UDK-UDC 05:624; YU ISSN 0017-2774

LJUBLJANA, MAREC–APRIL 1987, LETNIK XXXVI, str. 49–84

GRADBENI VESTNIK

3-4

SILOSI – LUKA KOPER
IZVAJALEC GIP GRADIS

ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15

ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Erjavčeva 15

organizira v jesenskem obdobju

PRIPRAVLJALNE SEMINARJE ZA STROKOVNE IZPITE IZ GRADBENIŠTVA

- od 21. do 25. septembra 1987
- od 19. do 23. oktobra 1987
- od 16. do 20. novembra 1987
- od 14. do 18. decembra 1987

PRIPRAVLJALNI SEMINAR ZA STROKOVNE IZPITE EKONOMISTOV, KI DELAJO NA PODROČJU INVESTICIJ

- od 16. do 18. septembra 1987

Cena seminarja za enega udeleženca je:

- za gradbenike = 50.000 din
- za ekonomiste = 40.000 din

Prijave sprejema Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon 061/221 587

GRADBENI VESTNIK

GLASILO ZVEZE DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE
ŠT. 3-4 ● LETNIK 36 ● 1987 ● YU ISSN 0017-2774

VSEBINA-CONTENTS

Članki, študije, razprave
Articles, studies, proceedings

Ivan Lesjak, Gorazd Strniša, Edvard Ravbar, Vladimir Grobler, Edvard Štok
GLOBOKO TEMELJENJE S PREDNAPETIMI ARMIRANOBETONSKIMI SEGMENTI 50

Gorazd Strniša, Ivan Lesjak
DOLOČITEV STATIČNE NOSILNOSTI KOLOV Z ANALIZATORJEM ZABIJANJA — PDA (PILE DRIVING ANALYZER) 55
STATIC BEARING CAPACITY OF PILES FROM DYNAMIC MEASUREMENTS

Gorazd Strniša, Ivan Lesjak
KONTROLA ZVEZNOSTI PREČNEGA PREREZA KOLOV 59
INTEGRITY CONTROL OF PILES GROSS SECTION

Gorazd Strniša, Ivan Lesjak
METODA »CAPWAPC« KOT ALTERNATIVA KLASIČNI STATIČNI OBREMENILNI PREIZKUŠNJI 64
CAPWAP/C METHOD LIKE ALTERNATIVE STATIC LOAD TEST OF PILES

Vukašin Ačanski, Viktor Markelj
PADEC SILE V KABLIH ZARADI ZAPOREDNEGA NAPENJANJA KABLOV 69

Marko Žontar
RAZVOJ MALEGA FINIŠERJA ZA POLAGANJE ASFALTA — F 0710 75
DEVELOPMENT OF SMALL FINISHER FOR ASPHALT PLACING F 0710

In memoriam

Dipl. ing. Henrik Čmak 79

Informacije Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij
Proceedings of the Institute for material and structures research Ljubljana

Jakob Šušteršič, Stane Urbančič
NAMEN RAZISKAV STRANSKIH PRITISKOV SVEŽEGA BETONA NA OPAŽE 81

Glavni in odgovorni urednik: SERGEJ **BUBNOV**
Tehnični urednik: DANE **TUDJINA**
Lektor: **ALENKA RAIČ**
Uredniški odbor: FRANC **ČAČOVIČ,** VLADIMIR **ČADEŽ,** JOŽE **ERŽEN,** IVAN **JECELJ,** ANDREJ **KOMEL,** STANE **PAVLIN,** JOŽE **ŠČAVNIČAR,** BRANKA **ZATLER-ZUPANČIČ**

Revijo izdaja **Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije**, Ljubljana, Erjavčeva 15, telefon 221 587. Tek. račun pri SDK Ljubljana 50101-678-47602. Tiska tiskarna Tone Tomšič v Ljubljani. Revija izhaja mesečno. Letna naročnina skupaj s članarino znaša 2000 din, za upokojence in študente 1000 din, za podjetja, zavode in ustanove 20.000 din, za inozemstvo 50.00 US dolarjev. Revija izhaja ob finančni podpori Raziskovalne skupnosti Slovenije, Splošnega združenja gradbeništva in IGM Slovenije, Zveze vodnih skupnosti Slovenije, Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana in Fakultete za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo.

Globoko temeljenje s prednapetimi armiranobetonskimi segmenti

UDK 624.154+691.32

IVAN LESJAK, GORAZD STRNIŠA,
EDVARD RAVBAR, VLADIMIR GROBLER,
EDVARD ŠTOK

1.0. UVOD

Globoko temeljenje na koleh zahteva preudarno uporabo izkušenj in hkrati znanstveni pristop k reševanju problemov, ki se pojavijo pri odločitvi o temeljenju objekta na slabo nosilnih tleh.

Tako je v petih letih razvojna služba z raziskovalno enoto, GIP GRADIS, Ljubljana, razvila sistem globokega temeljenja s prednapetimi armiranobetonskimi segmenti velikega in malega premera ter razvojni dosežek ob uporabi nekajletnih izkušenj in znanstvenih dognanj prenesla v prakso.

Številna priznanja na razstavah inovacij: Inovacijska veriga 84, Rast YU 84, EXPO 85 in Inovator leta 85 so potrdila pravilno začrtano smer razvoja in dale spodbudo Gradisovim raziskovalcem, da se z izpopolnjeno opremo za vgrajevanje segmentov in kontrolo nosilnosti kolov z valovno analizo uvede **»sistem globokega temeljenja GRADIS«.** Le-ta predstavlja kompletno projektno in izvedbeno tehnologijo globokega temeljenja objektov na slabo nosilnih tleh.

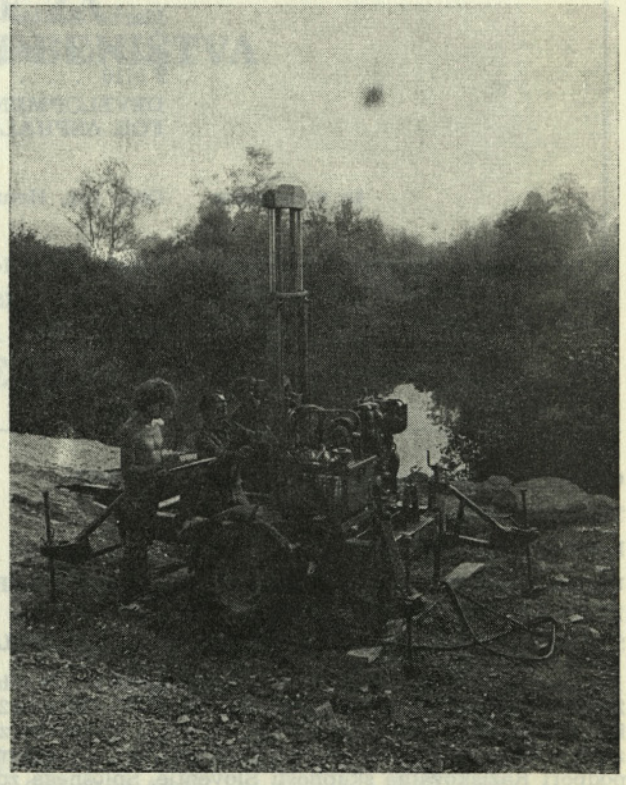
Sistem globokega temeljenja GRADIS predstavlja v primerjavi z ostalimi postopki izvedbe globokega temeljenja stroškovni in časovni prihranek. Industrijska izdelava, majhna teža, sestavljivost, velika nosilnost, korozijska obstojnost, znana kakovost pred vgradnjo ter kontrola nosilnosti in zveznosti med vgradnjo kola so zagotovilo za kakovostno in ekonomično izvedbeno temeljenje bodočega objekta.

2.0. PROJEKTIRANJE SEGMENTOV

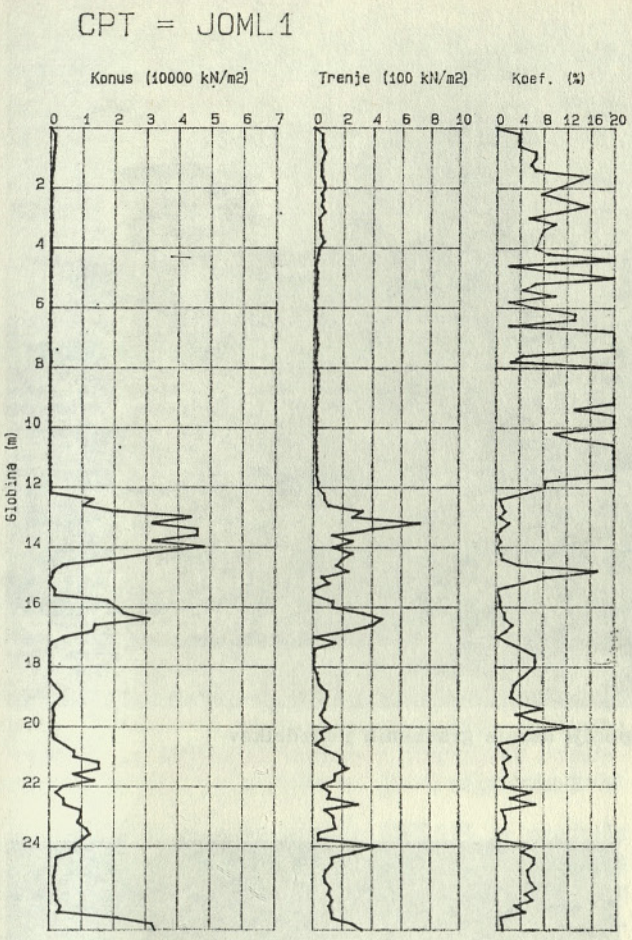
Za optimalno projektiranje temeljenja potrebuje projektant v fazi izdelave projekta podatke oziroma napoved o predvideni nosilnosti kola in napetostno stanje vzdolž kola med zabijanjem — vgrajevanjem, ki ga določimo z analizo zabijanja.

Na podlagi teh podatkov se projektant odloči o potrebni dolžini in številu kolov ter določi osnovne karakteristike kola oziroma segmenta.

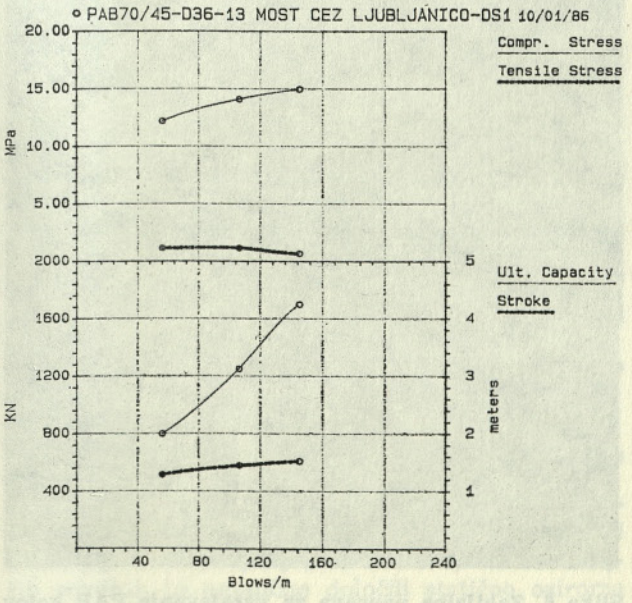
Pri napovedi o predvideni nosilnosti kola uporabimo statično penetracijsko metodo. Na podlagi tako pridobljenih rezultatov odpornosti po plašču in konici sonde (konusa) določimo z uporabo metode po TANG-u nosilnost kola pri izbrani dolžini. Zaradi pomanjkanja izkušenj v praksi se ta metoda uporablja še vedno v kombinaciji s klasičnim sondažnim vrtanjem, vendar so nam statične penetaracije v pomoč za hitro in ceneno napoved oziroma oceno o nosilnosti in dolžini kolov (slika 1, 2).



Slika 1. **Statični penetrometer 200 kN med izvajanjem sondiranja**



Slika 2. **Rezultat meritev s statičnim penetrometrom v grafični obliki**

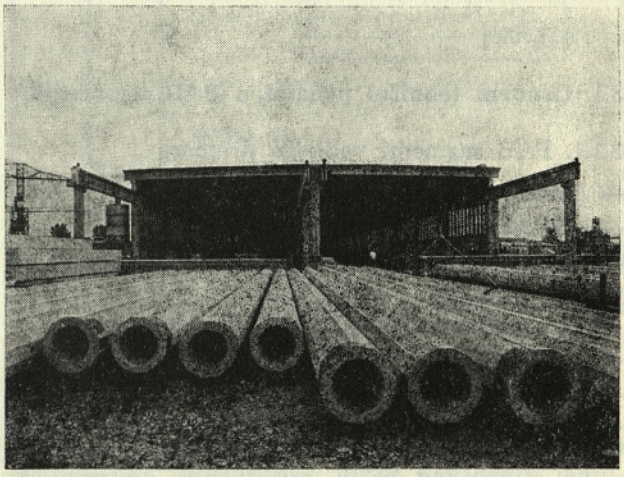


Slika 3. **Rezultat grafičnega izpisa programa WEAP**

Zelo pomembno informacijo o napetostnem stanju vzdolž kola v odvisnosti med mejnim odporom tal in potrebnim številom udarcev zabijala za stalni pogrezek kola 1 cm dobimo s pomočjo računalniškega programa WEAP (Wave Equation Analysis Program), katerega osnova je valovna enačba (slika 3).

3.0. INDUSTRIJSKA PROIZVODNJA IN TRANSPORT

Po izdelavi projektne dokumentacije se lahko prične izdelava segmentov. Proizvodnja prednapetih armiranobetonskih (PAB) segmentov se izvaja v industrijskem obratu, v jeklenih kalupih na stezah za prednapenjanje. Tehnologija izdelave PAB segmentov malega prereza je enostavna, medtem ko je za PAB segmente velikega prereza nekoliko zahtevnejša. V obeh primerih se kabli napnejo do projektirane sile, v kalup se vstavi spoj, konica in zaščitni obroč na glavi kola, ter projektirane marke zalije z betonom (slika 4.)

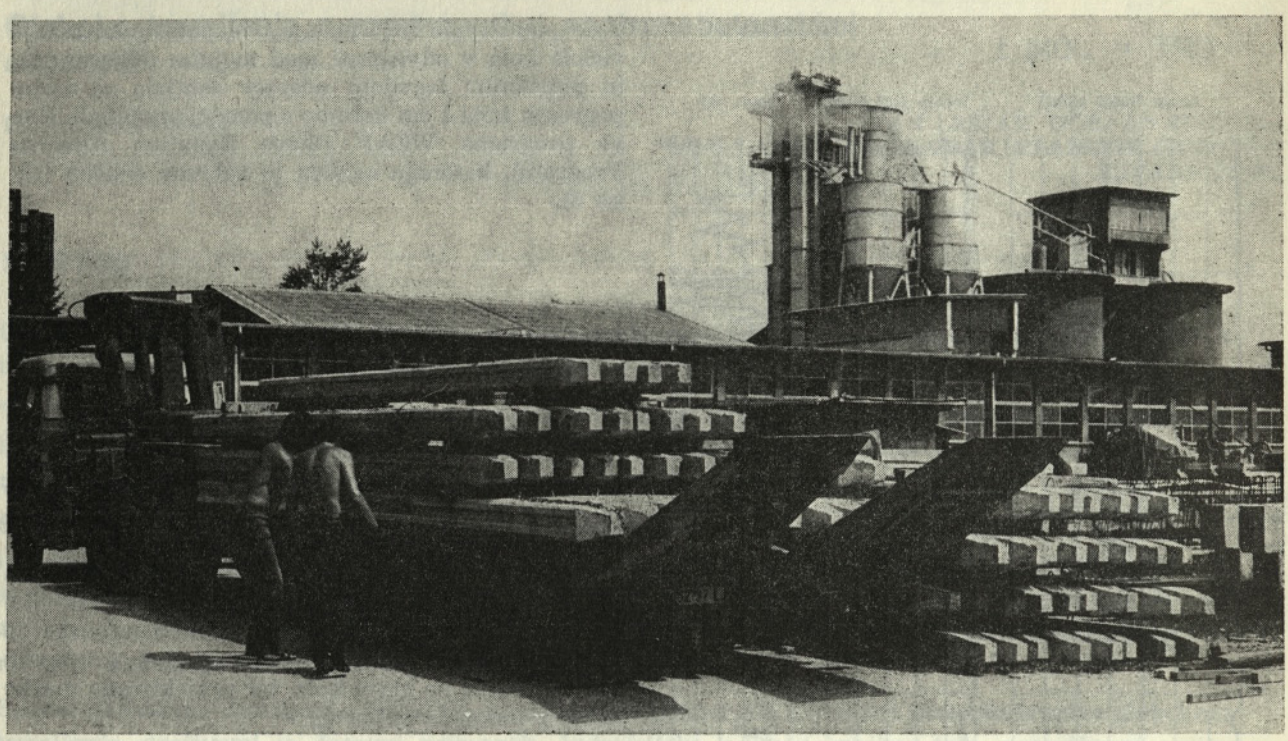


Slika 4. **PAB koli velikega premera na deponiji obrata gradbenih polizdelkov**

Med proizvodnjo se redno kontrolirajo vsi vgrajeni elementi in rezultat tega so kakovostno izdelani koli za prenašanje velikih obtežb.

Dolžina izdelave segmentov je prilagojena enostavnemu transportu, ekonomičnemu izkoristku dolžine napenjalne proge in vodilu na samohodni zabijalni napravi.

Transport segmentov je možen po cesti ali železnici, odvisno od razdalje deponije do gradbišča oziroma od tega, kaj je časovno najbolj ugodno (slika 5).



Slika 5. **Nakladanje PAB kolov malega prereza na deponiji obrata gradbenih polizdelkov**

3.1. Osnovni tehnični podatki o PAB segmentih

3.1.1. PAB segmenti velikega premera

— oblika prereza: pravilni dvanajsterokotnik
— premer očrtanega kroga: 70 cm
— premer notranje krožne (votle) izvrtine: 31 do 45 cm
— projektirana marka betona: MB 40—50
— stik: vijačen
— maksimalna dolžina enega segmenta: do 22,0 m
— maksimalna dolžina kola v enem segmentu: 28,0 m

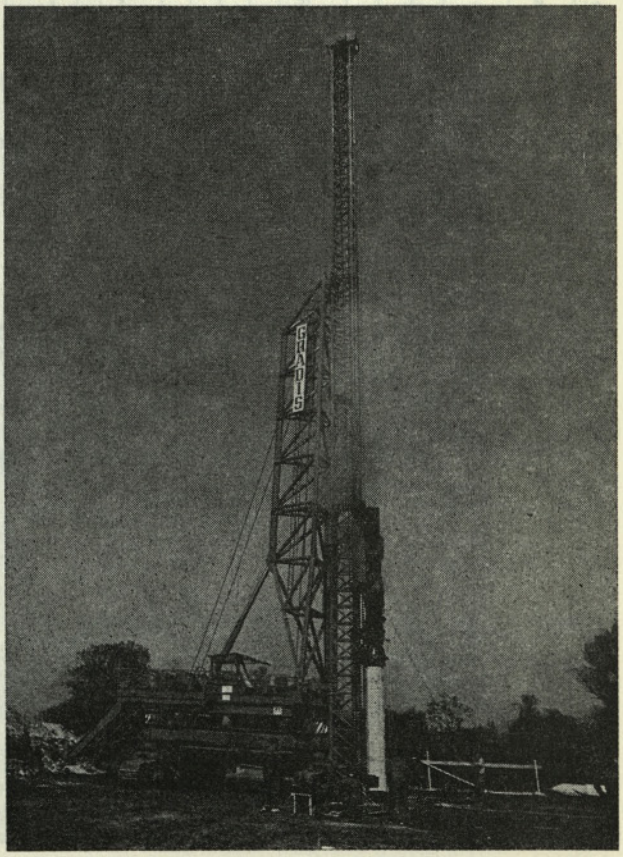
3.1.2. PAB segmenti malega premera

— oblika prereza: kvadrat
— projektirana marka betona: MB 30—40
— stik: bajonetni spoj
— maksimalna dolžina enega segmenta: do 15,0 m
— normalna dolžina enega segmenta: do 12,0 m

Obe vrsti segmentov odlikuje majhna teža in sestavljivost.

4.0. VGRAJEVANJE — ZABIJANJE

V »sistemu globokega temeljenja GRADIS« je vključena tudi dovršena tehnologija zabijanja — vgrajevanja PAB segmentov velikega in malega premera.



Slika 6. **Zabijalna naprava za vgrajevanje PAB kolov velikega premera**

4.1. Oprema za zabijanje

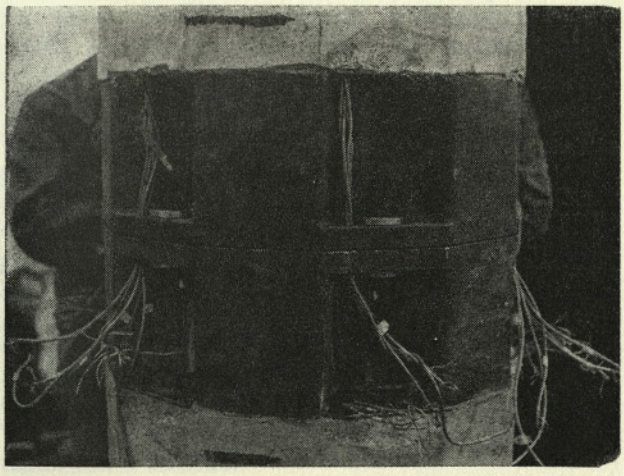
Za učinkovito zabijanje je bistvenega pomena pravilen izbor zabijala, ki v določenih terenskih pogojih zmanjša celotni čas zabijanja in povečuje skupno dolžino zabitih kolov.

Pri vgrajevanju PAB segmentov velikega in malega premera uporabljamo za ta namen izdelani napravi na gosenicah, ki sta prilagojeni delu na terenih z nizko nosilnostjo, dolžini, teži in obliki segmenta, ter z možnostjo zabijanja v nagibih (maks. 2 : 1). Napravi je možno prestaviti na ponton in tako z isto napravo zabijati segmente tudi na vodi (slika 6).

Lastni agregat in s tem energetska neodvisnost od tujih virov ter gabariti, ki omogočajo cestni in železniški transport, so prednosti, ki jih imajo tudi v svetu podobne naprave za zabijanje kolov. S posebno objemko, ki omogoča dvig pilota, naprava sama dvigne in fino nastavi segment v želeni položaj ter ga ob vodilu med zabijanjem vodi v temeljna tla.

V GRADISU uporabljamo za samo zabijanje segmentov dieselska zabijala, različnih mas udarnega bata. Zabijalo je nameščeno na vodilu zabijalne naprave in daljinsko vodeno s stopenjsko regulacijo eksplozijskega pritiska na glavo segmenta-kola.

Iz rezultatov valovne analize (WEAP) se predpiše kriterij zabijanja in v kateri prestavi oziroma s kakšno energijo se bodo zabijali segmenti, ki se spajajo na gradbišču v kol želene dolžine (slika 7).



