukoliko se pretpostavi da je posao obavljen, dobija se linija koja daje C u funkciji od I_d , a njen je tok obavezno sličan onom na slici V.13.

3.1.2. Potrebno je, takođe, za svaku vrednost I_d odrediti ostvarenu ekonomičnost za kolovoznu konstrukciju, njenu izradu i njeno održavanje.

Podimo od bilo koje vrednosti I_d i pretpostavimo da nam je neophodno ostvariti povećanje tog indeksa: dI_d . To će izazvati povećanje koštanja dC , a dC će biti toliko veće (kao što pokazuje slika V.13), koliko se poveća I_d .

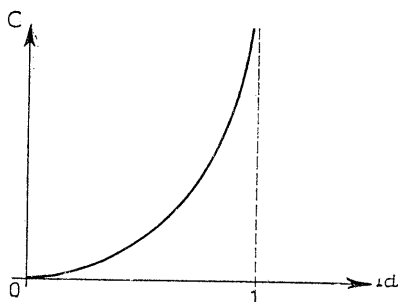
Zauzvrat, ovo povećanje vrednosti dI_d izazvaće uštedu dE na kolovozu.

Što je I_d veće, manja je deformabilnost zemljanog materijala pa je sledstveno tome i veličina uštede dE manja.

Dva izvoda:

$$\frac{dC}{dI_d} \text{ i } \frac{dE}{dI_d},$$

variraju zbog toga u obrnutim smerovima.



Sl. V.13 — Promena cene koštanja zbijanja u zavisnosti od indeksa gustine

3.1.3. Potpuno je jasno da je za $I_d = 0$, dC malo a dE veliko i da je korisno i interesantno obavljati zbijanje. Sa povećavanjem indeksa gustine I_d povećava se dC a smanjuje dE . Zbijanje se mora prekinuti ako je $dC = dE$, tj. u slučaju kada se ova dva izvoda izjednače.

3.2. Pojednostavljenje problema

Jasno da je određivanje linije na slici V.13 za jedan dati materijal značajan i vrlo obiman posao tako da ga nijedan institut do danas nije mogao obaviti.

Šta reći o studiji koštanja kolovoza u funkciji od indeksa gustine (zbijenosti) do koje je zbijen određeni sloj?

Ovakav prilaz problemu je u stvari neprihvatljiv. Međutim, problem reda veličina nije i mi ćemo se ponovo vratiti na ovaj predmet, koji je od velikog značaja za praktičnu primenu (videti poglavlje 3.4).

U iščekivanju novih saznanja, sve što se danas može učiniti je utvrđivanje i numeričko izražavanje zapreminskih težina u suvom stanju koje, po oceni, daju zadovoljavajuće rezultate i definisanje metoda zbijanja koje omogućavaju postizanje tih rezultata.

To je u stvari ono što smo mi uradili u glavi IV knjige.

Preostaje još da se cifarski izrazi koštanje ovih raznovrsnih postupaka. Za sada mi ne raspoložemo elementima na osnovu kojih bi nam bilo moguće da to učinimo, zbog čega se zadovoljavamo da skrenemo pažnju na različite elemente.

3.3. Činioci koji utiču na koštanje

3.3.1. Koštanje amortizacije uređaja za zbijanje. Ovo koštanje treba dodati koštanju po času efektivnog rada uređaja. To znači da ne treba zaboraviti da se od ukupnog broja mogućih radnih časova u toku godine odbiju svi oni kada uređaj za zbijanje ne može raditi iz različitih razloga:

1) Kada se uređaj premešta sa jednog gradilišta na drugo, on ne radi. Jedan sporohodni uređaj za zbijanje na putu (kao valjak sa glatkim čeličnim točkovima) ili u slučaju kada ga treba tovariti na transportnu prikolicu imaće zbog toga znatno manji broj efektivnih radnih časova; pri jednakim svim ostalim elementima nego samohodni valjak na gumenim točkovima.

Uz to, plata isplaćena vozaču za vreme ovog prevoza nije produktivna (ne naplaćuje se od investitora).

2) Kada je uređaj za zbijanje van pogona zbog opravke ili redovnog održavanja, broj njegovih efektivnih radnih časova se smanjuje. Ova stavka povećava cenu koštanja vibracionih uređaja, koji se često kvare.

3) Potrebno je voditi računa i o polivalentnosti — tj. mogućnosti višestranog korišćenja uređaja za zbijanje. Uređaj sa manjim opsegom mogućnosti primene biće korišćen u mnogo manjoj meri nego uređaj koji se može upotrebiti na bilo kom gradilištu.

Ipak, domet ove napomene zavisiće znatno od veličine preduzeća. Ako je preduzeće dovoljno veliko, biće u stanju da svoja gradilišta organizuje tako da na zadovoljavajući način i u dovoljnoj meri iskoristi uređaj dobro prilagođen svakoj vrsti radova i svakoj vrsti zemljanog materijala. To je najverovatnije i razlog zbog koga se, uprkos prethodno navedenog argumenta u korist polivalentnosti, uočava ipak razvoj specijalizovanih uređaja za zbijanje.

4) Razume se da vek trajanja jednog uređaja učestvuje takođe u ceni koštanja amortizacije. Ne bi trebalo zaboravljati da vek trajanja nije ograničen samo propadanjem mehaničkih grupa uređaja za zbijanje već, takođe, i izlaskom iz upotrebe zbog zastarevanja (demodiranja).

3.3.2. Troškovi korišćenja — rada — koji obuhvataju platu vozača, gorivo, mazivo (ulje), habanje guma, one troškove održavanja koji su proporcionalni korišćenju uređaja za zbijanje, itd.

Potrebno je izdvojiti dve kategorije ovih troškova⁽¹⁾.

1) Jedni su u rastućoj zavisnosti (praktično proporcionalnoj) od snage uređaja za zbijanje i njegovog učinka: gorivo, mazivo, habanje guma, itd.

2) Drugi, nasuprot tome, ne menjaju se ili se menjaju neznatno pri povećanju učinka uređaja pri zbijanju: plata vozaču npr. (plata vozača velikih i teških uređaja uglavnom je veća od plate vozača koji rukuju malim nabijačima).

Jedino ovi poslednji troškovi opravdavaju povećanje učinka uređaja za zbijanje.

⁽¹⁾ Razume se da ovo razdvajanje nema ničeg apsolutnog i da se unutar svake pozicije koja se odnosi na troškove korišćenja — rada pojavljuju fiksni delovi i delovi proporcionalni učinku uređaja. Razdvajanje proizilazi prema tome iz dela koji se odnosi na ove dve pozicije.

3.3.3. Troškovi opravke i neki troškovi održavanja.

* * *

U prilogu navodimo jedan primer cene koštanja.

3.4. Zlatno pravilo zbijanja⁽¹⁾

Napomenuli smo u prethodnim poglavljima 3.1 i 3.2 da bi zbijanje trebalo obavljati do momenta kada ekonomičnost koja je obezbeđena budućem kolovozu dodatnim zbijanjem postane jednaka (izjednači se sa) koštanju tog dodatka. Naveli smo da za sada, nažalost, nismo u stanju da utvrdimo ni tu ekonomičnost, niti to koštanje.

To ipak ne znači da nemamo izvesne predstave o njihovom redu veličine.

U ukupnoj ceni koštanja jednog puta ili poletno—sletne aerodromske piste, udeo koštanja zbijanja je neznatan, reda veličine od 1%, na primer. *Koštanje dopunskog zbijanja je, prema tome, najviše reda veličine od nekoliko promila od ukupnog koštanja objekta.*

Nasuprot tome, uštede koje su na taj način ostvarene u pogledu budućeg održavanja (ili budućih opravki) su sasvim drugačijeg reda veličine, bar ukoliko zbijanje već nije bilo vrlo intenzivno.

Opravka deformacija na kolovozu košta najmanje jedan zastor na celoj površini kolovoza, što će reći, za kolovoz širine 7 m, oko 50 000 francuskih franaka, tj. najmanje 2% ukupne cene koštanja *puta* (kolovozne konstrukcije, zemljanih radova objekata, itd.).

Najčešće će ovi troškovi biti i znatno veći.

Potrebno ih je aktualizirati, što znači uvesti u račun i troškove u budućnosti.

Potpuno je jasno da ne sme postojati nikakvo dvoumljenje između ovih troškova i onih koji izdvajaju dobro zbijanje od lošeg.

Pri zbijanju ni u čemu ne cicijašiti

Tako bi trebalo da glasi zlatno pravilo zbijanja.

Ono je, po našem mišljenju, od vrlo velikog uticaja na područje istraživanja:

Problem zbijanja ne sastoji se toliko u smanjenju cene koštanja zbijanja, koliko u iznalaženju *sigurnih* metoda za postizanje zadovoljavajućeg zbijanja. U takvoj perspektivi, progresi (napredovanja) u domenu metoda kontrole su, mnogo značajniji nego oni u vezi s uređajima za zbijanje.

4. ZBIJANJE U PROSTORIMA OGRANIČENE VELIČINE

Zbijanje zemljanog materijala u prostorima ograničene veličine (zatrpavanje rovova, proširenja, postojanje prepreka i smetnji, itd.) vrlo često se obavlja neuredno i loše, što izaziva ozbiljne nedostatke i vrlo skupe opravke:

⁽¹⁾ Ovo poglavlje nastalo je na osnovu razmišljanja i razgovora sa M. Simonom, zaposlenim u Preduzeću Rišie (Société Richier).

