

# IZGRADNJA

ČASOPIS SAVEZA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE,  
SAVEZA ARHITEKATA SRBIJE, DRUŠTVA ZA MEHANIKU TLA I FUNDI-  
RANJE SRBIJE, UDRUŽENJA URBANISTA SRBIJE  
11000 Beograd, Kneza Miloša 7a, Srbija

# IZGRADNJA

MONTHLY REVIEW - CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE UN-  
IONS, SOIL MECHANICS AND FOUNDATION SOCIETY, TOWN PLAN-  
NING ASSOCIATION  
11000 Beograd, Kneza Miloša 7a, Serbia

Broj 7  
Jul 2007.

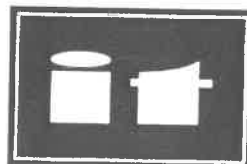
## SADRŽAJ

Gde je nestalo Ministarstvo građevina? Branko B. BOJOVIĆ, dipl. inž. arh.	239
Dr Aleksandar RISTOVSKI, dipl. inž. građ., dr Petar ČOLIĆ, dipl. inž. građ.: <i>Analiza uticaja drugog reda armiranobetonskih elemenata sa aksijalnom silom pritiska prema EC2</i> Prethodno saopštenje Biblid: 0350-5421, 7 (2007) str. 241-246	241
Iva DESPOTOVIĆ, dipl. inž. građ.: <i>Tehnologija građenja i proračun AB dijafragmi primenom metode konačnih razlika</i> Pregledni rad Biblid: 0350-5421, 7 (2007) str. 247-256	247
Slobodan KOSTIĆ, dipl. inž. građ.: <i>Temelj vertikalnog cilindričnog rezervoara tipa "čaja u čaši" za skladištenje naftnih derivata</i> Stručni rad Biblid: 0350-5421, 7 (2007) str. 257-261	257
Vojislav MARISAVLJEVIĆ, dipl. inž. građ., Mirjana MILOJKOVIĆ, dipl. inž. građ.: <i>"Lift Slab" metod - Tehnološki postupak krupne montaže u građevinarstvu</i> Stručni rad Biblid: 0350-5421, 7 (2007) str. 262-271	262
Pogledi i mišljenja Bratislav M. STANKOVIĆ, građ. inž. i dipl. inž. zaštite na radu: <i>Bezbednost i zdravlje na radu</i> Stručni rad Biblid: 0350-5421, 7 (2007) str. 272-274	272
Vesti i saopštenja • <i>Vreme izložbi arhitekture - mart-april 2007. u Beogradu</i> , Dr Mirjana LUKIĆ, dipl. inž. arh. • <i>Procedure i problematika izgradnje objekata, VI simpozijum od 18. do 20. oktobra 2007. godine u Vrnjačkoj Banji</i> • <i>Geostatički aspekti građevinarstva, Savetovanje u Soko Banji od 30. oktobra do 2. novembra 2007. godine</i>	275 278 279

Number 7  
Jule, 2007

## CONTENTS

<i>Where the Ministry of Buildings Disappeared?</i> Branko B. BOJOVIĆ, Civ. Eng. Arch.	239
Aleksandar RISTOVSKI, Civ. Eng., Ph.D.: Petar ČOLIĆ, Civ. Eng., Ph.D.: <i>Analysis of Second Order Influences of reinforced concrete elements with the Axial Compression Force According to EC2</i> Preliminary report Biblid: 0350-5421, 7 (2007) pp 241-246	241
Iva DESPOTOVIĆ, Civ. Eng.: <i>Building Technology and AB Diaphragm Calculation by Method of Final Differences</i> Review paper Biblid: 0350-5421, 7 (2007) pp 247-256	247
Slobodan KOSTIĆ, Civ. Eng.: <i>Foundation Construction for Vertical Cylindric Fuel Tank, Vessel in Vessel Type</i> Review paper Biblid: 0350-5421, 7 (2007) pp 257-261	257
Vojislav MARISAVLJEVIĆ, Civ. Eng., Mirjana MILOJKOVIĆ, Civ. Eng.: <i>"Lift Slab" Method - Technological Proceeding of Large Assembly</i> Professional paper Biblid: 0350-5421, 7 (2007) pp 262-271	262
Branislav M. STANKOVIĆ, Civ. Eng.: <i>Occupational Health and Safety</i> Review paper Biblid: 0350-5421, 7 (2007) pp 272-274	272



# IZGRADNJA

ČASOPIS SAVEZA GRAĐEVINSKIH INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE,  
SAVEZA ARHITEKATA SRBIJE, DRUŠTVA ZA MEHANIKU TLA I  
FUNDIRANJE SRBIJE, UDRUŽENJA URBANISTA SRBIJE, BEOGRAD

## REDAKCIONI ODBOR:

Dimitrije Mladenović, predsednik, Branko Bojović, Miloš Bojović, Zoran Lazović, Milan Maksimović, Dušan Milo-  
vić, Slobodan Otović, Živojin Prašćević, Ljubinko Pušić,  
Darko Radović, Tomislav Radojičić, Miodrag Ferenčak

## V.D. GLAVNOG I ODGOVORNOG UREDNIKA:

Branko Bojović

## UREĐIVAČKI ODBOR:

Branko Bojović, v.d. glavnog i odgovornog urednika,  
Živojin Prašćević

## SEKRETAR REDAKCIJE:

Svetlana Urošević

## MARKETING:

Dušan Milosavljev

## TEHNIČKI UREDNIK:

Mirjana Rapajić

## IZDAVAČ:

Časopis "Izgradnja", Saveza građevinskih inženjera i  
tehničara Srbije, Saveza arhitekata Srbije, Društva za  
mehaniku tla i fundiranje Srbije i Udruženja urbanista  
Srbije, Beograd, Kneza Miloša 7a/II, tel/fax: 3243-563,  
E-mail: izgradnja@sezampro.yu, tekući račun:  
295-1204304-62 kod "Srpske banke" a.d. Beograd.

ŠTAMPA: "Hektor print", Novi Beograd

CIP – Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд  
624+71/72(05)  
ISSN 0350-5421 = Izgradnja  
COBISS.SR-ID 55831



## INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE

Kneza Miloša 9, 11000 Beograd

www.ingkomora.org.yu info@ingkomora.org.yu

Časopis "Izgradnja" izlazi uz finansijsku podršku  
Inženjerske komore Srbije

## GENERALNI SPONZORI



**Ratko Mitrović**  
HOLDING KOMPANIJA AD



### "RATKO MITROVIĆ"

HOLDING KOMPANIJA AD

11000 BEOGRAD

Koste Glavinica br. 8

Tel./fax: +387-522, tel./fax: 2650-356

E-mail: tendelab@ratkomitrovic.co.yu



### "TIM IZOLIRKA" d.o.o.

22240 ŠID

Branka Erića 7

Tel./fax: +387(22) 715-169; 711-095

Poslovnica Beograd – Zemun

Tel./fax: +387(11) 2013-906; 2013-915



### Javno komunalno preduzeće BEOGRADSKI VODOVOD I KANALIZACIJA

11000 BEOGRAD

Deligradska 28

Tel. 011/3606-606 (0-24 h)

E-mail: info@bvkc.co.yu

## OBAVEŠTENJE AUTORIMA I SARADNICIMA

Časopis "Izgradnja" objavljuje naučne i stručne radove i ostale priloge iz oblasti građevinarstva, arhitekture, urbanizma i industrije građevinskog materijala. Radovi se kategorizuju prema sledećim međunarodno priznatim pravilima:

### A. NAUČNI I STRUČNI RADOVI

1. Originalni naučni rad sadrži neobjavljene rezultate izvornih istraživanja; u njemu su naučne informacije tako izložene da se eksperiment može ponoviti i tom prilikom postići opisani rezultati unutar dozvoljenih granica eksperimentalne greške, odnosno sa tačnošću koju navodi autor. Za takav rad mora postojati mogućnost da se ponove autorova opažanja, teoretski izvodi, analize i proračuni i da se zauzmu stavovi i donesu mišljenja o autorovim zaključcima i rezultatima.

2. Prethodno saopštenje je naučni rad koji sadrži jedan ili više naučnih podataka koji zahtevaju hitno objavljivanje; to saopštenje ne mora imati dovoljno pojedinosti koje omogućavaju ponavljanje ili potpunu proveru rezultata. U ovu kategoriju radova razvrstavaju se, ako sadrže naučne doprinose, ili kraće kritike, komentari i beleške o nekom publikovanom radu ili naučnom problemu.

3. Pregledni rad je naučni rad koji sadrži celovit izveštaj o nekom posebnom pitanju ili području a sastavljen je na osnovu publikovanih informacija, koje su za tu priliku sakupljene, analizirane i objašnjene. Autor je dužan da pruži što potpunije podatke o publikovanim radovima koji su bitnije doprineli razvoju određenog pitanja ili područja, odnosno koji bi tom razvoju doprineli da nisu previđeni ili zanemareni.