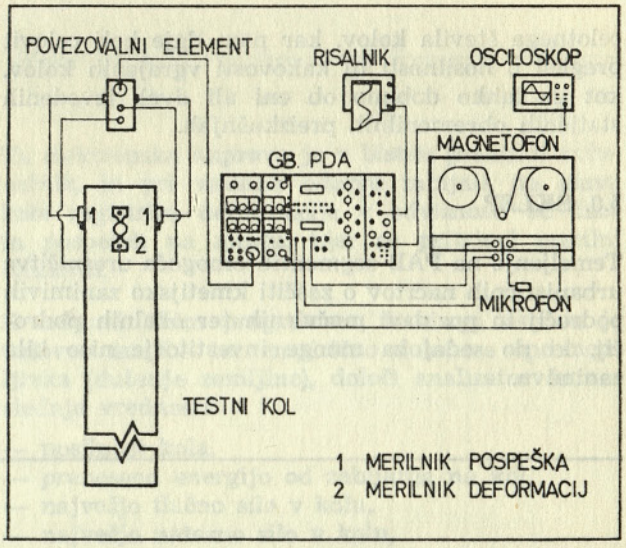
Slika 7. **Spajanje PAB segmentov velikega premera**

4.2. Kontrola nosilnosti in zveznosti preseka kola

Želja gradbenikov, posebej pa tistih ozko specializiranih strokovnjakov, ki se ukvarjajo s problemi globokega temeljenja, je, da bi hitro, ob čimmanjših stroških in natančno določili statično oziroma mejno nosilnost v temeljna tla vgrajenega kola.

Da je to možno in tehnično izvedljivo, dokazuje analizator zabijanja kolov — PDA (Pile Driving Analyser), ki zaključuje »sistem globokega temeljenja GRADIS« z dokazovanjem nosilnosti kolov oziroma opravlja kontrolo vgrajevanja segmenta-kola z uporabo valovne enačbe.

S PDA registriramo napetostne valove med zabijanjem in določimo statično nosilnost in zveznost prereza segmenta — kola. Impulzi iz senzorjev, ki so pritrjeni na vrhu segmenta — kola, se elektronsko snemajo kot izmerjene vrednosti sile in pospeška. Te vrednosti se potem matematično pretvorijo v vrednosti, kot so: prenešena energija od zabijala na kol, mejna nosilnost kola, napetosti itd. (slika 8).



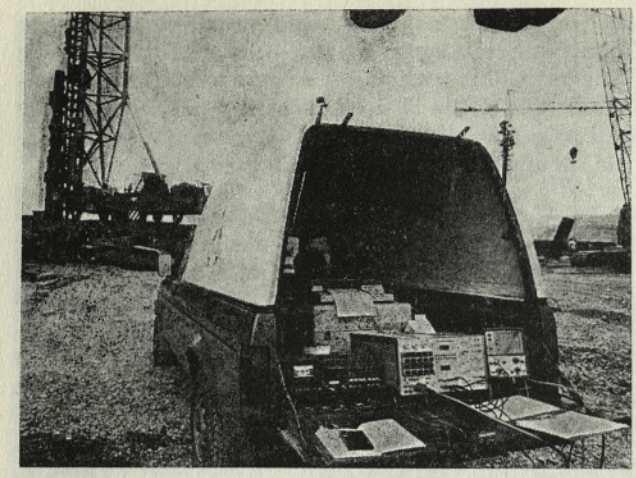
Slika 8. **Standardna PDA oprema in povezava opreme za izvedbo meritev**

Metoda, imenovana tudi »dinamična analiza kolov«, je mnogo hitrejša in cenejša od klasične statične obremenilne preizkušnje. Poleg navedenih rezultatov dobimo še pomembno informacijo o kakovosti in integriteti vgrajenega kola, kar iz rezultatov klasične statične obremenilne preizkušnje ni možno dobiti.

Proces zabijanja je posnet na kaseto za kasnejše študije in analize, ki jih naredimo z računalniškim programom CAPWAP (Case Pile Wave Analyses Program), specialno izdelanim za ta namen.

Standardna PDA oprema, ki je sestavljena iz analizatorja, kasetofona, osciloskopa in risalnika, je zelo mobilna, saj se transportira z malo večjim osebnim avtomobilom (slika 9).

Naša praksa je, da pri manj pomembnih objektih izvedemo meritve na vsaj 5 odstotkih oziroma za bolj pomembne objekte na vsaj 20 odstotkov od



Slika 9. **Izvajanje meritev s PDA na terenu**

celotnega števila kolov, kar nam daje bolj celovit pregled o nosilnosti in kakovosti vgrajenih kolov, kot ga lahko dobimo ob eni ali dveh izvedenih statičnih obremenilnih preizkušnjah.

5.0. SKLEP

Temeljenje na PAB segmentih omogoča uresničitve urbanističnih načrtov o zaščiti kmetijsko zanimivih področij in pozidavi močvirnih ter obalnih področij, ki do sedaj za mnoge investitorje niso bila zanimiva.

Z uvedbo izboljšane tehnologije vgrajevanja in standardiziranega postopka o kontroli nosilnosti ter zveznosti kolov pri izvajanju globokega temeljenja po sistemu GRADIS se je povečala zanesljivost in učinkovitost vgrajevanja kolov. To predstavlja v končni fazi tudi ugoden finančni učinek, s čimer je mnogim investitorjem ponujena možnost smotrnejšega izkoriščanja zazidalnih območij tudi za gradnjo zahtevnejših objektov na slabo nosilnih tleh.

Vse tehnično-tehnološke rešitve v »sistemu globokega temeljenja GRADIS«, katerega značilnosti so:

— industrijska proizvodnja in transport,

— vgrajevanje-zabijanje z visoko mobilno in učinkovito opremo,

— kontrola nosilnosti in zveznosti vgrajenega kola, predstavljajo plod dolgoletnih izkušenj in znanstvenih dosežkov pri nas in v svetu.

Naslov avtorjev:

Ivan Lesjak, dipl. ing. gr., GIP GRADIS DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Gorazd Strniša, dipl. ing. gr., GIP GRADIS DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Edvard Ravbar, dipl. ing. gr., GIP GRADIS TOZD INŽENIRING, Ljubljana, Letališka 33

Vladimir Grobler, dipl. ing. gr., GIP GRADIS DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Edvard Štok, dipl. ing. gr., GIP GRADIS TOZD Projektni biro Mb. v Ljubljani, Vilharjeva 22

Določitev statične nosilnosti kolov z analizatorjem zabijanja — PDA (Pile Driving Analyzer)

UDK (624.04+620.17):519.6

GORAZD STRNIŠA, IVAN LESJAK

DOLOČITEV STATIČNE NOSILNOSTI KOLOV Z ANALIZATORJEM ZABIJANJA

Povzetek

V članku je opisano določevanje statične nosilnosti kolov pri uporabi dinamičnih meritev z analizatorjem zabijanja — PDA in pripadajočo opremo, ki je v Jugoslaviji novost. Kratka poglavja prikazujejo način meritve in izračun statične nosilnosti kolov z metodo CASE.

V zgoščeni obliki je opisano delovanje opreme, princip metode CASE ter numerični primer izračuna nosilnosti kola.

STATIC BEARING CAPACITY OF PILES FROM DYNAMIC MEASUREMENTS

Summary

Principle static bearing capacity determination of piles from dynamic measurements with PDA is new in Yugoslavia is described. Method of calculation of static bearing capacity of piles by CASE method is represented. The article gives us report about function of equipment, principle of CASE method and numerical example of pile bearing capacity determination.

1.0. UVOD

V svetu se pri zabijanju kolov vse bolj uporabljajo dinamične meritve za določitev statične nosilnosti in zveznosti kolov, pri nas pa je to še novost. Vzroki za vse širšo uporabo dinamičnih meritev pri investitorjih in izvajalcih zabijanja so negotovost pri uporabi različnih do zdaj znanih dinamičnih formul, visoka cena izvedbe klasičnih obremenilnih testov in še nekateri drugi problemi.

Izrednega pomena za razvoj dinamičnih meritev pa je tudi konstruiranje učinkovitejše zabijalne opreme, katere bistvena prednost je usmerjanje delovanja zabijala na tak način, da ob minimalnih notranjih napetostih kol maksimalno prodira v zemljino (amplituda napetostnega vala se zmanjšuje, njegovo trajanje pa povečuje).

Izračun statične nosilnosti kolov z uporabo dinamičnih formul, kjer so podatki za izračun privzete vrednosti, ni zanesljiv. Z dinamičnimi meritvami deformacij (sile) in pospeškov (hitrost) kolov v odvisnosti od časa pa natančno določimo vrednosti statične nosilnosti kolov, kar v bistvu pomeni kontrolo zabijanja. To npr. pomeni, da prenehamo zabijati, še preden je kol zabit do projektirane globine, če smo dosegli njegovo projektirano nosilnost. Tako skrajšamo dolžino kolov, čas gradnje in zmanjšamo stroške.

2.0. DINAMIČNE MERITVE

2.1. Splošno

Rezultat več kot dvajsetletnega snovanja opreme za dinamična merjenja v CASE WESTERN RESERVE UNIVERSITY, CLEVELAND, OHIO, USA je ANALIZATOR zabijanja kolov (PDA — Pile Driving Analyzer).

Ta elektronska naprava je v bistvu prenosni računalnik, ki pri vsakem udarcu zabijala na glavo kola registrira deformacije v odvisnosti od časa in pospešek na mestu, kjer so pritrjeni merilni elementi.

Z računalniškim programom, katerega osnova je valovna enačba ter empirično določena spremenljivka (dušenje zemljine), določi analizator še naslednje vrednosti:

— nosilnost kola,
— preneseno energijo od zabijanja na kol,
— največjo tlačno silo v kolu,
— največjo natezno silo v kolu,
— največjo udarno hitrost na vrhu kola,
— največji pospešek kola,
— zveznost (stopnjo poškodovanosti) vzdolž prereza kola.

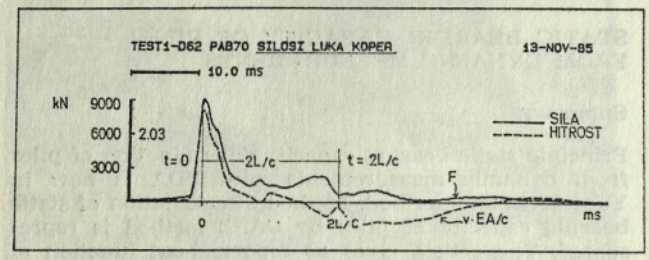
Analizator zabijanja omogoča, da izkušen izvajalec meritev že pri zabijanju na podlagi zgoraj naštetih rezultatov določi optimalni potek zabijanja in pridobi podatke za določitev statične nosilnosti kola. Določitev optimalnega poteka zabijanja kola in vrednosti njegove statične nosilnosti sta osnovni funkciji uporabe analizatorja zabijanja kola — PDA.

2.2. Metoda merjenja

Kakor smo že omenili, je osnovni princip dinamičnih meritev nosilnosti kolov uporaba enodimenzionalne valovne enačbe kot funkcije časa.

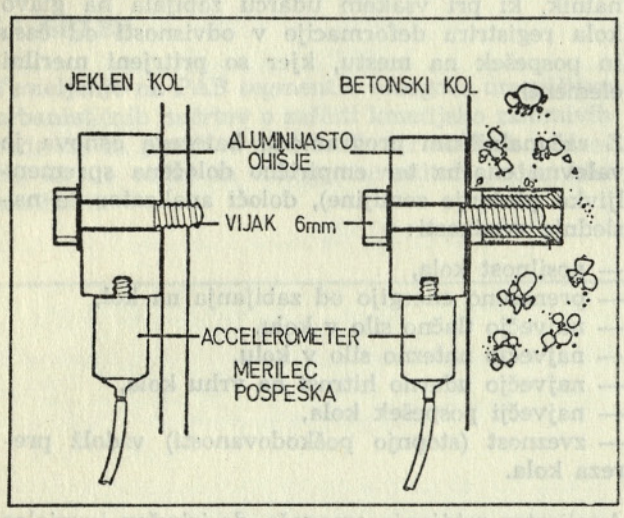
Vhodni podatki za določitev statične nosilnosti kolov so izmerjena sila in hitrost na vrhu kola v odvisnosti od časa. Iz napetosti, določene s pomočjo deformacije **merilnika deformacij** (strain transducer), izračuna analizator silo v kolu. Hitrost pa

določi z integracijo pospeška, ki je izmerjen z **merilnikom pospeškov** (akcelerometrom). Sila v kolu in hitrost potovanja kola v odvisnosti od časa sta izračunani na mestu pritrditve obeh vrst merilnikov (slika 1).



Slika 1. **Karakteristični zapis sile in hitrosti na vrhu kola, kjer so pritrjeni merilni elementi**

Pritrditev merilnika na kol je izvedena z vijaki. Na vsako stran sta osno simetrično pritrjena po en merilnik deformacij in merilnik pospeška. Oblika in velikost merilnika je prilagojena različnim oblikam in materialom kola (slika 2).

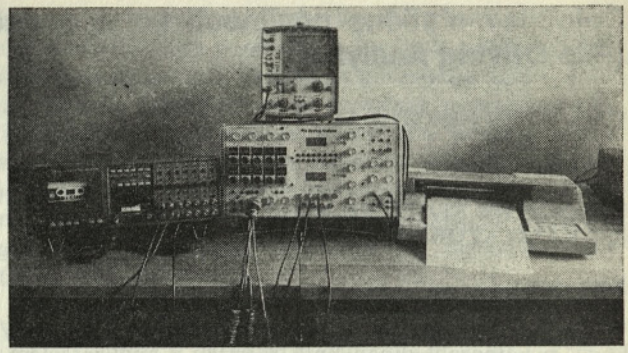


Slika 2. **Način pritrditve merilnika pospeškov na jeklen oziroma betonski kol**

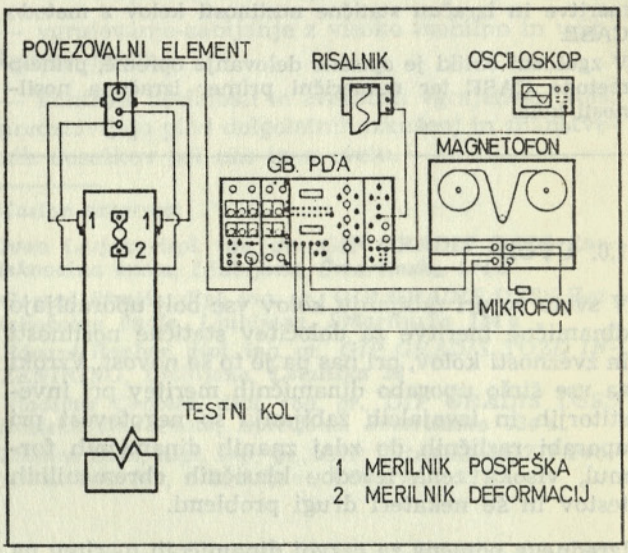
Za izvedbo vrednotenja rezultatov pri meritvah na terenu je analizatorju prigrajena še naslednja dodatna oprema:

— dvokanalni osciloskop,
— terenski sedemkanalni magnetofon z mikrofonom,
— risalnik (ploter) (slika 3).

Osciloskop omogoča, da med zabijanjem vizualno sledimo izmerjenim podatkom v obliki grafa sile in hitrosti v odvisnosti od časa. Magnetofon z mikrofonom uporabljamo zato, da izmerjene vrednosti v analogni obliki zapišemo na trak (kaseto) za kasnejšo ponovno analizo. Grafične diagrame rezultatov za silo in hitrost pa že na terenu izriše risalnik (slika 4).

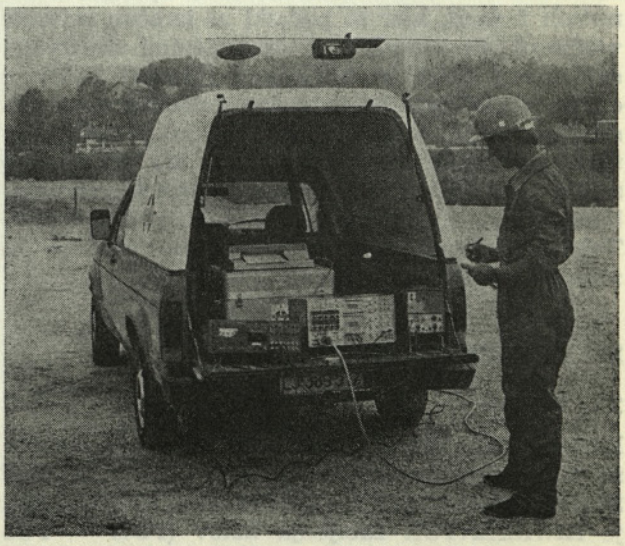


Slika 3. **Analizator zabijanja — PDA in dodatna oprema**



Slika 4. **Shema povezave merilnih elementov z analizatorjem in ostalo pripadajočo opremo pri meritvah na terenu**

Vsa oprema je izvedena tako, da je lahko brez težav transportirana na teren z majhnim vozilom (slika 5).



Slika 5. **Prikaz opreme v vozilu pri meritvah na terenu**

2.3. CASE metoda

Osnova te metode je določitev statične nosilnosti kolov z upoštevanjem **faktorja dušenja zemljine** pri določitvi sile dinamičnega odpora.
Za določitev statične nosilnosti kola po CASE metodi izhajamo iz teorije napetostnega valovanja, ki temelji na parcialni diferencialni **enačbi valovanja.** Matematično obliko enačbe dobimo z upoštevanjem Newtonovega in Hookovega zakona.

Enačba ima obliko:

$$\text{ro}\ (\partial^2 u/dt^2) = E\ (\partial^2 u/dx^2) \qquad (1)$$

E — dinamični elastičnostni modul materiala kola ($kN\ cm^{-2}$)
ro — specifična teža kola (Mg/m^3)

Z upoštevanjem enačbe odpornosti $R = F - v \cdot (EA/c)$ in predpostavljenimi pogoji:
— dinamični elastičnostni modul materiala kola konstanten,
— idealno plastično obnašanje zemljine,
lahko iz enačbe valovanja (1) izpeljemo njeno rešitev v naslednji enostavni obliki:

$$R_{maks} = [F\ (t = 0) + F\ (t = 2\ L/c)]\ /\ 2 + \\ + Mc\ /\ 2\ L\ [v\ (t = 0) - v\ (t = 2\ L/c] \qquad (2)$$

Enačba (2) je osnovna enačba metode CASE.

R_{maks} — največja rezultanta odpornostnih sil (kN)
$F\ (t = 0)$ — največja sila na vrhu kola, povzročena zaradi udarca v času $t = 0$; glej sliko (1) (kN)
$v\ (t = 0)$ — največja hitrost na vrhu kola, povzročena zaradi udarca v času $t = 0$ (m/s)
$t = 2\ L/c$ — čas, v katerem se odbiti val vrne do merskega mesta (ms)
M — masa kola : $M = ro \cdot A \cdot L$ ($Mg = 10^3$ kg)
L — dolžina kola od merskega mesta do konice (m)
c — hitrost napetostnega vala, ki se izračuna iz enačbe: $c = (E/ro)^{1/2}$

Rezultanta odpornostnih sil (R_{maks}) je sestavljena iz **statičnega odpora sila** (R_s) in **dinamičnega odpora sile** (R_d).

$$R_{maks} = R_s + R_d \qquad (4)$$

Sila dinamičnega odpora (R_d) se pojavlja samo med zabijanjem kola in je sorazmerna hitrosti na njegovi konici ($v_{k,maks}$):

$$R_{d,maks} = I_c \cdot (EA/c) \cdot v_{k,maks} \qquad (5)$$

S pomočjo valovne teorije je mogoče pokazati, da je hitrost $v_{k,maks}$ na konici kola enaka:

$$v_{k,maks} = 2 \cdot v\ (t = 0) - (L/Mc) \cdot R_{maks} \qquad (6)$$

Iz enačbe (4) lahko sedaj določimo silo statične odpornosti R_s:

$$R_s = R_{maks} - I_c\ [2 \cdot F\ (t = 0) - R_{maks}] \qquad (7)$$

V enačbi (7) se pojavi neznana vrednost **brezdimenzijski faktor dušenja** I_c (Case Damping Factor). Odvisen je od vrste zemljine, v katero je kol zabit, in je podan v preglednici (1):

Preglednica 1: **Vrednosti brezdimenzijskega faktorja dušenja — I_c**

I_c	Vrsta zemljine
0,00 do 0,15	pesek, prod
0,15 do 0,25	peščeni melj
0,45 do 0,70	meljasta glina
0,90 do 1,20	gline

Vrednosti za I_c so pridobljene na podlagi izkušenj in številnih preizkusov zabijanja kolov.

2.4. Primer izračuna statične nosilnosti kola po metodi CASE

Če iz tipičnega zapisa krivulje sile (F) in hitrosti ($v \cdot EA/c$) odberemo vrednosti za silo F in hitrost v (glej sliko 1) in pri tem upoštevamo še, da je konstanta EA/c popolnoma enaka vrednosti Mc/L, potem dobimo:

$$F\ (t = 0) = 9175\ kN \ldots v\ (t = 0) \cdot Mc/L = 8195\ kN$$
$$F\ (t = 2\ L/c) = 740\ kN \ldots v\ (t = 2\ L/c) \cdot Mc/L = \\ = -425\ kN$$

Zgoraj odbrane vrednosti za silo in hitrost vstavimo v enačbo (2) in dobimo največjo rezultanto odpornostnih sil R_{maks}:

$$R_{maks} = (9175 + 8195)/2 + (740 + 425)/2 = 9267\ kN$$

Silo dinamične odpornosti $R_{d,maks}$ določimo:

$$R_{d,maks} = I_c\ (2 \cdot 9175 - 9267) = I_c \cdot 9083$$

Statično nosilnost kola izračunamo tako, da si izberemo izkustveno vrednost faktorja dušenja I_c.

Za primerjavo vrednosti statične nosilnosti kola smo v enačbi (7) vstavili dve različni vrednosti faktorja dušenja I_c ($I_c = 0{,}1$ za pesek in $I_c = 0{,}45$ za meljaste gline), da bi s tem pokazali vpliv vrste zemljine na statično nosilnost kola.

$$R_s\ (I_c = 0{,}10) = 9267 - 0{,}10 \cdot 9083 = 8360\ kN$$
$$R_s\ (I_c = 0{,}45) = 9267 - 0{,}45 \cdot 9083 = 5180\ kN$$

Iz izračunanih vrednosti R_s lahko razberemo, da nam manjše vrednosti faktorja dušenja I_c dajo večje statične nosilnosti, medtem ko nam večje vrednosti I_c dajo manjše statične nosilnosti zabitih kolov.

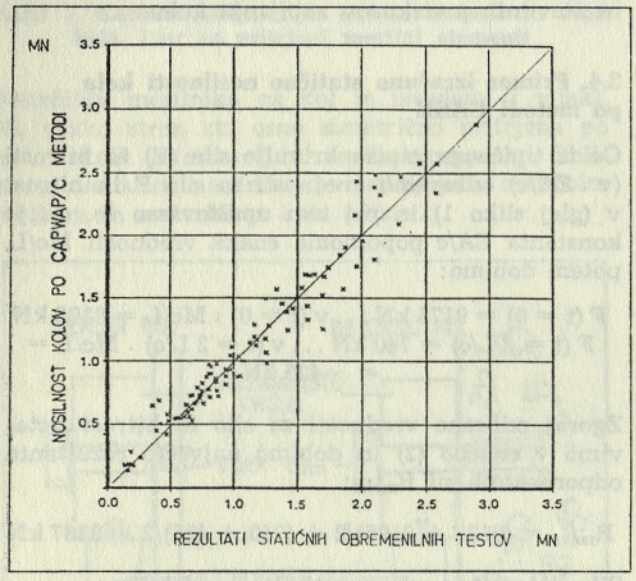
Iz tega primera sledi, da je nosilnost kola v pesku ali produ skoraj enkrat večja kot v meljasti glini.