Sleganje nasipa ispod ili pored objekata iziskuje opravku kolovozne konstrukcije. Opravka se može izbjeći ako se predvidi izrada prelazne ploče čija je prednost u tome što ne uznemirava korisnika puta ali košta isto toliko kao i opravka kolovozne konstrukcije.

Sleganje rovova ili šliceva stvara na kolovozu, u toku više meseci, utisak veštačkog prekida, a izaziva ozbiljna oštećenja vozila i stvara prevoznicima i putnoj upravi dodatne troškove radi opravki.

Na putevima gde su obavljena proširenja manjih dimenzija često se uočava veća denivelacija, kolotrag, odnosno ulegnuće u kome se skuplja voda. Ovakve deformacije iziskuju vrlo skupe i neugodne radove na popravci profila.



Sl. V.II — Uređaj za zbijanje proširenja

Da bi se ovi nedostaci izbegli ili bar ograničili, mogu se primeniti dve vrste metoda: 1) za izradu nasipa treba koristiti materijal koji ne izaziva veća sleganja; 2) upotrebljavati uređaje za zbijanje koji su potpuno prilagođeni poslu koji je potrebno obaviti.

4.1. Upotreba peskova

U izvesnim gradovima, naročito u Parizu, nasipanje rovova i iskopa obavlja se skoro sistematski peskovima koji, zbijeni udarnim nabijačima, izazivaju kasnije neznatna sleganja.

Zbijanje ovakvih rovova i iskopa uglavnom je zadovoljavajuće.

Može se primeniti ista metoda kao i pri nasipanju iza stubova veštačkih objekata ili između šipova temelja.

U istu svrhu mogu se upotrebiti i šljunkovi.

4.2. Upotreba specijalnih uređaja za zbijanje malog gabarita

4.2.1. Udarni nabijači (žabe). Opisali smo, u poglavlju II.7, uređaje za zbijanje udarom. Laki nabijači (poglavlje II. 7.2.1) naročito su pogodni za zbijanje rova.

Teški udarni nabijači pogodniji su za zbijanje širih zona (u blizini stubova mosta, itd.).

4.2.2. Vibracioni uređaji za zbijanje. Koriste se takođe i mali vibracioni uređaji različitih dimenzija (ploče ili valjci).

4.2.3. Specijalni uređaji. Najzad, neki proizvođači mašina proizveli su specijalne uređaje koji se jednim delom kreću po zidovima (stranama) rova ili po kolovozu koji treba proširiti, a drugi deo obavlja zbijanje dna rova ili proširenja puta (videti poglavlje II.8).

5. SPONTANO RASTRESANJE IZVESNIH ZEMLJANIH MATERIJALA

Izvesni zemljani materijali lošeg granulometrijskog sastava ili sa zaobljenim zrnima vrlo loše održavaju stepen zbijenosti dostignut pri zbijanju.

To je slučaj sa čistim peskovima uniformnog granulometrijskog sastava koji se lako rastresaju (gube zbijenost) na površini pri prolazu bilo kog oruđa (mašine ili sredstva za transport).

U takvom slučaju, da bi se omogućilo korišćenje ovakvih peskova, moguće je pokušati sa njihovim zatvaranjem ispod stabilnijeg sloja i zbijanjem indirektno — preko tog sloja, korišćenjem vibracionih uređaja za zbijanje.

Moguće je, takođe, dodati im izvesnu količinu finih frakcija dobijenih pri drobljenju, čime se poboljšava njihov granulometrijski sastav i povećava uglatost (procenat nezaobljenih zrna).

Šljunkoviti materijali sa viškom (grbinom) peska i finim frakcijama sa nezaobljenim zrnima mogu se ponašati na isti način. Ipak, ako je uglatost krupnih zrna visoka, oni mogu biti stabilni i ostati takvi.

Šljunkovi nekontinualnog granulometrijskog sastava, kao što su izvesni nedrobljeni šljunkovi iz ravnice Alzasa, ponašaju se na isti način. Često se uspeva da se sa njima postigne izvesna zbijenost, ali čim se pokuša saobraćaj bilo kakvim vozilom po tako zbijenom sloju, on se rastresa po površini pa čak, ukoliko se ne preduzmu mere predostrožnosti, dolazi do njegovog raskopavanja.

Upotrebu takvih šljunkova u kolovoznoj konstrukciji potrebno je zabraniti. Potrebno ih je predrobiti, što će poboljšati oblik zrna — uglatost i stvoriti pesak za poboljšanje granulometrijskog sastava. Odatle proizilazi i logična nužnost njihove obrade čime će se postići izvrsni rezultati i odlični noseći slojevi kolovozne konstrukcije.

6. EFEKAT NAKOVNJA

Pri zbijanju sloja zemljanog materijala, on se obavezno postavlja preko osnove, a način ponašanja te osnove odražava se i na samo zbijanje: ako je osnova vrlo kruta, zbijanje je olakšano a postignute zapreminske težine u suvom stanju su vrlo visoke, bar ukoliko se koristi uređaj za zbijanje dobro prilagođen materijalu koji se zbija. Nasuprot tome, ako je osnova veoma deformabilna, dobiće se samo osrednji rezultati, čak i ako je uređaj za zbijanje dobro odabran. To je ono što ističe Kamburnak (Cambournac) [II] navodeći da je za zatvaranje vrlo pune putne torbe neophodno da se ona postavi na sto, a ne na dušek.

Zahvaljujući Paramitiotiu, nazvaćemo ovaj fenomen *efektom nakovnja*.

Da bismo ga objasnili, podsetićemo na zaključke istraživanja obavljenih u Ruanskom centru za putna istraživanja [III]:

Na dva zemljana materijala u posteljici različitih karakteristika ugrađen je osnovni sloj od materijala istih karakteristika (nedrobljen šljunak krupnoće 0,60 mm, koji se smatra osrednjim materijalom za ovu vrstu slojeva). Ovaj sloj je bio zbijen na isti način. Dobijene zapreminske težine u suvom stanju nisu se mnogo razlikovale, ali su *postignute mnogo brže* na sloju izrađenom preko kruće osnove — podloge.

Nasuprot tome, dobijene krutosti su bile uvek različite, čak vrlo različite.

Istraživanje se nije ograničavalo samo na ovaj osnovni sloj, jer su preko njega bila izrađena dva različita noseća sloja (od neobrađenog delimično drobljenog šljunka krupnoće 0/30 mm, koji se danas smatra prevaziđenim. Tu je, takođe, primećena razlika u veličini modula deformacije nosećih slojeva u funkciji od vrste materijala u osnovi ali su razlike bile znatno manje.

Ovo iskustvo je potvrđeno još jednim istraživanjem koje se sastojalo u izradi više uzastopnih slojeva od iste vrste materijala. Modul prvog sloja zavisio je u velikoj meri od osnove (podloge), modul drugog sloja bio je manje zavisian, da bi, konačno, te razlike kod trećeg i četvrtog sloja postale neznatne.

Kao krajnji zaključak proizilazi da efekat nakovnja olakšava zbijanje, pošto se zahtevane zapreminske težine u suvom stanju postižu znatno brže, uz istovremeno postizanje većih krutosti, s tim što se označeno poboljšanje postiže samo preko jednog sloja.

BIBLIOGRAFIJA UZ V GLAVU

- [I] PONCET—MONTANGE: *Thèse de doctorat présentée le 26 novembre 1965 à la Faculté des Sciences de Grenoble.*
- [II] M. CAMBOURNAC: *Compaction et construction de chaussées*, Revue générale des Routes, n^{os} 385 et 386.
- [III] O. COMBARIEU: *Influence de la rigidité du terrain de fondation sur les caractéristiques des couches de corps de chaussées*, Bulletin de Liaison des Laboratoires routiers, n^o 23.
- [IV] G. LUTHER: *Die Wirkungsweise und kennzeichnenden Merkmale von selbstfahrenden Gummiradwalzen*, Revue Strasse und Autobahn, n^o 7, de 1966, traduit par le Service spécial des Autoroutes, Agence Méditerranée.

GLAVA VI

ZAKLJUČAK

Tehnika građenja puteva i aerodromskih pista u punom je razvoju.⁽¹⁾

Može se s pravom reći da se u toku poslednjih dvadeset godina uočavaju, u domenu izgradnje fleksibilnih kolovoza, dve tehničke revolucije:

Prva se sastoji u zameni materijala uniformnog granulometrijskog sastava (vrlo strmih linija — kao što su lomljen kamen, podloga od lomljenog kamena, tucanik i dr.) materijalima kontinualnog granulometrijskog sastava (glinoviti beton i neobrađeni mehanički stabilizovani slojevi). Glinoviti betoni su brzo eliminisani iz upotrebe u Francuskoj jer su loše prilagođeni francuskim klimatskim uslovima i kolovoznim konstrukcijama s asfaltnim zastorima. Suprotno tome, nastavlja se sa primenom mehanički stabilizovanih slojeva od neobrađenih materijala uprkos drugoj revoluciji.

Druga tehnička revolucija je u toku: neobrađeni materijali ustupaju mesto materijalima obrađenim cementom ili granuliranom zgurom. Ostali postupci obrade sigurno i neprekidno obezbeđuju svoje mesto među savremenim postupcima građenja.