4. Stručni rad predstavlja korisne priloge iz područja struke a iznesena zapažanja ne moraju predstavljati stručnu novost u širem smislu; to su korisna i vredna iskustva u primeni poznatih naučnih dostignuća koja

doprinosu širenju stručnih znanja i njihovom ispravnom korišćenju u praksi graditeljstva.

### B. OSTALI PRILOZI

Ostali prilozima obuhvataju prikaze projektnih rešenja, gradilišta, pogona i fabrika, stručne prikaze i osvrte na pojedine aktuelne teme i pitanja iz oblasti građevinarstva, arhitekture, urbanizma i industrije građevinskog materijala, poglede i mišljenja, napise iz istorije struke i graditeljstva, prikaze knjiga, bibliografske, društveno stručne i komercijalne informacije, naučne i stručne zanimljivosti i dr.

Naučni i stručni rad mora biti originalan, još neobjavljen, i ne sme biti istovremeno ponuđen drugom časopisu. Autor je odgovoran za izneseni sadržaj i mora sam obezbediti eventualno potrebne saglasnosti za objavljivanje nekih podataka, slika ili fotosa koje koristi u radu. Rukopisi radova se recenziraju. Recenzent predlaže kategorizaciju rada a odluku donosi Uredivački odbor časopisa.

Radovi i ostali prilozima mogu imati obim do jednog autorskog tabaka (30.000 slovnih znakova); oni mogu biti duži samo uz saglasnost Uredništva Časopisa. Uredništvo zadržava pravo da, saglasno uređivačkoj politici Časopisa i/ili mišljenju recenzenta, donese odluku o prihvatanju ili neprihvatanju za objavljivanje svakog pojedinog predloženog rada ili priloga.

Za detaljna tehnička uputstva o pripremi rukopisa autori treba da se obrate Redakciji Časopisa. Rukopisi se predaju u dva primerka, sa rezimeom obima do 100 reči. Na kraju rezimea autor treba da navede do šest ključnih reči. Prevod rezimea na engleski jezik obezbeđuje Redakcija Časopisa. Za objavljene radove i priloge rukopisi se ne vraćaju.

Uz naslov rada ili priloga treba napisati puno prezime i ime autora, njegovo stručno i naučno zvanje, naziv ustanove ili preduzeća u kome radi i adresu stana. Autori radovi i priloga dobijaju besplatno jedan primerak Časopisa u kome je rad objavljen.

# TEHNOLOGIJA GRAĐENJA I PRORAČUN AB DIJAFRAGMI PRIMENOM METODE KONAČNIH RAZLIKA

## BUILDING TECHNOLOGY AND AB DIAPHRAGM CALCULATION BY METHOD OF FINAL DIFFERENCES



UDK: 658.512:624.012.45  
Pregledni rad

Iva DESPOTOVIĆ, dipl. inž. građ.

### REZIME

U radu su prikazane osnovne mogućnosti primene i tehnologija građenja dijafragmi s obzirom da postojeća stručna literatura nije u zadovoljavajućoj meri pratila njihovu upotrebu u praksi. Posebna pažnja je posvećena rešavanju problema proračuna dijafragmi, kao deformabilnih, potpornih konstrukcija, metodom konačnih razlika, na osnovu koga se mogu odrediti horizontalna pomeranja i statički uticaji neophodni za dimenzionisanje dijafragme.

**Ključne reči:** dijafragma, primena, tehnologija građenja, metod konačnih razlika.

### SUMMARY

The paper covers main possibilities of application and technology of diaphragm building because existing professional literature does not accompany their use. Particular attention is paid to the calculation solutions by method of final differences which affords determination of horizontal moves and statical values that are necessary for diaphragm dimensioning.

**Key words:** diaphragm, use, building technology, method of final differences.

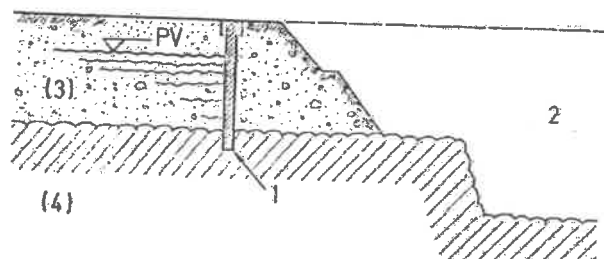
## 1. UVODNI DEO

Dijafragma je tanak zid u tlu, građen specijalnim postupkom uz primenu specijalne opreme [2]. Uspesno se koristi za pregrade podzemnih voda (antifiltracione dijafragme), kao nezavisni elementi dubokih temelja (šipovi, bunari, sanduci), za zaštitu iskopa temeljnih jama, kao potporne građevine. Materijal za njihovu izradu je: sirova glina, prerađena glina, glinobeton, nearmirani i armirani beton. Osnovnu tehnologiju građenja čini iskop rova mašinskim putem, u koji se, paralelno sa iskopom, sipa teška tečnost-isplaka. Po završenom kopanju, rov se puni materijalom od koga je zid dijafragme i koji istiskuje isplaku. Prednosti ovakve izrade su sledeće: iskop rova ne remeti postojeće ravnotežno stanje u tlu, alati za kopanje rovova se priključuju na standardne bagere, dijafragme se mogu graditi uz već postojeće objekte (moguće je graditi podzemne saobraćajnice ispod postojećih ulica a da se u njima uopšte ne prekida saobraćaj), podzemna voda ne utiče na građenje dijafragmi.

## 2. PRIMENA DIJAFRAGMI

Dijafragme se primenjuju kao: antifiltracione, kao duboki temelji i kao zaštita razlike nivoa tla.

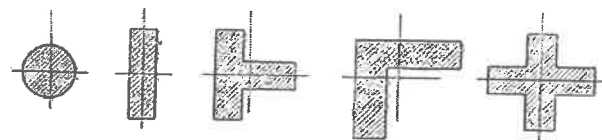
*Antifiltracione dijafragme* služe za pregrađivanje vodenog toka u tlu. Grade se kroz vodopropusne slojeve dok im se baze nalaze u dubljim, vodonepropusnim slojevima. One, zapravo, predstavljaju nepropusne zavese ispod nasutih brana (kad brana leži na sloju vodopropusnog tla), u nasipima i ispod nasipa kada štite



Slika 1. Primer antifiltracione dijafragme: 1. vodonepropusna dijafragma, 2. iskop, 3. nanos u kome se nalazi NPV, 4. ugulj

branjeno područje od provirnih voda, oko jama površinskih kopova uglja ili druge rude kada štite od priliva podzemne vode u kop. Kao materijali za izradu ovih dijafragmi koriste se sirova glina (usitnjena i obrađena radi lakše ugradnje u rov), samostvrđnjavajuća isplaka (sa dodatim cementom i usporivačem vezivanja), glinobeton (glina ili bentonit pomešani sa cementom i mineralnim agregatom).

*Dijafragme kao duboki temelji* mogu biti nezavisni elementi temelja (dijafragma šipovi) ili nezavisni temelji.



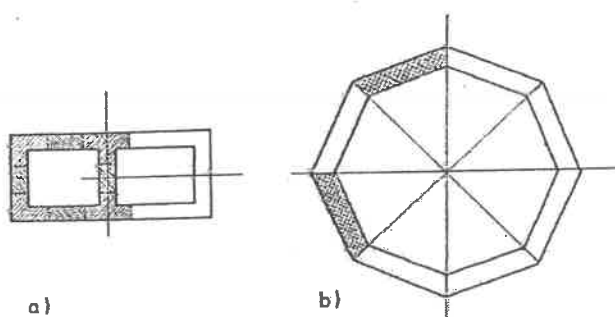
Slika 2. Dijafragma šipovi: mogući oblici poprečnih preseka u osnovi.

Adresa autora: Građevinski fakultet Univerziteta u Nišu, 18000 Niš, Medvedova 14

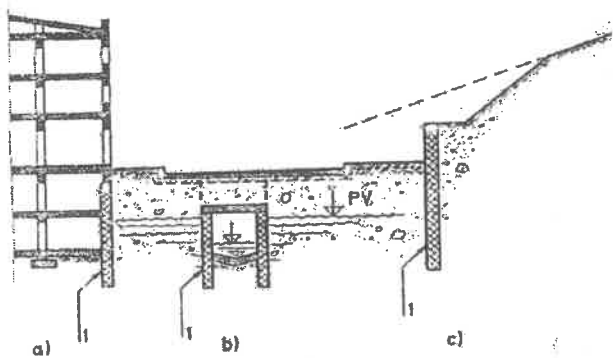
Kao šipovi, mogu imati različite oblike poprečnih preseka u osnovi, prilagođavajući se opterećenju koje treba da prime i obliku konstrukcije nad njima.

