

## GENERALNO POROČILO ZA 2. GLAVNO TEMO: PROBLEMATIKA PLITVEGA TEMELJENJA GRADBENIH OBJEKTOV

JANKO LOGAR, asist. mag., Katedra za mehaniko tal z laboratorijem, FAGG

**POVZETEK:** V drugo glavno temo so bili uvrščeni trije referati: Uporaba metode končnih elementov v geotehniko avtorja Bojana Majesa, Ocenitev začetnih usedkov morskih glinastih sedimentov avtorja Ivana Sovinca in Temeljenje na žaluzijskih konstrukcijah avtorjev Ludvika Traunerja, Bojana Žlendera in Stanislava Škrabla. Generalno poročilo sestavljajo daljši povzetki člankov, ker so udeleženci posvetovanja dobili zbornik šele ob registraciji.

**SUMMARY:** Three papers have been selected for the second general section: Use of the finite element method in geotechnical engineering by Bojan Majes, Estimation of immediate settlement of marine clay sediments by Ivan Sovinc and Foundation on hinge tied construction by Ludvik Trauner, Bojan Žlender and Stanislav Škrabl. The general report includes extensive summaries of papers since the conference proceedings have been distributed among participants only at the registration.

### **BOJAN MAJES: UPORABA METODE KONČNIH ELEMENTOV V GEOTEHNIKI**

Docent Bojan Majes v svojem prispevku podaja pregled večletnega raziskovalnega dela na Katedri za mehaniko tal z laboratorijem FAGG na področju numeričnih analiz geotehničnih problemov z metodo končnih elementov.

V prvem delu so prikazane teoretične osnove za analizo napetostno deformacijskega stanja v temeljnih tleh in nakazane možnosti upoštevanja različnih konstitucijskih zakonov. V drugem delu prispevka so predstavljeni računalniški programi, pripravljeni na podlagi opisanih teoretičnih izvajanj ter rezultati analiz, kjer je bilo mogoče dobljene numerične rezultate primerjati bodisi z meritvami na terenu, bodisi z analitičnimi rešitvami.

Pregled teoretičnih osnov obsega prikaz izpeljave ravnovesnih enačb in difuzijske enačbe, prilagojene MKE, ki združene v enovit sistem enačb (enačba 44) omogočajo numeričen račun procesa konsolidacije tal ob upoštevanju nelinearnih sovisnosti med napetostmi in deformacijami za zemljine. V problemu nastopajo kot neznanke pomiki in presežni porni tlaki v vozliščih končnih elementov, obtežbo predstavljajo površinske in volumnske sile ter morebitni presežni porni tlaki v tleh pred pričetkom analize. Potrebni so še podatki o geometriji problema, robnih pogojih in materialni parametri: deformacijski parametri, prepustnost,

trdnostna parametra ter drugi materialni parametri, odvisno od uporabljenega konstitucijskega modela.

Od konstitucijskih modelov so predstavljeni elastoplastični modeli, omenjeni so elasto-viskoplastični modeli, širše pa je obrazložen reološki model, ki temelji na družini deformacijskih izotah.

Opisani in predstavljeni računalniški programi so:

*VISOIL (1982):* Analiza konsolidacije nelinearnih viskoznihih zemljin po MKE v ravninsko deformacijskih pogojih. Zemljina je tretirana kot Maxwellovo telo. Trikotni končni element s 15 prostostnimi stopnjami.

*MASUKO (1985):* Analiza konsolidacije nelinearnih viskoznihih zemljin po MKE v ravninsko deformacijskih pogojih. Zemljina je tretirana kot Kelvinovo telo. Trikotni končni element s 15 prostostnimi stopnjami.

*OSA (1990):* Analiza konsolidacije nelinearnih viskoznihih zemljin po MKE v osno simetričnih deformacijskih pogojih. Zemljina je tretirana kot Kelvinovo telo. Trikotni končni element s 15 prostostnimi stopnjami.

*KARTA (1990):* Kot MASUKO z upoštevanjem ojačitev v temeljnih tleh. Izoparametrični končni element z 20 prostostnimi stopnjami.