Ovim različitim generacijama kolovoznih konstrukcija odgovaraju različite generacije uređaja za zbijanje.

Era makadama izbacila je u prvi plan valjke s tri glatka čelična točka. U sadašnjem trenutku ova vrsta valjaka koristi se samo kao dopuna efikasnijim uređajima za zbijanje — mnogo bolje prilagođenim savremenim tehnikama. Korisno ih je primeniti pri završnom zbijanju bitumenom obavijenih asfaltnih mešavina.

Glinovitom betonu odgovarao je najbolje valjak sa kozjim nogama (jež). Iako ovaj uređaj ne odgovara za izradu savremenih slojeva kolovozne konstrukcije, vrlo je koristan za zbijanje nasipa od fino-zrnih materijala.

Uređaj za zbijanje s gumenim točkovima spada u grupu valjaka koji se mogu koristiti za različite operacije zbijanja, a osvojio je tržište u eri razvoja tehnika izrade kolovoznih konstrukcija sa neobrađenim slojevima. Vrlo je pogodan za zbiја-

⁽¹⁾ Jasno da je ovakav razvoj poželjan. Potrebno je uz to prihvatiti razmatranje onog što Dirije (Durrieu) naziva „tehnička preventiva”, da bi se izvođačima radova omogućilo da mogu amortizovati svoj uređaj, a konstruktorima i proizvođačima da mogu amortizovati troškove izrade njihovih prototipova.

nje nasipa, slojeva od asfaltnih mešavina, površinskih obrada. On je nezamenljiv pri zbijanju slojeva od obrađenih materijala — kao pomoćni uređaj valjcima s vibracionim dejstvom.

Vibracionim valjcima pripada budućnost. Samo je neophodno postići još mnogo uspeha u njihovom usavršavanju, a pre svega u povećanju njihove trajnosti, boljem razumevanju njihovog dejstva i u njihovom efikasnijem iskorišćavanju, što bi moralo biti znatno spektakularnije.

Vibracija se koristi pri zbijanju putnih betona. Doduše krute kolovozne konstrukcije sadrže ispod betonske ploče osnovne slojeve koji su analogni izvesnim slojevima u fleksibilnim konstrukcijama, a njihovo zbijanje se obavlja na isti način kao i zbijanje materijala ugrađenih u fleksibilne kolovozne konstrukcije.

Suprotno tome, uprkos značajnim novinama (revoluciji), u ovoj tehnici prozrokovanim korišćenjem materijala za uvlačenje vazduha i uređaja sa pokretnom oplatom za izradu betonskog zastora, vibriranje ostaje i dalje nužan postupak pri zbijanju. Potrebno je istaći da je se pri tome prešlo sa vibracionih greda na vibracione igle.

Na taj način se uviđa da će zbijanje u budućnosti koristiti, najverovatnije, vibracije, možda u usavršenim oblicima kao što je vibro-kompresija (kombinacija vibracije i pritiska).

Na kraju je potrebno podsetiti da su sadašnje tehnike — i to u većoj meri nego ikad — u brzom razvoju. Zbog toga smo potpuno svesni da će ovaj rad koji pružamo čitaocu vrlo brzo iziskivati ispravke i dopune radi usaglašavanja sa postignutim napretkom — za koga želimo da bude brz i potpun — u postupcima zbijanja u domenu putogradnje.

ANEKS I

HIDRAULIČKI IZRAĐENI NASIPI

1. OPŠTI DEO

1.1. Definicije

Hidraulička izrada nasipa podrazumeva postupak koji se sastoji u izlivanju na tlo, pripremljeno za nasipanje, zemljanog materijala zasićenog vodom, tako da on predstavlja *tečnu mešavinu*; materijal se ostavlja na vazduhu radi prosušivanja; oticanje suvišne vode iz zemljanog materijala često se olakšava ili ubrzava. Zemljani materijal se postepeno sleže dostižući u nasipu izvesnu zapreminsku težinu u suvom stanju koja se, grubo uzev, može smatrati zadovoljavajućom.

1.2. Neophodnost zbijanja

Nasuprot izvesnom shvatanju koje je prilično proizvoljno, ne treba očekivati da će se spontano dobiti hidraulički izrađen nasip visoke gustine (velike zapreminske težine) pa usled toga i malih sleganja. Videćemo čak, u većini slučajeva, pri deponovanju materijala dolazi do prilično velike neujednačenosti, tako da se može s pravom sumnjati da su *diferencijalna sleganja* zanemarljivo mala — neznatna.

Sama činjenica da je potrebno odvesti vodu pokazuje da u materijalu ostaju šupljine koje je potrebno ispuniti, pa je normalno očekivati i sleganje. Sleganje se javlja brže ili sporije u zavisnosti od vrste zemljanog materijala korišćenog za izradu nasipa; ono je relativno brzo kod čistih peskova, što znači da je za to potrebno nekoliko nedelja ili nekoliko meseci.

Ovi vremenski intervali se sve manje mogu tolerisati jer je vreme ekonomski faktor koji je sve skuplji. Zbog toga se sve češće javlja potreba *za zbijanjem ovakvih nasipa*.

1.3. Ekonomski problemi

Razume se da su ovakve metode izrade nasipa i nasipanja naročito interesantne ako se po jeftinim cenama mogu dobiti zadovoljavajuće mešavine. To je slučaj

ako je ovakav materijal *otpadak ili poluproizvod* neke druge operacije, što je najčešći slučaj pri iskopu pod vodom (refuliranje). Time se objašnjava i činjenica da su ovakvi postupci nasipanja vrlo mnogo korišćeni u pristanišnim ili rečnim zonama ili onamo gde vrlo obimni zemljani radovi iziskuju nasipanje primenom postupka refuliranja.

Pri tom je neophodno da se zona nasipanja ograniči *obodnim nasipima (branicama)* čija se cena izrade uračunava u ukupnu cenu koštanja nasipanja. Neka je p_1 cena koštanja izrade kubnog metra hidraulički izrađenog nasipa, p_2 cena koštanja kubnog metra obodnog nasipa, h visina nasipanja (nasipa), S površina koju treba nasuti, L obim terena. Lako je utvrditi da će ukupna cena koštanja biti:

$$Shp_1 + \frac{3h^2L}{2}p_2,$$

odnosno po kubnom metru, ukupna prosečna cena P je:

$$p = p_1 + 3 \frac{h^2}{2} L p_2 \frac{1}{Sh},$$

ili pak

$$p = p_1 \left(1 + \frac{3h}{2} \frac{L}{S} \frac{p_2}{p_1} \right).$$

Pošto je cena koštanja kubnog metra obodnog nasipa p_2 , koji se radi sa oruđima relativno malog učinka, mnogo veća od cene koštanja kubnog metra hidraulički izrađenog nasipa p_1 , prosečno ukupno koštanje biće utoliko veće:

- što je visina nasipa veća (uticaj h);
- što je oblik nasipa izduženiji (uticaj veličine L u odnosu na S).

Hidraulički izrađeni nasipi su zbog toga pogodniji za nasipanje velikih površina nego za putne nasipe, a naročito ne za putne nasipe velike visine.

1.4. Izrada hidrauličkih nasipa

Podsećamo da se najčešće postupa na sledeći način:

Počinje se sa okružavanjem zone koju treba nasuti manjim obodnim nasipima, često nazivanim „branicama“. U cilju odvođenja viška vode na obodnim nasipima se presecaju *rupe*, čiji raspored i kote su od izvanrednog značaja (videti sledeće poglavlje 2). Sistem kanala obezbeđuje odvođenje vode od prosečnih rupa do *prirodnog korita (kolektora)*.

Po završenoj izradi obodnih kanala i sistema za odvođenje vode vrši se refuliranje — nasipanje mešavine (zemljani materijal i voda) u prostor ograničen obodnim kanalima. Sadržina vode u materijalu je takva da se nasipanje obavlja najčešće pumpanjem i refuliranjem.

U zavisnosti od slučaja čeka se na obavljanje sleganja ili, obrnuto, obavlja se zbijanje celog masiva.

1.5. Program izlaganja u aneksu

Osnovni zadatak u ovom radu sastoji se, u objašnjenju problema zbijanja pri izradi hidrauličkih nasipa. Međutim, dobijeni rezultati u vezi sa držanjem nasipa

zavise u istoj meri od upotrebljenih materijala i metoda ugrađivanja, pa ćemo za početi sa izlaganjem tih problema.

Biće izloženi:

- materijali korišćeni za izradu nasipa hidrauličkim putem i posledice na metode ugrađivanja;
- problemi segregacije i posledice;
- zbijanje hidrauličkih nasipa.

2. ZEMLJANI MATERIJALI KORIŠĆENI ZA IZRADU HIDRAULIČKIH NASIPA

Zemljani materijali koji daju dobre hidrauličke nasipe isti su kao i materijali koji daju dobre nasipe, što znači čisti šljunkovi i peskovi, i to — po mogućstvu — dobro granulirani. Uz to je potrebno napomenuti da zbog činjenice što se obavlja pumpanje materijala treba eliminisati iz upotrebe šljunkove koji sadrže vrlo krupne elemente ili vrlo veliki procenat oblutaka, a radije koristiti peskove.