Kao nezavisni temelji imaju različite oblike u osnovi (sanduk, bunar) i služe za temeljenje raznih industrijskih objekata, mostovskih stubova i sl.

*Dijafragma kao zaštita razlike nivoa tla* može da bude stalna ili privremena konstrukcija ili njihova kombinacija. Kao stalna konstrukcija, služi za bočne zidove podzemnih prostorija industrijskih objekata, crpnih stanica, kolektora, podruma, podzemnih garaža, skloništa, podzemnih prolaza i sl. dok se kao privremena građevina koriste za zaštitu raznih iskopa, otkopa. Imaju izuzetno ekonomsko opravdanje, u smislu da prilikom iskopa služe za zaštitu od bočnog zarušavanja tla, a pri eksploataciji objekta postaju sastavni deo konstrukcije. Dijafragme za duboke temelje i za zaštitu razlike nivoa tla se grade od armiranog betona.



Slika 3. Dijafragma temelja: a) sanduk b) bunar



Slika 4. Primeri dijafragmi u stalnim konstrukcijama: a) zaštita iskopa i zid podruma, b) zaštita iskopa i zid kolektora, c) obezbeđenje zaseka, 1 - dijafragma

### 3. TEHNOLOGIJA GRAĐENJA

#### 3.1. Alat za kopanje rova

Iskopi rova za dijafragmu se obavljaju raznim alatima samo za to konstruisanim, a postoje i priključna oruđa za univerzalne, samohodne bagere [2].

Prve korišćene mašine su bile opremljene alatima za bušenje dubokih bušotina i iznošenje tla cirkulacijom isplaka, međutim, prevladala je tehnika kopanja

kašikom jer daje veće učinke u terenima manje otpornosti.

Za kopanje rova za dijafragmu se koristi grajfer kašika. Ona u donjem delu ima dve školjke, iznad je mehanizam za pokretanje školjki pa konstrukcija za vođenje kašike kroz rov. Cela kašika je obešena o bager u kome je i motor i komande za pokretanje kašike. Mehanizam za pokretanje školjki je ili na principu čelične užadi i koturova ili hidrauličkih klipova.

Ako ima mehanizam za mehaničko pokretanje školjki, kašika je vezana za bager sa dva čelična užeta, jedno služi za otvaranje, zatvaranje školjki i izvlačenje pune kašike iz rova, a drugo za spuštanje prazne, otvorene kašike u rov. Ovakva kašika ima naglašen gornji čelični deo – on služi za pravilno vođenje kašike kroz rov a i da bi kašika bila teža jer se tako lakše zariva u tlo koje kopa. Njena težina se kreće od 4 do 6 tona.

Grajfer kašika, kod koje se školjke pokreću hidrauličkim klipovima, je za bager vezana krutom šipkom. Šipka služi za pravilno vođenje kašike kroz rov i svojom težinom povećava pritisak otvorene kašike na tlo koje kopa. Komande i hidraulična centrala koja napaja klipove za pokretanje školjki kašike se nalaze u bageru.

U oba slučaja, školjke kašika mogu imati pravougaone (napadnih ivica ojačanih zupcima) ili polukružne krajeve (ivica testerasto nazubljenih).

Bager mora imati dovoljnu vučnu silu za izvlačenje kašike iz rova. Sama kašika treba da bude jednostavna i jaka jer treba i da razori tlo koje kopa. Neke kašike imaju specijalne zupce u školjkama za povećanje efekta razaranja tla. Za lepljiva tla, koja se teško istresaju iz školjki, koriste se poluge ugrađene u školjke.

#### 3.2. Zaštita iskopa isplakom

Najkritičnija faza građenja dijafragmi je zaštita iskopa. Ovde nema klasičnog razupiranja, već se duboki rov od zarušavanja štiti upotrebom isplake. U ovu svrhu se koristi suspenzija bentonitne gline. Bentonit se proizvodi od posebnih vrsta visokoplastičnih gline, određenog porekla i sastava, uz određene dodatke za poboljšanje njegovih reoloških svojstava. Oko 5% bentonita u vodi daje stabilnu suspenziju koja ima svojstvo tiksotropije (osobina tečnosti da sem viskoznosti poseduje pod određenim uslovima i koheziju) i moć da obrazuje glineni vodonepropusni sloj na poroznom zidu rova.

U fazi mirovanja, bentonitna suspenzija je pihijasta masa da bi se pri kretanju ova osobina izgubila (suspenzija teče). Fenomen pihijisanja proizilazi iz težnje čestica gline da se u mirovanju orijentišu – formiraju izvesnu strukturu, te masa dobija krutost, gel.

Svojstvo bentonitne suspenzije da na poroznom zidu rova obrazuje glineni sloj vrlo male vodopropustljivosti sastoji se u tome što čestice suspenzije vrlo brzo zaptivaju pore tla. Čak i u krupnoznom tlu bentonitna suspenzija ulazi u pore tla i stvara injektiranu zonu pihijisanog bentonita. Glinene čestice suspen-

zije se lepe za čestice tla na bokovima rova stvarajući tanku, glinovitu opnu, košuljicu. Košuljica dozvoljava vodi isplake da se polako filtrira kroz nju u okolno tlo ali na sebi zadržava glinene čestice suspenzije formirajući vodonepropusno glinovito telo. Pri zaštiti rova dijafragme treba se pridržavati sledećeg:

– iskopan rov u tlu mora biti stalno ispunjen isplakom,

– isplaka se sastoji od približno 4–6 % gline (bentonita) u vodi,

– nivo podzemne vode mora biti najmanje 1,0 m ispod nivoa isplake u rovu da bi razlika nivoa izazvala tečenje isplake iz rova u susedno tlo,

– glinene čestice isplake brzo zaptivaju šupljine niz zidove rova i stvaraju glinenu košuljicu koja vremenom deblja stvarajući na zidu vodonepropusni sloj,

– usled razlike nivoa isplake u rovu i podzemne vode u okolnom tlu, vlada nadpritisak isplake na vodonepropusnom glinovitom sloju, na bočnim zidovima rova, koji je dovoljan da spreči obrušavanje zidova rova.

U toku upotrebe, isplaka se zagadi i isposti jer primi u sebe čestice tla (uglavnom peska) i gubi čestice gline pri formiranju vodonepropusnog sloja na zidovima rova te se njena tiksotropnost smanjuje. Ekonomičnije je zameniti isplaku nego je prečišćavati. Kako je krajnji cilj građenja kvalitetan zid u tlu za potrebe građenja rova koristi se gusta isplaka a za betoniranje što ređa – idealno je pred betoniranje zida zameniti je čistom vodom da bi se izbeglo formiranje sočiva u blatu, greške na spojevima lamela i sl. Da bi kvalitet izvođenja bio zadovoljavajući, neophodna je stalna gradilišna kontrola: izrade suspenzije, sadržine peska i viskoznosti isplake.

### 3.3. Uvodnice

Dijafragme zahtevaju pripremne radove a kako su one deo nekog objekta, to su ovi radovi ujedno i pripremni radovi za objekat. To su: građenje uvodnica za rov, lokalni pristupni putevi i priprema instalacija za građenje dijafragmi.

Uvodnica je obavezni početni podgrađeni deo rova dijafragme, dubine oko 1,0 m. Služi za početno vađenje alata za kopanje rova i podgrađuje zidove iskopa u gornjem delu rova. Bočni potisci tla u gornjem delu rova mogu dostići znatne vrednosti. Oni su rezultat raznog pokretnog opterećenja koje se kreće duž rova (koncentrisane sile od točkova vozila ili bageri za kopanje rova) ili deponije iskopanog materijala ili opreme u neposrednoj blizini rova. Prema tome, u gornjem delu rova, u zoni nasutog materijala ili rastresitog tla gde i nema izrazite kohezije i gde isplaka kao podgrada rova tek počinje da deluje, rov bez podgradnog dejstva uvodnice ne bi bio stabilan.

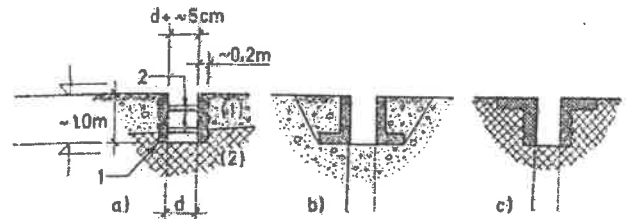
Uvodnice su najčešće montažne čelične ili armirane betonske, građene na licu mesta.

Gornja ivica zidova uvodnica je u nivou pripremljenog terena, a donja ne sme da bude u nasutom ma-

terijalu jer isplaka teško stabilizuje nasuto tlo i svojim kretanjem ga iznosi.

