

# ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

## „Софтвер за геомеханику“ - ПАК-ГЕО

### Аутори техничког решења

- Др Милош Којић, ред. проф. у пензији, дописни члан САНУ
- Др Радован Славковић, ред. проф.
- Др Мирослав Живковић, ред. проф.
- Др Ненад Грујовић, ред. проф.
- Мр Драган Ракић, истраживач сарадник

### Наручилац техничког решења

- Министарство за науку Републике Србије
- Институт „Јарослав Черни“ а.д.

### Корисник техничког решења

- Институт „Јарослав Черни“ а.д.

### Година када је техничко решење урађено

- 2008-2010

### Област технике на коју се техничко решење односи

- Рачунска гео-механика

## 1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Техничко решење (софтвер РАК-ГЕО) припада области научно-техничких услуга, пројектовање и развој компјутерског софтвера. Софтвер се односи на гео-техничке проблеме, садржи неколико материјалних модела за моделирање понашања тла (Cam-Clay, генерализовани модел са капом, Drucker-Prager са и без ојачања и Hoek-Brown материјални модел). Поменути модели за решавање гео-техничких проблема су развијени коришћењем методе водећег параметра као и методе инкременталне пластичности. Већини део софтвера је развијен у оквиру пројеката Министарства за науку и технолошки развој Републике Србије TP12005.

Због низа специфичних својстава која разликују материјал тла у односу на друге материјале, механика тла је постала различита и одвојена дисциплина механике. Развој ове дисциплине је, такође, био стимулисан великим распоном примене у грађевинарству и гео-техничким прорачунима. Многи инжењерски материјали, као што су метали, али и бетон и дрво, показују линеарно напонско-деформацијско понашање до одређеног нивоа напрезања. Међутим, материјал тла не задовољава овај закон или га задовољава до релативно малих вредности напрезања. због тога је врло значајно развити материјалне моделе који са довољном прецизношћу симулирају понашање гео-материјала (материјални модели гео-механике).

## 2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Нагли развој нумеричких метода за прорачун гео-техничких проблема и симулацију понашања гео-материјала под дејством оптерећења је последица могућности које пружају савремени компјутери великог капацитета, али и доступних података о стању гео-материјала који се анализирају. Данас у свету постоји велики број софтвера за решавање проблема гео-механике базираних на методи коначних елемената: PLAXIS, Phase2, Geo-Slope, Open-See.

## 3. Суштина техничког решења

На основу савремених научних сазнања из области решавања гео-техничких проблема развијен је домаћи софтвер за прорачун напонско-деформацијског стања конструкција у гео-механици. У софтвер су имплементирани материјални модел за симулацију понашања ове врсте материјала (земље, глине, стена, еластичних елемената) који функционише на основу методе коначних елемената (МКЕ).

Развијени софтвер је једноставан за употребу и подржан пратећом документацијом, са могућношћу брзе доградње модела на захтев корисника. Посебно је значајно то што развијени софтвер у изворном коду може бити доступан заинтересованим истраживачима како у нашој земљи тако и у иностранству за потребе даљих истраживања.

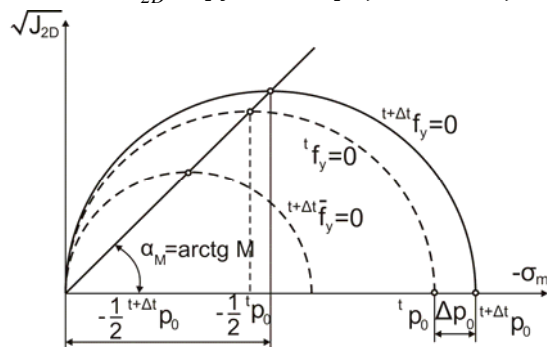
## 4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

### Модел глине (Cam-Clay)

Један од најраспрострањенијих модела и генерално примењиван у геомеханици јесте модел глине – Кем-Клеј (*Roscoe and Schofield, 1963*). Површ течења која има особину ојачања при повећању пластичне деформације приказана је на слици 1 и за крај временског корака има облик (*Кожућ, 1993*):

$${}^{t+\Delta t} f_y = {}^{t+\Delta t} \sigma_m^2 - {}^{t+\Delta t} p_0 {}^{t+\Delta t} \sigma_m + \frac{3}{M^2} {}^{t+\Delta t} J_{2D} = 0 \quad (1)$$

где су:  ${}^{t+\Delta t}\sigma_m$  - средњи напон,  ${}^{t+\Delta t}J_{2D}$  - друга инваријанта девијатора напона



Слика 1 Модел глине (Цам-Цлау)

$${}^{t+\Delta t}J_{2D} = \frac{1}{2} {}^{t+\Delta t}\mathbf{S} \cdot {}^{t+\Delta t}\mathbf{S} \quad (2)$$

а  ${}^{t+\Delta t}p_0$  параметар који дефинише величину елипсе. Понашање материјала је описано Линијом критичног стања (ЛКС) дефинисане углом  $\alpha_M = \arctg M$ , на којој се материјал деформише при константној запреминској пластичној деформацији. Линија критичног стања напона раздваја области ојачања и омекшања.