Osim toga, budući da su mešavine ekonomične samo u slučaju kada se iskop vrši u neposrednoj blizini (videti prethodno poglavlje 1.3), potrebno je koristiti raspoložive materijale nastojeći da se pri tome eliminišu najlošiji.

Materijali na koje se pri građenju nailazi su skoro uvek složeni i sadrže istovremeno krupne elemente i finozrne materijale. Sastav takvih materijala je promenljiv u useku ili pozajmištu, u kome se obavlja iskop: odatle proizilaze *heterogenosti* u nasipima izrađenim hidrauličkim putem koje mogu izazvati, ukoliko se blagovremeno ne preduzmu odgovarajuće preventivne mere, *diferencijalna sleganja* koja mogu biti vrlo neprijatna.

Sva razmatranja koja smo obavili u prvoj glavi naše knjige pokazuju da delovi koji sadrže fina zrna sležu znatno sporije i zbijaju se znatno lakše nego delovi izrađeni od peskovitijih materijala.

Ovi nedostaci zbog diferencijalnih sleganja nastalih usled heterogenosti nasipa su utoliko ozbiljniji ukoliko se prvom uzročniku heterogenosti, koji je već pomenut, doda i drugi: vrlo velika segregacija koja nastaje pri taloženju zrna u procesu sušenja mešavine. Postoji u stvari strujanje vode između tačke isticanja — deponovanja mešavine i najbliže rupe — otvora u obodnom nasipu za isticanje vode; ovo strujanje povlači za sobom do izvesnog odstojanja najfinije čestice materijala. Videćemo kasnije da se, u izvesnim slučajevima, ovo strujanje koristi za odstranjivanje finih čestica izvan zone nasipanja.

Nasuprot tome, ispod tačke isticanja (refuliranja) mešavine stvara se brežuljak od najkrupnijih materijala koji se trenutno talože. Brežuljak povećava veličinu do izvesne mere, u zavisnosti od napredovanja refuliranja, tako da je po isteku određenog vremenskog perioda potrebno promeniti položaj tačke isticanja (refuliranja) materijala.

Između pomenutog brežuljka i otvora u obodnom nasipu materijali su grupisani po veličini — najkrupniji u blizini tačke isticanja, najsitniji daleko od te tačke. Uz to se događa da topografski sastav terena za nasipanje bude takav da se bare stvaraju na mestima gde voda stagnira i da tu dolazi do taloženja vrlo finih zrna, razume se ukoliko ona postoje u mešavini.

Razumljivo je da se pravilnim izborom mesta isticanja — refuliranja *prekida* segregacija, a kombinovanjem se donekle umanjuje njen nepovoljan efekat.

Početne heterogenosti mešavine i segregacija imaju vrlo nepovoljne posledice na kvalitet nasipa koje mogu biti veoma neprijatne⁽¹⁾ ali koje se razlikuju u znatnoj meri — zavise od vrste zemljanog materijala. Proučićemo četiri različita slučaja [II].

2.1. Peskoviti zemljani materijali

Ukoliko se u nasip ugrađuje hidrauličkim putem zemljani materijal razvrstan kao *Sb* ili *Sm*, pa čak *SbL*, *SbA*, *SmL* ili *SmA*⁽²⁾ (što znači zemljani materijal koji sadrži manje od 12% čestica sitnijih od 80 mikrona), korisno je postaviti proseke (rupe) za oticanje vode na obodnim nasipima tako da se sitnije čestice mogu odbaciti izvan nasipa strujanjem vode. Jasno je da ne treba zanemarivati opasnost koja se pri tome javlja od zasipanja ovim česticama prirodnih recipijenata u koje se odvodi voda u cilju obezbeđenja taloženja materijala u nasip. Ako ovaj nedostatak nije takav da onemogućava primenu postupka, potrebno je proseke u obodnom nasipu postaviti na nivou koji je dovoljno nizak da bi se omogućilo povećanje brzine strujanja vode. Može se javiti potreba za povećanjem broja preseka i mesta na kojima se vrši refuliranje — isticanje materijala za nasipanje, kako bi se smanjila dužina isticanja vode strujanjem.

Jasno je da treba onemogućiti stvaranje bara sa vodom u kojima dolazi do taloženja finih čestica, jer se na taj način stvaraju meke zone u kojima kasnije dolazi do diferencijalnih sleganja.

Da bi se izbegle takve zone, moguće je isto tako smanjiti visinu slojeva, jer u takvom slučaju voda brže ističe povlačeći za sobom fine čestice koje struja odnosi do prirodnih recipijenata.

U slučaju da se lako dolazi do dobrih materijala, potrebno je u tehničkim uslovima propisati područje granulometrijskog sastava u kome se moraju nalaziti materijali predviđeni za ugrađivanje u nasip. Područje granulometrijskog sastava mora biti tako određeno da onemogućuje ugrađivanje finih čestica.

2.2. Prašinoviti i glinoviti peskovi

U ovakvom slučaju postaje nemoguće odstraniti celokupnu količinu finih čestica bilo zato što ih je strujanjem vode nemoguće odvući, ili zbog toga što bi zamuljivanje (zatvaranje) prirodnih recipijenata bilo vrlo veliko. Zbog toga je nužno prihvatiti da kvalitet nasipa bude nešto lošiji i da heterogenost u njemu bude nešto opasnije. Pri tom je neophodno uložiti dovoljno truda da se označena heterogenost ublaži komponovanjem segregacije u toku nasipanja. Najčešće se pri tom postiže da se horizontalnoj segregaciji doda segregacija po vertikali. Međutim, na taj način, je moguće ublažiti razlike u sleganju celokupnog masiva, ukoliko se postigne da, integrišući sve slojeve na jednom vertikalnom preseku, dobijemo približno isti procenat dobrih i loših materijala.

⁽¹⁾ Videćemo da neke mogu biti vrlo korisne (osnove od drenirajućih peskova).

⁽²⁾ Videti poglavlje IV.1.2.2.)

2.3. Čvrsti kohezivni zemljani materijali

Kada se vrši iskopavanje čvrstih kohezivnih materijala, oni se javljaju u obliku grudvi, tako da se mešavina za refuliranje sastoji od malo peska, finih čestica u suspenziji sa vodom i grudvi; grudve se talože na mestu refuliranja (isticanja) dok se fine čestice u suspenziji talože znatno dalje od toga mesta. Na mestu deponovanja grudvi postoje šupljine na tako stvorenom brežuljku.; razumljivo je da su te šupljine ispunjene vodom koja u njih deponuje pesak i fine čestice. Na taj način dobija se na vertikali ispod mesta isticanja neka vrsta konglomerata koji se sastoji od čvrstih glinenih loptica, uglavljenih u masu koju čine pesak i meka glina.

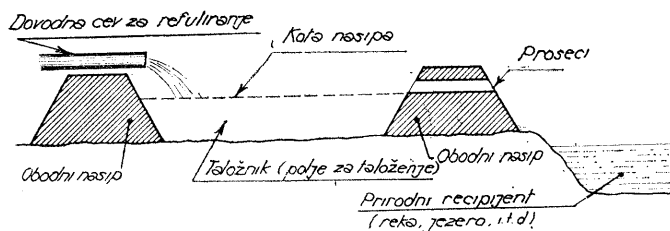
Uostalom, segregacija do koje dolazi pri hidrauličkom transportu ima određeno dejstvo. Na mestu strujanja vode nailazi se na vene od peska koje mogu poslužiti za kasnije dreniranje vode pri konsolidaciji. Na mestima gde je strujanje vode bilo slabo ili ga nije ni bilo, nanosi finih čestica zasićenih vodom stvaraće slaba mesta.

U takvom slučaju poboljšaće se homogenost umnožavanjem broja mesta na kojima se obavlja refuliranje i proseka na obodnim nasipima, tako da se komponuju segregacije i da se u celoj masi stvore vene peska, koje će imati ulogu drena pri konsolidaciji nasipa.

2.4. Meki kohezivni zemljani materijali

Pri iskopu zemljani materijal se potpuno suspenduje u vodi, tako da je taloženje materijala vrlo sporo. U takvim uslovima, ako se želi izbeći gubitak veće količine materijala (što bi imalo za posledicu i značajnije prljanje i zamuljivanje prirodnih recipjenata za vodu), potrebno je transformisati zonu za nasipanje u polje za taloženje — taložnik. Proseci i rupe u obodnom kanalu moraju se postaviti na potrebne visine tako da je moguće isticanje samo čiste vode iz koje su prethodno istaložene fine čestice (slika 1), što znači da moraju biti tačno na koti na kojoj je potrebno završiti nasip.

Razumljivo je da se u takvom slučaju dobija vrlo stišljiv masiv koji će kasnije stvarati potpuno iste probleme kao i pri konsolidaciji stišljivog tla.