Montažne uvodnice se koriste uglavnom kod građenja antifiltracionih dijafragmi gde praktično predstavljaju alat. To su čelični, izduženi sanduci bez dna čiji otvor odgovara u osnovi dimenzijama dijafragme. Bager ih prenosi duž trase dijafragme i ugrađuje ih u tlo pritiskajući ih kašikom za kopanje rova (ukoliko je tlo manje otpornosti).

Za AB dijafragme koriste se uvodnice sa zidovima od armiranog betona. Širina kanala je nešto veća od debljine zida dijafragme. Zid uvodnice je debljine oko 20 cm, lako armiran dvostranom armaturom.

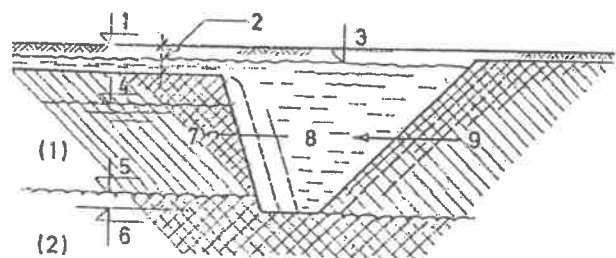


Slika 5. Poprečni preseki AB uvodnica: a) normalan poprečni presek, b) uvodnica u rastresitom tlu, c) ojačana uvodnica

Na slici 5, pod a) je prikazan uobičajeni poprečni presek AB uvodnice. Posle skidanja oplata zidove uvodnice treba razupreti na svaka 2–3 m. čime se osiguravaju od prevrtanja u slučaju nailaska vozila pored njih. Razupirači se uklanjaju iz područja u kome se kopa rov za lamelu. Ako se uvodnice grade u tlu koje se osipa, oblik im je kao na slici 5b). U slučaju dugačkih lamela, krstastog ili ugaonog oblika, kada se očekuju veliki bočni pritisci na zidove uvodnica one se grade kao na slici 5c). Kako se uvodnice ponekad moraju rušiti, ne treba preterivati sa njihovim dimenzijama.

### 3.4. Građenje antifiltracionih dijafragmi

Osnovni cilj antifiltracionih dijafragmi je pregrada podzemne vode u tlu. Tehnologija njihovog građenja je proistekla iz zahteva da budu što jeftinije a pri tom vodonepropusne. Duž trase dijafragme se kreće



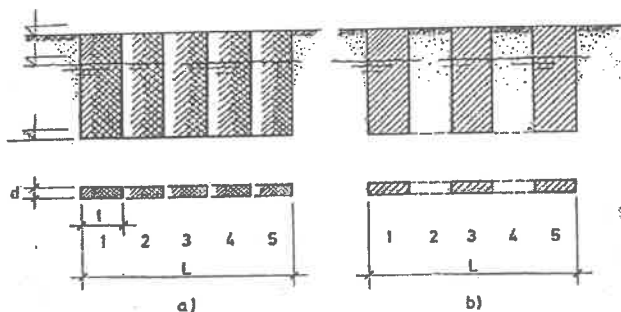
Slika 6. Šematski prikaz građenja antifiltracione dijafragme: (1) vodonosni sloj, (2) vodonepropusna podloga, 1-kota terena, 2-uvodnica, 3-kota isplake u rovu, 4-NPV u tlu, 5-vodonepropusno dno, 6-kota baze antifilt. zida, 7-pravac kopanja rova, 8-isplaka u rovu, 9-pravac ugrađivanja sveže mase zida

mašina za kopanje rova, iskopan rov je stalno ispunjen isplakom, a iza mašine za kopanje kreće se oprema za ugrađivanje sveže mase zida dijafragme. Najispravnije ih je graditi sa opremom za građenje neprekidnih zidova u tlu. Takve mašine rade na hidromehaničkom principu, kopa se obrnutim kruženjem. Usitnjeno tlo se, pomešano sa isplakom specijalnim ejektorom, kroz stablo opreme za usitnjavanje tla iznosi iz rova. Prečišćena i obrađena isplaka (vibracijom ili taloženjem u bazenima) se vraća u rov.

Sem hidromehaničkog iskopa, postoje i mehanički kopači koji rade na principu kopanja glodanjem, rotaciona cev sa spiralom ili niz kofica na beskonačnom lancu. Da bi dijafragme bile što ekonomičnije treba težiti tome da se iskopano tlo posle obrade iskoristi kao zid dijafragme. To je moguće uz korišćenje samostvrdnjavajuće isplake.

### 3.5. Građenje AB dijafragmi

AB dijafragme se grade u lamelama ograničene dužine. Postoje dva postupka: postupak uzastopnih lamela (slika 7a) i postupak na preskok (slika 7b). Kod postupka uzastopnih lamela, lamela koju gradimo ima samo po jedan spoj sa gotovim delom zida, s tim što beton prethodne lamele mora dovoljno da očvrstne da ne bi došlo do njegovog obrušavanja. Za vreme građenja pojedinih lamela, postoji određena sloboda u određivanju pojedinih dužina  $l$  ali je za konačnu dužinu zida  $L$ , važno tačno odrediti dužinu  $l$  poslednje lamele.

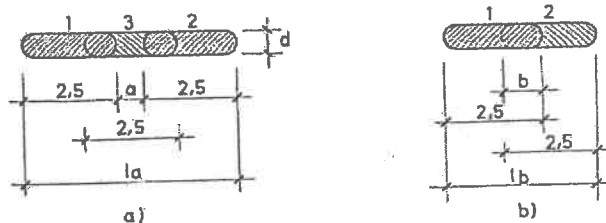


Slika 7. Šematski prikaz građenja dijafragmi postupkom lamela: a) postupak uzastopnih lamela, b) postupak na preskok

Kod postupka na preskok, grade se najpre lamele neparnih a zatim lamele parnih brojeva tako da postoje po dva bočna spoja sa već sagrađenim lamelama. Ovaj postupak zahteva sigurnu dužinu  $l$  lamela parnih brojeva (zbog iskopa i zbog ugrađivanja armaturnog koša).

Debljina  $d$  zida dijafragme je rezultat statičkog proračuna, dimenzija kašike za kopanje ili neke potrebe objekta kome dijafragma pripada.

Dužina  $l$  jedne lamele zavisi od alata za iskop rova, tla u kome se kopa (neko tlo se podupire lakše a neko teže) i brzine građenja dijafragme. Dužina otvorene kašike se kreće od 1,5 do preko 2,5m i na osnovu toga se određuje i najmanja dužina lamele.



Slika 8. Skica osnove lamele, dužina  $l$  lamele je veća od dužine otvorene kašike (2,5m)

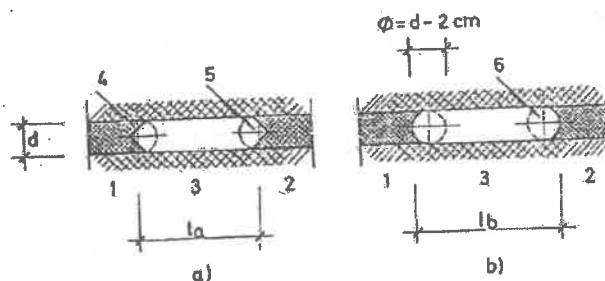
Iskop sa podupiranjem isplakom, ugrađivanje armaturnog koša i betoniranje lamele mora da se ostvaruje u kontinuitetu, tako da tempo pripreme isplake i spravljanja i ugrađivanja betona takođe uslovljava dužinu lamele.

Ukoliko dužina  $l$  treba da bude veća od jednog otvora kašike za kopanje (2,5 m) postupa se kao na slici 8. pod a) je prikazana dužina  $2 \cdot 2,5 \text{ m} + a$  (najmanje  $a=d$ ) gde se najpre kopa deo 1, pa deo 2, i na kraju međurazmak. Pod b) za dužinu manju od  $2 \cdot 2,5 \text{ m}$  se delovi iskopa kopaju jednovremeno (naizmenično).

Debljina zida dijafragme se kreće od 0,3 do preko 1,0m – najčešće 0,6 i 0,8 m, dok dužine lamela retko premašuju 7,0 m. U svetu su kopane dijafragme dubine i preko 60 m.

Spojevi na krajevima lamela treba da obezbede što bolju vezu, odnosno kontinuitet zida, obzirom da su lamele nezavisne a veza među njima se obezbeđuje samo direktnim kontaktom betona susednih lamela.