*BOJAN (1993):* Analiza konsolidacije elastoplastičnih zemljin po MKE v ravninsko deformacijskih pogojih. Trikotni končni element z 9 prostostnimi stopnjami, linijski element za simulacijo pilotnih sten, sider ali/in ojačitve ter točkovni kontaktni element.

## Izvedene računske analize

Uporaba razvitih računalniških programov je prikazana na sledečih primerih:

1. Analiza časovnega razvoja posedkov in presežnih pornih tlakov pod cestnim nasipom na barjanskih tleh
2. Analiza mejnega stanja pod cestnim nasipom
3. Analiza prenosa obtežbe v temeljna tla preko osamljenega vertikalnega kola
4. Parametrična študija obnašanja cestnih nasipov nad ojačanim površjem temeljnih tal
5. Analiza pilotnih podpornih konstrukcij

### **1. primer: Analiza časovnega razvoja posedkov in presežnih pornih tlakov pod cestnim nasipom na barjanskih tleh**

Obravnavan je poizkusni nasip v trasi Južne ljubljanske obvoznice, grajen med leti 1981 in 1985. Med gradnjo in po njej so bili opazovani posedki nasipa in merjeni porni tlaki pod nasipom.

Na slikah 1 do 3 je prikazan tloris poizkusnega nasipa in prerez v dreniranem polju II ter nedreniranem polju III z vrisanimi merskimi mesti posedkov in pornih tlakov. Analiza nedreniranega polja nasipa je bila izvedena s programom MASUKO (ravninsko deformacijsko stanje), analiza dreniranega polja pa s programom OSA (osno simetrično deformacijsko stanje).

Slika 4 prikazuje primerjavo izračunanega (polna črta) in izmerjenega (točke) časovnega poteka posedkov v dreniranem in nedreniranem polju nasipa.

Na slikah 5 in 6 vidimo časovni potek izmerjenih in izračunanih presežnih pornih tlakov. Računski rezultati so prikazani s črtami, merjeni pa s točkami. Na sliki 5 so rezultati za drenirano polje in globino 7,5m, na sliki 6 pa rezultati za nedrenirano polje in kontakt med 1. in 2. slojem zemljine.

Iz prikazanih in drugih rezultatov avtor zaključuje, da ima gostota mreže končnih elementov večji vpliv na izračunane vrednosti pornih tlakov kakor na vrednosti pomikov. Naslednji zaključek pove, da večina računskih analiz oceni prevelike posedke v začetku analize in premajhne na koncu konsolidacije, kar avtor pripisuje napakam in težavam pri laboratorijskih preiskavah kot so intaktnost vzorcev, razbremenitev vzorcev po odvzemu ter meritev deformacij na vzorcih v območju malih in mejnih napetostnih stanj. Kljub temu omogočata uporabljena programa kvalitetno analizo konsolidacije nelinearnih viskozni zemljin za primere, ko so spremembe napetostnih stanj samo monotono naraščajoče ali monotono upadajoče.

### **2. primer: Analiza mejnega stanja pod cestnim nasipom**

Pri hitri gradnji cca 300 m dolgega in 4 do 8 m visokega cestnega nasipa pred viaduktom preko

železniške proge na obalni avtocesti se je del nasipa v dolžini cca 100m na mestu, kjer je bil nasip zgrajen do višine 7m, hipno porušil. Nasip je bil iz kvalitetnega kamnitega materiala, temeljna tla pa ne dovolj raziskana. Debelina vrhnje plasti težko gnetne do poltrdne konsistence je bila precenjena, debelina spodnje, lahko do srednje gnetne pa podcenjena. Poleg tega je bila upoštevana še preveč optimistična strižna odpornost temeljnih tal. Naknadne temeljite raziskave temeljnih tal in meritve deformacij po poružitvi so bile izziv za numerično analizo in primerjavo rezultatov. Poleg analiz z MKE so bile narejene tudi klasične stabilnostne analize po postopku Bishopa in Janbuja. Na sliki 7 vidimo prerez nasipa z vrisanimi kritičnimi drsinami po postopku Bishopa in Janbuja, na sliki 8 izolinije količnikov varnosti, ki potrjujejo lego kritičnih drsin (področje varnosti  $F=1$  označuje področje znotraj odebeljene linije). Slika 9 pa prikazuje računske deformacije v 10 krat povečanem merilu glede na geometrijo prečnega prereza. Avtor zaključuje:

1. da se rezultati kljub upoštevanju konstantnih vrednosti za fizikalne parametre zemljin v posameznem sloju dobro ujemajo z opazovanji na terenu,
2. da z uporabljenim programom sicer ne moremo prikazati napetostno deformacijskega stanja pri mejni obtežbi, lahko pa spremljamo širitev področja, v katerem je izčrpana strižna odpornost ( $F \leq 1$ ) od nične do mejne obremenitve in
3. da je nujna uporaba ustreznih kontaktnih elementov na meji med zelo različno deformabilnimi materiali.

### **3. primer: Analiza prenosa obtežbe v temeljna tla preko osamljenega vertikalnega kola**

Analiziran je bil 25,5m dolg kol, zabit v 24,5m debel sloj stisljivih tal, dno kola je v gruščnatem materialu. Avtor povzema rezultate po disertaciji Vogrinčiča, kjer so bili rezultati po MKE primerjani z meritvami na terenu in drugačnimi računskimi analizami. Slika 11 predstavlja primerjavo računskih vertikalnih napetosti vzdolž osi kola z izmerjenimi vrednostmi. Na sliki 10 je prikazan časovni potek pomikov vrha kola za dve alternativni numerični rešitvi v primerjavi z izmerjenimi vrednostmi. Na osnovi teh analiz avtor zaključuje:

1. kvaliteta rezultatov numeričnih analiz obnašanja kolov po MKE je najbolj odvisna od tega kako upoštevamo spremembo napetostnega in deformacijskega stanja v tleh po zabitju kolov,
2. numerične analize po MKE dajejo dober vpogled v spremembo napetostno deformacijskega stanja okrog kola zaradi obremenitve kola in omogočajo študijo raznih vplivov na časovno spremembo nosilnosti zabitih kolov,
3. dosedanje analize še niso uspele izkazati mejnih obtežb za vertikalno obremenjene kole.

### **4. primer: Parametrična študija obnašanja cestnih nasipov nad ojačanim površjem temeljnih tal**

Izbrane rezultate analiz cestnih nasipov na ojačanih temeljnih tleh prikazuje sliki 12 in 13. Na sliki 12 so

prikazani vertikalni in horizontalni pomiki površja temeljnih tal za nearmirano površje in površje, armirano z 1 ali 2 slojema armature. Na sliki 13 so za iste 3 primere prikazane izolinije količnikov varnosti. Na osnovi vseh izvedenih analiz avtor zaključuje:

1. Vpliv armaturnih mrež majhne togosti (plastične mreže) imajo majhen vpliv na posedke in varnost nasipov. Ta vpliv je večji pri zelo hitri gradnji ali pri večjih debelinah slabonosilnega sloja.
2. Večji je vpliv bolj toge armature.
3. Armatura v glavnem zmanjša bočne deformacije in diference posedke ter povečuje varnost proti porušitvi temeljnih tal.
4. Ker je učinek armiranja odvisen od mnogih parametrov, mora biti odločitev za uporabo armiranja vedno rezultat ekonomske in tehnične presoje. Slednjo je mogoče izvesti z MKE.

#### **5. primer: Analiza pilotnih podpornih konstrukcij**

Rezultati analiz pilotnih sten po MKE so v referatu primerjani z rezultati alternativnih postopkov, ki jih v praksi pogosteje uporabljamo. Na sliki 14 je predstavljena deformirana mreža končnih elementov enkrat sidrane pilotne stene, ki varuje 5m visok odkop. Črtkano je vrisana začetna nedeformirana oblika. Za isti primer podaja avtor še diagrama zemeljskih pritiskov in upogibnih momentov. Na slikah so rezultati za togo steno (oznaka T8) in za gibko jekleno zagatnico (oznaka J8). Na podlagi prikazanih in drugih izvedenih analiz avtor zaključuje:

1. Uporaba elastoplastične analize po MKE omogoča vpogled v deformacije pilotne stene in zemljine, kar šele opravičuje uporabo ustreznih zdrsnih zemeljskih pritiskov. Taka numerična analiza omogoča študijo vpliva različnih parametrov na razpored zemeljskih pritiskov, upogibnih momentov in sidrni sil.
2. Računi, ki jih vsakodnevno uporabljamo v praksi, so ob upoštevanju ustreznih količnikov varnosti za račun zemeljskih pritiskov na varni strani.
3. Pri enkrat sidranih stenah prekomerno vpetje stene povzroči manjše deformacije stene in zato preko večjih zalednih pritiskov večje upogibne momente v steni in večjo sidrno silo.
4. Trenje med steno in zemljino zmanjšuje notranje statične količine v steni in s tem poveča varnost konstrukcije.
5. Togost podporne konstrukcije nima izrazitega vpliva na razpored zemeljskih pritiskov, vpliva pa na velikost upogibnih momentov in na velikost sidrne sile. Bolj toga stena mora prevzeti večje upogibne momente.

#### **Generalni zaključki referata**

Metoda končnih elementov je zelo primerna pri reševanju številnih problemov v geotehnikih. Uporabnost te metode stopnjuje hiter razvoj zmogljivih osebnih računalnikov in razvoj znanj na področju numeričnih analiz ter reologije zemljin. Žal temu razvoju ne sledi dobro razvoj terenskih in laboratorijskih metod za določitev fizikalnih lastnosti zemljin. Klasične metode z

razvojem analiz po MKE ne bodo izgubile veljave. MKE bo služila prvenstveno za reševanje najzahtevnejših problemov in za parametrične študije pri posameznih geotehničnih problemih.

#### **Komentar**

Ker sem sam član raziskovalne skupine, katere večletno delo je predstavljeno v referatu, nimam k povedanemu nikakršnega komentarja. Morda le moja vizija ob avtorjevem zaključku: Metoda končnih elementov je široko prodrla med konstrukterje, kjer si brez programov kot so n.pr. OKVIR, SAP in podobnih ne predstavljajo vsakdanjega dela. Bistvene ovire pri uporabi MKE v geotehnikih so: zahtevnejša priprava vhodnih podatkov o geometriji mreže končnih elementov in potrebno večje število ter boljše kvaliteta raziskav fizikalnih karakteristik zemljin. Z nadaljnjim razvojem znanja in opreme bo priprava geometrijskih vhodnih podatkov potekala preko primerne grafične vmesnika, ki bo pomagal preprosto generirati mrežo končnih elementov, prav tako pričakujem napredek tudi pri analizah fizikalnih karakteristik zemljin v smislu sodobnejše procesno vodene laboratorijske in terenske opreme, ki bo tudi bolj natančna v območjih majhnih in mejnih napetostnih in deformacijskih stanj. V taki situaciji bo prednost razmeroma zanesljivih in natančnih numeričnih metod (možno veliko število cenenih analiz in študija vpliva raznih parametrov) privedla do njihove širše uporabe.

#### **IVAN SOVINČ: OCENITEV ZAČETNIH USEDKOV MORSKIH GLINASTIH SEDIMENTOV**

Profesor Ivan Sovinc v svojem prispevku podaja oceno začetnih usedkov tal pri gradnji večnamenskega terminala v Luki Koper. Tla so bila predobremenjena s 3-4 m visokim nasipom. Ocena je primerjana z rezultati meritev usedkov. Posedalne plošče so bile postavljene na vrh normalno konsolidiranih morskih glin. Karakteristike tal so dobljene iz laboratorijskih edometrijskih preiskav in iz terenskih CPT preizkusov.

Uvodoma avtor pojasni, da pri gradnji večjih infrastrukturnih objektov podrobnejše laboratorijske geotehnične preiskave zemljin pogosto zaostajajo za prvim informativnim sondiranjem. To dejstvo postavi pred izvajalce in investitorje ob sklepanju pogodb na ključ vprašanje o čimboljši oceni velikosti začetnih usedkov, da ne pride do prevelikih razlik pri obračunu kubatur nasutega materiala med izvajalcem in investitorjem. Namen članka je prikazati aproksimativno pot do ocene velikosti začetnih usedkov tal, ki se razvijejo med prvim nasipavanjem za dosego določene nivelete oziroma usedkov, ki jih povzroči predobremenitev, predno so znani rezultati laboratorijskih analiz.