Sl. 1

Uopšte uzev, ovaj materijal se ne koristi za izradu pravih hidrauličkih nasipa, već se na ovaj način deponuju nuzproizvodi nastali pri iskopu kojih se želimo osloboditi. Ako se kasnije utvrdi da nedostaju tereni upotrebljivi za urbanizaciju ili za izgradnju industrije, tada se nameće potreba za iskorišćenjem takvih deponija (taložnika), pri čemu se koriste najcelishodnije metode građenja. Često i same organizacije koje obavljaju velike radove na iskopima i refuliranju (investitori velikih pristaništa i sl.) sprovode dugoročnu politiku u tom pravcu. Oni kupuju

poljoprivredne terene male vrednosti na kojima deponuju materijale dobijene iskopom koji, za izvestan broj godina, čine ove terene sterilnim, jer se godinama ne mogu iskorišćavati za potrebe poljoprivrede. Prva konsolidacija nastaje sa vremenom i nedovoljna je da učini teren pogodnim za gradnju. Međutim, visina terena je takva da je on potpuno ili bar skoro izvan vode. U svakom slučaju on je još izložen plavljenju. U trenutku kada se javi potreba za izgradnjom na takvom terenu, ovakve deponije istaloženog materijala postaju interesantne. Pristanišni investitori ih tada mogu preprodati.

Ispod tako nasutog materijala najčešće postoje i drugi stišljivi slojevi te će se najekonomičnija metoda sastojati u dubokom fundiranju objekata (šipovi, bunari i sl.). Pri fundiranju objekata, na ovaj način, zanemariće se nasuti materijal iz nasipa. Problemi će se javiti jedino pri izgradnji puteva i železnica neophodnih za opsluživanje izgrađenih objekata na tom terenu. Njihova izgradnja obaviće se tako što će se delimično ukloniti deo nasutog materijala, što će se konsolidovati preostali deo materijala u nasipu i što će se dovesti i ugraditi materijali zadovoljavajućeg kvaliteta. Može se, međutim, dogoditi da je deponovanje materijala izvršeno na zemljištu dobrog kvaliteta. U takvom slučaju fundiranje će se obaviti na taj način što će se temelji ukopati nekoliko metara, dok se ne dostigne zemljište dobrog kvaliteta. Zbijanje ovih vrsta nasipa retko će se zahtevati.

3. SEGREGACIJA

Videli smo da zbog segregacije pri izradi nasipa hidrauličkim postupkom dolazi do ozbiljnih problema jer ona stvara heterogenosti, a time i veliku opasnost od diferencijalnih sleganja.

Potrebno je napomenuti da u cilju savlađivanja segregacije [III] treba zaustaviti padanje materijala, tako da se slobodno padanje pretvori u vezano [IV]. Na taj način se smanjuje energija koju su zrna dobijala tako da se ona u ovom slučaju talože bez brzine i usled toga se dobija rastresit i loše zbijen pesak. Zbog toga, da bi se smanjila segregacija kada se materijal taloži pod vodom, on se dovodi cevima koje su potopljene u vodu a čije su kote izlaska nešto malo višlje od kota već deponovanog materijala. Budući da je visina pada mala, slobodan transport je ograničen. No, na ovaj način se ne dobija nasip dovoljne gustine (mala visina pada, mala energija). Doduše, segregaciju je moguće eliminisati korišćenjem peska uniformnog granulometrijskog sastava, samo se na takve materijale retko nailazi u prirodi. Suprotno tome, jednom šljunku koji sadrži pesak i oblutke, lakše je sačuvati energiju najkрупnijim zrnima ali se pri tom rizikuje (postoji opasnost) od pojave segregacije, a zbog nje i diferencijalnih sleganja.

4. ZBIJANJE HIDRAULIČKI IZRAĐENIH NASIPA

Jasno je da, u zavisnosti od vrste zemljanog materijala korišćenog za izradu nasipa hidrauličkim postupkom, treba obaviti zbijanje primenom potpuno različitih postupaka. Zbog toga ćemo opisati postupke koje treba primeniti pozivajući se na prethodni član 2.

4.1. Zbijanje peskovitog zemljanog materijala (ili peskovitog materijala koji sadrži malo sitnozrnih čestica)

Mogu se primeniti postupci zbijanja koji koriste uređaje sa vibracionim dejstvom ako materijali sadrže u sebi manje od 25% čestica koje prolaze kroz sito od 100 mikrona i manje od 5% gline.

Potrebno je ipak podsetiti se da u ovakvim nasipima postoji rizik, ukoliko nisu preduzete sve potrebne mere predostrožnosti pa čak, katkad, ako su i preduzete, da se naide na zone u kojima je usled segregacije došlo do akumuliranja stišljivih sitnozrnih čestica. Kao što je navedeno u poglavlju IV.4, uređaji sa vibracionim dejstvom bolje su prilagođeni za zbijanje peskova. Izvestan broj činjenica čini još interesantnijim njihovu upotrebu u prethodnom slučaju.

4.1.1. Ne može se obaviti zbijanje nasipa po uzastopnim slojevima ili pak svaki sloj mora imati znatno veću debljinu od one koja se najčešće preporučuje pri zbijanju. Često će biti neophodno zbijati slojeve debljine bar 1 m, a vrlo često 2 ili 3 m.

Nikakav drugi uređaj osim teškog vibracionog valjka ne može obavljati zbijanje na takvim dubinama. Uz to, teški vibracioni valjci mogu to obavljati samo pri izvesnim uslovima, koji se često susreću kod ovakvih nasipa.

4.1.2. Pesak je najčešće ili potpuno zasićen ili blizak zasićenju vodom; zbijanje se prema tome mora obavljati uz istiskivanje vode. Primer sa zbijanjem betona pokazuje da su jedino vibracioni postupci u stanju da postignu to istiskivanje.

4.1.3. Ovo zasićenje vodom izgleda nam da omogućava bolje prenošenje vibracije; moguće je da voda između zrna prenosi znatno bolje pritiske od vibracije nego kontakti između zrna. U svakom slučaju čini nam se da su dubine postignutog zbijanja znatno veće kod jednog vodom zasićenog peska nego kod peska sa manjom vlažnošću.

4.1.4. Videli smo u poglavlju IV.4.3.5. da se peskovi u suvom stanju vrlo dobro zbijaju jer su bez kohezije. Pošto je kohezija jednaka nuli i kod vodom zasićenih peskova, to je i zbijanje ove vrste zemljanih materijala takođe efikasno pri visokim vlažnostima ukoliko se obezbede uslovi za efikasno oticanje vode.

4.1.5. Iskustvo je stvarno dokazalo da se može obaviti zadovoljavajuće zbijanje korišćenjem teških vibracionih valjaka. Sistematski sprovedena ispitivanja koja su obavili Daglas (Douglas), Moroz (Moorhouse) i G. Beker (Baker) [I] pokazuju: sa vibracionim valjkom od 10 t i frekvencijom od 25 do 30 Hz, moguće je postići prihvatljivu zapreminsku težinu u suvom stanju do dubine od 3 m.

4.1.6. Kontrola. Teško je primeniti uobičajene metode za merenje zapreminske težine u suvom stanju jer ih je potrebno meriti na velikim dubinama, što iziskuje obimne pripreme radove; neke od metoda su praktično neizvodljive ako je nasip u nivou podzemne vode.

U inostranstvu se često vrše opiti penetracije (standardni penetracioni opit) uz korišćenje korelacija — više ili manje čvrstih — između broja primenjenih udaraca pri opitu i indeksa gustine definisanog u poglavlju I.1.2.9.

U Francuskoj se može primenjivati ovaj opit koga izvode neki projektantski biro, ili penetrometrija odnosno presiometri. Na taj način se neće dobiti tačna predstava o gustinama izražena cifarski ali se zato može dobiti izvesno obaveštenje o nosivosti nasipa ili, tačnije, o nosivosti različitih slojeva nasipa. Uvek je moguće upoređivati ovu nosivost s težinom nasipa koja se nalazi ispod i na taj način steći izvesnu predstavu o njegovom držanju.

4.1.7. Specijalne metode. U nekim slučajevima pri izgradnji brana koristi se postupak koji su ruski tehničari primenili pri izgradnji Asuanske brane. On se sastoji u ugrađivanju krupnih kamenih komada u vidu skeleta i u njihovom ispunjavanju hidrauličkim postupkom nasipanja; potom se vibriranjem ubrzava silaženje peska u skelet.

4.2. Zbijanje hidrauličkih nasipa od sitnozrnih materijala

Ne radi se više toliko o samom zbijanju već o konsolidaciji koju je potrebno ubrzati različitim postupcima (peščani šipovi, vibroflotacija, eksplozivi, itd.).

U stvari, postupak izrade hidrauličkih nasipa daje nasipe koji su *nedovoljno konsolidovani* ili normalno konsolidovani. U takvom masivu postoje znatne opasnosti od velikih i diferencijalnih sleganja.

U vezi sa postupcima konsolidacije pogledati sledeći Aneks-II.

5. ZAKLJUČAK

Iako su do skora relativno malo korišćeni u Francuskoj pri izradi donjeg stroja puteva i aerodromskih pista, nasipi izrađeni hidrauličkim postupkom se normalno koriste za potrebe drugih tehnika a takođe i u nekim drugim zemljama.

Ovaj postupak može katkad biti vrlo interesantan za izvesne oblasti zemlje pri izradi nasipa manje visine. Zbijanje takvih nasipa ne sme se zanemarivati.

BIBLIOGRAFIJA UZ ANEKS I

- [I] C. DOUGLAS, MOORHOUSE ET Gerald BAKER: *Compactage de sable par un cylindre vibrant lourd*; revue: Journal of the soils mechanics and foundation division, juillet 1969, traduction O.T.R. Rouen.
- [II] Robert V. WHITMAN: *Hydraulic fills to support structural loads*; Revue: Journal of the soils mechanics and foundation division, janvier 1970.
- [III] Sergey STEUERMAN et W. A. FLYNN: *Intervention et commentaires sur l'article précédent*.
- [IV] G. ARQUIE: *Ségrégation des granulats*, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, n° 50.