Vprašanje, ki se sedaj pojavlja, pa je, ali je vrednost statične nosilnosti kola pravilna, saj smo na podlagi poznavanja vrste zemljine faktor dušenja I_c izbrali izkustveno.

Odgovor na to vprašanje nam da CAPWAP/C (Case Pile Wave Analysis Program) metoda, katere osnove bomo opisali kasneje.

Primerjava rezultatov, dobljenih z metodo CASE in statičnimi obremenilnimi testi, je prikazana v sliki 6. Za več kot dvesto kolov narejena primerjava je pokazala linearno odvisnost rezultatov. To pomeni, da se vrednosti statične noslinosti kolov po metodi CASE dobro ujemajo z vrednostmi statičnih obremenilnih testov, če smo za faktor dušenja I_c izkustveno vrednost dobro izbrali (slika 6).

2.5. Primerjava rezultatov metode CASE in statičnih obremenilnih testov



Slika 6. **Primerjava rezultatov nosilnosti kolov po metodi CASE in statičnih obremenilnih testov**

2.6. Povzetek

Za račun končne statične nosilnosti kola privzamemo izmerjene vrednosti na merskem mestu ob koncu zabijanja. Vrednosti sile in hitrosti v kolu lahko merimo v različnih globinah zabijanja.

Z dinamičnimi meritvami izračunana statična nosilnost kola po metodi CASE velja v trenutku meritve sile v kolu in njegove hitrosti na merskem mestu in je lahko različna od nosilnosti istega kola po določenem času.

Po končanem zabijanju narašča statična nosilnost kola dva do tri tedne ali še dlje. V tem času se statična nosilnost kola lahko poveča tudi za 100 %. Natančno vrednost povečanja statične nosilnosti kola določimo s ponovnimi dinamičnimi meritvami.

3.0. SKLEP

V naši DO GIP Gradis, Ljubljana uspešno in edini v Jugoslaviji že od junija 1985 uporabljamo najnovejši model analizatorja zabijanja kolov (GB — PDA) s pripadajočo opremo za računalniško obdelavo izmerjenih podatkov.

Z uporabo analizatorja zabijanja kolov smo bistveno zmanjšali število statičnih obremenilnih testov, ob tem pa dosegli maksimalno varnost zabijanja, ekonomičnost in prihranek časa. Poleg tega pa dobimo kot izvajalci del še naslednje podatke in rezultate:

— nosilnost kolov,
— optimalni potek zabijanja,
— zveznost kolov,
— karakteristike zemljine.

Investitorjem in projektantom pa metoda daje podatke za:

— boljše projektiranje kolov,
— določitev števila potrebnih kolov,
— določitev potrebnih dolžin kolov.

Usposobljena ekipa DO GIP Gradis, Ljubljana, ki izvaja meritve in analize, je s svojim znanjem in navedeno opremo pripravljena reševati številne probleme, ki nastopajo pri izvajanju globokega temeljenja tudi na drugih gradbiščih.

Literatura

1. **Broms, B. B.:** Methods of calculating ultimate bearing capacity of piles: a summary. Sols Soils, 1966, S, Nos 18—19, 21—23.
2. **Fisher, H. C.:** Stress wave theory for pile driving applications, Second international conference on the application of stress-wave theory on piles, Stockholm, May 1984.
3. **Goble, G. G.:** Bearing capacity of piles from dynamic measurements, Finàl report, No. OHIO-DOT-05-75, Department of Civil Engineernig, Case Western Reserve University, Cleveland, OHIO, March 1975.
4. Pile Driving Analyzer Manual, Pile Dynamics, Inc./ Pile Dynamics International, Inc., Januar 1984.
5. **Rausche, F.:** Criteria for the determination of pile damage from pile top force and velocity, August 1977.
6. **Rausche, F.:** Stress wave measuring in practice, Second international conference on the application of stress-wave theory on piles, Stockholm, May 1984.
7. **Smith, E. A. L.:** Pile driving analysis by the wave equations, Proc. ASCE, August 1960.

Naslov avtorjev:
Gorazd Strniša, dipl. inž. gr., GIP GRADIS — DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a
Ivan Lesjak, dipl. inž. gr., GIP GRADIS — DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Kontrola zveznosti prečnega prereza kolov

UDK (624.04+620.17):519.6

GORAZD STRNIŠA
IVAN LESJAK

KONTROLA ZVEZNOSTI PREČNEGA PREREZA KOLOV

Povzetek

Članek prikazuje princip določevanja zveznosti prečnega prereza kolov in stopnje poškodovanosti pri uporabi dinamičnih meritev z analizatorjem zabijanja — PDA. Kratka poglavja opisujejo način zaznavanja poškodbe na grafu sila-hitrost, enačbo za izračun faktorja zveznosti in ugotavljanje razpok ter njihovo velikost. Podana sta tudi dva numerična primera za določitev lokacije poškodbe oziroma razpoke.

INTEGRITY CONTROL OF PILES CROSS SECTION

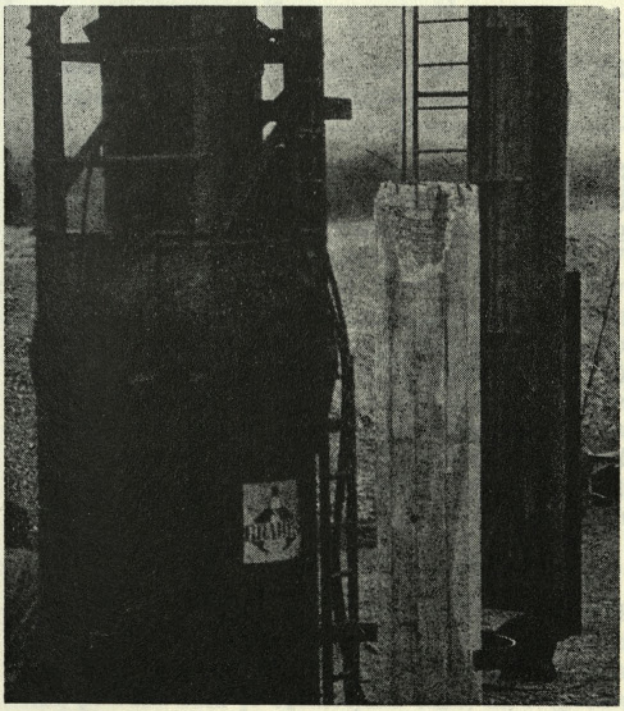
Summary

Principle integrity control determination of piles cross section and stage of pile damage dynamic measurements with PDA is described. Method of perception of pile damage on graph Force-Vetocity, integrity factor and determination of craks/slacks is represented. The article gives us report about numerical examples of pile damage and crack/slack location determination.

1.0. UVOD

Analizator zabijanja kolov (PDA) uporabljamo poleg možnosti za določitev nosilnosti kola, prenesene energije od zabijanja na kol, največje tlačne in natezne sile, itd., tudi za **kontrolo zveznosti** (neprekinjenosti) **prereza kola** oziroma **stopnje njegove poškodovanosti.**

Poškodbe betonskih kolov navadno nastopijo pri ekscentričnem udarjanju zabijala, ko pride do prekoračitve lokalnih stičnih tlačnih napetosti oziroma premočnega udarjanja po glavi kola. Prav tako pride do poškodb zaradi prevelikih nateznih napetosti, ki se pojavijo med zabijanjem v mehkejših tleh. Poškodb na glavi kola oziroma nad mestom, kjer so pritrjeni merilni elementi, analizator med zabijanjem ne ugotovi, vendar so opazne s prostim očesom (slika 1).

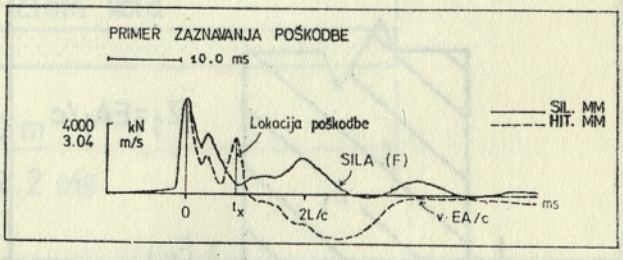


Slika 1. **Poškodovana glava kola kot posledica ekscentričnega zabijanja**

2.0. ZVEZNOST PREČNEGA PREREZA

2.1. Zaznava poškodbe

Če na grafu (sila v kolu (F) in hitrost (v · EA/C) v odvisnosti od časa) pred časom, ko se čelo napetostnega vala vrne do lokacije merilnih elementov, opazimo nenadno povečanje vrednosti hitrosti in istočasno padec vrednosti sile, potem je to znak, da je na lokaciji spremembe vrednosti sile in hitrosti prišlo do poškodbe prereza kola (slika 2).



Slika 2. **Primer zaznavanja poškodbe prečnega prereza kola na grafu F − v . (EA/c)**

2.2. Določitev stopnje poškodovanosti prereza kola

Odpor zemljine povzroči tlačne, navzgor potujoče napetostne valove, ki povečujejo silo (F) na vrhu kola v odvisnosti od časa in zmanjšujejo hitrost (v · EA/c) na vrhu kola v odvisnosti od časa.

Ko pride čelo napetostnega vala v globini x od merilnega mesta do mesta poškodbe prereza, se v času $t = x/c$ delno odbije in ga zaznamo na vrhu kola v času $t_x = 2\,x/c$ po udarcu. V tem času deluje sila odpora zemljine ΔR:

$$\Delta R\,(t_x) = F\,(t_x) - v\,(t_x) \cdot EA/C \qquad (1)$$

Če ima kol v globini x spremenjen ali poškodovan prerez s površino A, potem zaznamo ob času x/c po odboju na vrhu kola (merilno mesto) relativno nenadno povečanje vrednosti hitrosti kola in zmanjšanje vrednosti sile v njem.

Na sliki 3 definiramo zgornjo vrednost impedance kola z $Z_1 = EA_1/c$ in spodnjo z $Z_2 = EA_2/c$ ter napišemo ravnotežni pogoj za sile v kolu:

$$F_{d,1} + F_{d,2} = F_{g,1} + F_{g,2} \qquad (2)$$

$F_{d,1}$ — sila udarnega vala, ki pride do mesta spremembe prereza (kN)

$F_{g,1}$ — sila odbitega vala zaradi spremembe prereza kola (kN)

$F_{d,2}$ — reducirana sila udarnega vala $F_{d,1}$ z odbitim valom $F_{g,1}$ (kN)

$F_{g,2}$ — odbita sila vala zaradi sile odpora zemljine pod mestom spremembe prereza kola ali odboja sile vala $F_{d,2}$ na konici kola. $F_{g,2} = 0$ v trenutku odboja sile $F_{d,1}$ · (kN)

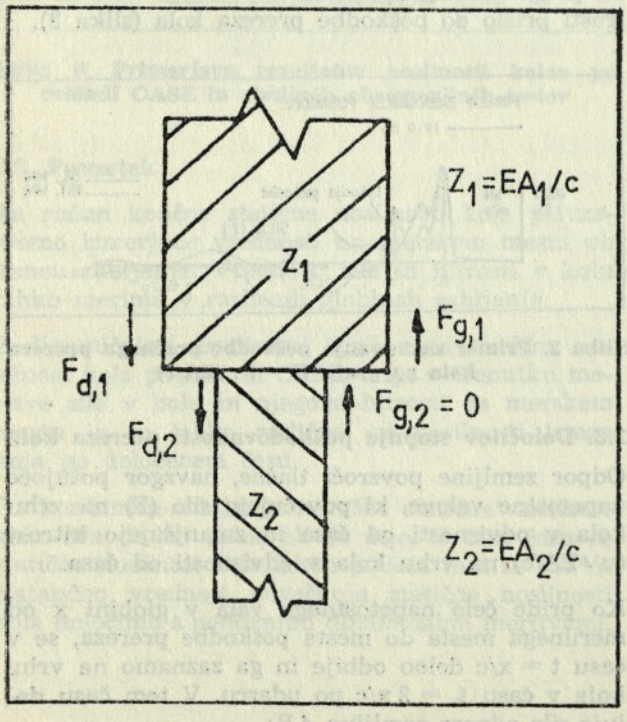
Ravnotežni pogoj (2) zapišemo lahko še v drugi obliki z enačbo:

$$v = F_{d,1}/Z_1 + (-F_{g,1})/Z_1 = F_{d,2}/Z_2 \qquad (3)$$

Z razrešitvijo ravnotežnega pogoja (3) dobimo enačbi za sili $F_{d,2}$ in $F_{g,1}$:

$$F_{d,2} = [2\,Z_2/(Z_1 + Z_2)]\,F_{d,1} \qquad (4)$$

$$F_{g,1} = [(Z_2 - Z_1)/(Z_1 + Z_2)]\,F_{d,1} \qquad (5)$$



Slika 3. **Matematični model spremembe prečnega prereza kola**

Spomnimo se, da ne pride do obdobja napetostnih valov, če ni spremembe v impedanci kola.

Faktor zveznosti prereza kola izrazimo z vrednostjo β **(beta)**:

$$\beta = Z_2/Z_1 \qquad (6)$$

oziroma z uporabo enačb (4) in (5) dobimo:

$$\beta = [F_{d,1} + F_{g,1}] / [F_{d,1} - F_{g,1}] \qquad (7)$$

ali $\beta = A_2/A_1$, ki velja samo pri E = konstanta.

Sila navzdol potujočega vala $F_{d,1}$ se na katerikoli lokaciji poškodbe x izrazi z enačbo:

$$F_{d,1} = F(\text{dol}, t_1) - R_x/2 \qquad (8)$$

Navzgor potujoči val je v času $2\,x/c = t_x$ efekt vsote odpornostnih sil nad lokacijo x in spremembe prečnega preseka kola:

$$F(\text{gor}, t_x) = R_x/2 + F_{g,1} \qquad (9)$$

Končni izraz faktorja zveznosti prereza kola je enak:

$$\beta = F_{\beta 1} / F_{\beta 2} \qquad (10)$$

$$F_{\beta 1} = [F\,(\text{dol}, t_1) - R_x + F\,(\text{gor}, t_x)] \qquad (10\,a)$$

$$F_{\beta 2}\,[F\,\text{dol}, t_1) - F\,(\text{gor}, t_x)] \qquad (10\,b)$$

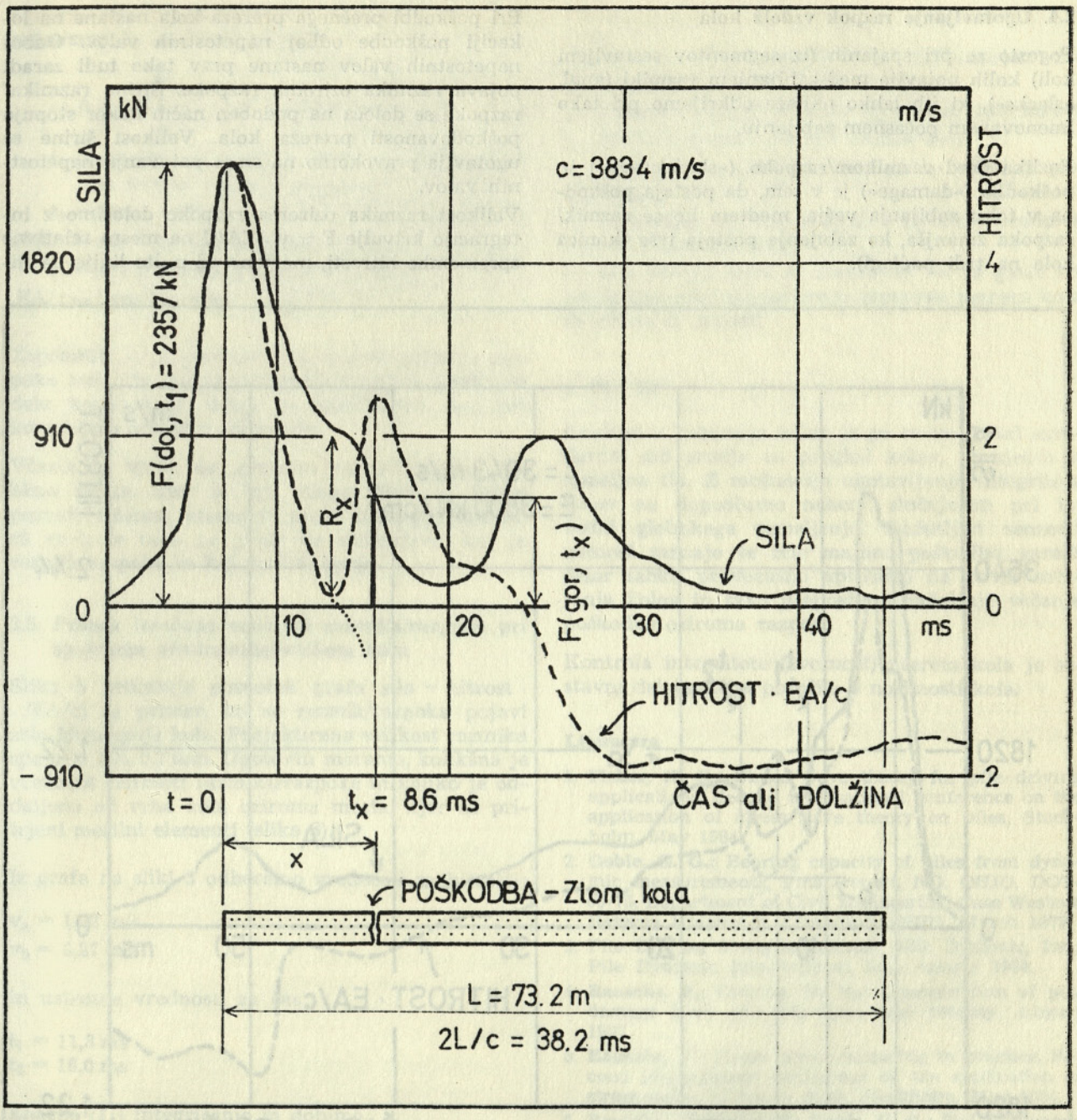
Na podlagi izmerjenih vrednosti sile (F) in histrosti (v · EA/c) v odvisnosti od časa lahko z izvedenimi enačbami ugotovimo nastale spremembe prereza, mesto poškodbe in stopnjo poškodovanosti kola.

2.3. Primer določitve faktorja zveznosti prereza armiranobetonskega kola in stopnje njegove poškodovanosti

Slika 4 prikazuje posnetek grafa sila (F) in hitrost (v · EA/c) za poškodovan armiranobetonski kol dolžine 73,2 m in izmerjene valovne hitrosti c = = 3834 m/s. Pred mestom poškodbe narisani krivulji sile in hitrosti (v · EA/c) prikazujeta dobro skladnost. V času t_x = 8,6 ms po udarcu pa opazimo na grafu nenadno povečanje vrednosti hitrosti (v · EA/c) glede na vrednost sile (F). To nenadno spremembo razložimo z manjšo impedanco kola na mestu poškodbe. S pomočjo izmerjenih vrednosti lahko določimo mesto spremembe (poškodbe), merjene od vrha kola oziroma merskega mesta z enačbo:

$$x = c \cdot t_x/2 = 3824 \cdot 8{,}6 \cdot 10^{-3}/2 = 16{,}48\ \text{m}$$

Pred relativnim povečanjem hitrosti (v · EA/c) na diagramu F — v · EA/c dosežemo silo odpornosti zemljine R_x = 946 kN in silo na vrhu kola (mersko mesto) F (dol, t_1) = 2357 kN pri udarcu. Sila navzgor potujočega vala F (gor, t_x) na lokaciji poškodbe x = = 16,48 m je enaka — 536/2 = — 268 kN.



Slika 4. Primer posnetka grafa sile in hitrosti kola v odvisnosti od časa za poškodovan armiranobetonski kol

Končno dobimo faktor zveznosti prereza kola β:

$$\beta = [2357 - 946 + (-268)] / [2357 - (-268)] = 0.43$$

Iz preglednice 1 lahko glede na izračunani faktor zveznosti določimo **stopnjo poškodovanosti** prereza kola.

Preglednica 1 za ugotavljanje stopnje poškodovanosti, prereza kola je sestavljena tako, da se predpostavi odpornost zemljine takoj pod mestom zloma za zanemarljivo vrednost (preglednica 1).

Preglednica 1. **Stopnja poškodovanosti prereza kola**

β	Stopnja poškodovanosti
1,0	prerez nepoškodovan
0,8 do 1,0	majhna, komaj zaznavna poškodba
0,6 do 0,8	prerez poškodovan
pod 0,6	prerez kola uničen, neuporaben

β (beta) vrednost pokaže, koliko % prereza kola je še ostalo **uporabnega za prenos obtežbe.**

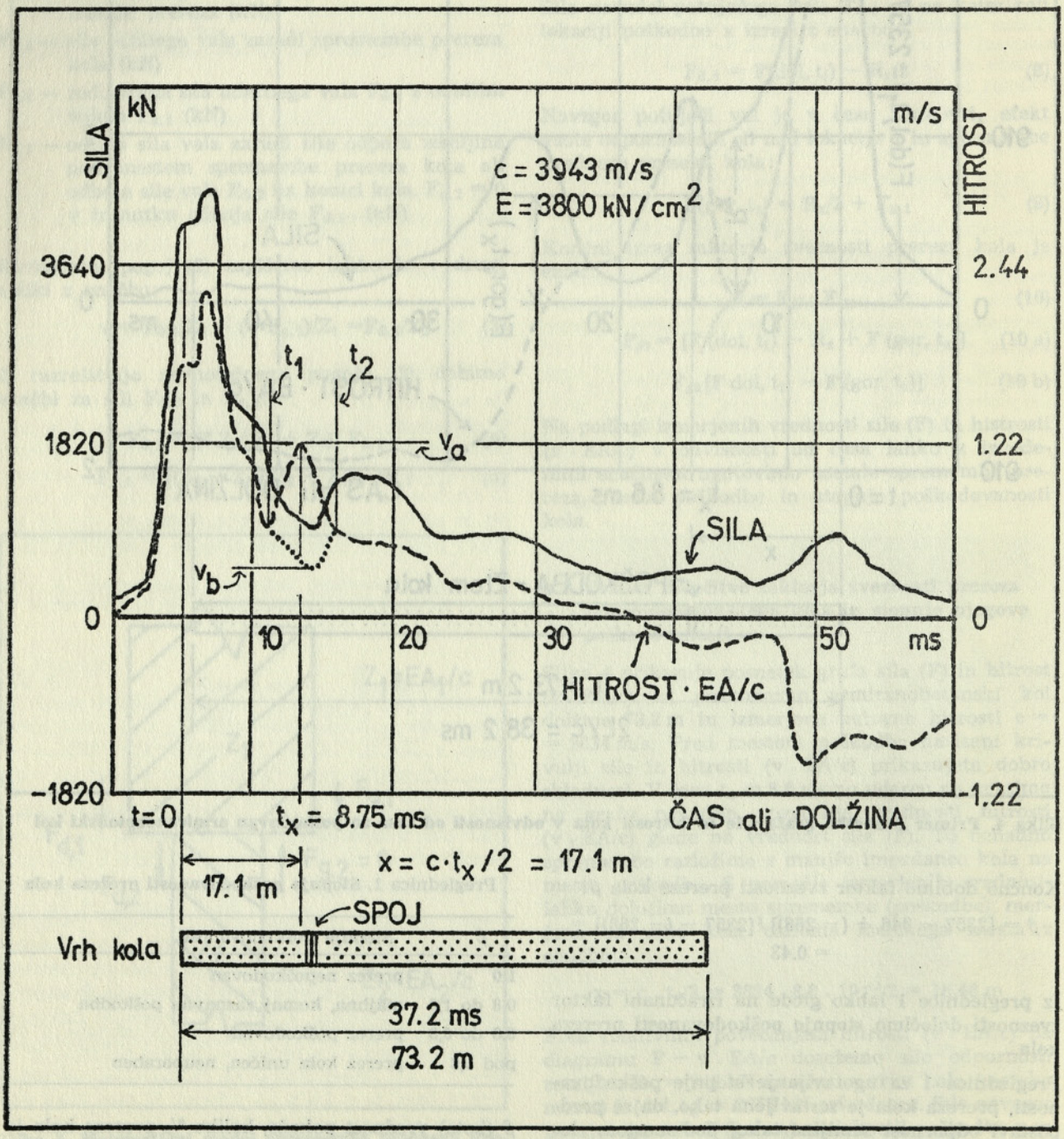
2.4. Ugotavljanje razpok vzdolž kola

Pogosto se pri spajanih (iz segmentov sestavljeni koli) kolih pojavijo med zabijanjem **razmiki** (angl. »slacks«), ki jih lahko najlaže odkrijemo pri tako imenovanem počasnem zabijanju.