Plato za večnamenski terminal je postavljen na Ankaranski ravnici na koti med 0.00 in -1.00m, do višine +3.00m. Skupna višina gruščnatega nasutja je torej med 3 in 4m. Predviden čas gradnje je bil 6 mesecev.

Sondažna dela so potekala poleti 1992, laboratorijske raziskave pa so bile narejene v jeseni in pozimi istega leta. Tudi podrobna geodetska slika je bila narejena na koncu oktobra 1992. Ko so oktobra 1992 pričeli z nasipalnimi deli, torej še niso bili znani rezultati laboratorijskih preiskav.

Iz situacij v referatu so razvidne lege sondažnih vrtin in lokacije posedalnih plošč, prikazan profil na sliki 3 pa kaže sestavo tal pod nasipom. Temeljna Ila predstavlja na vrhu sloj meljev do globine okrog -10m. Sledi sloj srednje do visoko plastičnih glin nato pa do površja preperelega fliša na koti okrog -20.0m siva mastna zelo stisljiva in drsljiva glina.

Na osnovi izkustev je bil napovedan za predviden čas gradnje 6 mesecev začetni usedek 30cm.

Na sliki 5 vidimo usedke površja v štirih obdobjih po začetku del. Nasipavanje se je začelo 26.10.1992, sledi meritve 6.12.1992 in 30.12.1992, ko je bilo nasipavanje že konec (torej je trajalo namesto predvidenih 6 le 2 meseca). Prikazani sta še kasnejši meritvi marca in junija 1993. Zadnja meritve se ujame z napovedanim usedkom 30cm.

#### Aproksimativni račun usedkov

Natančen račun usedka je zaradi postopnega obremenjevanja tal z neenakomerno naraščajočo obtežbo, nepoznavanja začetnih distorzijskih modulov in količnikov prepustnosti težko izvedljiv. Zato se je avtor zadovoljil z aproksimativnim računom, ki temelji na predpostavkah:

1. Usedke zasičenih tal zaradi deformacij pri nespremenjenem volumnu računamo po Bussinesqovih enačbah za polprostor in ob Poissonovem količniku  $\nu=0.5$ .
2. Debelina stisljive plasti pod dnom nasipa je 20m. Ta plast je glede na prepustnost in stisljivost homogena. Pod njo ležeči materiali so praktično nestisljivi.

Oddvojitve začetnih distorzijskih usedkov od celotnih usedkov poteka po definiciji, da so začetni distorzijski usedki tisti, ki nastanejo ob nespremenjenem volumnu, torej so odvisni samo od strižnega modula  $G$  ob neskončni vrednosti kompresijskega modula  $K$ , kar daje za Poissonov koeficient vrednost  $\nu=0.5$ . Navidezna vrednost modula linearne kompresije je torej:  $E_d=3G$ .

Ocenjenemu usedku 30cm ustreza strižni modul 0.387MPa. Iz kasnejših laboratorijskih preiskav je bil določen povprečni modul stisljivosti  $M_v=1.4$ MPa. Temu ustreza strižni modul 0.35MPa, kar je v dobrem soglasju z meritvami.

Predstavljeni so tudi rezultati penetracijske preiskave CPT. Ob uporabi eksperimentalnih relacij so dobljene vrednosti strižnega modula  $G$  nekoliko višje od prej navedenih. Povprečna vrednost znaša 0.45MPa, kar je glede na meritve previsoka vrednost. Avtor zaključuje, da so morebiti hitrosti penetracije prevelike.