ANEKS II

PROBLEMI KONSOLIDACIJE

Katkad se javlja potreba za „konsolidovanjem” masiva na kome je potrebno fundirati neki objekat ili nasip, bez obzira da li je taj masiv nastao prirodnim putem ili je stvoren veštački — hidrauličkim postupkom nasipanja — zbog čega su mu karakteristike takve da je nemoguće utvrditi granulometrijski sastav uobičajenim postupcima (videti Aneks I, članovi 2.2, 2.3 i 4.2).

1. DEFINICIJA

Pod *konsolidacijom* jednog tla zasićenog vodom pod izvesnim pritiskom podrazumeva se fenomen zgušnjavanja zrna koji nastaje pri *istiskivanju* — *oticanju vode*. Ovo zgušnjavanje je praćeno značajnim poboljšavanjem mehaničkih karakteristika materijala, ali je istovremeno praćeno i značajnim promenama zapremine pa, u vezi s tim, i znatnim sleganjima tla, vrlo promenljivim od mesta do mesta jer su promenljive i debljine stišljivih slojeva, njihove zapreminske težine u suvom stanju i njihove vlažnosti. Ova znatna diferencijalna sleganja mogu dovesti do poremećaja i oštećenja objekata izgrađenih preko takvih terena ili u kolovoznim konstrukcijama odnosno nasipima izrađenim preko takvih zemljišta.

2. PRIMARNA I SEKUNDARNA KONSOLIDACIJA

Fenomen konsolidacije moguće je rastaviti na tri faze:

2.1. Prva faza

Prva faza počinje pojavom spoljnog pritiska na masiv. Nju karakteriše brzo povećanje unutrašnjeg pritiska između čestica; zapremina istisnute vode iz zemljanog materijala u toku ove prve faze manja je od smanjenja zapremine nastale

usled sleganja masiva; razlika između ove dve promene masiva javlja se kao posledica zbijanja vazduha sadržanog u tlu i rastvaranja tog vazduha u vodi. U stvari tlo nije nikad potpuno zasićeno vodom i uvek ostaje nešto malo vazduha.

2.2. Druga faza

Drugu fazu karakteriše sporo smanjenje unutrašnjeg pritiska između zrna. Dolazi do obrnutih fenomena u odnosu na one u prvoj fazi, što znači da je promena zapremine masiva manja od zapremine istisnute vode: razlika proizilazi iz širenja vazduha i smanjenja koncentracije vazduha rastvorenog u vodi.

Ovaj fenomen je spor jer je vodi potrebno vreme za isticanje, ali je u odnosu na vreme potrebno u narednim fazama relativno brzo. Uz to, izvesni postupci na koje ćemo se kasnije vratiti mogu ubrzati oticanje vode.

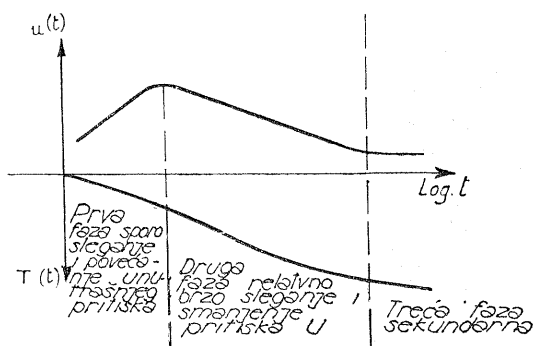
2.3. Treća faza ili sekundarna konsolidacija

Prva i druga faza, a naročito druga, predstavljaju primarnu konsolidaciju.

Sekundarnu konsolidaciju karakteriše vrlo spora promena zapremine, koja se progresivno smanjuje, u toku koje je unutrašnji pritisak između zrna obično neznatan (samo u slučaju ako su indeks gustine i stepen zasićenja već visoki tako da se ova faza može odvijati sa vrednostima unutrašnjeg pritiska koje nisu zanemarljive).

2.4. Što je zemljani materijal gušći (zbijeniji) i zasićeniji vodom, kraća je prva faza; konačno, pri stepenu zasićenja jednakom 100% prva faza bi imala beskonačno kratkotrajno vreme konsolidacije.

Ako se nanese na apscisu vreme u logaritamskoj razmeri, a na ordinatu unutrašnji pritisak — s jedne strane — a s druge strane sleganje, dobija se slika 1.



Sl. 1 — Različite faze konsolidacije

Potrebno je napomenuti da heterogenosti u samom masivu mogu znatno komplikovati fenomen. U stvari, delovi masiva bliski drenaži (tj. sloju vodopropustljivog zemljanog materijala) mogu vrlo brzo ući u treću fazu, dok ostali delovi terena ostaju u drugoj fazi.

3. PUTNI PROBLEMI KOJE IZAZIVA KONSOLIDACIJA

Najpoznatiji od ovih problema javlja se pri izradi *nasipa na stišljivom tlu*. Nastaje pri izgradnji nasipa na terenu koji u svojoj osnovi (nižem delu) sadrži jedan ili više slojeva od materijala kao što su meka glina, nedovoljno konsolidovana prašina, treset, itd. Problem na koji se tom prilikom nailazi je dvostruk jer je neophodno izbeći lom masiva od stišljivog tla koji bi istovremeno izazvao i lom nasipa, s jedne strane, i odložiti izradu kolovozne konstrukcije na nasipu sve dok se ne obavi najveći deo sleganja; na taj način će rezidualna sleganja biti dovoljno mala, čime će se onemogućiti pojava ozbiljnijih oštećenja na kolovoznoj konstrukciji.

Problem izrade nasipa na stišljivom zemljištu nije jedini sa kojim se susreće stručnjak za puteve. Može mu se postaviti u zadatak da uspostavi nasipe izradene hidrauličkim putem koji, zbog vrste deponovanih materijala, mogu i sami biti stišljivi. Problemi su u takvom slučaju isti, nešto komplikovaniji zbog činjenice što su mekši materijali zemljani materijali bliži kolovoznoj konstrukciji.

4. POSTUPCI KONSOLIDACIJE

Prvi postupak koji se može primeniti sastoji se u dovoljno dugom čekanju da se zemljište samo po sebi konsoliduje. Na kraju aneksa I utvrdili smo da investitori za pristaništa primenjuju ovo rešenje u taložićima — terenima za deponovanje refuliranog materijala lošeg kvaliteta.

Ekonomski zahtevi našeg doba iziskuju od inženjera da poboljša ove procese. Ukratko ćemo prikazati nekoliko metoda koje se najčešće koriste.

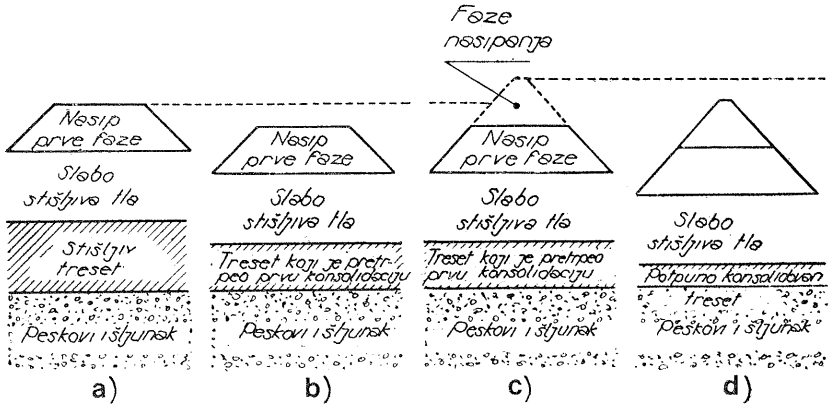
4.1. Nasip za opterećenje

Najčešće se koristi postupak koji se sastoji u opterećivanju zemljišta (tla) nasipom koji se tako sračunava da ne izazove smicanje stišljivog sloja ili slojeva, ostavljajući da on dovoljno dugo deluje na zemljište svojom težinom. Po potrebi, ukoliko je stišljivo zemljište već bilo delimično konsolidovano i u stanju je da nosi nasip veće visine, ono se ponovo opterećuje radi ubrzanja konsolidacije.

Može se dogoditi da je radi postizanja željene konsolidacije neophodno izgraditi nasip veće visine od stvarno potrebne.

Navešćemo, primera radi, postupak izgradnje nasipa preko rečne doline Turvil-la-rivier (Tourville-la-Riviere) za potrebe auto-puta A 13. Nasip je bio izgrađen u dve faze sa periodom prekida (odmora) od nekoliko meseci radi omogućavanja konsolidacije. Nasip je bio završen dve godine ranije od predviđenog vremena za izgradnju auto-puta, kako bi se omogućilo da se u tom periodu završi konsolidacija. U obe faze regulisane su visine nasipa tako što je vođeno računa o sračunatim sleganjima.

U vreme izgradnje auto-puta bile su neophodne samo manje intervencije na nasipu radi usaglašavanja stvarnih sleganja sa određenim računom (razlike su bile neznačajne). Različite faze rada prikazane su na slici 2.