Ојачање материјала се дефинише диференцијалном једначином:

$$\frac{dp_0}{p_0} = -\frac{3(1+e)}{k_s} de_m^p \quad (3)$$

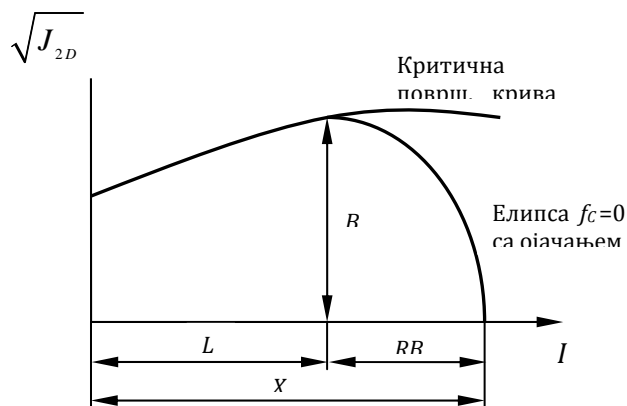
где су  $de_m^p$  - прираштај средње запреминске пластичне деформације,  $k_s$  - материјална константа, а  $e$  - порозност. Порозност на крају корака  $t + \Delta t$  изражавамо преко запреминске деформације  ${}^{t+\Delta t}e_v$  као:

$${}^{t+\Delta t}e = (1 + {}^0e) e^{t+\Delta t} e - 1 \quad (4)$$

где је  ${}^0e$  почетна порозност.

### Генерализовани модел са капом

Посебну групу геомеханичких материјалних модела представљају модели са капом, који се описују са две површи течења које се секу. Једна површина одговара перфектној пластичности (фиксирана крива  $f_1 = 0$ ), а друга има облик капе (елипса  $f_c = 0$ ) које мења своју величину током пластичне деформације и има карактеристику ојачања.



Слика 2 Дефинисање површи течења

Модел представљамо у координатном систему  $-I_1, \sqrt{J_{2D}}$  где су,  $I_1$  прва инваријанта

$$I_1 = \sigma_{ii} \quad (5)$$

а  $J_{2D}$  друга инваријанта девијатора напона

$$J_{2D} = \frac{1}{2} S_{ij} S_{ij} \quad (6)$$

Пре разматрања понашања материјала, прво ће бити дефинисане једначине кривих које ограничавају еластичну област. Прва ( $f_1 = 0$ ) има облик експлицитне криве облика

$$f_1 = \sqrt{J_{2D}} - k + Ae^{-Bx} - \alpha l_1 = 0 \quad (7)$$

где су  $A, B, k$  и  $\alpha$  материјалне константе.

Друга крива представља капу и дефинисана је једначином елипсе. Општи облик једначине елипсе је:

$$\frac{(x - x_0)^2}{a^2} + \frac{(y - y_0)^2}{b^2} = 1 \quad (8)$$

где су:  $a, b$  - полуосе елипсе, а  $x_0, y_0$  - координате центра елипсе.

Са Сlike 2 се види да је  $y_0 = 0$ , па једначина (8) може бити написана у облику

$$b^2 (x - x_0)^2 + a^2 y^2 - a^2 b^2 = 0 \quad (9)$$

Одговарајуће везе се могу дефинисати на основу података са Сlike 7:

$$x = l_1, \quad y = \sqrt{J_{2D}} \quad (10)$$

$$a = RB, \quad b = B, \quad x_0 = L \quad (11)$$

где  $L$  дефинише центар елипсе, а  $R$  однос између полуоса

$$R = \frac{X - L}{B} \quad (12)$$

код којег  $X$  представља пресек капе са  $l_1$  осом.

Експериментално је одређено, да се  $R$  може изразити у функцији од  $L$  као

$$R = \frac{R_0}{1 + R_1} [1 + R_1 e^{-R_2 L}] + R_3 [e^{-R_4 (R_5 - L)^2}] \quad (13)$$

где су  $R_0, R_1, \dots, R_5$  материјалне константе.