Na slici 9 su prikazani najčešće korišćeni vertikalni spojevi – lamele 1 i 2 su izbetonirane a treba da se izbetonira lamela 3. Pod a) je prikazan spoj koji je formiran od čeličnog lima. Čelični lim 4 je zavaren za koš armature lamele 1 i zajedno sa njom ugrađen i ubetoniran tako da se zasekao svojim krajevima u tlo rova, čime sprečava oticanje sveže betonske mase u deo 5. Deo 5 je profil iskopa kašike koji je posle montiranja koša armature zasut zemljom. Lim je debljine 2,5–3,5 mm. Dužina  $l_a$  je određena tako da kroz rov može da prođe otvorena grajfer kašika. Ona za vreme kopanja rova za lamelu 3 izaziva kretanje isplake duž lima 4 čime se skida sa površine lima eventualna glinena prevlaka od isplake, nalepljena zemlja ili beton od eventualnog prodora betona za vreme betoniranja la-



Slika 9. Prikaz spojeva lamela: a) spoj lamela obezbeđen čeličnim limom, b) spoj lamela formiran cevima



mela 1 i 2 čime se dobija zadovoljavajuće čist spoj susjednih lamela.

Na slici pod b), veza lamele 3, dužine  $l_b$ , ostvarena je ugrađivanjem u rov odgovarajućih čeličnih cevi koje služe kao oplata betona u lamelama 1 i 2. Ovakav spoj je čist, ostvaruje se direktan kontakt betona susjednih lamela, ali iziskuje opremu za ugrađivanje i vađenje cevi, za njihovo odvajanje od betona i radnu snagu.

Završni radovi se svode na obradu glave dijafragme tj. na povezivanje lamela u celinu. Spoj dijafragmi nije armiran i veza između lamela se ostvaruje direktnim prijanjanjem betona, te ovi spojevi predstavljaju slaba mesta. Zbog toga se uvek preko lamela projektuje vezna, serklažna konstrukcija (greda) od armiranog betona u koju se ankeruje vertikalna armatura lamela. Ako se dijafragma po visini razupire obavezno treba predvideti podvlače između dijafragme i razupirača.

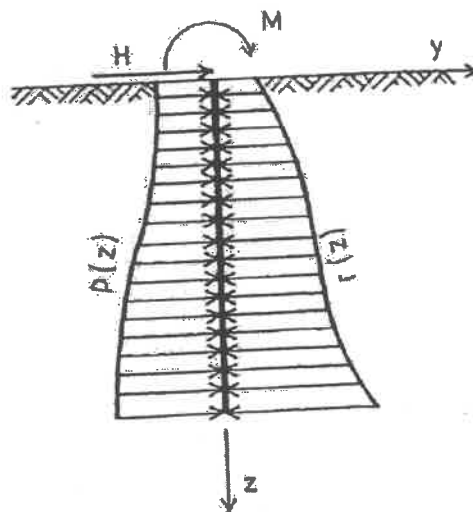
### 3.5.1. Armatura dijafragme

Armatura jedne lamele je krut kostur armature koji se spušta kroz isplaku u rov pred betoniranje. Priodljivost između vertikalne armature i betona je neznatno smanjena jer za vreme tečenja sveže betonske mase naviše ona struže vertikalnu šipku dok sa horizontalne armature beton nešto teže skida nalepljenu isplaku. Koš armature se formira u horizontalnom položaju nakon čega ga prihvata dizalica, podiže u vertikalni položaj i spušta u rov. Krutost koša se dobija zavarivanjem ukrštanja vertikalne i horizontalne armature (sve ukrsne veze u području glave i baze koša a svaka druga u ostalom delu) i ugrađivanjem montažne zmijolike armature. Ona se zavaruje za podužnu armaturu formirajući na taj način rešetkast nosač koji košu obezbeđuje zadovoljavajuću krutost. Podužna armatura donjeg dela koša se povija čime se koš sužava i lakše ugrađuje u rov. Poželjno je da vertikalna armatura bude bez nastavaka a koš iz jednog komada. Ako je koš izuzetno dugačak jedan deo se veša o zidice uvodnica a drugi za njega vezuje zavarivanjem. Još za vreme projektovanja i građenja koša armature mora se voditi računa o tome da beton armaturu obavlja slobodnim tečenjem naviše a ne mehaničkim sredstvima (pervibratorima) te razmak između šipki treba da omogući dobro obmotavanje betona oko njih. Treba birati manji broj šipki većeg poprečnog preseka sa razmakom ne manjim od 10 cm. Koš armature treba da ima pomoćna gvožđa, kuke, za koje će ga hvatati dizalica kao i da bude obezbeđen prostor za cev podvodnog betoniranja.

## 4. PRORAČUN AB DIJAFRAGMI

### 4.1. Proračun deformabilnih potpornih konstrukcija uklještenih u tlo

Stvarna raspodela otpora tla pri delovanju horizontalnih sila na deformabilnu konstrukciju uklještenu u tlo, nije poznata. Poznate su samo granične vrednosti maksimalno mogućeg otpora tla ako se pret-



Slika 10. Opterećenje deformabilne potporne konstrukcije

postavi da se na tlo može primeniti Kulonov zakon. Od veličine i raspodele otpora tla zavisi stepen uklještenja dijafragme u tlu, pa prema tome i potrebna dubina koja će joj obezbediti stabilnost. Da bi matematički bilo moguće pratiti raspodelu otpora u kontaktnoj površini dijafragme i tla, tlo se tretira kao homogena, elastična i izotropna sredina.

Posmatramo deo zida koji se nalazi u tlu, opterećen horizontalnom silom  $H$  i momentom savijanja  $M$ , proizvoljnim opterećenjem koje se menja po poznatom zakonu  $p(z)$  pri čemu se otpor tla menja po nepoznatom zakonu  $r(z)$ .

Uz pretpostavku da se i tlo i dijafragma nalaze u stanju ravne deformacije, dovoljno je, za rešenje problema, izdvojiti i analizirati ma koji deo dijafragme, određene širine, i tretirati ga kao nosač izložen savijanju.

Diferencijalna jednačina elastične linije nosača konstantnog poprečnog preseka,

$$\frac{d^4 y}{dz^4} = \frac{p(z)}{D} - \frac{r(z)}{D}$$

izloženog savijanju, glasi:

$$D = \frac{EI}{1 - \nu^2}$$

gde su:  $D$  – krutost nosača na savijanje,  $E$  – moduo elastičnosti nosača,  $I$  – moment inercije poprečnog preseka,  $\nu$  – Poisson-ov koeficijent materijala [6].

U gornjoj jednačini nepoznate su dve funkcije: pomeranje tačaka elastične linije nosača  $y(z)$  i promena otpora tla  $r(z)$ , dakle, neophodna je jednačina koja će ih povezati, a do nje se dolazi primenom teorije elastičnosti. Rešenje ravnog problema (tlo smo definisali kao homogen, elastičan i izotropan poluprostor u uslovima ravnog stanja deformacija) dao je Melan 1932. godine. Gorbunov-Posadov je ispravio uočene greške u Melanovom rešenju i 1954.g. dao konačne

izraze za komponentalne napone i pomeranja tačaka poluprostora. Izrazi za horizontalna pomeranja glase:

$$u = \frac{(1 - \nu_0) r}{\pi \cdot E_0} + \left\{ A \left[ \ln \frac{r_1 r_2}{d} + \frac{z^2 + 6z\xi + 3\xi^2}{2r_2^2} + \frac{z+\xi}{2r_1^2} + \frac{2z\xi(z+\xi)^2}{r_2^4} \right] + B \left[ \ln \frac{r_1}{d} + 3 \ln \frac{r_2}{d} + \frac{2z(z+\xi)}{2r_1^2} \right] + C \left[ \ln \frac{r_1}{r_2} + \frac{2z(z+\xi)}{r_2^2} \right] + D \left[ \frac{(z-\xi)^2}{2r_1^2} + \frac{z^2 + 2z\xi - \xi^2}{2r_2^2} - \frac{2z\xi(z+\xi)^2}{2r_2^4} \right] \right\}$$

gde su:

$$A = \frac{1}{2(1 - \nu_0)}, \quad B = \frac{1 - 2\nu_0}{4(1 - \nu_0)}$$

$$C = \frac{\nu_0(1 - 2\nu_0)}{4(1 - \nu_0)^2}, \quad D = \frac{\nu_0}{2(1 - \nu_0)^2}$$

$$r_1^2 = y^2 + (z - \xi)^2, \quad r_2^2 = y^2 + (z + \xi)^2$$

$E_0$  – moduo elastičnosti tla,

$\nu_0$  – Poisson-ov koeficijent za tlo,

$d$  – konst. integracije

Apsolutna veličina pomeranja u slučaju ravnog problema teorije elastičnosti se ne može odrediti, ali može relativno pomeranje posmatrane tačke u odnosu na neku drugu tačku. Za ovo razmatranje veličina konstante  $d$  nije bitna, jer ne utiče na deformaciju nosača. Kako nas interesuju relativna pomeranja tačaka u kontaktnoj površini, najpovoljnije je ako za tačku u odnosu na koju određujemo pomeranja izaberemo donji kraj nosača tako da je  $d=h$ . Horizontalna pomeranja kontaktnih tačaka dijafragme i tla dobićemo ako stavimo da je  $y=0$ .