Razlika med **razmikom/razpoko** (»slack/crack«) in **poškodbo** (»damage«) je v tem, da postaja poškodba v toku zabijanja večja, medtem ko se razmik/razpoka zmanjša, ko zabijanje postaja trše (konica kola na trdi podlagi).

Pri poškodbi prečnega prereza kola nastane na lokaciji poškodbe odboj napetostnih valov. Odboj napetostnih valov nastane prav tako tudi zaradi pojava razmika oziroma razpoke. Širina razmika/razpoke se določa na podoben način kakor stopnja poškodovanosti prereza kola. Velikost širine se ugotavlja pravokotno na smer potovanja napetostnih valov.

Velikost razmika oziroma razpoke določimo z integracijo krivulje F — v . EA/C na mestu relativne spremembe hitrosti, merjene od nulte linije na di-



Slika 5. **Posnetek grafa F — v . /EA/c) za spajan armiranobetonski kol**

agramu sila-hitrost. Velikost oziroma širina razmika/razpoke se določi z enačbo:

$$\delta = 1/2 \int_{t_1}^{t_2} \{v - [F - R(t_1)] / (EA/c)\} dt \quad (11)$$

t_1 — začetek valovnega efekta oziroma čas, ko se hitrost v kolu nenadno poveča (ms)

t_2 — konec valovnega efekta (glej sliko 4) (ms)

$R(t_1)$ — sila odpornosti v času t_1 (kN)

R — sila pri udarcu v času $t = 0$ (kN)

EA/c — impedanca kola Z (kNm^{-1})

Zapomniti si je potrebno, da razmik oziroma razpoka reducira prenos valovne hitrosti na spodnjem delu kola, zaradi česar je reakcija na dnu pri konici kola nekoliko zakasnela.

Včasih se zgodi, da zaznamo razmik/razpoko tik blizu mesta, kjer je kol spojen. Zato je dobro poznati velikost vrednosti projektiranega razmika za spoj; le tako ne pride do zamenjave, kaj je **razmik razpoke** in kaj **razmik spoja.**

2.5. Primer izračuna velikosti razmika/razpoka pri spajanem armiranobetonskem kolu

Slika 5 prikazuje posnetek grafa sila — hitrost . . /EA/c) za primer, ko se razmik/razpoka pojavi zelo blizu spoja kola. Projektirana velikost razmika spoja je bila 0.7 mm. Ugotoviti moramo, kolikšna je vrednost velikosti razmika/razpoke in koliko je oddaljena od vrha kola oziroma mesta, kjer so pritrjeni merilni elementi (slika 5).

Iz grafa na sliki 5 odberemo vrednosti za hitrosti:

$v_a = 1{,}22$ m/s
$v_b = 0{,}27$ m/s

in ustrezne vrednosti za čas:

$t_1 = 11{,}3$ ms
$t_2 = 16{,}0$ ms

Enačbo (11) integriramo in dobimo:

$$\delta = 1/2 (v_a - v_b) (t_2 - t_1) \quad (12)$$

Z vstavljanjem vrednosti za hitrosti in čas izračunamo velikost razmika/razpoke:

$$\delta = 1/2 (1{,}22 - 0{,}27) \cdot 10^{-3} (16{,}0 - 11{,}3) = 0{,}001 \text{ m}$$
$$\delta = 1{,}0 \text{ mm}$$

2.6. Povzetek

Možnost kontrole integritete z analizatorjem zabijanja kolov ima naslednje prednosti:

— metoda kontrole je primerna za vse vrste kolov,

— kontrola poteka po celi dolžini kola,

— ugotavlja se lokacija, stopnja in velikost poškodovanosti,

— na podlagi stopnje poškodbe se lahko predpiše ustrezna sanacija kola,

— delo poteka hitro in enostavno ter je glede na ostale postopke ugotavljanja zveznosti prereza kola natančno in poceni.

3. SKLEP

Analizator zabijanja kolov je po svetu postal standardni del orodja za pregled kolov, vgrajenih v temeljna tla. Z možnostjo ugotavljanja integritete kolov ne dopuščamo nobene slučajnosti pri izvedbi globokega temeljenja. Občutljivi senzorji namreč zaznajo še zelo majhno poškodbo, zaradi česar lahko pravočasno vplivamo na potek zabijanja kolov in tako preprečimo nadaljnje večanje poškodbe oziroma razpok.

Kontrola integritete (zveznost) prereza kola je sestavni del vsakega poročila o nosilnosti kola.

Literatura

1. **Fisher, H. C.:** Stress wave theory for pile driving applications, Second international conference on the application of stress-wave theory on piles, Stockholm, May 1984.
2. **Goble, G. G.:** Bearing capacity of piles from dynamic measurements, Finàl report, NO. OHIO. DOT-05-75, Department of Civil Engineering, Case Western Reserve University, Cleveland, OHIO, March 1975.
3. Pile Driving Analyzer Manual, Pile Dynamic, Inc./ Pile Dynamic International, Inc., Januar 1984.
4. **Rausche, F.:** Criteria for the determination of pile damage from pile top force and velocity, August 1977.
5. **Rausche, F.:** Stress wave measuring in practice, Second international conference on the application of stress-wave theory on piles, Stockholm, May 1984.
6. **Rausche, F., Moses, F., Goble, G. G.:** Soil Resistance Predictions from Pile Dynamics, Proceedings of the ASCE, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, September 1972.

Naslov avtorjev:

Gorazd Strniša, dipl. inž. gr., GIP GRADIS — DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Ivan Lesjak, dipl. inž. gr., GIP GRADIS — DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Metoda »CAPWAPC« kot alternativa klasični statični obremenilni preizkušnji

UDK 624.04+620.17:519.6

GORAZD STRNIŠA
IVAN LESJAK

METODA CAPWAP/C KOT ALTERNATIVA KLASIČNI STATIČNI OBREMENILNI PREIZKUŠNJI

Povzetek

Članek opisuje princip metode CAPWAP/C, s pomočjo katere določamo iz pridobljenih podatkov PDA meritev karakteristike tal, kamor je kol zabit, in mejno statično nosilnost kola. Kratka poglavja opisujejo matematični model kola in zemljine, algoritem in rezultate metode in simulacijo statičnega obremenilnega testa.

CAPWAP/C METHOD LIKE ALTERNATIVE STATIC LOAD TEST OF PILES

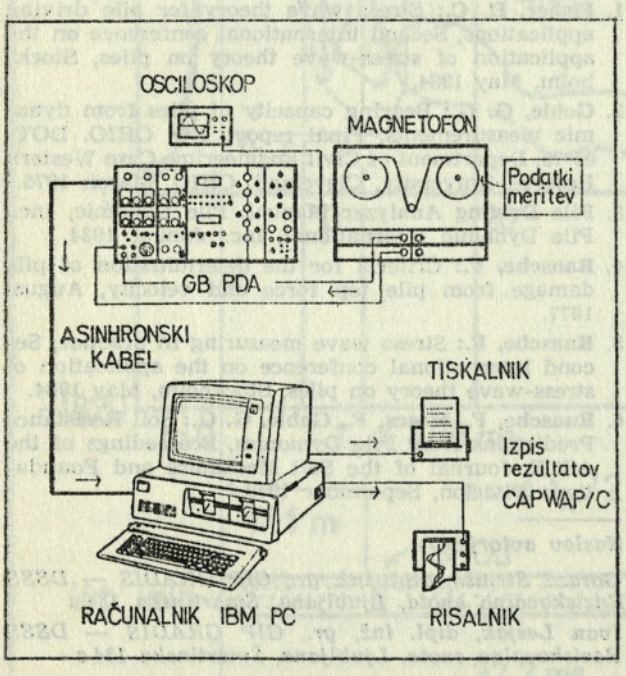
Summary

The article describes CAPWAP/C method for determination characteristics of soil and static bearing capacity of pile based on dynamic measurements with PILE DRIVING ANALYZER. Short sections provide mathematic model of soil and pile, flow chart, results of method and simulation of static load test.

1.0. UVOD

Z računalniškim programom CAPWAP/C določamo iz na terenu izmerjenih vrednosti sile in hitrosti v odvisnosti od časa, **karakteristike zemljine** v katero je kol zabit in nato **simuliramo statični obremenilni test.**

Iz teorije napetostnega valovanja nam je znano, da predstavlja razlika med merjeno silo v kolu (F) in hitrostjo kola (v · EA/c) v odvisnosti od časa **rezultanto odpornostnih sil.** Pri ustrezno izbranih



Slika 1. **Shema asinhronskega prenosa podatkov v računalnik**

karakteristikah zemljine ob plašču in pod konico kola lahko s pomočjo izmerjenih vrednosti hitrosti v kolu v odvisnosti od časa izračunamo silo v kolu v odvisnosti od časa. Izračunana sila v kolu v odvisnosti od časa je enaka izmerjeni sili v kolu v odvisnosti od časa samo takrat, kadar so karakteristike zemljine (model zemljine) pravilno izbrane.

Veliko število podatkov, ki jih moramo obdelati, zahteva dovolj zmogljiv računalnik (najmanj 512 kB osnovnega spomina, dva gibka diska z 312 kB, paralelni in serijski priključek) kakor tudi dodatno opremo za izpis rezultatov CAPWAP/C analize v grafični in numerični obliki (slika 1).

2.0. METODA CAPWAP/C

2.1. Izbor udarca

Znano nam je, da lahko z analizatorjem — PDA spremljamo zabijanje kola od začetka do konca. V tem primeru imamo za analizo meritev na razpolago veliko število podatkov. Glede na to, kaj želimo v danem položaju (potek notranjih sil in nosilnost), izberemo način izvajanja meritev na kolu:

— spremljanje celotnega poteka zabijanja,

— spremljanje samo zadnje faze (konec) zabijanja,

— spremljanje ponovnega zabijanja (ko že deluje »set up« efekt oziroma utrjevanje tal).

Za nadaljevanje analize s pomočjo programa CAPWAP/C (Case Wave Analyses Program) potrebujemo ne oziraje se na izbrani način spremljanja zabijanja reprezentančen udarec oziroma zapis poteka F(t) in v(t). Kaj to pomeni? V prvi vrsti mora biti zapis tak, da je jasno, da med zabijanjem ni prišlo do kakršnihkoli poškodb na elementih za merjenje.

Druga, vendar najbolj pomembna postavka pa je, da **mora biti energija udarca dovolj velika, da kol s svojim premikom aktivira celotno odpornost tal.**

Ta postavka je lahko kritična samo v primeru izvajanja meritev pri ponovnem zabijanju.

Primeren udarec se izbere pri ponovnem pregledu celotnega posnetka s pomočjo opreme, ki je prikazana na sliki (1).

Iz magnetofona se podatki pošljejo v analizator, s pomočjo katerega se spremljajo spremembe že prej omenjenih vrednosti.

Ko s pomočjo analizatorja izberemo udarec oziroma njegov posnetek, ga pošljemo prek asinhronske komunikacije v računalnik in shranimo na ustrezno datoteko.

2.2. Algoritem metode CAPWAP/C

Slika (2) prikazuje osnovni algoritem programa:

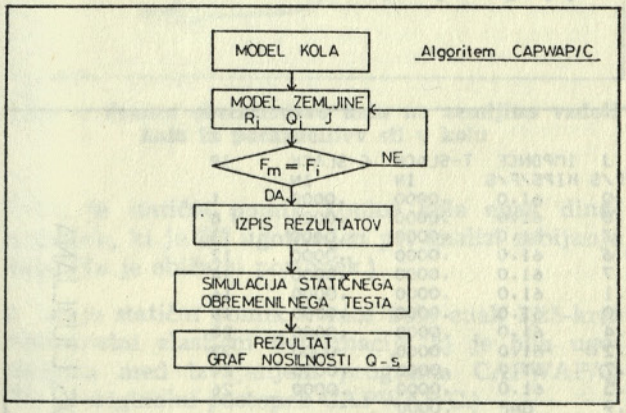
— določitev modela kola,

— določitev modela zemljine in posameznih karakteristik segmentov zemljine,

— izračun poteka sile $F_i(t)$ na vrhu kola,

— primerjava izmerjene $F_m(t)$ in izračunane sile $F_i(t)$.

Če sta obe vrednosti zadovoljivo skladni, pomeni, da so bile karakteristike posameznih elementov zemljine, izbrane pravilno. Če skladnost vrednosti ni zadovoljiva, je potrebno spremeniti karakturistike zemljine ali kola in postopek izračuna ponoviti.



Slika 2. **Algoritem metode CAPWAP/C**

Osnova CAPWAP/C analize je valovna enačba. Zaradi tega je potrebno izbrati ustrezen model kola in zemljine, da opišemo resnično stanje ter dogajanje v kolu in ob njem.

Značilno za to metodo je, da je **model kola** predtavljen z Np segmenti, ki imajo geometrijske karakteristike in karakteristike materiala kot merjeni kol. Segmenti imajo dolžino dL_i in določen čas potovanja napetostnega vala po segmentu dt_i.

Dinamični elastičnostni modul in specifična teža segmenta se spreminjata, če se prečni prerez ali material vzdolž kola spremeni. Dolžino segmenta dL_i določimo z enačbo:

$$dL_i = c_i \cdot dt_i \qquad (1)$$

Hitrost potovanja napetostnega vala po segmentu »i« se določi z enačbo:

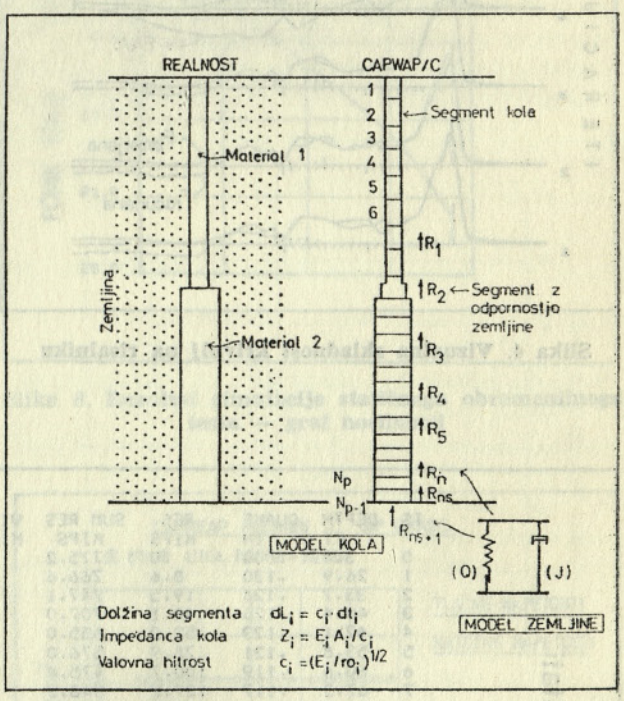
$$c_i = (E_i/ro_i)^{1/2} \qquad (2)$$

in impedanca segmenta:

$$Z_i = E_i A_i/c_i \qquad (3)$$

Če povzamemo, vidimo, da ima vsak segment kola lahko različno dolžino (dL_i), enak čas potovanja napetostnih valov (dt_i) in variabilno impedanco (Z_i).

S tem je določen matematični model kola.



Slika 3. **Matematični model kola in zemljine**

Model zemljine dobimo tako, da zemljino ob kolu razdelimo na segmente in vsak segment opredelimo s tremi parametri: **rezultanto odpornostnih sil na segmentu (R), elastično deformacijo segmenta zemljine (Q)** in **faktorjem dušenja segmenta (J)**.

Pri izvajanju programa obstaja možnost ali potreba po nizu ustreznih modeliranih predpostavk, ki so:

— lastno dušenje kola,

— simulacija eventualnega spoja,

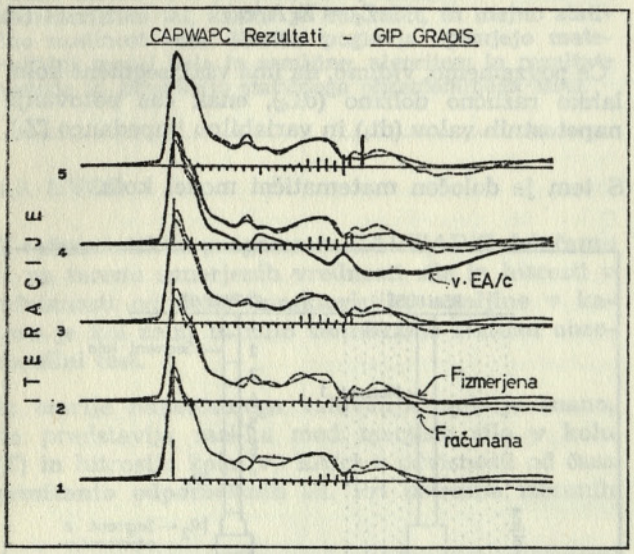
— različne variante konice kola,

— simulacija mase zemljine, ki v primeru odprte konice kola pride v kol,

— natezne in tlačne razpoke v kolu,

— razmik oziroma distanca med konico kola in zemljino kot posledica trdega zabijanja itd.

Izkušeni inženir s spreminjanjem naštetih parametrov zemljine po globini in s pravilno izbiro modela zemljine lahko že po nekaj iteracijah doseže zadovoljivo skladnost izračunane in izmerjene vrednosti sile v kolu (slika 4).



Slika 4. **Vizualna skladnost krivulj na risalniku**

Informacija skladnosti merjene in računane krivulje je vizualna (na risalniku) in numerična (na tiskalniku), ki izpiše koeficient odstopanja obeh krivulj.

Čim boljša je skladnost izračunane in izmerjene krivulje, tem bolj izbrani model zemljine ustreza dejanskemu stanju zemljine ob kolu.

2.3. Rezultati metode CAPWAP/C

Glavni rezultat CAPWAP/C metode je vrednost končne statične nosilnosti kola (nosilnost po plašču in konici kola) in določen povprečni faktor dušenja segmenta zemljine. **Ta faktor dušenja uporabimo kot faktor Ic v CASE metodi** (slika 5).

Izbira med možnostmi v programu nam omogoča razne variante grafičnih in numeričnih izpisov. Najpomembnejša grafična izpisa sta **skladnosti izmerjene in izračunane krivulje sile** v kolu ter prenos obremenitve kola na zemljino vzdolž kola (slika 6, 7).

2.4. Simulacija statičnega obremenilnega testa

Ker sedaj poznamo karakteristike kola in zemljine, se lahko lotimo simulacije statičnega obremenilnega testa, ki se izvede tako, da se vrh modela kola postopno obremenjuje. Istočasno z obremenjevanjem se računa posedanje in ustrezne statične odpornosti modela kola.

Simulacijo statičnega obremenilnega testa je možno izvesti na tri različne načine, ki se med seboj razlikujejo glede predpostavk:

CAPWAPC Rezultati

IS	DEPTH FT	QUAKE IN	RES KIPS	SUM RES KIPS	VISC. J KIPS/F/S	IMPDNCE KIPS/F/S	T-SLACK IN	C-SLACK IN	IP
0	3.4	.000	.0	775.2	.0	61.0	.0000	.0000	1
1	26.9	.130	8.6	766.6	.8	61.0	.0000	.0000	8
2	33.7	.128	19.5	747.1	1.7	61.0	.0000	.0000	10
3	40.4	.126	40.1	707.0	3.6	61.0	.0000	.0000	12
4	47.1	.123	52.0	655.0	4.7	61.0	.0000	.0000	14
5	53.8	.121	78.9	576.0	7.1	61.0	.0000	.0000	16
6	60.6	.119	100.7	475.4	9.0	61.0	.0000	.0000	18
7	67.3	.117	127.2	348.2	11.4	61.0	.0000	.0000	20
8	74.0	.114	147.5	200.7	13.2	61.0	.0000	.0000	22
9	80.8	.112	119.6	81.0	10.7	61.0	.0000	.0000	24
10	87.5	.110	61.2	19.9	5.5	61.0	.0000	.0000	26
PILE TOE		.150	19.9		4.9	GAP	.0000		

RESISTANCE SKIN KIPS	RESISTANCE TOE KIPS	RESISTANCE TOTAL KIPS	CASE DAMPING SKIN	CASE DAMPING TOE	SMITH DAMPING SKIN 1/FT/S	SMITH DAMPING TOE 1/FT/S	QUAKES SKIN IN	QUAKES TOE IN
755.4	19.9	775.2	1.112	.080	.090	.246	.120	.150
UNLOADING QUAKES IN PERCENT:							60	100
RELOADING QUAKES IN PERCENT:							0	0

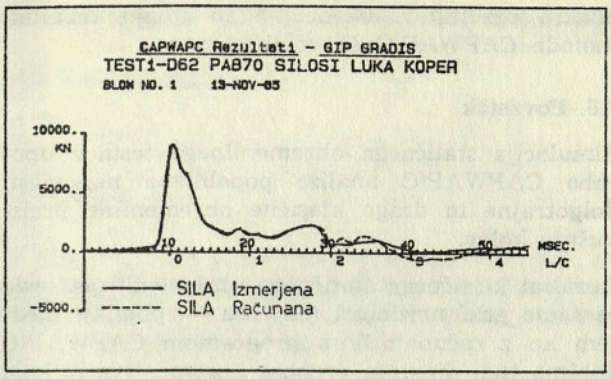
SKIN FRICTION UNLOADING TO -30% OF R ULT SOIL MASS .000KIPS

ENERGY MAX FT-KIPS	ENERGY FIN FT-KIPS	FORCES MAX KIPS	I TMAX MS	MIN KIPS	I TMIN MS	DISPLACEMENTS TOP IN	DISPLACEMENTS TOE IN
23.1	14.0	708	12 25.	-45	8 55.	.576	.173

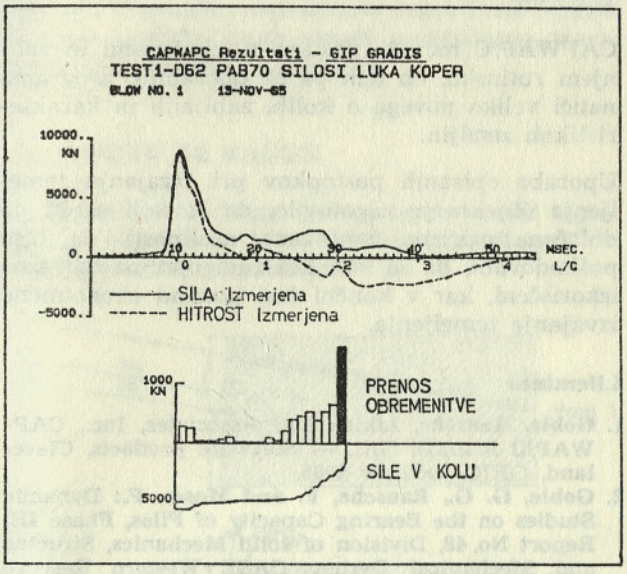
TIME INCR (MS)= .200; INT. PILE DAMPING (%)= .0; NO. OF TRIALS= 33

GIP GRADIS LJUBLJANA

Slika 5. **Primer numeričnega izpisa CAPWAP/C rezultatov**



Slika 6. **Skladnost izmerjene in izračunane krivulje sile v kolu**



Slika 7. **Prenos obremenitve kola na zemljino vzdolž kola in porazdelitev sil v kolu**

1. Da je statični pomik konice kola enak dinamičnemu, ki je bil ugotovljen pri analizi zabijanja kola. (To je običajni postopek.)