Заменом (10) и (11) у (9) добијамо једначину елипсе у облику :

$$f_c = (l_1 - L)^2 + R^2 (J_{2D} - B^2) = 0 \quad (14)$$

У старту одређујемо полажај пресека елипсе са  $l_1$  осом, вредност за  $X$ . Функцију течења у пресечној тачки пишемо за  $B = \sqrt{J_{2D}}$  и  $l_1 = L$ , тако да се добија  $f_c = 0$ , а из (7)

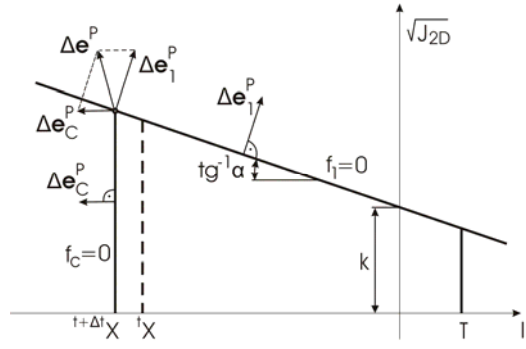
$$B - k + Ae^{-Bx} - \alpha L = 0 \quad (15)$$

За одређивање  $X$  треба да  $B$  из (15) заменимо у (12), тако да се добија

$$X = L + R(k - Ae^{-Bx} + \alpha L) \quad (16)$$

### Дракер-Прагер материјални модел

Овај материјални модел је дефинисан са две површи течења које се секу, од којих једна одговара перфектној пластичности, а друга има карактеристику ојачања (слика 3)



Слика 3 Дракер-Прагер материјални модел са равном капом

Модел је представљен у  $I_1 - \sqrt{J_{2D}}$  координатном систему, као најпогоднијем за представљање овог материјалног модела, где су  $I_1$  и  $J_{2D}$  прва инваријанта напона и друга инваријанта девијатора напона, респективно. Прва инваријанта напона, такође може бити дефинисана преко средњег напона:

$$I_1 = 3\sigma_m = \sigma_{ij}\delta_{ij} = \sigma_{ii} \quad (17)$$

Еластична област (слика 3) је ограничена Дракер-Прагеровом површи, капом и линијом максималног затезања. Напонска тачка на Дракер-Прагер линији на крају корака мора да задовољава једначину:

$${}^{t+\Delta t}f_{DP} = \alpha {}^{t+\Delta t}I_1 + \sqrt{{}^{t+\Delta t}J_{2D}} - k = 0 \quad (18)$$

где су:  $\alpha$ ,  $k$  - материјалне константе

Уколико се напонска тачка на крају корака  $t + \Delta t$  нађе на капи, мора бити испуњен услов:

$${}^{t+\Delta t}f_c = {}^{t+\Delta t}X - {}^{t+\Delta t}I_1 = 0 \quad (19)$$

где је:  ${}^{t+\Delta t}X$  - положај капе на крају корака

На слици 3 су показана два положаја капе и то у тренутку  $t$  и у тренутку  $t + \Delta t$ . Ојачање материјала је дефинисано кроз промену запреминске пластичне деформације:

$$e_V^P = W \left[ 1 - e^{-D({}^{t+\Delta t}X - X_0)} \right] \quad (20)$$

Овај израз је још познат и као Закон ојачања (DiMaggio and Sandler, 1971) где су:

$W$ ,  $D$  - материјалне константе,  $X_0$  - почетни положај капе

Из претходног се може закључити да константа  $W$  представља максималну вредност запреминске пластичне деформације:

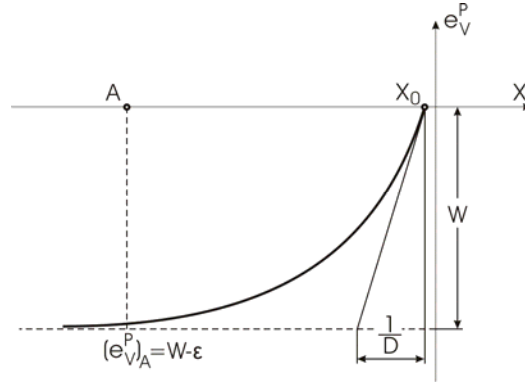
$$W = (e_V^P)_{\max} \quad (21)$$

док константа  $D$  представља почетни угао криве ојачања (слика 2). Ове две константе су негативне.

$$D = \frac{\partial e_V^P}{\partial X} (W - e_V^P) \quad (22)$$

Закон ојачања може бити написан и у следећем облику:

$$X = X_0 - \frac{1}{D} \ln \left( 1 - \frac{e_V^P}{W} \right) \quad (23)$$



Слика 4 Положај капе  $X$  у функцији од запреминске пластичне деформације  $e_V^P$

Уколико напон прекорачи дозвољену вредност затежућег напона, најчешће се користи правило да се све три компоненте нормалног напона изједначе са једном трећином максимално дозвољеног затежућег напона ( $T$ ):