$$u = \frac{(1 - \nu_0) r}{\pi E_0}$$

$$\left\{ A \left[ \ln \frac{(z-\xi)}{d} + \ln \frac{(z+\xi)}{d} \right] + B \left[ \ln \frac{(z-\xi)}{d} + 3 \ln \frac{(z+\xi)}{d} \right] + C \left[ \ln \frac{(z-\xi)}{d} - \ln \frac{(z+\xi)}{d} \right] + A \left[ 1 + \frac{\xi^2}{(z+\xi)^2} \right] + 2B \frac{z}{z+\xi} + 2C \frac{z}{z+\xi} + D \frac{z^2}{(z+\xi)^2} \right\}$$

Uz uvođenje oznaka:

$$A_1 = 4(1 - \nu_0)^2 (A + B + C) = 3 - 4\nu_0$$

$$A_2 = 4(1 - \nu_0)^2 (A + 3B - C) = 5 - 12\nu_0 + 8\nu_0^2$$

$$A_3 = 4(1 - \nu_0)^2 A = 2(1 - \nu_0)$$

$$A_4 = 4(1 - \nu_0)^2 (2B + 2C) = 2\nu_0$$

$$A_5 = 4(1 - \nu_0)^2 D = 2(1 - 2\nu_0)$$

gornji izraz se može napisati:

$$u = \frac{(1 + \nu_0) r}{(1 - \nu_0) \pi E_0}$$

$$\left\{ A_1 \ln \frac{(z-\xi)}{h} + A_2 \ln \frac{(z+\xi)}{h} + A_3 \left[ 1 + \frac{\xi^2}{(z+\xi)^2} \right] + A_4 \frac{z^2}{(z+\xi)^2} + A_5 \frac{z}{(z+\xi)} \right\}$$

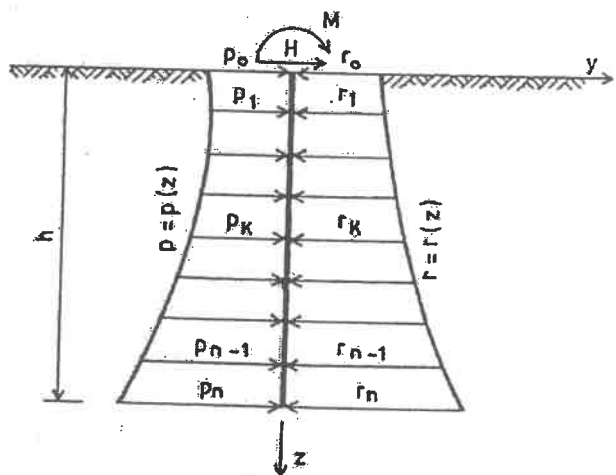
Ovaj izraz daje vezu između pritiska posmatranog nosača na tlo i horizontalnih pomeranja tačaka kontaktne površine. Uz pretpostavku da deformacije nosača prate deformacije tla, njegova elastična linija se poklapa sa horizontalnim pomeranjima tla u odgovarajućim tačkama što znači da ove vrednosti možemo izjednačiti i tako odrediti njihove međusobne uticaje. Od njihovog uzajamnog uticaja zavisi i raspored pritiska posmatranog nosača na tlo i obrnuto. Rešenje integro-diferencijalne jednačine u kojoj je nepoznata funkcija  $f(z, \xi)$  zadaje velike matematičke teškoće pa su razvijeni različiti numerički postupci. Jedan od njih je i *metod konačnih razlika*.

#### 4.2. Definicija problema metodom konačnih razlika

Metod konačnih razlika se sastoji u tome da se problem definisan diferencijalnom jednačinom i zadatim graničnim uslovima svede na sistem algebarskih jednačina. Korišćenjem dopunske jednačine koja daje vezu između horizontalnih pomeranja tačaka tla u kontaktnoj površini i pritiska nosača na tlo, može se pritisak na tlo izraziti pomoću horizontalnih pomeranja odgovarajućih tačaka kontaktne površine. Time iz jednačine eliminišemo jednu od nepoznatih funkcija  $y(z)$  ili  $r(z)$  [6].

Da bismo rešili postavljeni problem, posmatrani deo nosača delimo na  $n$ , po dužini jednakih lamela:  $c = \frac{h}{n}$ . Na taj način dobijamo podeone tačke sa apscisama  $z_k = k \cdot c$ .

Vrednosti tražene funkcije u podeonim tačkama obeležavajuće se odgovarajućim indeksima:  $y_k$  je, na pr., približna vrednost funkcije  $y(z)$  u tački  $K$ . Analizirani



Slika 11. Diskretizacija deformabilnog vertikalnog nosača



problem je izražen linearnom jednačinom četvrtog reda, pa su diferencijalni količnici do četvrtog reda:

$$\frac{dy}{dz} = -\frac{y_{k-1} - y_{k+1}}{2c}$$

$$\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{y_{k-1} - 2y_k + y_{k+1}}{c^2}$$

$$\frac{d^3y}{dz^3} = \frac{y_{k-2} - 2y_{k-1} + 2y_{k+1} - y_{k+2}}{c^2}$$

$$\frac{d^4y}{dz^4} = \frac{y_{k-2} - 4y_{k-1} + 6y_k - 4y_{k+1} + y_{k+2}}{c^4}$$

Ako diferencijalne količnike u diferencijalnoj jednačini zamenimo odnosima konačnih veličina, za tačku K će biti:

$$\frac{y_{k-2} - 4y_{k-1} + 6y_k - 4y_{k+1} + y_{k+2}}{c^4} = \frac{1}{D} (p_k - r_k)$$

$$y_{k-2} - 4y_{k-1} + 6y_k - 4y_{k+1} + y_{k+2} = \frac{c^4}{D} (p_k - r_k)$$

Ovakva jednačina se može napisati za svaku po deonu tačku, uključujući i tačke na krajevima nosača. Pri ispisivanju jednačina za tačke 0, 1, n-1 i n pojavljuju se i ordinate elastične linije u tačkama izvan posmatranog dela nosača na odstojanjima c i 2c od krajeva. Jednačine za ove tačke glase:

tačka 0

$$y_{-2} - 4y_{-1} + 6y_0 - 4y_1 + y_2 = \frac{c^4}{D} (p_0 - r_0)$$

tačka 1

$$y_{-1} - 4y_0 + 6y_1 - 4y_2 + y_3 = \frac{c^4}{D} (p_1 - r_1)$$

tačka n-1

$$y_{n-3} - 4y_{n-2} + 6y_{n-1} - 4y_n + y_{n+1} = \frac{c^4}{D} (p_{n-1} - r_{n-1})$$

tačka n

$$y_{n-2} - 4y_{n-1} + 6y_n - 4y_{n+1} + y_{n+2} = \frac{c^4}{D} (p_n - r_n)$$

Ordinate  $y_{-2} y_{-1} y_{n+1} y_{n+2}$  se iz sistema jednačina mogu eliminisati korišćenjem graničnih uslova.

Ako na kraju nosača deluju moment savijanja  $M_0$  i transversalna sila  $H_0$ , kao u posmatranom slučaju u tački 0, za  $Z=0$  granični uslovi glase:

$$\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{M_0}{D}$$

$$\frac{d^3y}{dz^3} = \frac{H_0}{D}$$

$$y_{-1} - 2y_0 + y_1 = \frac{c^2}{D} M_0 \Rightarrow y_{-1} = 2y_0 - y_1 + \frac{c^2}{D} M_0$$

$$y_{-2} - 2y_{-1} + 2y_1 - y_2 = \frac{2c^3}{D} H_0 \Rightarrow y_{-2} = 4y_0 - 4y_1 + y_2 + \frac{2c^2}{D} M_0 - \frac{2c^3}{D} H_0$$

Zamenjeno u jednačinama za tačke 0 i 1:

$$2y_0 - 4y_1 + 2y_2 = \frac{c^4}{D} \left( \frac{p_0}{c^2} + \frac{2M_0}{c^2} + \frac{2H_0}{c} - r_0 \right)$$

$$-2y_0 + 5y_1 - 4y_2 + y_3 = \frac{c^4}{D} \left( \frac{p_1}{c^2} - \frac{M_0}{c^2} - r_1 \right)$$

Ako su momenti i transversalne sile na nekom kraju nosača jednaki 0, kao što je u posmatranom slu-

čaju u tački n, za  $z = z_n = h$  biće:  $\frac{d^2y}{dz^2} = 0$   $\frac{d^3y}{dz^3} = 0$