V zaključku referata avtor povzema po še veljavnih jugoslovanskih predpisih za temeljenje vrednosti linearnih deformacij  $E_d$  za različne vrste tal in jih podaja v obliki preglednice. Ker je razpon priporočenih vrednosti za posamezno vrsto materiala zelo velik, avtor priporoča, da se razvoj distorzijskih usedkov sproti meri in da se vzporejajo penetracije CPT z in situ meritvami, ker CPT lahko zelo koristno služi za ocenitev začetnih usedkov, saj se CPT preizkusi običajno delajo pred pričetkom zemeljskih del.

#### Komentar

Prispevek prof. Sovinca podaja zanimivo praktično izkušnjo pri večjih nasipalnih delih, kjer je zanesljiva napoved začetnega usedka ključnega pomena za kalkulacijo nasipnega materiala in s tem povezanih stroškov. Žal avtor ne pove kako je bil določen začetni usedek 30cm. Opozoril bi še na lapsus v zvezi z veljavnimi predpisi za temeljenje. Zadnja revizija predpisa je bila objavljena v uradnem listu leta 1990.

#### LUDVIK TRAUNER, BOJAN ŽLENDER, STANISLAV ŠKRABL: TEMELJENJE NA ŽALUZIJSKIH KONSTRUKCIJAH

Prispevek podaja pregled obsežnega raziskovalnega dela, ki obravnava analizo temeljne konstrukcije na slabo nosilnih tleh. Na podlagi večletnih nelinearnih in časovno odvisnih teoretičnih in eksperimentalnih preiskav so avtorji razvili prototip plitvega temeljenja na členkasto povezanih temeljnih ploščah. Numerične rešitve, dobljene z MKE, upoštevajo princip velikih deformacij za konstrukcijo in nelinearno časovno odvisnost napetosti, pomikov, stabilnostnih pogojev in disipacijo pornih tlakov v tleh. Aplikacija na štirih prototipnih in šestindvajsetih vrstnih hišah, grajenih na zelo mehkih tleh na Ljubljanskem barju, je potrdila uporabnost predlaganega modela. Primerjava numeričnih rešitev z meritvami na terenu nakazuje splošno uporabnost podanih rešitev.

V uvodu je zapisano, da klasične analize temeljenja objektov na slabo nosilnih tleh najpogosteje vodijo k metodam globokega temeljenja oziroma k zamenjavi malo nosilnih tal z boljšim materialom, kar pa seveda podraži gradnjo. Zato so v Laboratoriju za mehaniko tal na Tehniški fakulteti v Mariboru usmerili raziskave k alternativnemu načinu temeljenja na takih tleh in vzporedno razvijali numerične postopke, ki bi zagotovili varno projektiranje predlaganega načina temeljenja. Projekt je potekal v treh stopnjah: eksperimentalno raziskovanje, razvoj teoretične podlage in aplikacija v praksi. V okviru eksperimentalnega dela so bile izvedene tudi sondažne in laboratorijske preiskave temeljnih tal, laboratorijski preizkus členkov in obtežilni preizkus temeljnih tal ter modelna eksperimentalna analiza temeljenja na prototipu.

Teoretično delo je pripeljalo do razvoja računalniškega programa za analizo interakcije med objektom in tlemi ob upoštevanju heterogenosti in anizotropije temeljnih

tal, elastoviskoplastičnih lastnosti zemljin in konsolidacije. Pregled teoretične podlage je podan v dodatku članka.

### **Eksperimentalne analize**

Gradnja objekta na členkasto povezanih ploščah je bila simulirana na modelu iz devetih plošč, skupne tlorsne dimenzije 2\*2m. Meritve kontaktnih tlakov, pornih tlakov ter napetostno deformacijskih odnosov v konstrukciji in tleh so primerjali z rezultati numeričnih analiz. Modelni preizkus so izvajali na izrazito slabih tleh, kar je razvidno s slike 1, žal pa v članku niso navedeni numerični podatki o karakteristikah tal. Na sliki 2 je prikazan tloris žaluzijske temeljne konstrukcije. Po navedbah avtorjev je ujemanje med izmerjenimi in izračunanimi vrednostmi napetosti in deformacij dobro, slabše je soglasje relativnih pomikov, kar pogojujejo razmere na terenu.