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{33} = \frac{T}{3} \quad (24)$$

док се смичући напони изједначавају са нулом:

$$\sigma_{ij} = 0 \quad i \neq j \quad (25)$$

Пре дефинисања основних једначина за интеграцију напона у току временског корака  $\Delta t$ , даћемо неке основне релације које важе у области еластичности. Прво налазимо пробна еластична решења за средњи напон:

$${}^{t+\Delta t}\sigma_m^E = c_m {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^E \quad (\text{нема сабирања по } m) \quad (26)$$

и девијаторски напон:

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{S}_{ij}^E = 2G {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_{ij}'^E \quad (27)$$

где је:  ${}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_{ij}'^E$  - пробна еластична девијаторска деформација

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_{ij}'^E = {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_{ij}' - {}^t\mathbf{e}_{ij}'^P \quad (28)$$

${}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^E$  - средња пробна еластична деформација

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^E = {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m - {}^t\mathbf{e}_m^P \quad (29)$$

Где су:  ${}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_{ij}'$  - укупна девијаторска деформација,  ${}^t\mathbf{e}_{ij}'^P$  - пластична девијаторска деформација,  ${}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m$  - средња укупна деформација,  ${}^t\mathbf{e}_m^P$  - средња пластична деформација.

Следећи корак јесте провера услова течења. Ако је услов (30) задовољен, напонска тачка у текућем кораку се налази у еластичној области и деформације одговарају пробним.

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{f}_{DP}^E \leq 0 \quad \text{и} \quad {}^{t+\Delta t}\mathbf{f}_C^E \leq 0 \quad (30)$$

Уколико услов (30) није задовољен, деформације су еласто-пластичне и напони (26) и (27) морају бити кориговани на следећи начин:

$${}^{t+\Delta t}\sigma_m = {}^t c_m ({}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^E - \Delta \mathbf{e}_m^P) \quad (31)$$

$${}^{t+\Delta t}\mathbf{S}_{ij} = 2G ({}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_{ij}'^E - \Delta \mathbf{e}_{ij}'^P) \quad (32)$$

где су:  $\Delta \mathbf{e}_m^P$  - инкремент средње пластичне деформације,

$\Delta \mathbf{e}_{ij}'^P$  - инкремент девијаторске пластичне деформације.

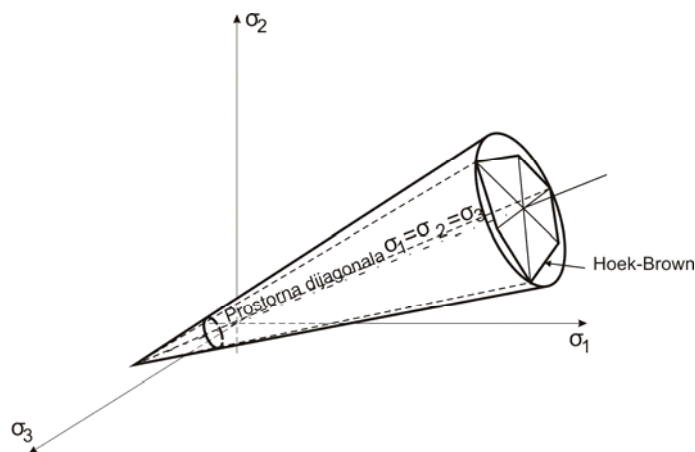
Рачунски кораци за имплицитну интеграцију напона коришћењем методе водећег параметра, су дати у Табели 1.

Табела 1 Рачунски кораћи имплицитне интеграције напона методом водећег параметра

<p>Познате величине:  <math>{}^t\sigma, {}^t\mathbf{e}, {}^t\mathbf{e}^P, {}^t\mathbf{e}_m^P, {}^t\chi, {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}</math></p> <p>Непознате величине:  <math>{}^{t+\Delta t}\sigma, {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}^P, {}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^P, {}^{t+\Delta t}\chi</math></p> <p>кор. 1: Изразити све непознате у функцији од једне непознате и познатих величина,  кор. 2: Формирати функцију <math>f({}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^P)</math> и решити водећу једначину:  <math>f({}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^P) = 0</math></p> <p>кор. 3: Заменити решење <math>{}^{t+\Delta t}\mathbf{e}_m^P</math> за водећи параметар и израчунати све непознате из корака 1.</p>
---

### Хук-Браун материјални модел

Хук-Браун материјални модел (Hoek and Brown, 1980) је описан функцијом течења  $f_s = 0$  која одговара перфектној пластичности.