Zamenjeno u tačkama n i n-1:

$$y_{n-3} - 4y_{n-2} + 5y_{n-1} - 2y_n = \frac{c^4}{D} (p_{n-1} - r_{n-1})$$

$$y_{n-2} - 4y_{n+1} + 2y_n = \frac{c^4}{D} (p_n - r_n)$$

Kompletni sistem jednačina glasi:

$$2y_0 - 4y_1 + 2y_2 = \frac{c^4}{D} (p_0 - r_0)$$

$$-2y_0 + 5y_1 - 4y_2 + y_3 = \frac{c^4}{D} (p_1 - r_1)$$

$$y_{k-2} - 4y_{k-1} + 6y_k - 4y_{k+1} + y_{k+2} = \frac{c^4}{D} (p_k - r_k)$$

$$y_{n-3} - 4y_{n-2} + 5y_{n-1} - 2y_n = \frac{c^4}{D} (p_{n-1} - r_{n-1})$$

$$2y_{n-2} - 4y_{n-1} + 2y_n = \frac{c^4}{D} (p_n - r_n)$$

U sistemu jednačina su vektori čvornih opterećenja u odgovarajućim tačkama jednaki:

$$p_0 = p_0 + \frac{2M_0}{c^2} + \frac{2H_0}{c}$$

$$p_1 = p_1 - \frac{M_0}{c^2}$$

a u ostalim čvornim tačkama  $p_k = p_k$ .

Gornji sistem u matricnom obliku glasi:

$$Ay = \frac{c^4}{D} (p - r) \text{ gde su:}$$

A – kvadratna matrica reda n+1 (članovi matrice su koeficijenti sistema jednačina),

y =  $[y_0 y_1 \dots y_n]$  – vektor kolona ordinata elastične linije,

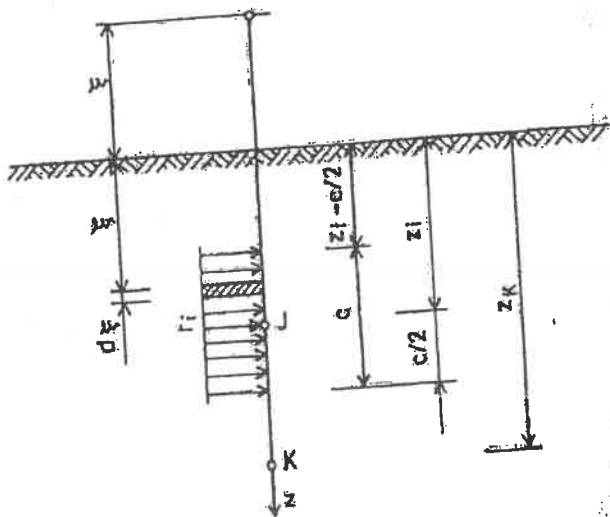
p =  $[p_0 p_1 \dots p_n]$  – vektor kolona spoljnog opterećenja,

r =  $[r_0 r_1 \dots r_n]$  – vektor kolona otpora zemljišta.

U matricnoj jednačini su nepoznati vektori  $y$  i  $r$ . Da bi bilo moguće rešiti je, potrebna je i dopunska jednačina, odnosno veza između vektora  $y$  i  $r$  koja se određuje korišćenjem *uticajnih funkcija*.

### 4.3. Uticajne funkcije

Neka se opterećenje duž ose  $z$  menja po zakonu neke krive date jednačinom  $r = r(z)$ . Da bismo odredili horizontalno pomeranje neke tačke koja se nalazi na osi  $z$ , krivolinijski dijagram opterećenja zamenimo stepenastim čime se postiže da u okolini svake podeone tačke bude ravnomerno podeljeno opterećenje.



Slika 12. Tačka (K) u kojoj se sračunava pomeranje van opterećene lamele širine  $c$

Posmatramo lamelu širine  $c$ , slika 12, u čijoj se sredini nalazi neka od podeonih tačaka, npr. J. Tražimo horizontalno pomeranje tačke K na rastojanju  $z_k$  od koordinatnog početka, odnosno  $z_k - z_i$  od sredine podeonih tačaka. Izdvojimo iz lamele beskonačno mali element  $d\xi$  koji se nalazi na rastojanju  $\xi$  od koordinatnog početka. Elementarna sila koja deluje na izdvojenom elementu jednaka je:  $dq_i = r_i d\xi$ . Horizontalno pomeranje tačke K od delovanja elementarne sile biće:

$$dy = \frac{(1+\nu_0)r_i}{4(1-\nu_0)\pi E_0}$$

$$\left\{ A_1 \ln \frac{z_k - \xi}{h} + A_2 \ln \frac{z_k + \xi}{h} + A_3 \left[ 1 + \frac{\xi^2}{(z_k + \xi)^2} \right] + A_4 \frac{z_k^2}{(z_k + \xi)^2} + A_5 \frac{z_k}{z_k + \xi} \right\}$$

Rešenje se dobija integraljenjem gornjeg izraza i može se napisati u sledećem obliku:

$$y_{ki} = \frac{(1+\nu_0)r_i c}{8(1-\nu_0)\pi E_0} F_{ki}$$

$$F_{ki} = \frac{2}{c} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \left\{ A_1 \ln \frac{z_k - \xi}{h} + A_2 \ln \frac{z_k + \xi}{h} + A_3 \left[ 1 + \frac{\xi^2}{(z_k + \xi)^2} \right] + A_4 \frac{z_k^2}{(z_k + \xi)^2} + A_5 \frac{z_k}{z_k + \xi} \right\} d\xi$$

Gornji izraz predstavlja uticajnu funkciju za horizontalna pomeranja tačaka  $z$ -ose kada na lameli dužine  $c$ , sa težištem na odstojanju  $z_i$  od koordinatnog početka deluje ravnomerno podeljeno opterećenje jediničnog intenziteta. Na krajevima posmatranog nosača opterećenje se prenosi preko lamele širine  $\frac{c}{2}$  pa

pomeranje tačaka treba vršiti posebno, međutim ovo se u praksi rešava tako što se u proračun uzme polovinske vrednosti uticajne funkcije  $F_{ki}$  određene za slučaj kada se opterećenje prenosi preko cele lamele.

Horizontalna pomeranja tačaka  $0, 1, \dots, n$  možemo prikazati u sažetoj formi matricnom jednačinom:

$$y = \frac{(1+\nu_0)c}{8(1-\nu_0)\pi E_0} Fr$$

Matrica  $F$  u razvijenom obliku glasi:

$$F = \begin{bmatrix} 0.5F_{0,0} & F_{0,1} & F_{0,n-1} & 0.5F_{0,n} \\ 0.5F_{1,0} & F_{1,1} & F_{1,n-1} & 0.5F_{1,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0.5F_{n-1,0} & F_{n-1,1} & F_{n-1,n-1} & 0.5F_{n-1,n} \\ 0.5F_{n,0} & F_{n,1} & F_{n,n-1} & 0.5F_{n,n} \end{bmatrix}$$

Numeričke vrednosti uticajnih koeficijenata za podelu nosača na 10 lamela i Poisson-ov koeficijent  $\nu = 0.3$  date su u tabeli VI.4 knjige *Fundiranje građevinskih objekata* profesora Stevana Stevanovića.

### 4.4. Rešenje problema

Diferencijalnu jednačinu elastične linije nosača uklještenog u tlo  $\frac{dy^4}{dz^4} = \frac{p(z)}{D} - \frac{r(z)}{D}$  sveli smo na matricnu

jednačinu  $Ay + \frac{c^4}{D} r = \frac{c^4}{D} p$  u kojoj su nepoznate ordinate

elastične linije nosača i ordinate otpora tla u podeonim tačkama. Matricna jednačina:  $y = \frac{(1+\nu_0)c}{8(1-\nu_0)\pi E_0} Fr$  daje

vezu između pritisaka na tlo u podeonim tačkama i horizontalnih pomeranja tih tačaka, odnosno ordinata elastične linije u tim tačkama. Rešavanjem sistema dve jednačine sa dve nepoznate dobijamo:  $AFr + \beta Er = \beta p$  gde je:

$$\beta = \frac{8(1-\nu_0)\pi E_0 c^3}{(1+\nu_0)D}$$

a  $E$  je jedinična matrica reda  $n+1$ . Ako uvedemo novu matricu  $L$ , jednačinu možemo napisati u još sažetijem obliku:

$$Lr = \beta p$$

$$L = B + \beta E$$

$$B = AF$$

Kako matrica  $A$  ima potpuno određene elemente a elementi matrice  $F$  zavise od broja lamela na koje je nosač podeljen, možemo za određenu podelu nosača odrediti i elemente matrice  $B$ . Za podelu nosača na 10 jednakih lamela i Poissonov koeficijent  $\nu = 0.3$  numeričke vrednosti elemenata matrice  $B$  date su u tabeli

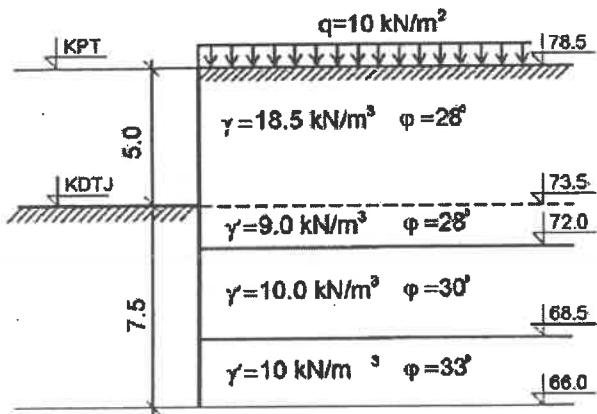
VI.5 knjige *Fundiranje građevinskih objekata* profesora S. Stevanovića. Rešavanjem po  $r$ , dobijamo:  $r = \beta L^{-1} p$ .