2. Da je statični pomik konice kola enak 1,25-krat maksimalni elastični deformaciji, ki je bila ugotovljena med izvajanjem programa CAPWAP/C. (To je originalni postopek CAPWAP/C.)

3. Da je pomik konice kola enak tistemu iz točke 1, s tem da se upoštevajo sile na konici, ki dajejo najboljšo skladnost z dinamičnimi meritvami. (Ta varianta nam daje dobre rezultate, če je izračunana sila manjša od tiste, ki je izmerjena v času 2 L/C.)

Za vse te analize se normalno uporabljajo enaki modeli, kakršni so dobljeni iz analize CAPWAP/C.

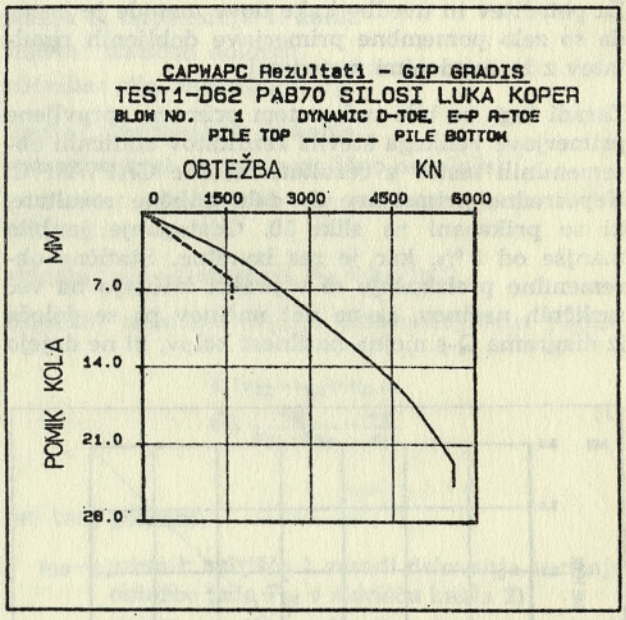
Možne pa so spremembe, kot na primer:

— skrajšanje modela kola, da ustreza realnemu stanju,

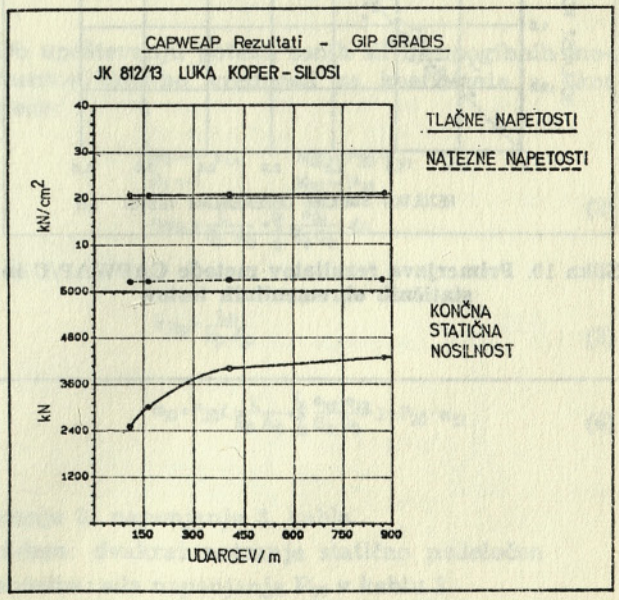
— reduciranje elastičnega modula (znano je, da je dinamični elastični modul nekoliko večji od statičnega),

— »dinamične« elastične deformacije se lahko zamenjajo s statičnimi elastičnimi deformacijami in lezenjem, kar navadno ni mogoče; krivulje Q-s iz CAPWAP/C torej običajno ne upoštevajo lezenja, kar pomeni, da jo je potrebno nekoliko znižati.

Rezultat simulacije statičnega obremenilnega testa je prikazan v obliki **grafa nosilnosti** na diagramu obtežba-pomik (slika 8).



Slika 8. **Rezultat simulacije statičnega obremenilnega testa — graf nosilnosti**



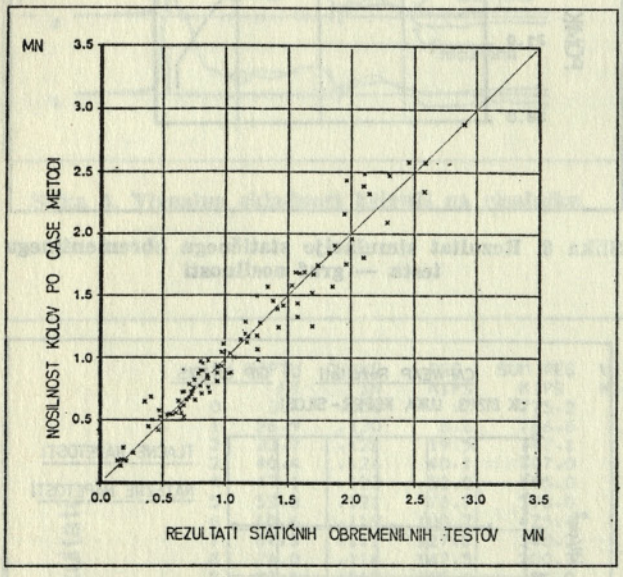
Slika 9. **Končne statične nosilnosti v odvisnosti od zabijalnih kriterijev in povezava z napetostmi v kolu**

Ena izmed možnosti analize CAPWAP/C rezultatov je tudi CAPWEAP (CAP — Wave Equation Analysis Program), ki končne statične nosilnosti v odvisnosti od zabijalnih kriterijev kola povezuje z napetostmi v kolu. Ta program v računu za razliko od klasične valovne analize (WEAP program) za vhodne podatke uporabi izmerjene vrednosti na merskem mestu in ne privzete karakteristike zabijala (slika 9).

2.5. Primerjava rezultatov metode CAPWAP/C in statičnih obremenilnih testov

Za potrditev in uvedbo kake nove metode je jasno, da so zelo pomembne primerjave dobljenih rezultatov z že uvedenimi metodami.

Zaradi tega so bile tudi v tem primeru opravljene primerjave velikega števila rezultatov statičnih obremenilnih testov z rezultati metode CAPWAP/C. Neposredne primerjave so dale odlične rezultate, ki so prikazani na sliki 10. Odstopanje je bilo manjše od 5 %, kar je res izvrstno. Statične obremenilne preizkušnje se v praksi izvajajo na več različnih načinov, še na več načinov pa se določa iz diagrama Q-s mejna nosilnost kolov, ki ne dajejo enakih rezultatov. Glede na to imajo rezultati metode CAPWAP/C še večji pomen.



Slika 10. **Primerjava rezultatov metode CAPWAP/C in statičnih obremenilnih testov**

2.6. Povzetek

Simulacija statičnega obremenilnega testa z uporabo CAPWAP/C analize popolnoma nadomesti dolgotrajne in drage klasične obremenilne preizkušnje kolov.

Rezultat klasičnega statičnega obremenilnega testa je samo graf nosilnosti (obtežba — pomik), medtem ko z računalniškim programom CAPWAP/C dobimo tudi diagram prenosa obremenitve iz kola v temeljna tla.

3. SKLEP

CAPWAP/C metoda postane z izkušnjami in znanjem rutinska, ob tem pa se uporabnik programa nauči veliko novega o kolih, zabijalih in karakteristikah zemljin.

Uporaba opisanih postopkov pri izvajanju temeljenja objekta je zagotovilo, da so koli zabiti do določene oziroma zahtevane nosilnosti, da niso poškodovani, da so koli kot tudi oprema ustrezno izkoriščeni, kar v končni fazi pomeni ekonomično izvajanje temeljenja.

Literatura

1. **Goble, Rausche,** Likins and Associates, Inc., CAPWAP/C Manual, GRL — Software products, Cleveland, OHIO, October 1985.
2. **Goble, G. G., Rausche, F. and Moses, F.:** Dynamic Studies on the Bearing Capacity of Piles, Phase III, Report No. 48, Division of solid Mechanics, Structur and Mechanical Design, CASE Western Reserve University, Cleveland, OHIO 1970.
3. **Rausche, F.:** Stress wave measuring in practice, Second International conference on the application of stress-wave theory on piles, Stockholm, May 1984.
4. **Smith, E. A. L.:** Pile driving analysis by the wave equations, Journal of Soil Machanics and Foundations, American Society of Civil Engineers, 86, pp 35—61, August 1960.

Naslov avtorjev:
Gorazd Strniša, dipl. inž. gr., GIP GRADIS — DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a
Ivan Lesjak, dipl. inž. gr., GIP GRADIS — DSSS Raziskovalna enota, Ljubljana, Šmartinska 134 a

Padec sile v kablih zaradi zaporednega napenjanja kablov

UDK 624.042+624.07

VUKAŠIN AČANSKI
VIKTOR MARKELJ

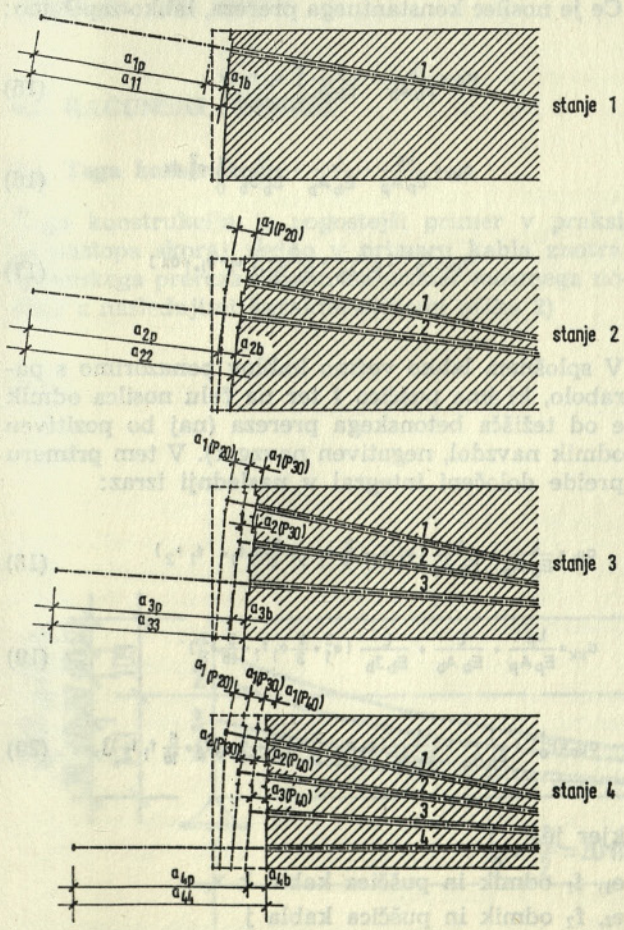
1.0. UVOD

V konstrukcijah z naknadnim vzpostavljanjem ali brez povezave med kabli in betonom nastopajo izgube v kablih, ki so že prednapeti zaradi prednapenjanja preostalih kablov.

Red velikosti izgube zaradi zaporednega napenjanja je odvisen od oblike kabla in togosti konstrukcije, ki se napenja. Če imamo opraviti s togo konstrukcijo, je zadosti, da izračunamo izgube po približnih enačbah. V primeru zelo deformabilne konstrukcije moramo problem izgub zaradi zaporednega prednapenjanja natančno analizirati.

2.0. OSNOVE ZA RAČUN

Za izvedbo natančnega računa izgub zaradi zaporednega napenjanja bomo analizirali nosilec, ki je prednapet s štirimi kabli (slika 1).



Slika 1

Obravnavani nosilec je statično notranje nedoločen; ta statično nedoločeni sistem prevedemo v statično določenega s sprostitvijo kabla na enem koncu in dobimo tako imenovani »odprti« sistem.

V analizi obravnavamo naslednja stanja:

stanje 1: napenjanje 1. kabla
sistem: statično določen
obtežba: sila napenjanja P_{10}

stanje 2: napenjanje 2. kabla
sistem: enkrat notranje statično nedoločen
neznanka: sprememba sile prednapenjanja X_1^2 v kablu 1.

obtežba: sila napenjanja P_{20} v kablu 2.

določitev neznanke X_1^2, iz deformacijskega pogoja

$$X_1^2(a_{11b}+a_{11p})+a_{10}=0$$
$$X_1^2=\frac{a_{10}}{a_{11b}+a_{11p}}=-\frac{a_{10}}{a_{11}} \qquad (1)$$

pri tem pomeni:

a_{10} — premik sidrišča 1 zaradi delovanja zunanje obtežbe (sila P_{20} v sidrišču kabla 2)

$a_{11\,b}$ — skrajšanje betonske konstrukcije zaradi delovanja sile $P = 1$ v sidrišču kabla 1

$a_{11\,p}$ — raztezek kabla 1 zaradi delovanja sile v kablu $P = 1$ na mestu kabla 1

Ob upoštevanju poteka osnih sil in upogibnih momentov dobimo vrednosti za koeficiente a_1, kot slede:

$$M_1=-1\cdot e_{x1} \qquad M_{20}=-P_{20}\cdot e_{x2}$$
$$N_1=-1 \qquad N_{20}=-P_{20}$$
$$a_{11b}=\frac{L}{E_b A_b}+\int_0^L \frac{e_{x1}^2}{E_b J_b}\cdot dx \qquad (2)$$

$$a_{11p}=\frac{L_p}{E_p A_p} \qquad (3)$$

$$a_{10}=P_{20}\left[\frac{L}{E_b A_b}+\int_0^L \frac{e_{x1}\cdot e_{x2}}{E_b J_b}\right]=P_{20}\cdot a_{12} \qquad (4)$$

stanje 3: napenjanje 3. kabla
sistem: dvakrat notranje statično nedoločen
obtežba: sila napenjanja P_{30} v kablu 3
neznanke: spremembe sil prednapenjanja X_1^3, X_2^3 v kablih 1 in 2.

Neznanke določimo na osnovi deformacijskega pogoja, kot sledi:

$$\begin{aligned} X_1^3 \cdot a_{11} + X_2^3 a_{12} + a_{10} &= 0 \\ X_2^3 a_{21} + X_2^3 a_{22} + a_{20} &= 0 \end{aligned} \qquad (5)$$

koeficiente določimo na podoben način kot pri stanju 2.

stanje 4: napenjanje 4. kabla

sistem: trikrat notranje statično nedoločen

neznanke: spremembe sil prednapenjanja X_1^4, X_2^4 in X_3^4

obtežba: sila napenjanja P_{40} v kablu 4.

Neznanke določimo na osnovi deformacijskih pogojev, kot sledi:

$$\begin{aligned} X_1^4 a_{11} + X_2^4 a_{12} + X_3^4 a_{13} + a_{10} &= 0 \\ X_1^4 a_{21} + X_2^4 a_{22} + X_3^4 a_{23} + a_{20} &= 0 \\ X_1^4 a_{31} + X_2^4 a_{32} + X_3^4 a_{33} + a_{30} &= 0 \end{aligned} \qquad (6)$$

tako dobimo končne sile:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_{10} + X_1^2 P_{20} + X_1^3 P_{30} + X_1^4 P_{40} \\ P_2 &= P_{20} + X_2^3 P_{30} + X_2^4 P_{40} \\ P_3 &= P_{30} + X_3^4 P_{40} \\ P_4 &= P_{40} \end{aligned} \qquad (7)$$

Na podlagi zgornjega izvajanja lahko za n kablov zapišemo splošno enačbo v matrični obliki.

Če napenjamo n kablov zaporedoma enega za drugim, se pojavljajo padci sil, ki so definirani s sistemom enačb velikostnega reda, ki je vedno za 1 večji od prejšnjega, vključno do sistema z (n − 1) neznankami.

Čisto formalno se lahko vsi koraki izvedejo na (n − 1) sistemov z (n − 1) neznankami.

Tako lahko za i-ti sistem zapišemo:

$$[a_{jk}]_i \{x\}_i + \{a_o\}_i = 0 \qquad (8)$$

matrike imajo naslednjo obliko:

$$[a_{jk}]_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1i} & 0 \dots 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2i} & 0 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ a_{i1} & a_{12} & \dots & a_{ii} & 0 \dots 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 10 \dots 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 01 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 00 \dots 1 \end{bmatrix} \quad \{a_o\}_i = \begin{bmatrix} a_{10} \\ a_{20} \\ \vdots \\ a_{i0} \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \qquad (9)$$

Ko napenjamo kabel i + 1, je padec sile določen z izrazom:

$$\{X\}_i = [a_{jk}]_i^{-1} \cdot \{-a_o\}_i \qquad (10)$$

Sumarni padec sile v kablih je potem vsota zgornje enačbe od i = 1 do i = n − 1

$$\{X\} = \sum_{i=1}^{n-1} ([a_{jk}]_i^{-1} \{-a_o\}_i) \qquad (11)$$

Pomiki a_{jk} v matrikah imajo naslednje vrednosti:

$$a_{jk} = \int_0^L \frac{dx}{E_b A_b} + \int_0^L \frac{e_j e_k}{E_b J_b} dx \qquad (12)$$

$$a_{kk} = \int_0^{L_p} \frac{dx}{E_p A_p} + \int_0^L \frac{dx}{E_b A_b} + \int_0^L \frac{e_k^2}{E_b J_b} dx \qquad (13)$$

$$a_{ko} = \int_0^L \frac{P_o^{i+1}}{E_b A_b} dx + \int_0^L \frac{P_o^{i+1} e_k \cdot e_{k+1}}{E_b J_b} dx \qquad (14)$$

Tukaj pomenita e_k in e_j ordinati kablov kot funkcija x, e_{i+1} pa predstavlja ordinato kabla i + 1, ki ga napenjamo.

Če je nosilec konstantnega prereza, lahko zapišemo:

$$a_{jk} = \frac{L}{E_b A_b} + \frac{1}{E_b J_b} \int_0^L e_k e_j dx \qquad (15)$$

$$a_{kk} = \frac{L_p}{E_p A_p} + \frac{L}{E_b A_b} + \frac{1}{E_b J_b} \int_0^L e_k^2 dx \qquad (16)$$

$$a_{ko} = P_o^{i+1} \left[\frac{L}{E_b A_b} + \frac{1}{E_b J_b} \int_0^L e_k \cdot e_{i+1} dx \right] \qquad (17)$$

V splošnem lahko večino kablov ponazorimo s parabolo, ki ima puščico f ter na čelu nosilca odmik e od težišča betonskega prereza (naj bo pozitiven odmik navzdol, negativen navzgor). V tem primeru preide določeni integral v naslednji izraz:

$$a_{jk} = \frac{L}{E_b A_b} + \frac{L}{E_b J_b} \left(e_1 e_2 + \frac{2}{3} e_1 f_2 + \frac{2}{3} e_2 f_1 + f_1 f_2 \right) \qquad (18)$$

$$a_{kk} = \frac{L_p}{E_p A_p} + \frac{L}{E_b A_b} + \frac{L}{E_b J_b} \left(e_1^2 + \frac{4}{3} e_1 f_1 + \frac{5}{18} f_1^2 \right) \qquad (19)$$

$$a_{ko} = P_o^{i+1} \left[\frac{L}{E_b A_b} + \frac{L}{E_b J_b} \left(e_1 e_3 + \frac{2}{3} e_1 f_3 + \frac{2}{3} e_3 f_1 + \frac{5}{18} f_1 f_3 \right) \right] \qquad (20)$$

kjer je:

e_1, f_1 odmik in puščica kabla k

e_2, f_2 odmik in puščica kabla j

e_3, f_3 odmik in puščica kabla i + 1

3.0. TOGOST PREDNAPETEGA SISTEMA

Do sedaj smo prednapete konstrukcije delili na toge in podajne sisteme, kar pa marsikomu ne pove mnogo oziroma nič.

Ti pojmi se dajo ovrednotiti s karakteristično togostjo, ki jo označimo z α.

Togost α nam pove, koliki del dodatne obtežbe na skupni sistem prevzamejo kabli z delovanjem kot zatega (dodatne osne sile); oziroma $(1 - \alpha)$ koliki del prevzame betonski prerez z linijskim delovanjem (dodatni momenti).

Za sisteme s kabli znotraj betonskega prereza znaša vrednost α pod 0.10 (običajno 0.05), kar pomeni, da 90—95 % »nosi« beton, 5—10 % pa kabli.

Togost α definiramo z razmerjem:

$$\alpha = \frac{a_{11b}}{a_{11p} + a_{11b}} = \frac{a_{11b}}{a_{11}}$$

pri čemer je pomen koeficientov enak kot v prej opisanem »odprtem« sistemu, kable pa predstavlja rezultanta vseh kablov.

4.0. RAČUNSKI PRIMERI

4.1. Toga konstrukcija

Toga konstrukcija je pogostejši primer v praksi, ki nastopa skoraj vedno v primeru kabla znotraj betonskega prereza. Podan bo primer mostnega nosilca z naslednjimi karakteristikami (slika 2)

beton:
L = 40 m
Ab = 1.092 m^2
Ib = 0.966 m^4
Eb = 34000 MPa

kabli:
LH 12 × 0.6" kom 4
Ap = 16.8 cm^2 = 0.00168 m^2

skupaj:
Apr = 4 × 0.00168 = 0.00672 m^2
Ep = 195000 MPa

napenjalna sila:
PO = 2000 kN (en kabel)

puščice parabol in ekscentričnost na kraju nosilca (po sliki 2):

$f_1 = 1{,}87$ m $\quad e_1 = -0{,}69$ m
$f_2 = 1{,}47$ m $\quad e_2 = -0{,}29$ m
$f_3 = 1{,}02$ m $\quad e_3 = 0{,}31$ m
$f_4 = 0{,}62$ m $\quad e_4 = 0{,}71$ m

4.1.1. Izračun togosti

rezultanta kablov:

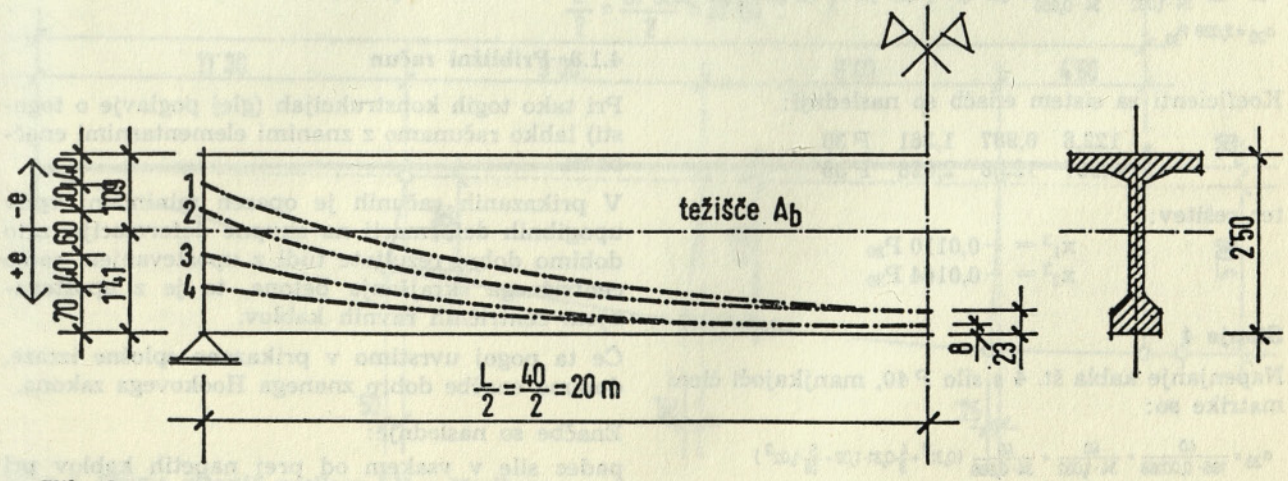
Apr = 0,00672 m^2
fr = 1,25 m
er = 0,0 m

en. (2): $a_{11b} = \frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(\frac{5}{18} \cdot 1{,}25^2\right) = 1{,}61$

en. (3): $a_{11p} = \frac{40}{195 \cdot 0{,}00672} = 30{,}5$

$a_{11} = 30{,}5 + 1{,}61 = 32{,}1$

$\alpha = \frac{1{,}61}{32{,}1} = 0{,}05$



Slika 2

4.1.2. Točen račun

Napenjanje poteka po vrstnem redu 1-2-3-4.