Слика 5 Хук-Браунова површ течења

Површ течења која ограничава област еластичности овог модела је дефинисана следећом једначином:

$$f = m\sigma_c \left[ \cos\theta - \frac{\sin\theta}{\sqrt{3}} \right] \sqrt{J_{2D}} + \frac{m\sigma_c}{3} I_1 + 4J_{2D} \cos^2\theta - s\sigma_c^2. \quad (33)$$

где је  $\theta$  - Ладеов угао,  $I_1$  - прва инваријанта напона,  $J_{2D}$  - друга инваријанта девијатора напона, док  $m, \sigma_c$  и  $s$  представљају материјалне константе.

Функцију пластичног потенцијала добијамо из услова (Phase2):

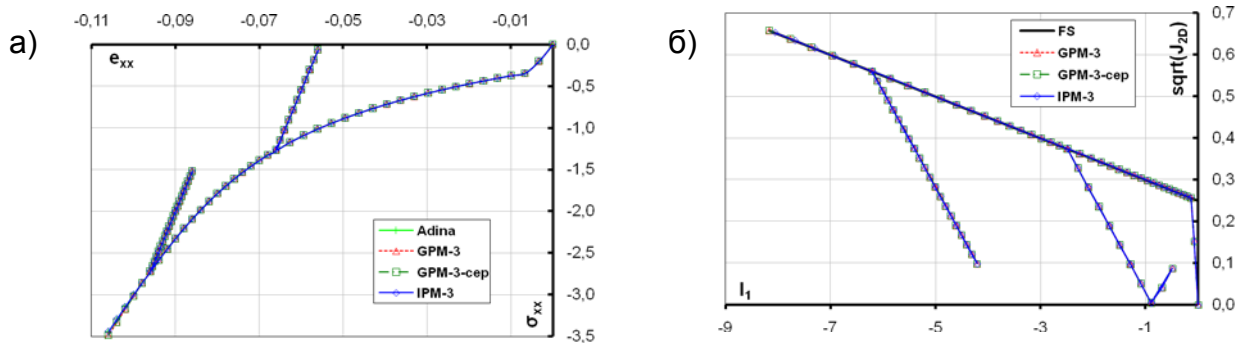
$$g_s = \left[ f_s(\theta = \pi/6) + f_s(\theta = -\pi/6) \right] / 2 \quad (34)$$

одакле следи:

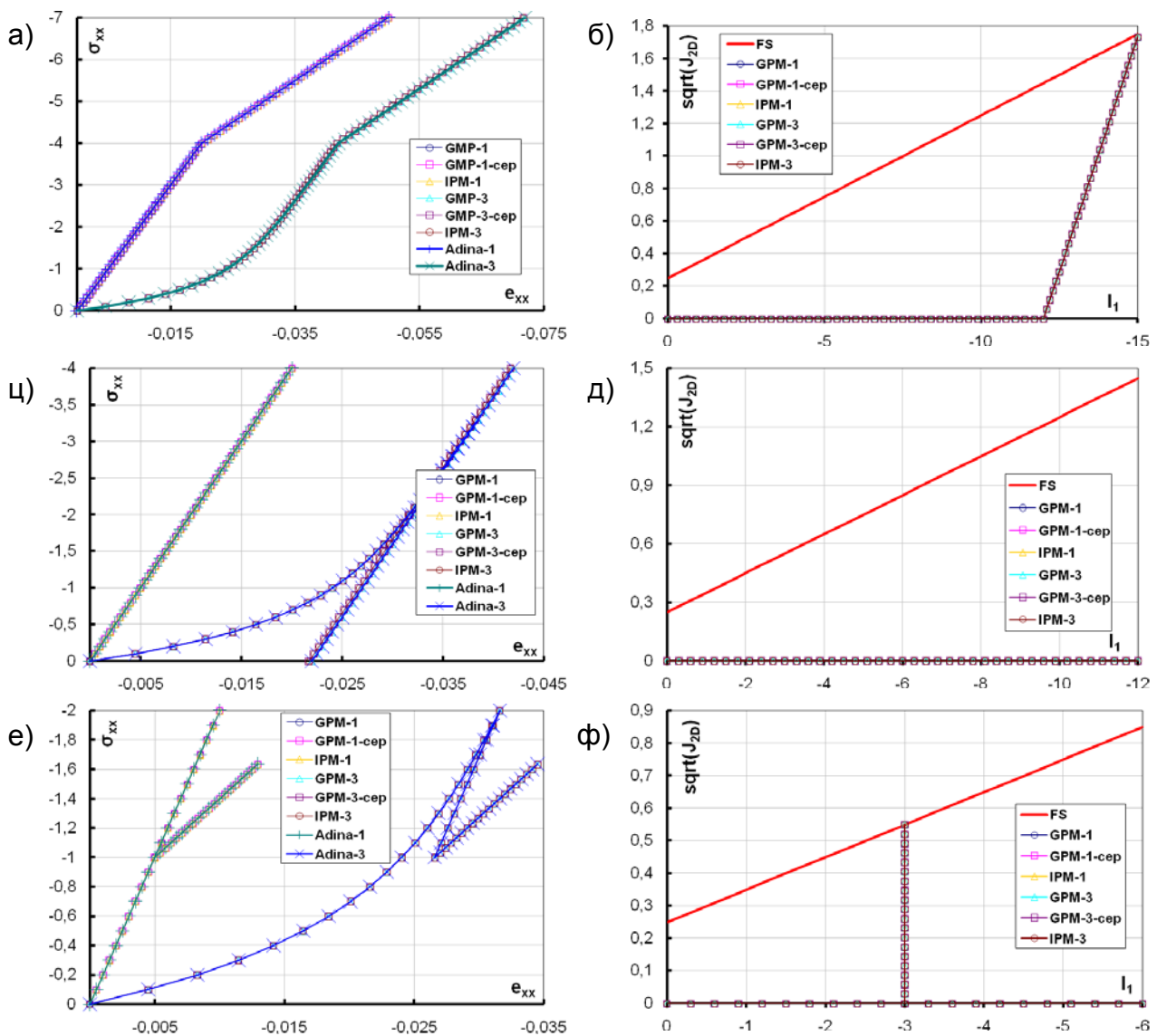
$$g_s = \frac{m_{dil}\sigma_c}{3} I_1 + \frac{\sqrt{3}}{2} m_{dil}\sigma_c \sqrt{J_2} + 3J_2 - s\sigma_c^2 \quad (35)$$