Na taj način smo odredili ordinate otpora u podeonim tačkama  $K$  ( $K=0,1,2,\dots,n$ ), a ordinate elastične linije dijafragme dobićemo kada vrednosti  $r$  unesemo u

$$\text{matričnu jednačinu } y = \frac{(1 + \nu_0)c}{8(1 - \nu_0) \pi E_0} Fr.$$

### 5. BROJNI PRIMER

**Zadatak:** Projektovati armiranobetonsku dijafragmu koja će osim za obezbeđenje temeljne jame poslužiti i kao obimni zid podzemnog dela objekta. Podaci o tlu su dati na slici 13.



Slika 13. Postavka problema sa podacima o tlu

Opterećenje svodimo na nivo kote dna temeljne jame, tako da posmatramo nosač opterećen momentom i horizontalnom silom.

Za primenu ove metode, preostali deo dijafragme delimo na 10 jednakih delova dužine  $c = \frac{7.5}{10} = 0.75$  m.

Nakon elementarnih transformacija, prikazanih u delu 4.4 dolazimo do matrične jednačine:  $r = \beta L^{-1} p$ . Kako je već objašnjeno, elemente matrice  $L$  dobijamo tako što elementima na glavnoj dijagonalni matrice  $B$  ( $B=AF$ ) dodajemo  $\beta$  dok vandijagonalni elementi ostaju nepromenjeni. Numeričke vrednosti matrice  $B$  su date u tabeli VI.5 knjige *Fundiranje građevinskih objekata* prof. S. Stevanovića, a bezdimenzionalni koeficijent  $\beta$  računamo po formuli:

$$\beta = \frac{8(1 - \nu_0) \pi E_0 c^3}{(1 + \nu_0) D} = \frac{8 \cdot (1 + 0.3) \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 10^4 \cdot 0.75}{(1 + 0.3) \cdot \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 0.018}{1 - \left(\frac{1}{6}\right)^2}} = 0.5478 \approx 0.55$$

gde su:

- $\nu_0$  – Poissonov koeficijent podloge = 0.3
- $E_0$  – modul elastičnosti podloge =  $2 \cdot 10^4$  kN/m<sup>2</sup>
- $\nu$  – Poissonov koeficijent AB dijafragme = 1/6
- $E$  – modul elastičnosti betona =  $2 \cdot 10^7$  kN/m<sup>2</sup>

Aktivno opterećenje duž dijafragme ne postoji [3,7]. Međutim, prilikom eliminacije suvišnih nepoznatih, korišćenjem konturnih uslova na gornjem kraju, pojavljuju se zamenjujuća aktivna opterećenja koja odgovaraju uticajima  $M = M_0$  i  $H = H_0$ , tako da vektor  $p$  nije nula vektor. Na donjem kraju je  $M=H=0$ .

$$p = \begin{bmatrix} -2M_0/c^2 - 2H_0/c \\ M_0/c^2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 823.2 \\ -291.2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Inverzna matrica matrici  $L$ , reaktivno opterećenje  $r$  kao i pomeranja  $Y$ , određeni su korišćenjem programa *Matemtica 5.2*. Na osnovu dobijenih pomeranja, momenti i transverzalne sile se računaju po sledećim formulama:

$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{M}{D} \frac{d^3 y}{dz^3} = \frac{H}{D}$$

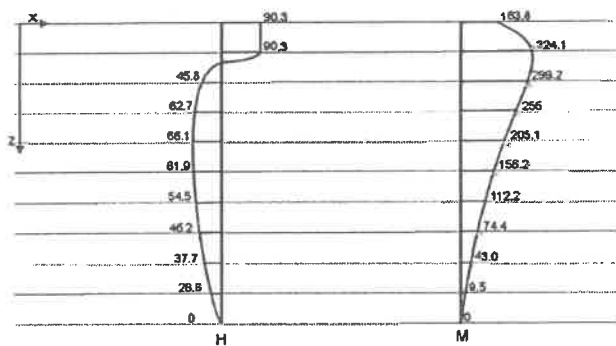
$$\frac{d^2 y}{dz^2} = \frac{y^{k-1} - 2y_k + y_{k+1}}{c^2} \Rightarrow M = \frac{D}{c^2} (y_{k-1} - 2y_k + y_{k+1})$$

$$\frac{d^3 y}{dz^3} = \frac{y_{k-2} - 2y_{k-1} + 2y_{k+1} - y_{k+2}}{2c^3} \Rightarrow H =$$

$$= -\frac{D}{2c^3} (y_{k-2} - 2y_{k-1} + 2y_{k+1} - y_{k+2})$$

$$D = \frac{EI}{1 - \nu^2} = \frac{2 \cdot 10^7 \cdot 0.018}{1 - \left(\frac{1}{6}\right)^2} = 370370$$

Z	0.0	0.75	1.5	2.25	3.0	3.75	4.5	5.25	6.0	6.75	7.5
Mz	163.8	324.1	299.2	255.4	205.1	156.2	112.2	74.4	43.0	9.9	0
Hz	90.3	90.3	-45.8	-62.7	-66.1	-61.9	-54.5	-46.2	-37.7	-28.6	0



Slika 14. Rezultujući dijagrami transverzalnih sila i momenata savijanja dobijeni metodom konačnih razlika

## 6. ZAKLJUČAK

Dijafragme imaju širok spektar primene: pregrađivanje vodenog toka (antifiltracione), duboki temelji (dijafragma šipovi ili nezavisni temelji), zaštita razlike nivoa tla (stalna ili privremena konstrukcija). Iskop za dijafragme se obavlja standardnim alatima i standardnim građevinskim mašinama. Sama tehnologija izrade i pripreme radnje (zaštita iskopa isplakom, betoniranje uvodnica) ne zahtevaju posebne izdatke u smislu materijala ili opreme, te bi ovom vidu fundiranja u stručnoj literaturi svakako trebalo da bude posvećena veća pažnja.

Za proračun AB dijafragmi kao deformabilnih potpornih konstrukcija, polazi se od diferencijalne jednačine elastične linije nosača da bi se, nakon niza transformacija, dobio izraz koji povezuje pritisak posmatranog nosača na tlo i horizontalnih pomeranja tačaka kontaktne površine. Rešavanje ove integro-diferencijalne jednačine zadaje velike teškoće pa su razvijeni različiti numerički postupci. Jedan od njih je i metod konačnih razlika. Treba napomenuti da tačnost ovog metoda zavisi od gustine podele nosača, u

smislu da sitnija podela daje preciznija rešenja. U radu je izvršena podela nosača na deset delova i korišćene postojeće tablice za proračun [6] čime se postiže zadovoljavajuća tačnost.

## LITERATURA

- [1] Bonić Zoran: Prilog teoriji proračuna temeljnih nosača na elastičnoj podlozi, magistarski rad, GAF Niš, 2000.
- [2] Vujičić Čedomir: Dijafragme—primena, građenje i projektovanje; naučni rad, Cavtat, 1979.
- [3] Milović Dušan, Đogo Mitar: Ponašanje šipa pri dejstvu sile H određeno na osnovu rezultata statičke penetracije, Materijali i konstrukcije 44(3–4), Beograd, 2001.
- [4] Prolović Verka, Milošević Srđan: Zbirka zadataka iz fundiranja, Niš, 1994.
- [5] Sklena Johan, Vujadinović Nataša: Proračun temelja, AGM knjiga, Beograd, 2006.
- [6] Stevanović Stevan: Fundiranje građevinskih objekata, Građevinska knjiga, Beograd, 2006.
- [7] Stevanović Stevan, Pečić Nenad: "Prilog proračunu poprečno opterećenih šipova", Saopštenja Trećeg savetovanja Društva za mehaniku tla i fundiranje SR Srbije, Beograd, decembar 1988.