Stanje 1

Kabel 1 je napet s silo P 10 = 2000 kN in zaklinjen, skrajšanje betona je istočasno kompenzirano na napenjalki — izgub ni.

Stanje 2

Kabel 2 je napet s silo P 20 = 2000 kN.

Padec sile se izračuna po prej prikazanem postopku, vsi členi ajk so izračunani po enačbah (18), (19) in (20):

$$a_{11} = \frac{40}{195 \cdot 0{,}00168} + \frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left((-0{,}69)^2 - \frac{4}{3} 0{,}69 \cdot 1{,}87 + \frac{5}{18} 1{,}87^2\right)$$

$$a_{11} = 122{,}8$$

$$a_{10} = P_{20}\left[\frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(0{,}69 \cdot 0{,}29 - \frac{2}{3} 0{,}69 \cdot 1{,}47 - \frac{2}{3} 0{,}29 \cdot 1{,}87 + \frac{5}{18} 1{,}87 \cdot 1{,}47\right)\right.$$

$$a_{10} = 0{,}987\ P_{20}$$

rešitev sistema z neznanko:

$$X_1^2 = -\frac{a_{10}}{a_{11}} = -\frac{0{,}987\ P_{20}}{122{,}1} = -0{,}0081\ P_{20}$$

Stanje 3

Kabel št. 3 napnemo s silo P 30 = 2000 kN, sledi:

$$a_{22} = \frac{40}{195 \cdot 0{,}00168} + \frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(0{,}29^2 - \frac{4}{3} 0{,}29 \cdot 1{,}47 + \frac{5}{18} 1{,}47^2\right)$$

$$a_{22} = 123{,}3$$

$$a_{12} = a_{21} = 0{,}987$$

(člen je enak členu a 10 za silo P 20 = 1)
členi zaradi zunanje obtežbe P 30:

$$a_{10} = P_{30}\left[\frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(-0{,}69 \cdot 0{,}31 - \frac{2}{3} 0{,}69 \cdot 1{,}02 + \frac{2}{3} 0{,}31 \cdot 1{,}87 + \frac{5}{18} 1{,}02 \cdot 1{,}87\right)\right.$$

$$a_{10} = 1{,}361\ P_{30}$$

$$a_{20} = P_{30}\left[\frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(-0{,}29 \cdot 0{,}31 - \frac{2}{3} 0{,}29 \cdot 1{,}02 + \frac{2}{3} 0{,}31 \cdot 1{,}47 + \frac{5}{18} 1{,}47 \cdot 1{,}02\right)\right.$$

$$a_{20} = 2{,}028\ P_{30}$$

Koeficienti za sistem enačb so naslednji:

122,8	0,987	1,361	P 30
0,987	123,8	2,028	P 30

ter rešitev:

$$x_1^3 = -0{,}0110\ P_{30}$$
$$x_2^3 = -0{,}0164\ P_{30}$$

Stanje 4

Napenjanje kabla št. 4 s silo P 40, manjkajoči členi matrike so:

$$a_{33} = \frac{40}{195 \cdot 0{,}00168} + \frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(0{,}31^2 + \frac{4}{3} 0{,}31 \cdot 1{,}02 + \frac{5}{18} 1{,}02^2\right)$$

$$a_{33} = 124{,}2$$

$$a_{31} = a_{13} = 1{,}361$$

(ta člen je enak členu a 10 pri P 30 = 1)

$$a_{32} = a_{23} = 2{,}028$$

(ta člen je enak členu a 20 pri P 30 = 1)

obtežni členi:

$$a_{10} = P_{40}\left[\frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(-0{,}69 \cdot 0{,}71 - \frac{2}{3} 0{,}69 \cdot 0{,}62 + \frac{2}{3} 0{,}71 \cdot 1{,}87 + \frac{5}{18} 0{,}62 \cdot 1{,}87\right)\right.$$

$$a_{10} = 1{,}615\ P_{40}$$

$$a_{20} = P_{40}\left[\frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(-0{,}29 \cdot 0{,}71 - \frac{2}{3} 0{,}29 \cdot 0{,}62 + \frac{2}{3} 1{,}47 \cdot 0{,}71 + \frac{5}{18} 1{,}47 \cdot 0{,}62\right)\right.$$

$$a_{20} = 1{,}836\ P_{40}$$

$$a_{30} = P_{40}\left[\frac{40}{34 \cdot 1{,}092} + \frac{40}{34 \cdot 0{,}966}\left(0{,}31 \cdot 0{,}71 + \frac{2}{3} 0{,}31 \cdot 0{,}62 + \frac{2}{3} 1{,}02 \cdot 0{,}71 + \frac{5}{18} 1{,}02 \cdot 0{,}62\right)\right.$$

$$a_{30} = 2{,}304\ P_{40}$$

matrika je naslednja:

122,8	0,987	1,361	1,615	P_{40}
0,987	123,3	2,028	1,836	P_{40}
1,361	2,028	124,2	2,314	P_{40}

ter rešitev:

$$x_1^4 = -0{,}0128\ P_{40}$$
$$x_2^4 = -0{,}0145\ P_{40}$$
$$x_3^4 = -0{,}0182\ P_{40}$$

končne sile v kablih:

$P_1 = P_{10} - 0{,}0081\ P_{20} - 0{,}0110\ P_{30} - 0{,}0128\ P_{40}$
$P_2 = P_{20} - 0{,}0164\ P_{30} - 0{,}0145\ P_{40}$
$P_3 = P_{30} - 0{,}0182\ P_{40}$
$P_4 = P_{40}$

Komentar k prikazanemu računu:

Napenjanje enega kabla povzroči padec sile v vsakem od že napetih kablov za ca. 1 % (od 0,8 do 1,8 %) napenjalne sile oziroma v primeru enakih kablov skupaj 8 % posamezne sile napenjanja, kar je pri štirih kablih 2 % celotne napenjalne sile.

Padec v absolutnem znesku:

$$X = 0{,}081 \times 2000 = 162\ \text{kN}$$

4.1.3. Približni račun

Pri tako togih konstrukcijah (glej poglavje o togosti) lahko računamo z znanimi elementarnimi enačbami.

V prikazanih računih je opazen minimalni vpliv upogibnih deformacij na skupne deformacije, zato dobimo dobre rezultate tudi z upoštevanjem samo centričnega skrajšanja betona, to je z upoštevanjem centričnih ravnih kablov.

Če ta pogoj uvrstimo v prikazane splošne izraze, dobimo enačbe dobro znanega Hookovega zakona.

Enačbe so naslednje:
padec sile v vsakem od prej napetih kablov pri napenjanju kabla i:

$$X_j^i = \varepsilon_i E_p A_p = P_{io} \frac{E_p A_p}{E_b A_b}$$

skupni padec zaradi kabla i:

$$X^i = \sum_{j=1}^{i-1} X_j^i = (i-1) P_{io} \frac{E_p A_p}{E_b A_b}$$

Po napenjanju n enakih kablov pa znaša skupni padec:

$$X = (1+2+\ldots+(n-2)+(n-1)) P_o \frac{E_p A_p}{E_b A_b}$$

$$X = \left(\frac{n-1}{2} n\right) P_o \frac{E_p A_p}{E_b A_b}$$

Za primer 1 so vrednosti izražene takole:

$$X_j^i = P_o \frac{195 \cdot 0{,}00168}{34 \cdot 1{,}092} = 0{,}0088\, P_o$$

$$X = \left(\frac{4-1}{2} \cdot 4\right) P_o \frac{195 \cdot 0{,}00168}{34 \cdot 1{,}092} = 0{,}0528\, P_o$$

kar znaša v absolutnem znesku:

$$X = 0{,}0528 \times 2000 = 106 \text{ kN}$$

in samo 1,3 % celotne napenjalne sile (po točnem računu 2 %).

Očitno je, da lahko pri togih konstrukcijah računamo izgube zaradi zaporednega napenjanja po elementarnih enačbah, dostikrat pa jih celo zanemarimo. Tako pa ni pri podajnih konstrukcijah, kjer imajo te izgube povsem drugačen velikostni razred in so bistvenega pomena.

4.2. Zgled podajne konstrukcije

Za zgled podajne konstrukcije bo prikazan račun izgub zaradi zaporednega napenjanja pri glavnih nosilcih strehe Ledene dvorane v Mariboru.

Izgube so izračunane z računalniškim programom za naslednji statični sistem:

4.2.1. Izračun togosti (glej tudi 3.0)

$$Apr = 6 \times 0{,}00168 = 0{,}01008 \text{ m}^2$$
$$fr = 5{,}20 \text{ m},\ e = 0$$

$$\alpha_{11b} = \frac{67{,}6}{35 \cdot 1{,}074} + \frac{67{,}6}{35 \cdot 0{,}306}\left(\frac{5}{18} 5{,}20^2\right) = 49{,}2$$

$$\alpha_{11p} = \frac{67{,}6}{195 \cdot 0{,}01008} = 34{,}4$$

$$\alpha = \frac{49{,}2}{49{,}2 + 34{,}4} = 0{,}6$$

Karakteristike elementov:

zgornji betonski pas:
$Fb = 1{,}074 \text{ m}^2$
$Ib = 0{,}306 \text{ m}^4$
$Eb = 35.000$ MPa

spodnji pas (6 kablov):
$Fk = 6 \times 16{,}8 \text{ cm}^2$
$Ek = 195.000$ MPa

Upoštevano je trenje na distančni nogi v vrednosti 0,15 %.

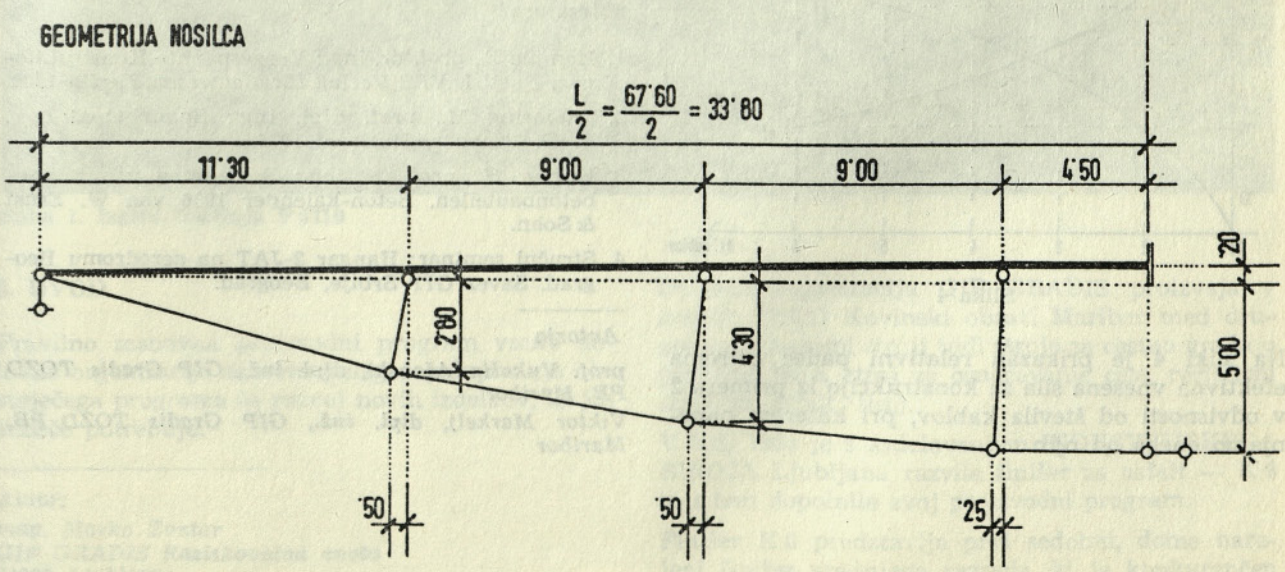
Nosilec smo napenjali v dveh fazah.

I. faza

je bila izvršena z napenjanjem vseh 6 kablov, tako da se je nosilec dvignil računsko za 5 cm.
Ta faza ima dve podfazi, in sicer:

faza Ia

odklonske sile še niso premagale lastne teže konstrukcije, le-ta leži na odru (upogibnih deformacij še ni). Izgube zaradi zaporednega napenjanja so velikostnega reda kot pri togi konstrukciji.
Napenjanje vsakega kabla te faze je zmanjšalo sile v prej napetih kablih za ca. 1 %.



Slika 3. **Shema glavnih nosilcev LD v Mariboru**

faza Ib

nosilec se dvigne iz opaža, izgube zaradi zaporednega napenjanja se zelo povečajo. Ta faza se je začela med napenjanjem 5. kabla.

Predvidena skupna sila napenjanja je znašala $P^I = 4300$ kN oziroma $P_1^I = 717$ kN na kabel. Napenjalne sile so znašale po vrstnem redu napenjanja: 848, 839, 831, 823 in 717 kN tako, da so dobljene računsko enake sile v kablih (717 kN).

medfaza I-II

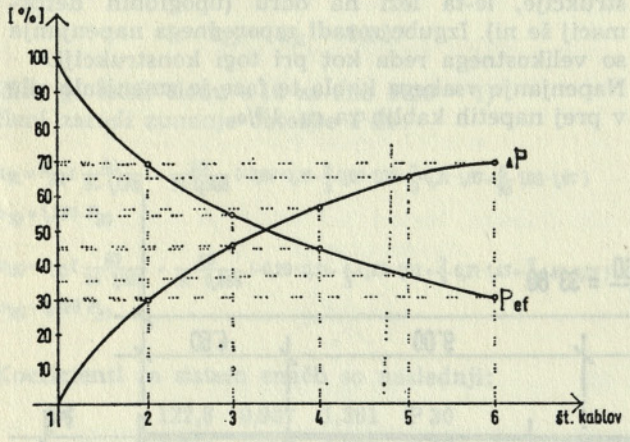
To je faza dviga nosilca in nanašanja dodatne obtežbe (jeklena strešna konstrukcija, kritina, prečniki), zaradi katere se povečuje sila v kablih.

Pred napenjanjem II. faze je sila v kablih znašala ca. $P = 5640$ kN oziroma povprečno na kabel $P_1 = 940$ kN.

II. faza napenjanja

V tej fazi smo iz pogojev trenutnih obremenitev ter nadvišanja dodali vsem kablom efektivne sile $P = 900$ kN oziroma $P_1 = 150$ kN na kabel. Napenjali smo vsak kabel posebej, torej so izgube nastopale vedno na petih kablih.

Ob napenjanju posameznega kabla s silo $P_1^{NAP} = 450$ kN so nastopile izgube na vsakem od ostalih kablov v vrednosti $dN = 60$ kN, torej skupno za dl $s = 5 \times 60 = 300$ kN, kar daje efektivno silo 150 kN na kabel oziroma 33 % napenjalne sile (slika 3).



Slika 4

Na sliki 4 je prikazan relativni padec oziroma efektivna vnesena sila za konstrukcijo iz primera 2 v odvisnosti od števila kablov, pri katerem napenjamo enega od njih.

Razvidno je, da znaša pri istočasnem napenjanju 50 % kablov (1 od 2) efektivno vnesena sila 70 % napenjalne, pri napenjanju enega kabla od šestih (primer 2 — II. faza) pa je efektivna sila komaj 33 % napenjalne.

5.0. SKLEP

Prikazani rezultati opozarjajo na izredno pomembno dejstvo zaporednega napenjanja ter na večji premislek pri računu oziroma zanemarjanju teh izgub.

Ocenjujemo, da se pri nosilcih s togostjo α do 0,10 izgube v inženirski praksi lahko računajo po enostavnih enačbah, ki so tudi bile prikazane v članku.

Glavne uporabljene oznake:

L — dolžina nosilca

Lp — dolžina kabla (v računu L = Lp)

Ab, Eb — prerez in elastičnostni modul betona

Ap, Ep — prerez in elastičnostni modul prednapetega jekla

Ib — vztrajnostni moment bet. preseka

X_i — padec sile v kablu i zaradi napenjanja kabla j

ajk — pomik sidrišča kabla j zaradi napenjanja kabla k z enotno silo

ako — pomik sidrišča kabla k zaradi delovanja zunanje obtežbe (napenjanje kabal i)

ej, ek — ordinate kablov j, k v odvisnosti od x

e1, e2 — vrednosti ordinat kablov j, k na čelu nosilca

Literatura

1. Hample E., prof. dr. ing.: Vorgespannte Konstruktionen, Band I. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1964.
2. Thomsing M., prof. dipl. ing.: Spannbetonträger. B. G. Teubner, Stuttgart 1976.
3. Kupfer H., prof. dr. ing.: Bemessung von Spannbetonbauteilen. Beton-kalender 1986 von W. Ernst & Sohn.
4. Stručni seminar: Hangar 2-JAT na aerodromu Beograd. Savez GIT Srbije, Beograd.

Avtorja

prof. Vukašin Ačanski, dipl. inž., GIP Gradis TOZD PB, Maribor

Viktor Markelj, dipl. inž., GIP Gradis TOZD PB, Maribor

Razvoj malega finišerja za polaganje asfalta — F 0710

UDK 69.002.5:625.7/8

MARKO ŽONTAR

RAZVOJ MALEGA FINIŠERJA
ZA POLAGANJE ASFALTA F 0710

Povzetek

V članku je prikazan razvoj malega finišerja za polaganje asfalta F 0710.

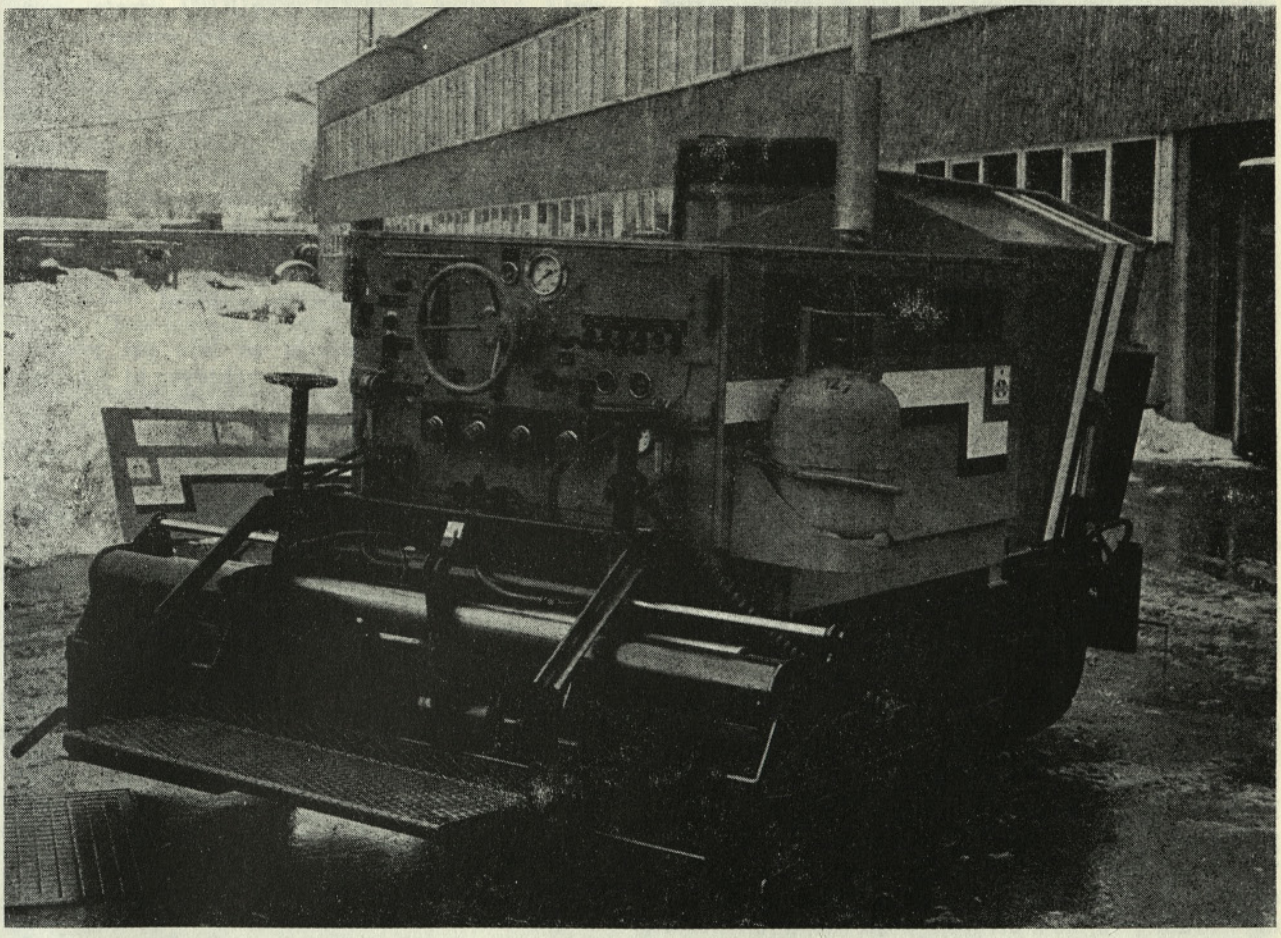
Poleg navedbe predhodnih raziskav, tehničnega opisa stroja in gladilne deske ter kratkega orisa izdelave so navedeni tudi glavni tehnični podatki stroja.

DEVELOPMENT OF SMALL FINISHER
FOR ASPHALT PLACING F 0710

Summary

The article shows the development of small finisher for asphalt placing F 0710.

Besides containing an outline of previous research work, technical description of the machine and screed and short notes on manufacture, the article states also the main technical characteristics of the finisher.



Slika 1. **Izgled finišerja F 0710**

0. UVOD

Pravilno zasnovan proizvodni program vsake delovne organizacije zahteva poleg dopolnjevanja obstoječega programa še razvoj novih izdelkov, ki jih tržišče potrebuje.

Avtor:
mag. Marko Žontar
GIP GRADIS Raziskovalna enota
61000 Ljubljana
Smartinska 134 a

Delovna organizacija GIP GRADIS proizvaja v svojem TOZD Kovinski obrati Maribor med drugimi gradbenimi stroji tudi stroje za cestno gradnjo (asfaltne baze, stroj za označevanje cest, reciklirni stroj za asfalt, itd.).