- Prva faza: izrada prvog dela nasipa smanjene visine.
- Druga faza (kraj druge faze): ostavlja se stišljivo tlo da se konsoliduje, nasip se spušta, tlo se poboljšava.
- Treća faza: izrada nasipa se produžava do visine koja obezbeđuje projektovanu kotu nasipa po izvršenom sleganju stišljivog tla (t) uz izradu nadvišenja). Budući da je se tlo poboljšalo u toku prethodnih faza, u stanju je sada da nosi ceo nasip.
- Četvrta faza (kraj četvrte faze): ostavlja se stišljivo tlo da se konsoliduje, nasip se spušta do predviđene kote, tlo u osnovi nasipa se poboljšava. U tom trenutku je moguća izrada kolovozne konstrukcije.

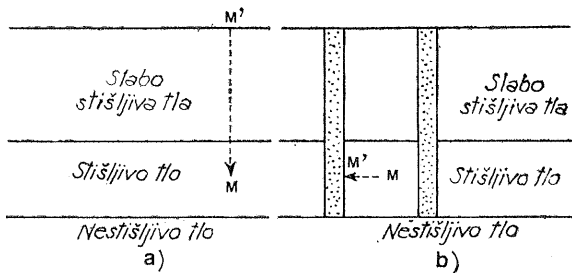
Sl. 2 — Konsolidacija stišljivog sloja prethodnim opterećenjem

4.2. Peščani šipovi

Nedostatak prethodno opisanog postupka je u tome što je dugotrajan, zbog čega je radeno na njegovom usavršavanju, poboljšanjem odvođenja vode pomoću peščanih šipova.

Ti šipovi se rade pre izgradnje nasipa za opterećenje. U tu svrhu se vrši iskop vertikalne rupe pomoću sredstva za sondiranje (npr. „Hammer-crab”); najčešće je neophodno oblaganje bušotine obložnom cevi. Bušotina se potom ispunjava peskom, uz istovremeno izvlačenje obložne cevi. Na taj način se dobija vertikalni dren.

Pod pojmom poboljšanje sleganja podrazumeva se da je put za odvođenje vode (dreniranje) znatno skraćen (slika 3), što iziskuje povećanje broja šipova.



- Bez peščanih šipova, put dreniranja između jedne srednje tačke (tačka M je u sredini sloja) je površina MM' .
- Sa peščanim šipovima, put dreniranja, između jedne srednje tačke (tačka M je u sredini razmaka između dva šipa) i drenaže je MM' .

Sl. 3 — Da bi se skratila dužina odvodnjavanja, mora se predvideti dovoljan broj peščanih šipova

Da bi se stišljivi sloj doveo u stanje u kome je njegova vodopropustljivost u horizontalnom smislu veća od vodopropustljivosti u vertikalnom smislu, potrebno je mnogo truda i para. Slučaj nije redak u praksi. Pre nego što je opišemo, poželjno je zapitati se da li je metoda pešćanih šipova stvarno interesantna sa tehničkog stajališta: ukoliko je potreban broj šipova stvarno veliki, vreme potrebno za njihovo ugrađivanje (realizaciju) može biti istog reda veličine kao i vreme koje će se uštedeti na konsolidaciji. Uopšte uzev, na celom poslu uštedeće se vrlo malo vremena i to uz velike izdatke.

Podsećamo, pored toga, da pešćani šipovi nisu dovoljni za postizanje konsolidacije. Potrebno je uz to opteretiti zemljište (teren) da bi se ono stavilo pod pritisak i na taj način stvorio unutrašnji pritisak između zrna.

Upozoravamo na to da se često, radi povećanja efikasnosti postupka, pri izvlačenju cevi pesak izlaže pritisku koji ga zbija utiskujući ga u okolno zemljište; na taj način se zbija okolno zemljište, a mešanjem peska s okolnim zemljanim materijalom poboljšavaju se vrlo loše geomehaničke karakteristike prvobitnog zemljanog materijala.

4.3. Metoda drvenih šipova

Za konsolidaciju rastresitih peskova korišćen je postupak koji se sastojao u utiskivanju drvenih šipova u stišljivo tlo, koji su za veličinu svoje zapremine zbijali zemljište izazivajući na taj način njegovu konsolidaciju, pod uslovom da je obezbeđena mogućnost oticanja vode [IV]. Na ovaj način se izbegava potreba za izradom nasipa u cilju opterećenja. Da ne bi trulili, šipovi moraju biti u celini ispod nivoa podzemne vode. Deo rastresenog (nezbijenog) peska koji se nalazi iznad nivoa podzemne vode zbija se postupcima sa površine.

Prednost ove metode sastoji se u tome što je mogu primenjivati i nespecijalizovana preduzeća, što nije slučaj sa metodama pri kojima se menjaju pešćani šipovi ili vibroflotacija. Broj šipova određuje se proračunom na osnovu zapreminskih težina materijala u suvom stanju na licu mesta i predviđenih projektom.

4.4. Vibroflotacija

Ovim imenom se označava postupak za postizanje konsolidacije rastresitih peskova (peskova male gustine), pri kome se zbijanje postiže pomoću velikog vibratora uvučenog u pešćanu masu. Uvlačenje vibratora obavlja se kombinovanim dejstvom težine vibracionog uređaja, vibracije i mlaza vode pod visokim pritiskom. Kada vibrator dostigne predviđenu dubinu, zaustavlja se dotok vode i lagano izvlači uređaj koji tom prilikom vrši zbijanje zemljanog materijala horizontalno. Smanjenje zapremine tla koje se ostvaruje na ovaj način nadoknađuje se dovlačenjem materijala sa strane, čiji je granulometrijski sastav tako odabran da može poboljšati prvobitni granulometrijski sastav peskovitog materijala.

Dobiveni rezultati katkad su spektakularni: uspevalo se sa dodavanjem materijala u količinama do 25% od prvobitne zapremine, a na taj način konsolidovano zemljište moglo je trpeti pritiske (raditi) do 5 pa čak i 7 kp/cm². Diferencijalna sleganja su potpuno otklonjena; ugao unutrašnjeg trenja se povećavao katkad do 40°.

Na način kako je opisan, postupak se može koristiti samo za zemljane materijale koji ne sadrže frakcije sa zrnima krupnijim od 150 mm, i koji ne sadrže više od 15% sitnih frakcija (dimenzije ispod 80 mikrona. Ovi postupci se mogu primenjivati za konsolidaciju drugih materijala korišćenjem vibratora drugog tipa. Postupak vibroflotacije može se koristiti isto tako i za materijale koji sadrže fine frakcije zahvaljujući izvesnom dodatku na uređaju koji modifikuje postupak zbijanja. U stvari, nemoguće je koristiti prethodno opisane postupke jer se horizontalne vibracije proizvedene u tlu ne šire dalje ili se vrlo loše šire u sitnozrnim zemljanim materijalima. U takvom slučaju postupa se na sledeći način: vibracioni uređaj upotrebljen bez vibracija spušta se do usvojene dubine, gde zbija zemljište stvarajući sebi mesto. Potom se potpuno izvlači iz rupe koja se, zahvaljujući koheziji materijala i neinjektiranju vode, ne zatvara tako da se u nju ubacuje agregat krupnoće 20/80 mm. Zatim se vibrator ponovo spušta u rupu ali ovog puta uz vibracije. On izaziva sleganje ubačenog materijala uz istovremeno utiskivanje materijala u zidove rupe koje zbija menjajući njihovu strukturu. Vibrator se zatim izvlači, ponovo izručuje novodovežen materijal i ponavlja opisani postupak, stvarajući na taj način oko vertikale napadnih mesta vibratora vrlo jako sabijen skelet.

Nećemo se upuštati u detaljnije opisivanje uređaja za zbijanje jer se to nalazi u literaturi [1].

Reći ćemo nekoliko reči o metodama kontrole koje treba koristiti.

a) Kontrola a priori u toku obavljanja radova

Obavljaju se različite provere dobrote i ispravnosti funkcionisanja uređaja, uslova rada, itd., ali postoji i jedan istinski postupak merenja u toku rada koji se sastoji u merenju količina materijala doveženih sa strane u toku zbijanja i ubačenih u zemljani masiv čiju je gustinu potrebno povećati. To merenje je vrlo jednostavno; ono je bitno i mora biti povezano sa merenjem sleganja terena (na površini). Celina ova dva merenja omogućava sračunavanje redukcije zapremine materijala koji je prvobitno činio masiv i, ukoliko je bila poznata njegova prvobitna zapreminska težina u suvom stanju, omogućava određivanje novodobivene zapreminske težine u suvom stanju.

Najzad, vrlo je korisno, ako ne i nužno, meriti intenzitet električne energije koju je utrošio vibrator u toku postupka zbijanja. Ova metoda se zasniva na ideji koja je prilično analogna onoj u vezi sa kompaktometrom (uređajem za merenje zbijanja), samo ovde utrošena energija pri zbijanju raste sa postignutom zapreminskom težinom u suvom stanju. Ova metoda je naročito pogodna za peskove; uz to je neophodno da se za svaki zemljani materijal nacrtta odgovarajuća linija za baždarenje.

b) Kontrola a posteriori — po završenom poslu

Kao i za zbijanja u putogradnji, moguće je primenjivati merenja zapreminske težine ili mehaničke opte. No, vodeći računa o osnovnom cilju ovih postupaka obrada masiva od rastresitih peskova ili mekih finozrnih zemljanih materijala, tj. o poboljšanju nosivosti masiva, treba primenjivati radije mehaničke metode.