За случај  $m_{dil} = m$  имамо квази-асоцијативни услов течења.

## Верификација развијеног модела

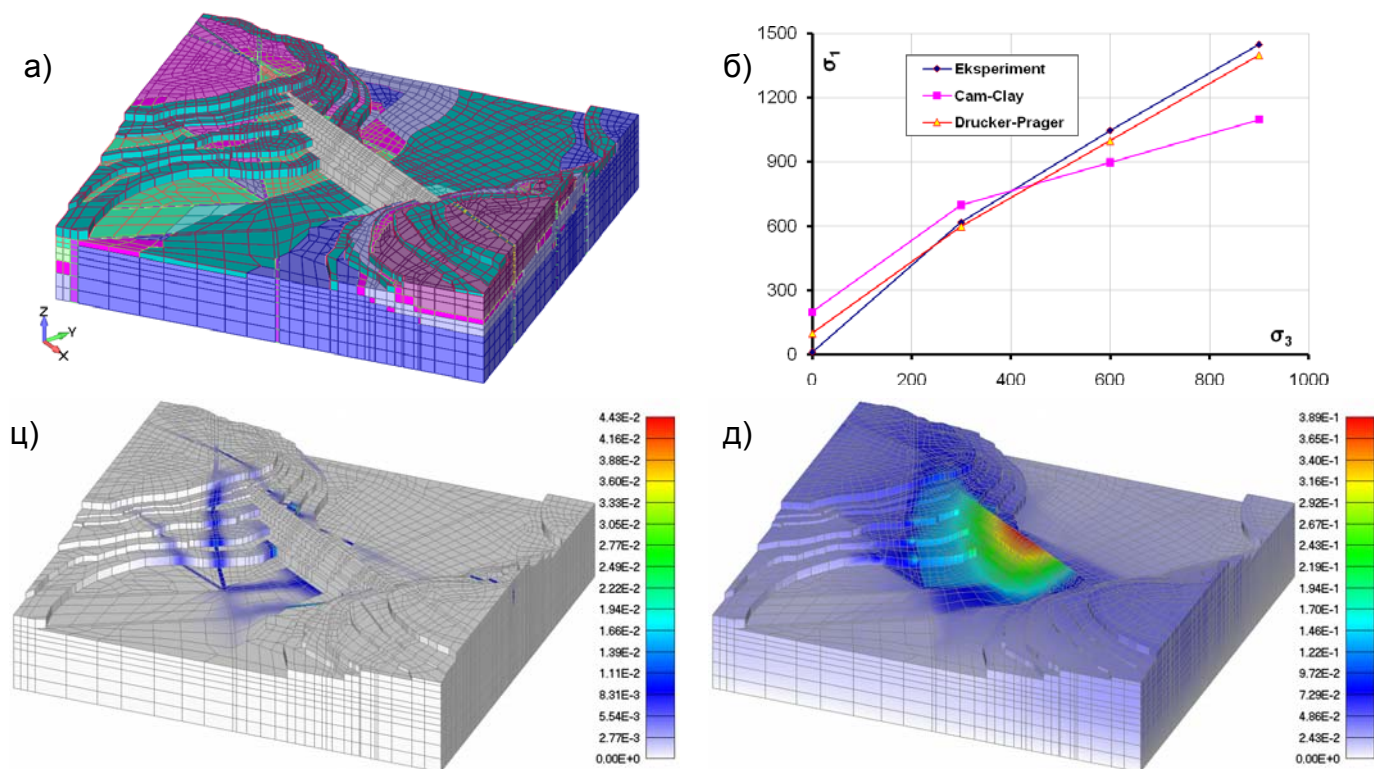


Слика 6 Резултати анализе Едометарског теста, Дракер-Прагер материјални модел са ојачањем (метода водећег параметра-GPM; метода инкременталне пластичности-IPM)



Слика 7 Резултати анализе Троосног теста, коришћењем Дракер-Прагер материјалног модела са и без ојачања (ПАК-Адина), за различите функције оптерећења (метода водећег параметра-GPM и метода инкременталне пластичности-IPM)





Слика 8 Напонско-деформацијска анализа бране „Боговина“

а) Модел бране, б) резултати естимације коришћењем различитих материјалних модела, ц) поље пластичне деформације, д) поље померања у моделу

## 5. Литература

1. Bathe K. J. (1982), *Finite Element Procedures in Engineering Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632.
2. Belytschko T, Moran B., Liu W. K. (2000), *Finite Elements for Nonlinear Continua and Structures*, John Wiley.
3. Chandrakant S. Desai, Hema J. Siriwardane (1984), *Constitutive Laws for Engineering Materials, With Emphasis on Geological Materials*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ 07632
4. Chen W. F., Baladi G. Y. (1985), *Soil Plasticity: Theory and Implementation*, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo.
5. DiMaggio, F.L., and Sandler, I. S. (1971), *Material model for granular soils*, J. Engng. Mech. Div., ASCE 97 (EM3), 935-950, Proc. Paper 8212.
6. *Femap – User Guide*, Version 9.0, UGS, The PLM Company
7. *Geo-Slope Office* (2002): *Sigma/W for Finite Element Stress and Deformation Analysis*, User's Guide, Calgary, Alberta, Canada.
8. Hill, R. (1950), *The Mathematical Theory of Plasticity*, Oxford University Press.
9. Jeremić B. (2007), *Lecture Notes on Computational Geomechanics: Inelastic Finite Elements for Pressure Sensitive Materials*, Department of Civil Environmental Engineering, University of California, Davis.
10. Kojic M. (1997), *Computational Procedures in Inelastic Analysis of Solids and Structures*, Center for Scientific Research of Serbian Academy of Sciences and Arts and University of Kragujevac and Faculty of Mechanical Engineering University of Kragujevac.
11. Kojic M., K.J. Bathe (2005), *Inelastic Analysis of Solids and Structures*, Springer Berlin Heidelberg New York.