V letu 1980 je s sodelovanjem INDUSTRIJSKEGA BIROJA Ljubljana razvila finišer za asfalt — K 6 in s tem dopolnila svoj proizvodni program.

Finišer K 6 predstavlja prvi sodobni, doma narejeni finišer srednjega razreda, ki je konkurenčen finišerjem znanih proizvajalcev v svetu. Namenjen

je polaganju asfalta, pustega betona in mineralnih agregatov od širine 2,5 m do 8 m in debeline sloja do 30 cm. Od leta 1981 se navedeni finišer serijsko izdeluje.

Razvoj in osvajanje proizvodnje malega finišerja F 0710 je bilo logično nadaljevanje razvoja in proizvodnje finišerjev v okviru razvojnega programa DO GIP GRADIS TOZD Kovinski obrati Maribor.

Potrebe po tovrstnih strojih na domačem trgu kot tudi v tujini so precejšnje, zato je proizvodnja malega finišerja — F 0710 tudi ekonomsko upravičena. Asfaltiranje ožjih površin se sedaj izvaja ročno, kar je z uvedbo teh strojev odpravljeno.

Za uspešno izvedbo naloge — mali finišer F 0710 — obstaja tudi usposobljena delovna skupina, ki je že uspešno razvila finišer K 6.

1. PREDHODNE PREISKAVE

Kot smo omenili, je DO GIP GRADIS že leta 1979 na grobo opredelila razvoj in proizvodnjo različnih tipov finišerjev. Pred odločitvijo o razvoju in proizvodnji malega finišerja F 0710 pa je izvedla še naslednje predhodne raziskave:

— raziskavo trga,
— analizo do sedaj izdelanih malih finišerjev,
— izdelavo idejnega projekta.

1.1. Raziskava trga

Pri raziskavi trga za finišer srednjega razreda so bile izprašane tudi možnosti prodaje malega finišerja. Obiskanih je bilo 21 delovnih organizacij.

Glede na ugotovitve raziskave trga in glede na dejstvo, da se mali finišer v Jugoslaviji ne proizvaja niti ne uvaža, ampak se ta dela opravljajo ročno, je odločitev DO GIP GRADIS, da bo izdeloval takšne stroje, realna in pravočasna. Izdelovati pa moramo stroj s karakteristikami, ki jih zahtevajo današnje tehnologije vgrajevanja asfalta in ostalih materialov. Le takšen stroj bo možno prodajati tudi v tujino s pomočjo poslovnega partnerja Maschinenbau Ulm.

1.2. Analiza do sedaj izdelanih malih finišerjev

Pred izdelavo idejnega projekta smo pregledali delovanje posameznih vrst tujih malih finišerjev, kot Blou Knox BK 16 angleške proizvodnje in Weller F 25 nemško-japonske proizvodnje.

1.3. Izdelava idejnega projekta

Po predhodno izvršenih obsežnih raziskavah o obnašanju posameznih vrst malih finišerjev smo v sodelovanju z INDUSTRIJSKIM BIROJEM prišli do idejne zasnove stroja, ki vsebuje dosežke moderne tehnike in domače rešitve.

V največji možni meri so bili uporabljeni in vgrajeni tudi domači materiali in elementi.

1.4. Financiranje razvoja malega finišerja

Razvoj malega finišerja je poleg Raziskovalne enote GIP GRADIS financirala tudi Raziskovalna skupnost Slovenije. Za njegovo proizvodnjo pa je bil pridobljen še inovacijski kredit.

2. TEHNIČNI OPIS

2.1. Splošno

Finišer F 0710 z možnostjo polaganja v širinah od 1,1 m do 2,6 m je namenjen asfaltiranju ožjih mestnih ulic, kolesarskih stez, pločnikov, odstavnih pasov avtocest, parkirnih prostorov, tovarniških dvorišč ter popravilu cest v komunalnem gospodarstvu, kjer nadomešča ročno asfaltiranje.

Poleg asfalta lahko finišer polaga tudi pusti beton, pesek, zemljo in podoben material.

Glede na namen finišerja so bile pri projektiranju postavljene naslednje zahteve, ki jih mora stroj izpolnjevati:

— omogočiti mora polaganje asfalta do stene ali ograje,
— omogočiti mora polaganje asfalta do najmanjše širine 1,1 m,
— stroj mora biti majhen in lahek, da bi se dosegla fleksibilnost na terenu,
— vgrajeno naj ima raztegljivo desko za razgrinjanje in predkomprimiranje asfalta,
— obračanje stroja naj bo možno na mestu (okoli osi stroja) oziroma skoraj na mestu (okoli ene gosenice),
— stroj mora držati pri delu ravno smer.

2.2. Tehnični podatki

Navedli bomo le glavne tehnične podatke stroja:

1.	Dolžina stroja	4200 mm
2.	Širina stroja pri odprtem silosu	2700 mm
3.	Širina stroja pri zaprtem silosu	1230 mm
4.	Višina stroja do pokrova motorja	1495 mm
5,	Višina stroja pri zaprtem silosu	1495 mm
6.	Masa stroja	4000 kg
7.	Vsebina silosa	3600 kg
8.	Hitrost pri vožnji (naprej in nazaj)	0—4,2 km/h
9.	Hitrost pri delu	0—20 m/min

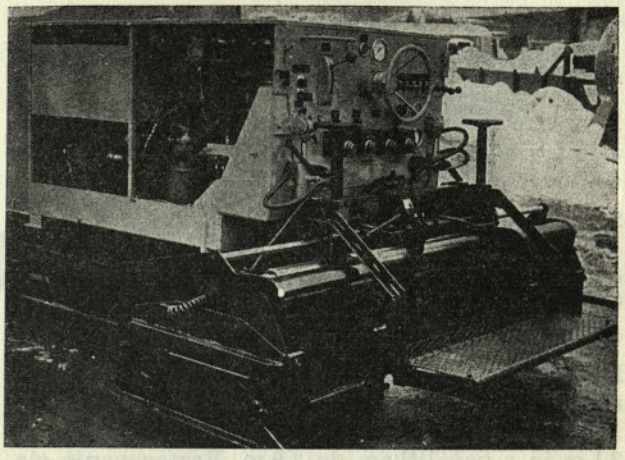
10. Vlečna sila	30.000 N
11. Motor — Torpedo Dentz F 3 L 912	
moč motorja	28 kN
število vrtljajev	1800 s^{-1}
12. Gosenice	
dolžina stika gosenic s tlemi	1538 mm
širina gosenic	180 mm

3. IZDELAVA FINIŠERJA F 0710

Finišer F 0710 izdelujemo v delavnicah GIP GRADIS TOZD Kovinski obrati Maribor po projektni dokumentaciji INDUSTRIJSKEGA BIROJA Ljubljana. Nekatere tehnične rešitve, opredeljene v dokumentaciji, so se dopolnile oziroma spremenile na podlagi izmenjave izkušenj delovne skupine med izdelavo prototipa stroja in ničelne serije.

Finišer F 0710 je izdelan v skladu z obstoječimi domačimi in tujimi standardi. Opredeljene so tudi nekatere posebne zahteve za materiale, varjenje, natančnost izdelave in kontrole.

Pri izdelavi finišerja sodelujejo še kooperanti z deli, ki jih v lastnih obratih nismo mogli opraviti,

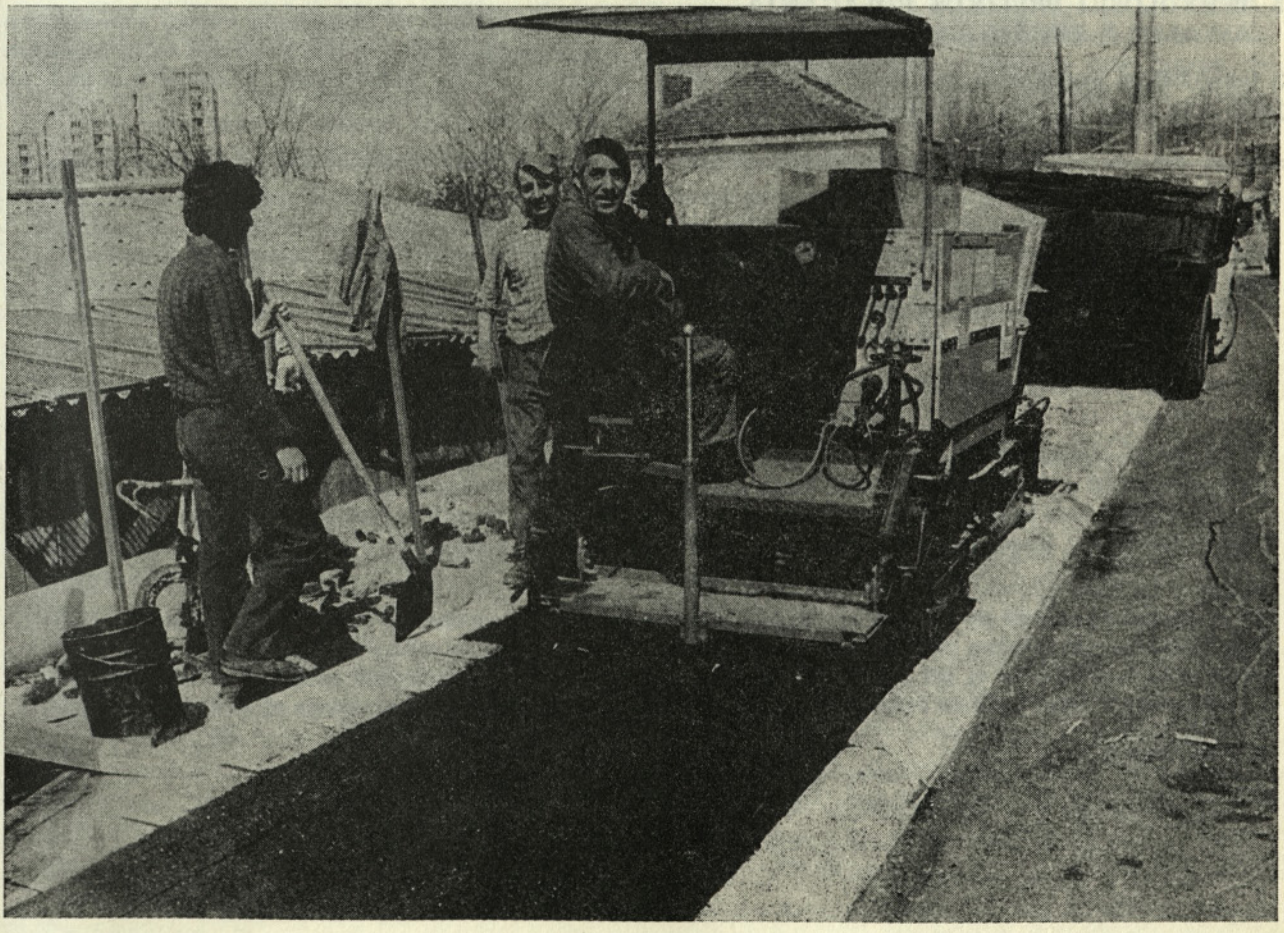


Slika 2. **Finišer F 0710 s hidravlično raztegljivo gladilno desko**

in to TAM Maribor, TVT Boris Kidrič Maribor, Industrijska kovinarska šola Maribor in drugi.

4. GLADILNA DESKA

Za finišer F 0710 smo razvili dve vrsti gladilnih desk, in to:



Slika 3. **Prikaz asfaltiranja pločnika s finišerjem F 0710**

— hidravlično raztegljivo gladilno desko in
— standardno gladilno desko z dvema razgrinjalnikoma.

Z obema gladilnima deskama ej možno polagati asfalt v plaseh od 1,1 m do 2,6 m ter z debelino do 100 mm.

Standardna gladilna deska sestoji iz 1,1-metrske osnovne deske, dveh razgrinjalnikov do 2,1 m in dveh podaljškov do 2,6 m. Delovna širina se povečuje brezstopenjsko do 2,1 m, nato pa stopenjsko do 2,6 m.

Pri hidravlično raztegljivi gladilni deski spreminjamo delovno širino brezstopenjsko. S tem dosežemo kontinuirno spreminjanje širine od 1,1 m do 2,1 m in s podaljškom do 2,6 m. Raztegovanje gladilne deske izvedemo s hidravličnim cilindrom med delom z ločeno komando za levo in desno stran.

Niveliranje obeh gladilnih desk izvedemo lahko samo ročno na levi in desni strani.

Gretje gladilnih desk je s štirimi gorilniki na butan-propan. Vertikalno usmerjene vibracije gladilnih desk dosežemo z vgrajenim vibratorjem, ki mu brezstopenjsko reguliramo število vrtljajev od 0 do 3500 min^{-1}.

5. TEHNOLOŠKI PREIZKUS POLAGANJA ASFALTA S FINIŠERJEM F 0710

S tehnološkim preizkusom polaganja asfalta na objektu smo želeli ugotoviti resnično uporabnost stroja. Stroj je namreč le takrat dobro izdelan, če izvrši delo, za katero je bil zasnovan, v mejah predpisane kakovosti.

Tehnološki preizkus polaganja asfalta je zato logično nadaljevanje funkcionalnega preizkusa posameznih sklopov ter stroja kot celote.

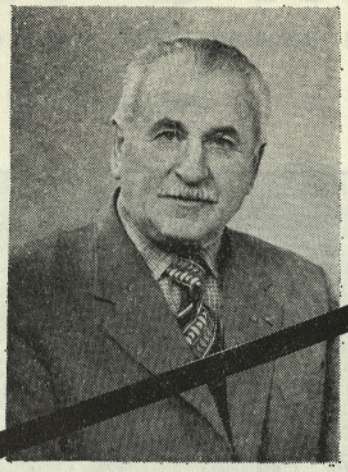
Tovrstne preizkuse smo izvedli na različnih objektih v Mariboru in Beogradu. Dobljeni rezultati, ki opredeljujejo kakovost polaganja asfalta, so bili v mejah normiranih. S tem je bila potrjena uporabnost stroja za namen, ki je bil opredejen s projektom.

6. SKLEP

Stroj, ki ga do sedaj ni bilo na domačem trgu in bi se v bodočnosti gotovo uvažal, je bil zasnovan z domačim znanjem.

Poleg tega, da je mali finišer za polaganje asfalta F 0710 nov izdelek domače industrije, vsebuje tudi vrsto elementov, ki jih naša industrija proizvaja oziroma jih je začela proizvajati. To pa pomeni, da v tem primeru ne gre samo za razvoj novega izdelka, ampak tudi za osvajanje domačih sklopov ter s tem podporo domači industriji.

In ne nazadnje je pogojevala razvoj omenjenega stroja še zahteva za boljšo kakovost ožjih asfaltnih površin. Ročno asfaltiranje površine namreč ne ustreza več.



IN MEMORIAM

Dipl. ing. Henrik ČMAK

Malo pred novim letom 1987 smo se prijatelji, kolegi in znanci poslovili od našega **ing. Henrika ČMAKA.** Pokojnik se je rodil 7. 12. 1914 v Polzeli. Po končanem fakultetnem študiju v Zagrebu, se je ves predal gradbeništvu. Tudi njemu, kot zavednemu Slovencu, vojna vihra ni prizanesla. Leta 1943 je odšel v partizane ter je bil od jeseni 1944 do osvoboditve načelnik obnove porušene Zgornje Savinjske doline.

Po končani vojni je kot uspešni gradbeni strokovnjak sodeloval v Beogradu, Kočevju, nato pa pri GIP Pionirju v Novem mestu, kjer je služboval 16 let. Bil je vodja najzahtevnejših gradbišč, pozneje pa tudi tehnični vodja podjetja. Leta 1963 je prišel ing. ČMAK v eno največjih podjetij v Celju, v GIP Ingrad. Postal je tehnični vodja, nato pa glavni direktor. Pod njegovim vodstvom se je začela organizacijska, tehnična in kadrovska prenova delovne organizacije. GIP Ingrad je hitro napredoval z uvajanjem novih gradbenih tehnologij in se uveljavil tako v Sloveniji, kot tudi v širšem jugoslovanskem prostoru.

Po potresu na Kozjanskem leta 1975 je stopil na čelo Biroja za odpravo posledic potresa, kjer je zelo uspešno deloval. Neumorno se je udejstvoval v zvezi društev inženirjev in tehnikov Celje in bil 1967 izvoljen za predsednika društva. Celjski zvezi je ing. ČMAK predsedoval preko 11 let. Bil je tudi član upravnega odbora ZDGIT Slovenije. Poleg tega, da je aktivno skrbel za razvoj društev, je ogromno prispeval za strokovno izpopolnjevanje mladih inženirjev in tehnikov. Organiziral je razna strokovna posvetovanja, ekskurzije, seminarje. Vedno je s svojo poštenostjo in prijateljsko besedo spodbujal sodelavce in kolege.

Za svoje delovanje na področju gradbeništva je bil zaslužen in časten član Zveze društev inženirjev in tehnikov Celje, Slovenske zveze in Zveze inženirjev in tehnikov Jugoslavije.

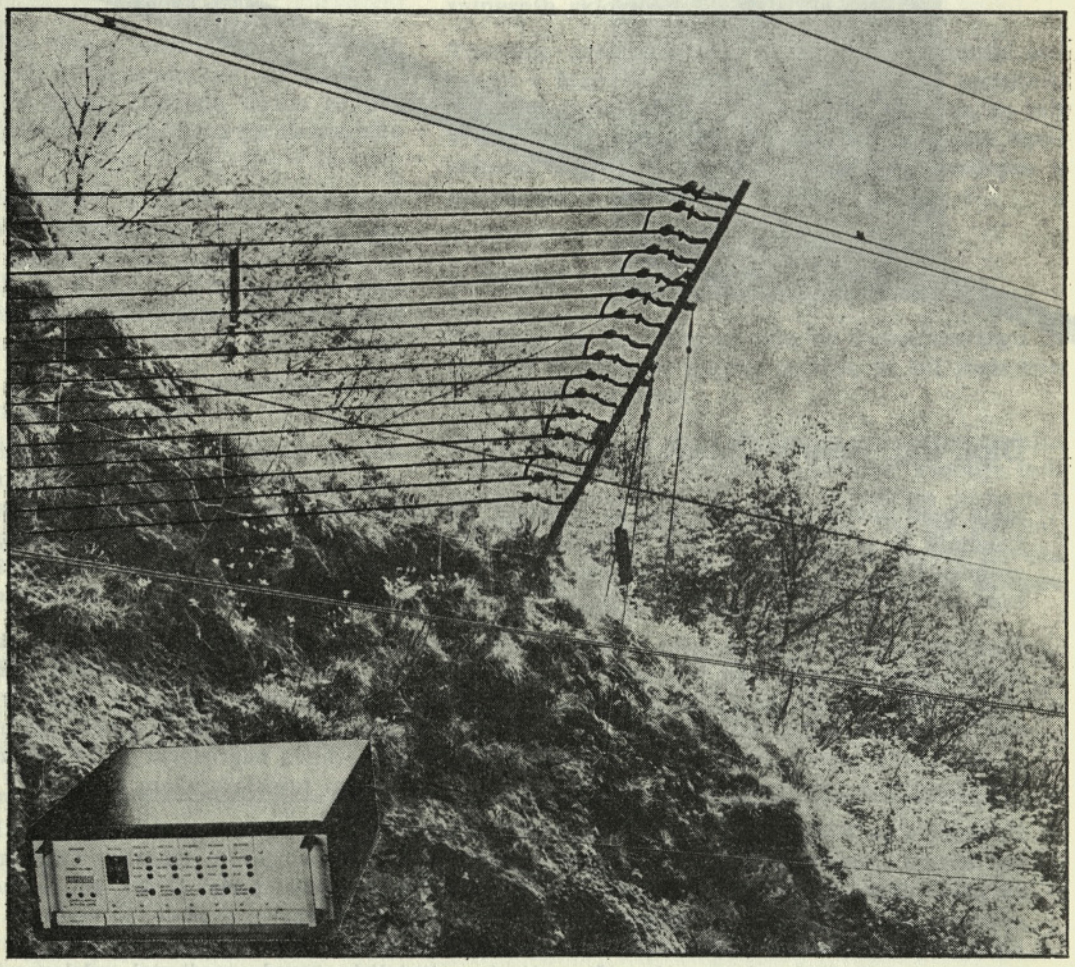
Ker je bil ing. ČMAK zelo nemirnega duha in ga je vse zanimalo, je svoje področje udejstvovanja razširil tudi na ostale dejavnosti. Imel je velike zasluge pri izgradnji doma AMD Šlander v Celju. Kot ljubitelj planinstva je ogromno prispeval k izgradnji planinske koče na Raduhi, za kar je prejel zlato značko PZS. Vodil je obnovo samostana v Nazarjih, se razdajal pri ribičih, opravljal tajniške posle pri lovski družini Motnik - Špitalič.

Ko ing. HENRIKA ČMAKA ni več med nami, nam ostaja v spominu kot človek širokega duha in dejanj, veder in poln življenja, neutruden delavec, mož, ki je vedno in povsod odkrito povedal in zagovarjal svoja stališča in ki se je vedno zavzemal za pravične odnose v družbi in stroki. Bil je brezkompromisno pošten, skromen, nenehno je skrbel za napredek slovenskega gradbeništva in takšen nam bo ostal v spominu.

Andrej KOMEL

PAP LJUBLJANA – Podjetje za avtomatizacijo prometa n.sol.o.

61 000 Ljubljana, Celovška 258, tel. 576-111 telex: 31245 PAP LJU YU



NOJP

NAPRAVA ZA ODKRIVANJE IN JAVLJANJE PLAZOV

Železniški in cestni promet se odvija v pogojih stalne nevarnosti. Do sedaj znane varnostne naprave ne morejo vedno preprečiti oziroma napovedati motenj, ki nastanejo zaradi vplivov in nevarnosti, ki jih predstavlja teren, na katerem se odvija promet. Tu so mišljene nevarnosti, ki jih povzročajo strma pobočja, kjer se trgajo posamezne skale, plazovi kamenja in snega. V ta namen smo razvili napravo, ki lahko ogrožene odseke stalno nadzira in v primeru nastalih ovir sproži potrebno signalizacijo, s katero opozori udeležence v prometu.

Naprava je izdelana v sodobni elektronski izvedbi, ki kontrolira stanje v javljalni mreži, nameščeni na ogroženem pobočju. Izvedba naprave se odlikuje po majhni lastni porabi in zanesljivem dolgotrajnem delovanju. Posamezna vezja predstavljajo funkcionalno celoto, ki omogočajo etapno izgradnjo, enostavno vzdrževanje in popravila. Naprava ima **ATEST.** Investicija v sistem **NOJP** se običajno povrne že pri prvi preprečeni nesreči.

INFORMACIJE 276
ZAVODA ZA RAZISKAVO MATERIALA IN KONSTRUKCIJ V LJUBLJANI
LETNIK XXXVI — 3-4 Marec-april 1987

Namen raziskav stranskih pritiskov svežega betona na opaže

JAKOB ŠUŠTERŠIČ

Povzetek

Raziskav stranskih pritiskov svežega betona na opaž smo se lotili zato, da lahko glede na ugotovljene rezultate (vrednosti in razporeditve pritiskov po globini opaža, vrednosti vplivnih parametrov) natančneje projektiramo posamezne elemente opaža, izdelamo merilnike pritiskov, izberemo oziroma izdelamo enačbo pritiskov ter posredno raziščemo nekatere reološke pojave svežega in strjujočega se betona. V tem članku na kratko podajamo le nekatere ugotovitve in načine uporabe iz do sedaj ugotovljenih rezultatov raziskav.