Sledil je obtežilni preizkus na plošči 7.00\*2.00\*0.10m, kar je sodilo v okvir priprav na gradnjo stanovanjske soseske na Barju. Plošča je bila členkasto pritrjena na sosednje konstrukcije. Opremljena je bila z reperji za meritve posedkov in s sondami za meritve napetosti. Konstrukcija leži na približno 6m debelem sloju polžarice, ki prehaja preko 6m debelega sloja lahkognetne gline v boljše glineno prodne zemljine. Obtežilni preizkus je potekal v treh stopnjah:

1. zelo hitra obremenitev konstrukcije (V tej stopnji nastopijo izraziti povesi plošče in s tem veliki prirastki napetosti v sredini plošče, ki celo presežejo velikost obtežbe, medtem ko so na robovih plošče napetosti manjše. Obremenjevanje je bilo stopnjevano tako, da je v sredini plošče prišlo do lokalnega loma tal in s tem do upadanja kontaktnih tlakov na tem mestu kljub naraščanju obtežbe.),
2. nekajdnevna konstantna obremenitev (Plastična cona v tleh se je širila v okolico tudi po končanem obremenjevanju, tako da so se napetosti pregrupirale v značilno krivuljo z manjšimi tlaki v sredini in povečanimi na robu konstrukcije),
3. razbremenitev na prvotno stanje (Napetosti so skoraj hipno zavzele začetne vrednosti, izmerjene so bile tudi približno 20% povratne deformacije, v večji meri na račun povratnih deformacij konstrukcije.).

V laboratoriju so bili izvedeni preizkusi členkastih zvez. Analizirane so bile naslednje izvedbe členkov:

1. klasični členek z jeklenimi armaturnimi palicami,
2. členek z vododržnim gumijastim trakom in
3. členek iz najlonske vrvi - originalna zamisel avtorjev.

Prvi dve izvedbi je mogoče dimenzionirati tako, da ustrezata zahtevam konstrukcije. Tretja izvedba je ugodna zaradi velike trajnosti in trdnosti, ovira pa je velika deformabilnost takega členka. Potrebne bodo nadaljnje preiskave členka iz najlonske vrvi.

### **Prototipno temeljenje**

Štiri prototipne stanovanjske hiše, temeljene na dilatiranih členkasto povezanih temeljnih konstrukcijah, so bile

zgrajene na Ljubljanskem barju med leti 1988 in 1989. Sestava temeljnih tal je naslednja: sloj polžarice po nekaj metrih globine preide v lahko do srednje gnetne gline, ki jih šele na globini 10 do 12m zamenja zaglijnjen prodni sloj. Shema prototipnih objektov je prikazana na sliki 10. Rebrastim ploščam, na katerih so temeljeni objekti, so na obodu dodane še - prav tako členkasto povezane - gladke plošče, ki omogočajo enakomernejšo razporeditev kontaktnih tlakov med konstrukcijo in tlemi. S korekcijo višine zasutja obodnih plošč je mogoče doseči manjše absolutne posedke objektov in bolj enakomerne relativne posedke.

Izvedene (a v članku ne predstavljene) so bile analize z dvema programoma po MKE: FINEL in SPACESOIL.

Po izgradnji objektov so bili redno merjeni posedki objektov. Izmerjeni posedki nekoliko zaostajajo za numeričnimi napovedmi. Izbrani rezultati meritev posedkov so prikazani na slikah 12 do 15.

### **Gradnja vzorčne stanovanjske soseske**

Prototipni gradnji je sledila gradnja 26 vrstnih hiš na zelo podobnih temeljnih tleh. Tloris soseske je prikazan na sliki 17. Celotna soseska je temeljena na žaluzijski temeljni konstrukciji. Objekti so temeljeni na rebrastih ploščah. Členki med njimi zagotavljajo majhne relativne pomike med ploščami, omogočajo pa relativne zasuke. Rebraste plošče so medsebojno povezane z gladkimi ploščami, kar daje sistemu dodatno stabilnost, hkrati pa zmanjšuje vrednosti absolutnih posedkov. Hkrati služijo gladke plošče pod intervencijskimi potmi tudi kot podlaga za komunalne vode. Podobno kot pri prototipu so gladke plošče nameščene tudi po obodu soseske.