12. Kojic M., Slavkovic R., Živkovic M., Grujovic N. (1998), *PAK-finite element program for linear and nonlinear structural analysis and heat transfer*, Faculty for Mechanical Engineering, Kragujevac, University of Kragujevac.
13. Kojić M, Slavković R., Živković M., Grujović N. (1998), *Metod konačnih elemenata I – Linearna analiza*, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Kragujevac.
14. Kojić M, Slavković R., Živković M., Grujović N. (2003), *PAK-S, Program for FE Structural Analysis, USERS MANUAL*, Faculty of Mechanical Engineering of Kragujevac - Laboratory for Engineering Software, Kragujevac, Serbia.
15. Kojić M. (1993), *Opšti koncept implicitne integracije konstitutivnih relacija pri neelastičnom deformisanju materijala*, Srpska akademija nauka i umetnosti – Univerzitet u Kragujevcu, Centar za naučna istraživanja, Kragujevac.
16. Mićunović M. (1990), *Primenjena mehanika kontinuuma*, Naučna knjiga, Beograd.
17. *NX Nastran – Advanced Nonlinear Theory and Modeling Guide*, UGS Group, 2007.
18. Pots D. M., Zdravković L., (1999), *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory*, Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
19. *Phase2 – 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around excavations in soil and rock*, Verification Manual, Version 6, Rocscience Inc, 2005.
20. Rakić D., Živković M., Divac D. (2007), *Drucker-Prager Material Model Without Hardening*, First Serbian (26th YU) Congress on Theoretical and Applied Mechanics, Kopaonik, Serbia, April 10-13
21. Rakić D., Živković M., Slavković R., Kojić M. (2008), *Stress Integration for the Drucker-Prager Materijal Model Without Hardening With Use of the Incremental Plasticity Tehory*, Journal of the Serbian Society for Computational Mechanics, JSSCM, Vol 2, November 1, 2008. (pp.80-89)
22. Sandler I., DiMaggio F., Baladi G. (1976), *Generalized Cap Model for Geological Materials*, Journal of the Geotechnical Engineering Division, pp. 683-699.
23. Zienkiewicz O. C., Chan A. H. C., Pastor M., Schrefler B. A., Shiomi T. (2001), *Computational Geomechanics: with Special Reference to Earthquake Engineering*, John Wiley & Sons Ltd.
24. Živković M. (2006), *Nelinarna analiza konstrukcija*, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Kragujevac.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр 01-1/1128-14 од 22.04.2010. године именовани смо за рецензенте техничког решења:

**„Софтвер за геомеханику“ - ПАК-ГЕО**

аутора: *Др Милош Којић, Др Радован Славковић, Др Мирослав Живковић, Др Ненад Грујовић, и Мр Драган Ракић*. На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

**ИЗВЕШТАЈ**



Техничко решење „**Софтвер за геомеханику**“ - ПАК-ГЕО аутора: *Др Милош Којић, Др Радован Славковић, Др Мирослав Живковић, Др Ненад Грујовић, и Мр Драган Ракић*, реализован 2008-2010 године, приказан је на 10 страница формата А4, писаних 11 фонтом, 1 проредом, садржи 8 слика. Састављено је следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења теоријске основе као и верификациони пример (укључујући и пратеће илустрације)
5. Литература

Техничко решење припада области научно-технолошких услуга, пројектовање и развој компјутерског софтвера (класа 42).

Наручилац техничког решења је **Институт „Јарослав Черни“ а.д.**, реализовано је у оквиру рада на пројекту: **ТР12005 - Развој софтвера за експлицитну динамичку анализу – Министарства за науку Републике Србије, 2008-2010,**

Примена предложеног техничког решења реализована је у **Институту „Јарослав Черни“ а.д., Београд.**

## МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Софтвер за геомеханику“ - ПАК-ГЕО су јасно приказали, теоријски обрадили и имплементирали комплетну структуру техничког решења.

Предложени софтвер написан је на основу стандардних и новијих теоријских формулација из области нумеричке геомеханике. Развијени софтвер за геомеханику ће се примењивати у циљу:

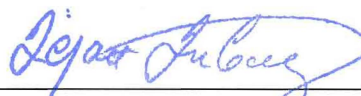
- прорачуна чврстоће и стабилности гео-техничких конструкција до њиховог слома
- анализе стабилности (одређивања степена сигурности) косина
- веће поузданости тражених резултата.

На основу описа техничког решења могу се донети следећи закључци:

1. Развијени софтвер ПАК-ГЕО у поређењу са другим комерцијалним софтверима који су били доступни, има сличне могућности и даје поуздане резултате при нумеричким прорачунима,
2. Аутори техничког решења су дали оригиналне алгоритме за интеграцију конститутивних релација материјалних модела геомеханике, који спадају у групу еласто-пластичних модела,
3. Дати алгоритми врло успешно користе како имплицитну методу водећег параметра (ГПМ метод), тако и методу инкременталне пластичности (ИПМ метод),
4. Развијени софтвер се може широко примењивати у анализи интеракције конструкције и тла за широки спектар гео-техничких проблема,
5. Поседовање сопственог софтвера омогућава његов даљи развој и прилагођавање условима за које је развијен, па тиме и поузданије резултате у примени.

Дакле, „Софтвер за геомеханику“- ПАК-ГЕО има значајно место у нумеричкој анализи чврстоће и стабилности гео-техничких конструкција. Са задовољством предлажемо да се „Софтвер за геомеханику“- ПАК-ГЕО прихвати као ново техничко решење.

30.06.2010., у Крагујевцу



Др Дејан Дивац, ван. проф.



Др Мирјана Вукићевић, доцент



Универзитет у Крагујевцу  
Машински факултет у Крагујевцу  
Број : **ТР-58/2010**  
07. 07. 2010. године  
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 01. 07. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

## О Д Л У К У

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Софтвер за геомеханику”- ПАК-ГЕО“, аутора **Др Милош Којића, ред. проф. у пензији, дописни члан САНУ, Др Радована Славковића, ред. проф, Др Мирослава Живковића, ред. проф, Др Ненад Грујовића, ред. проф, Мр Драгана Ракића, истраживач сарадник.**


Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Дејан Дивац, ванр. проф., Институт за водопривреду "Јарослав Черни"**
2. **Др Мирјана Вукићевић, доцент, Грађевински факултет у Београду**

Достављено:  
Ауторима  
Архиви

3. **ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА**

  
Др Мирослав Бабић, ред. проф.