Summary

Lateral pressures of fresh concrete against formwork have been researched with intention to design individual elements of formwork, prepare tools for measuring concrete pressures, select or to set up an equation for concrete pressure and to research some reological phenomena of fresh and hardened concrete. The results of this research work as e. g. values and variation of pressures with the depth of formwork, values of influential parameters, should help to reach this goal. This paper gives a brief review and possible modes of application of selected research results.

1.0. UVOD

Pri vgrajevanju sveže betonske mase v opaž nastajajo pritiski, katerih velikost in porazdelitev sta odvisni od mnogih vplivnih parametrov. Vrednosti le-teh in njihovo število se zaradi razvoja novih tehnologij priprave betonov ter tehnologij in tehnik grajenja nenehno spreminjajo oziroma dopolnjujejo.

Številni avtorji knjig, člankov in ekspertiz združujejo in razčlenjujejo različno število vplivnih parametrov, ki jih podajajo v enačbah za izračun stranskih pritiskov svežega betona na vertikalne stene opaža (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8).

Tudi uporabljene metode za merjenje pritiskov so različne, in sicer:

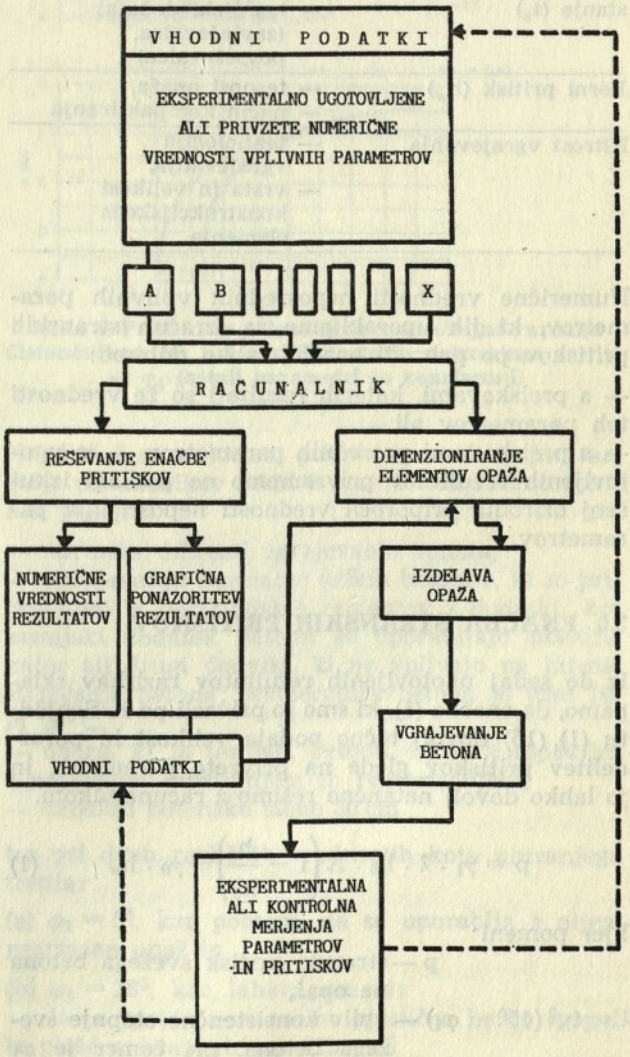
— merjenje napetosti v jeklenih opažnih vezeh, ki jih povzroča pritisk svežega betona (9), (10),
— merjenje pritiska z umerjenimi celicami (4), (11), (5) in
— merjenje upogiba jeklene plošče, ki je pritrjena na vznožje opaža — ena izmed prvih metod (12).

Pritiske svežega betona na vertikalne stene opaža smo na ZRMK začeli raziskovati s študijo vplivnih parametrov (13) ter z laboratorijskimi meritvami (14), katerih ugotovljene rezultate smo v strnjeni obliki podali v referatu (15).

Namen raziskav stranskih pritiskov svežega betona na opaže in uporabnost rezultatov lahko shematično ponazorimo z diagramom kompleksne programske dispozicije raziskav (slika 1) tako, da:

— ugotovimo vrste in vrednosti vplivnih parametrov ter jih natančneje opredelimo,

Avtor:
Jakob Šušteršič
Stanislav Urbančič



Slika 1. **Diagram kompleksne programske dispozicije raziskav stranskih pritiskov svežega betona na opaže**

— izberemo oziroma izdelamo enačbo stranskih pritiskov,
— izdelamo merilnike pritiskov,
— uporabimo rezultate za dimenzioniranje posameznih elementov opaža.

2.0. VPLIVNI PARAMETRI

Vplivne parametre lahko razdelimo na:

— neposredne in
— posredne (tabela 1).

Tabela 1. **Razdelitev vplivnih parametrov**

VPLIVNI PARAMETRI	
NEPOSREDNI	POSREDNI
Kot notranja trenja ψ_1 (med betonom in opažem)	— kot notranjega trenja betona (φ), — konsistenca svežega betona, — površina notranjih sten opaža
Čas prehoda betona od plastične konsistence v strjujoče se stanje (t_0)	— temperatura zraka in betona, — vrsta cementa, — kemijski dodatki (zavlačevalca, pospeševalca)
Porni pritisk (h_w)	— tesnost opaža, — način kompaktiranja
Hitrost vgrajevanja	— tehnologija vgrajevanja, — vrsta in velikost konstrukcijskega elementa

Numerične vrednosti neposrednih vplivnih parametrov, ki jih uporabljamo za izračun stranskih pritiskov po privzeti enačbi, lahko dobimo:

— s preiskavami, katerih rezultati so že vrednosti teh parametrov ali
— s preiskavami posrednih parametrov — iz ugotovljenih rezultatov privzamemo na podlagi izkušenj oziroma priporočil vrednosti neposrednih parametrov.

3.0. ENAČBA STRANSKIH PRITISKOV

Iz do sedaj ugotovljenih rezultatov raziskav sklepamo, da enačba (1), ki smo jo privzeli po R. Schjödtu (1), (15) dovolj točno podaja velikost in porazdelitev pritiskov glede na privzete parametre, in jo lahko dovolj natančno rešimo z računalnikom.

$$p = \gamma_1 \cdot \lambda \cdot h_0 \cdot K\left(1 - \frac{h}{h_0}\right) + \gamma_0 \cdot h_w \qquad (1)$$

kjer pomeni:

p — stranski pritisk svežega betona na opaž,
$\lambda = tg^2(45^0 - \varphi_1)$ — vpliv konsistenčne stopnje svežega betona, pri čemer je φ_1 kot notranjega trenja med betonom in opažem,
h_0 — višino vgrajenega betona v času »t_0«, to je v času prehoda betona od plastične konsistence v strjujoče se stanje,
h — računsko višino (globino),
h_w — porni pritisk,
$\gamma_1 = \gamma - \gamma_0 \cdot \varkappa$ — prostorninsko maso betona, zmanjšano za vpliv vode oziroma pornega pritiska, $\varkappa = \frac{h_w}{h}$,
γ — prostorninsko maso svežega betona,
γ_0 — prostorninsko maso vode in
K — koeficient, ki je odvisen od razmerja $\frac{h}{h_0}$, časa strjevanja in konsistence betona ter debeline stene, v katero se vgrajuje beton.

Obstaja možnost, da glede na dobljene rezultate prihodnjih raziskav vnesemo v enačbo majhne korekture, in to predvsem pri definiciji posameznih vplivnih parametrov.

4.0. MERILNIKI PRITISKOV

Za merjenje stranskih pritiskov svežega betona smo izdelali merilnike, ki so sestavljeni iz dveh kovinskih ploščic, med katerima je vstavljen deformabilni obroček (slika 2) in jih je potrebno predhodno umeriti.

Iz ugotovljenih deformacij dobimo numerične vrednosti pritiskov svežega betona. Z avtomatizacijo zapisa lahko v določenem času zabeležimo velikosti pritiskov, ki smo jih hkrati izmerili na večjem številu merilnih mest.

5.0. UPORABA REZULTATOV ZA IZRAČUN MEDSEBOJNE RAZDALJE MED DISTANČNIKI

Eden izmed možnih načinov uporabe ugotovljenih rezultatov raziskav stranskih pritiskov na opaže je izračun medsebojne razdalje distančnikov. Za opaže sistema SAM smo te razdalje ugotavljali na podlagi predhodne določitve velikosti in porazdelitve stranskih pritiskov. Pri tem smo upoštevali kombinacije vplivnih parametrov, ki se najpogosteje pojavljajo v praksi.

Na naslednjih treh primerih želimo prikazati, kako se spreminjajo medsebojne razdalje (e) s spreminjanjem vrednosti vplivnih parametrov.

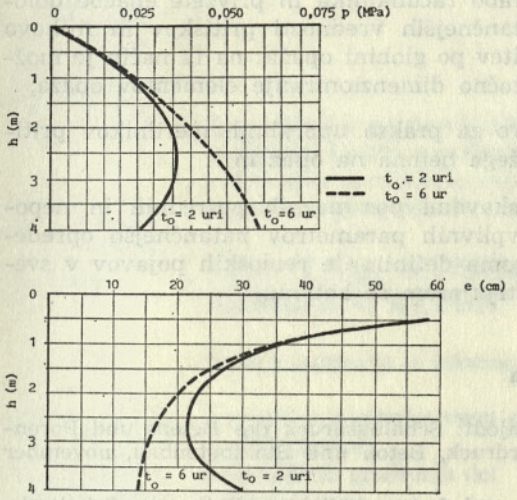
5.1. Prvi primer (slika 3)

Na sliki 3 so prikazani pritiski in ustrezne medsebojne razdalje distančnikov SAM 3 pri naslednjih konstantnih pogojih:

h (m)	t_o = 2 uri		t_o = 6 ur	
	p (MPa)	e (cm)	p (MPa)	e (cm)
0,5	0,01376	55,7	0,01352	56,7
1,0	0,02226	34,4	0,02263	33,8
1,5	0,02884	26,6	0,03085	24,8
2,0	0,03328	23,0	0,03803	20,1
2,5	0,03537	21,7	0,04411	17,4
3,0	0,03488	22,0	0,04901	15,6
3,5	0,03161	24,2	0,05264	14,6
4,0	0,02533	30,2	0,05491	14,0

KONSTANTNI PARAMETRI:

$\varphi_1 = 5°$, $v = 2$ m/uro,
$\gamma_{bet.} = 2400$ kg/m^3,
$h_w = 1.2 + h\ (1 - t/3)$,
$d_{st.} = 20$ cm,
distančnik SAM3 (ϕ2.0 x 11.0 mm),
$N_3 = 3830$ N



Slika 3. Pritiski in pripadajoče medsebojne razdalje distančnikov (e) pri različnih časih — t_0 (ostali parametri so konstantni)

— gladkem, z oljem premazanem opažu,
— normalni hitrosti vgrajevanja betona,
— povprečni vrednosti prostorninske mase normalno težkega betona,
— opažu, ki je tesnjen, betonu, ki se kompaktira z notranjim vibriranjem in revibriranjem,
— debelini betonske stene 20 cm

ter pri dveh različnih časih prehoda betona iz plastične konsistence v strjujoče se stanje:

(a) $t_0 = 2$ uri, kar pomeni:

— uporabo hitro vezočih cementov

ali

— betoniranje pri visokih temperaturah zraka oziroma vgrajevani beton ima višjo začeno temperaturo

ali

— uporabo kemijskih dodatkov, ki pospešujejo hidratacijo cementa in s tem strjevanje betona oziroma uporabo drugih načinov pospeševanja strjevanja betonov in

(b) $t_0 = 6$ ur, kar pomeni, da se kot kemijski dodatek betonu uporablja zavlačevalo, ki betonu precej podaljša čas strjevanja.

Dane vrednosti medsebojnih razdalj (e) so teoretične, za praktično uporabo pa jih lahko poenostavimo tako, da privzete medsebojne razdalje distančnikov spreminjamo samo enkrat ali dvakrat po celi globini opaža.

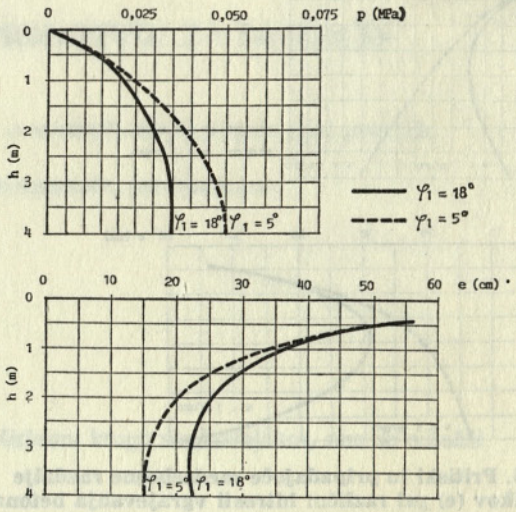
Iz spodnjega diagrama na sliki 3, ki prikazuje odvisnost med globino opaža (h) in medsebojno razdaljo (e), je razvidno, da se zaradi skrajšanja časa t_0 (za 4 ure) medsebojna razdalja zelo hitro povečuje. Na globini 3 m se poveča za okrog 6 cm, na globini 4 m pa že za okrog 16 cm.

5.2. Drugi primer (slika 4)

h (m)	$\varphi_1 = 5°$		$\varphi_1 = 18°$	
	p (MPa)	e (cm)	p (MPa)	e (cm)
0,5	0,01356	56,5	0,01547	49,5
1,0	0,02259	33,9	0,02116	36,2
1,5	0,03052	25,1	0,02593	29,5
2,0	0,03726	20,6	0,02973	25,8
2,5	0,04269	17,9	0,03251	23,6
3,0	0,04671	16,4	0,03425	22,4
3,5	0,04921	15,6	0,03491	21,9
4,0	0,05007	15,3	0,03444	22,2

KONSTANTNI PARAMETRI:

$v = 2$ m/uro, $t_0 = 4$ ure,
$\gamma_{bet.} = 2400$ kg/m^3, $d_{st.} = 30$ cm,
$h_w = 1,2 + h\ (1 - t/3)$,
distančnik SAM 3 (ϕ2,0 x 11,0 mm),
$N_3 = 3830$ N



Slika 4. Pritiski in pripadajoče medsebojne razdalje distančnikov (e) pri različnih kotih notranjega trenja — φ_1 (ostali parametri so konstantni)

Na sliki 4 so prikazani pritiski in medsebojne razdalje distančnikov SAM 3 pri naslednjih konstantnih pogojih:

— normalni hitrosti vgrajevanja betona,
— vgrajevanju normalno težkih betonov, ki so pripravljeni iz portlandskih cementov z dodatki; kot kemijski dodatek betonu se uporabljajo plastifikator ali drugi dodatki, ki ne vplivajo na hitrost strjevanja betona; temperatura betona je med 10^0 in 20^0 C,
— opažu, ki je tesnjen, betonu, ki se kompaktira z notranjim vibriranjem in revibriranjem,
— debelini betonske stene 30 cm

ter pri dveh različnih vrednostih kota notranjega trenja:

(a) $\varphi_1 = 5^0$, kar pomeni, da se uporablja z oljem premazan opaž in

(b) $\varphi_1 = 18^0$, kar lahko pomeni:
— da se vgrajuje normalno plastičen beton v opaž iz plošč s hrapavo površino ali
— da se vgrajuje zemeljsko vlažen beton v opaž iz plošč z gladko površino.

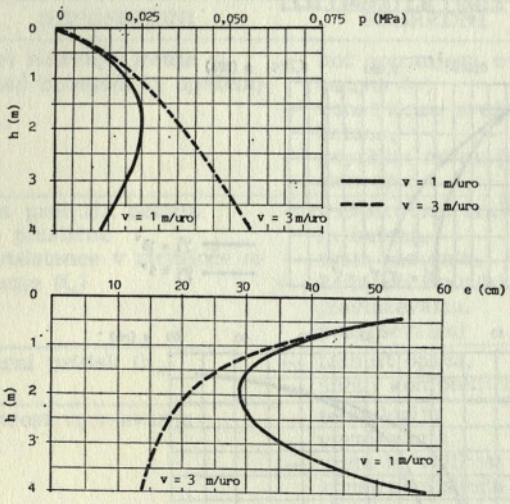
Ker se spreminjajo vrednosti φ_1, se spreminjajo tudi vrednosti pritiskov in s tem medsebojne razdalje distančnikov (e); razlika razdalje je od globine okrog 2,5 m navzdol skoraj enaka.

5.3. Tretji primer (slika 5)

h (m)	v = 1 m/uro		v = 3 m/uro	
	p (MPa)	e (cm)	p (MPa)	e (cm)
0,5	0,01425	53,8	0,01034	53,4
1,0	0,02077	36,9	0,02239	34,2
1,5	0,02492	30,7	0,02978	25,7
2,0	0,02637	29,0	0,03648	21,0
2,5	0,02479	30,9	0,04245	18,0
3,0	0,02078	36,9	0,04767	16,1
3,5	0,01781	43,0	0,05209	14,7
4,0	0,01333	57,5	0,05568	13,8

KONSTANTNI PARAMETRI:

$\varphi_1 = 9°$, $t_0 = 4$ ure,
$\gamma_{bet.} = 2400$ kg/m^3,
$h_w = 1{,}2 + h\,(1 - t/3)$,
$d_{st.} = 20$ cm,
distančnik SAM 3 (ϕ 2,0 x 11,0 mm)
$N_3 = 3830$ N



Slika 5. **Pritiski in pripadajoče medsebojne razdalje distančnikov (e) pri različni hitrosti vgrajevanja betona — v (ostali parametri so konstantni)**

Na sliki 5 so prikazani pritiski in medsebojne razdalje distančnikov SAM 3 pri naslednjih konstantnih pogojih:

— vgrajevanju normalno težkih betonov s plastično konsistenco v opaže iz plošč z gladko površino,

— vgrajenem betonu, pripravljenem iz portlandskega cementa z dodatki; kot kemijski dodatek betonu se uporabljajo plastifikator ali drugi dodatki, ki ne vplivajo na hitrost strjevanja betona; temperatura betona je med 10^0 in 20^0 C,

— opažu, ki je tesnjen, betonu, ki se kompaktira z notranjim vibriranjem in revibriranjem,

— debelini betonske stene 20 cm

ter pri dveh različnih vrednostih hitrosti vgrajevanja betona:

— v = 1 m/h, kar pomeni počasno vgrajevanje in

— v = 3 m/h, kar pomeni hitro vgrajevanje betona.

Rezultati pritiskov in s tem medsebojnih razdalj (e) izbranih variant se zelo razlikujejo. Prva večja razlika v medsebojnih razdaljah (e) se pojavi že na globini 2 m, in znaša 8 cm; z večanjem globine se razlika zelo hitro povečuje, tako da znaša na globini 3,5 m že okrog 30 cm, na gobini 4 m pa okrog 40 cm.

6.0. SKLEP

Raziskave pritiskov svežega betona na vertikalne stene opaža omogočajo:

1. z uporabo računalnika in privzete enačbe določitev natančnejših vrednosti pritiskov in njihovo razporeditev po globini opaža; na ta način je možno bolj točno dimenzioniranje elementov opaža,

2. izdelavo za prakso uporabnih merilnikov pritiskov svežega betona na opaž in

3. z raziskavami posameznih posrednih in neposrednih vplivnih parametrov natančnejšo opredelitev oziroma definiranje reoloških pojavov v svežem in strjujočem se betonu.

Literatura

1. R. Schjödt: Schalugsdruck des Betons und Porenwasserdruck, Beton und Stahlbetonbau, november 1956.
2. Kluge und Autorenkollektiv: Rationalle Schaltechnik, Band I, Standschalung, Berlin, 1977.
3. H. K. Hund: Formwork for Concrete, American Concrete Institute, Detroit, 1979.
4. N. J. Gardner: Pressure of Concrete Against Formwork, ACI Journal, julij—avgust 1980.
5. N. J. Gardner: Formwork Pressures and Cement Replacement by Fly Ash, Concrete International, oktober 1984.
6. S. Rodin: Pressure of Concrete on Formwork, Proceedings, London, november 1952.
7. V. Batelino: Priročnik za opaže, I. del, Gradbeni center Slovenije, maj 1967.
8. T. A. Harrison: Form Pressures: Theory and Field Measurements, Concrete International, december 1983.
9. B. Douglas, M. Saiidi, R. Hayes, G. Holcomb: Field Measurements of Lateral Pressures on Concrete Wall Forms, Concrete International, november 1981.
10. Fleming, David E. in Wolf, William H.: Testing Program for Lateral Pressure of Concrete, ACI Journal, Proceedings V. 60, No. 5, maj 1963.
11. Gardner, N. J. in Qureshi, A. R.: Internal Vibration and the Lateral Pressure Exerted by Fresh Concrete, Canadian Journal of Civil Engineering (Ottawa), V. 6, No. 4, december 1979.
12. H. G. Roby: Pressure of Concrete on Forms, Civ. Engng. vol. 5, marec 1935.
13. J. Šušteršič, T. Gečev, F. Ceklin, M. Koren, M. Zupan: Raziskave pritiskov svežega betona na opaž — I. del, ZRMK, Ljubljana, 1983.
14. J. Šušteršič, S. Urbančič, M. Koren, F. Ceklin, T. Gečev, B. Razpotnik: Raziskave pritiskov svežega betona na opaž — II. del, ZRMK, Ljubljana, 1985.
15. J. Šušteršič, S. Urbančič: Stranski pritiski svežih betonov na vertikalne stene opažev, Zbornik radova, Simpozijum o istraživanjima i primeni savremenih dostignuća u našem građevinarstvu u oblasti materijala i konstrukcija, Portorož, oktober 1986.

ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE

LJUBLJANA, ERJAVČEVA ULICA 15

Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije, Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Ljubljana in Društvo gradbenih inženirjev in tehnikov Maribor, v sodelovanju z Zavodom za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana in Društvom konstrukterjev Slovenije organizirajo dvodnevni seminar z naslovom:

PRAVILNIK O TEHNIČNIH NORMATIVIH ZA BETON IN ARMIRANI BETON

Namen seminarja je informirati gradbenike o novostih, ki jih prinaša novi pravilnik.

Seminar je namenjen vsem gradbenim strokovnjakom, predvsem pa:
- projektantom
- izvajalcem gradbenih del
- tehnologom
- nadzornim organom
- inšpektorjem
- delavcem notranje kontrole
- pedagogom gradbene stroke.

Z namenom, da omogočimo udeležbo čim širšemu krogu strokovnjakov, smo se odločili organizirati seminar zaporedoma

v Mariboru 27.–28. X. 1987
v Ljubljani 3.–4. XI. 1987

Za oba seminarja sprejema prijave ZVEZA DRUŠTEV GRADBENIH INŽENIRJEV IN TEHNIKOV SLOVENIJE, Ljubljana, Erjavčeva 15. Informacije dobite na njenem sedežu po telefonu: 221 587.

Kotizacija za seminar in Zbornik znaša 25.000 din in 5.000 din, skupaj 30.000 din.

V primeru, da OZD prijavi več kot 10 delavcev, pa je cena 20.000 din in 5.000 din, skupaj 25.000 din, kar velja za vplačila do 30. IX. 1987.

Po tem roku pa skupaj 35.000 oziroma 30.000 din.

Za seminar nakažite denar na žiro račun ZDGITS,
št.: 50101-678-47602.

Na seminarju boste lahko kupili tudi PRAVILNIK O TEHNIČNIH NORMATIVIH ZA BETON IN ARMIRANI BETON.

Drugo obvestilo, s točnim programom, boste prejeli v prvih dneh septembra.

GRADIS