Merenja zapreminskih težina, u ovom specifičnom slučaju, čine nam se delikatnim. Može se s pravom očekivati da će progres u metodama ispitivanja s radioaktivnim izotopima omogućiti merenja na zadovoljavajući način.

Merenja opterećenjem površine stvaraju vrlo delikatne probleme u vezi s interpretacijom. Poželjno je da se takvi opiti obavljaju samo pločama velikog prečnika i na izvesnoj dubini (npr. 1 m) ispod površine na kojoj treba graditi. Zahvaljujući tim merama predostrožnosti, postoji mogućnost da se ispitivanjem obuhvati masiv na većoj dubini, tamo gde se želelo obavljanje njegove konsolidacije, i na taj način izbegne merenje karakteristika površinskog sloja. Za interpretaciju rezultata opita treba konsultovati stručnjake iz oblasti mehanike tla.

Sondaže penetrometrom su vrlo primamljive. Poznate su, nažalost, teškoće koje se javljaju pri interpretaciji rezultata, naročito ako vrh penetrometra naiđe na krupniji komad kamena ili na stenu. To se događa pri konsolidaciji sitnozrnog tla vibroflotacijom, jer se u takvom slučaju u sitnozrni materijal ubacuju krupni elementi radi formiranja skeleta. Međutim, opiti penetrometrom koriste se u sve većoj meri, a naročito ih koriste laboratorije za utvrđivanje mehaničkih karakteristika sitnozrnih zemljanih materijala. Može se s pravom očekivati da će metode interpretacije postajati postepeno sve sigurnije.

Ista neizvesnost postoji i u pogledu merenja *presiometrom*. Mnogo manje se strahuje, bez sumnje, od prisustva krupnijih komada kamena jer se opit presiometrom modifikuje radi prilagodavanja takvom slučaju.

Brojne su laboratorije koje paralelno koriste više metoda, a naročito penetrometar i presiometar; upoređujući ova dva postupka postiže se veća verovatnoća da će se realizovati bolje i prihvatljivije predviđanje stvarne nosivosti masiva⁽¹⁾ posle konsolidacije.

4.5. Korišćenje eksploziva

Metoda se sastoji u postavljanju eksploziva u tlo koje treba konsolidovati pri paljenju eksploziva. Na taj način stvara se u tlu šupljina i time zbija okolno tlo; ono se uz to momentano i fluidificira što omogućava zgušnjavanje. Razumljivo je da se nastale šupljine u tlu ispunjavaju kasnije padom (spuštanjem) materijala koji su postavljeni iznad tla [II].

Ovaj postupak je primenljiv samo kod zemljanih materijala bez kohezije (rastresiti peskovi).

4.6. Upoređenja

Prikazaćemo rezultate dobijene ispitivanjima u Kaliforniji [III] na jednom istom rastresitom pesku. Na sledećoj tablici izvršeno je upoređenje dve metode; navedene cene važe samo u SAD.

⁽¹⁾ Potrebno je napomenuti da je *nosivost*, striktno posmatrano, moguće odrediti samo na osnovu poznavanja karakteristika i vrste objekta predviđenog za izradu i karakteristika zemljanog materijala u njegovoj osnovi. U oblasti putogradnje radiće se o nasipu i kolovoznoj konstrukciji. Pojam nosivost upotrebljen u ovom slučaju ima široko i opšte značenje koje je dovoljno za ovaj rad.

Prema Mileru (Miller) i Luisu (Lewis) [IV] metoda konsolidacije primenom drvenih šipova znatno je jevtinija. U primeru koga su analizirali, komparativni troškovi izraženi u dolarima bili bi 120 000 s peščanim šipovima, 230 000 s vibroflotacijom, a samo 68 000 s drvenim šipovima.

Cene koštanja dobijene u SAD upoređenjem peščanih šipova i postupka vibroflotacije

Indeks gustine izražen (u %)	Postupak zbijanja	Potreban razmak između mesta obrade (u metrima)	Cene koštanja u dolarima po kubnoj jardi zbijenog peska (u 1967. g)
70	Vibroflotacija	2,10	2,80
	Peščani šipovi	1,05	3,70
75	Vibroflotacija	1,80	3,90
	Peščani šipovi	0,90	5,00

BIBLIOGRAFIJA UZ ANEKS II

- [I] R. A. ARIMAS: *Consolidation des sols par vibration*, Revue Construction, octobre 1968 et juillet—août 1969.
- [II] Ch. DAMITIO: *La consolidation des sols sans cohésion par explosion*, Revue Construction, mars 1970—septembre 1970.
- [III] C. E. BASORE ET J. O. BOITANO: *Compactage des sables pour pieux et par vibroflotation*, Revue Journal of the soils mechanics and foundation division, novembre 1969.
- [IV] Eugène A. MILLER et Lyle E. LEWIS: *Intervention sur l'article précédent*, Revue Journal of the soils mechanics and foundation division, septembre 1970.

ANEKS III

TEORIJSKE CENE KOŠTANJA PO ČASU RADA

U prilogu smo dodali našem radu ovaj aneks jer smatramo da se utvrđivanje jedne ovakve cene može obaviti primenom različitih koncepcija, što dovodi do znatnih razlika, i da ova koju prikazujemo (koju nam je prezentirao jedan proizvođač uređaja za zbijanje) nije jedina.

Uz to, po ovom pitanju, kao i kod drugih tehničkih problema, brojni su činioци i interakcije koje utiču, tako da ih nije moguće uvek sve jasno sagledati.

Tako su troškovi eksploatacije (videti raniji tekst) funkcija uslova korišćenja. Oni znatno variraju od slučaja do slučaja zavisno od toga da li izvođač radova (preduzimač) poštuje ili ne poštuje periodičnost u postupcima održavanja, promene ulja, podmazivanja, itd., da li obezbeđuje korektno preventivno održavanje ili ne, da li je vozač uvek isti ili se često menja, da li je vrlo kvalifikovan za taj posao ili osrednje, kao i zavisno od uslova na gradilištu (prašina, vrsta zemljanog materijala, nadmorska visina, vrsta posla, temperatura, itd.). Osim toga, pobrojani različiti činioци utiču jedni na druge: kvalitet optimalnog preventivnog održavanja najverovatnije nije isti ukoliko jedan uređaj često radi u prašini i obrnuto — ako se često upotrebljava za rad u blatu.

Zbog toga je vrlo teško dati precizne okvire, a još teže upotrebljive cifarske vrednosti.

Razdelićemo teorijske cene koštanja po času rada na dve pozicije: amortizaciju i eksploataciju, uzimajući za primer samohodni valjak sa gumenim točkovima težine 25 tona, sa sedam točkova u kojima je moguće menjati unutarnji pritisak od 1,5 do 10 kp/cm² (cene iz jula 1968. god.).

1. Amortizacija

Nabavna cena bez poreza	168 920,00
Cena jednog kompleta guma 1200 × 24 × S	— 6 269,62
Cena bez poreza i bez guma	<hr/> 162 650,38

Amortizacija uređaja računajući vek trajanja od 10 000 časova	16,265	
Amortizacija guma (vek trajanja ceni se na 2 000 časova)	3,135	
Interes za uloženi novac za nabavku, računajući 6% godišnje, za prosečan vek trajanja od 10 godina	9,759	
Ukupno za poziciju 1	29,159	29,159

2. Troškovi eksploatacije:

Gorivo: 0,180 kg/KS/čas × 60% × 145 KS × × 0,16 m	4,520	
Motorno ulje:		
$\frac{13 \text{ litara}}{100 \text{ čas.}} \times 2,294 \text{ F}$	0,298	
Ulje za menjač i diferencijal:		
$\frac{26 \text{ litara}}{500 \text{ čas.}} \times 3,34$	0,174	
Diferencijalno ulje zadnjih točkova:		
$\frac{9 \text{ litara}}{2000 \text{ čas.}} \times 2,504 \text{ F}$	0,0113	
Ulje bočnih reduktora:		
$\frac{2 \times 3 \text{ litra}}{500 \text{ čas.}} \times 2,504 \text{ F}$	0,0305	
Ulje za hidraulik:		
$\frac{1 \text{ litar}}{100 \text{ čas.}} \times 1,47$	0,0147	
Mast za podmazivanje po 3 F/kg	0,150	
Akumulatori:		
$2 \times \frac{830}{5 000}$	0,332	
Filter za ulje:		
$\frac{1}{200 \text{ čas.}} \times 103,13 \text{ F}$	0,516	
Filter za vazduh:		
$\frac{2}{500 \text{ čas.}} \times 223,06 \text{ F}$	0,892	
Filter za konvertizer:		
$\frac{1}{200 \text{ čas.}} \times 346$	1,730	
<i>Opravka:</i>		
Rad i rezervni delovi za zamenu 40% od troškova amortizacije	6,506	
Plate osoblja: Plata vozaču, uključujući i socijalno osiguranje 7 F	7,000	
Ukupno za poziciju 2	22,1745	22,1745
Ukupni troškovi (poz. 1 i 2)		51,3335
Zaokruženo na		51,333