Numerična analiza interakcije med tlemi in objekti je bila izvršena s programoma FINEL in SPACESOIL. Rezultati numeričnih analiz v članku niso reproducirani.

Projekt izgradnje je zasnovan tako, da se za celo sosesko zgradi žaluzijska temeljna konstrukcija. Na njej se najprej izvedejo vsa komunalna dela, nato nasipi na mestih transportnih poti in po obodu temeljne konstrukcije. Tako je temeljna konstrukcija pripravljena za gradnjo objektov.

Med gradnjo in po njej so bili na soseski merjeni posedki. Ti nekoliko presegajo numerične napovedi. Avtorji pripisujejo to razliko predvsem nedosledni tehnologiji gradnje, drugačni od predvidene. Na slikah 19 do 23 so prikazani posedki nekaterih reperjev v soseski.

Avtorji v zaključku ugotovijo, da je z uporabo izvirne ideje členkasto povezanih temeljnih konstrukcij mogoče tudi na slabo nosilnih tleh objekte uspešno temeljiti plitvo, kar potrjujejo rezultati eksperimentalnega dela na prototipni gradnji in stanovanjski soseski. Prednosti temeljenja na žaluzijski temeljni konstrukciji so:  
- bistven prihranek stroškov, zlasti pri gradnji manjših objektov,

- zmanjšana čas gradnje,
- sistem temeljenja je ekološko sprejemljiv,
- izvedba je tehnično enostavna in lahko zagotovi vse kriterije kvalitete gradnje,
- z vzporedno komunalno ureditvijo pri gradnji sosesk je sistem tehnično sprejemljivejši od ostalih načinov gradnje, saj odpade posebno temeljenje komunalnih vodov.

Pomankljivosti so:

- potreben je zahteven geotehničen pristop z dobrim poznavanjem reologije zemljin in interakcije med objektom in tlemi,
- tehnologija in hitrost gradnje morata biti dobro načrtovana in sprotno nadzorovana, sicer lahko prihaja do izrazitih distorzijskih deformacij tal,
- varnost temeljenja se zmanjšuje z višino objektov.

#### Komentar

Članek podaja pregled obsežnega raziskovalnega dela, ki je dalo rezultate tako na teoretičnem področju (razviti numerični postopki za analizo interakcije med objektom in tlemi), kakor tudi praktične rezultate (zgrajena soseska in pridobljene meritve na njej med in po gradnji). V članku pogrešam primerjave med napovedanim in izmerjenim obnašanjem konstrukcije in podatke o temeljnih tleh ter detajl (prerez) temeljne konstrukcije (rebrastih in gladkih plošč).

#### ZAKLJUČEK

Trije prispevki, vključeni v 2 glavno temo 1. posvetovanja slovenskih geotehnikov, so po svoji tematiki bistveno različni, zato ni mogoče potegniti skupnega zaključka. Zadržal bi se le pri problemu terminologije in mislim, da se bodo z mano strinjali tudi drugi poročevalci. V strokovnih tekstih povzemamo terminologijo iz tujih (predvsem angleških) referenc in jih vsak po svoje prevajamo in razumemo, deloma pa jo tudi sami ustvarjamo, kar je pri razvoju neke stroke normalno in nujno. Da bi se izognili prevelikim razhajanjem pri strokovnem pisanju, predlagam, da v okviru našega društva zastavimo akcijo za izdelavo strokovnega slovarja s področja geotehnik.

#### LITERATURA

- Majes, B. (1993). Uporaba metode končnih elementov v geotehnikih. Razprave 1. posvetovanja slovenskih geotehnikov, 1. knjiga, Bled, 27-40.
- Sovinc, I. (1993). Ocenitev začetnih usedkov morskih glinastih sedimentov. Razprave 1. posvetovanja slovenskih geotehnikov, 1. knjiga, Bled, 41-48.
- Trauner, L., Žlender, B. in Škrabl, S. (1993). Temeljenje na žalužijskih konstrukcijah. Razprave 1. posvetovanja slovenskih geotehnikov, 1. knjiga, Bled, 49-60.