

Ing. PETER ŠIMÁK, CSc., Výzkumný ústav pozemních staveb  
RNDR. JIŘÍ ROHN, CSc., Matematicko-fyzikální fakulta KU

#### VÝPOČET PARAMETRU VÍCEPRVKOVÉHO RHEOLOGICKÉHO MODELU

V rámci hospodářské spolupráce mezi Výzkumným ústavem pozemních staveb a Matematicko-fyzikální fakultou KU byl sestaven program RHEOLOG pro výpočet parametrů víceprvkového modelu. Program je sepsán v jazyce BASIC pro počítač VIDEO GENIE 3003 a předpokládá, že závislost výsledné deformace  $f(t)$  na čase  $t$  je dána vztahem

$$f(t) = \sum_{i=1}^n s_i (1 - e^{-x_i t})$$

kde  $n$  je počet prvků v modelu,  $s_i$  počáteční deformace a  $x_i$  retardační časy. Za předpokladu, že jsou k dispozici výsledky  $m$  měření, při kterých časům  $t_j$  odpovídá naměřená deformace  $f_j$ , může program řešit kteroukoliv se tří základních úloh :

- (a) jsou-li známy počáteční deformace  $s_i$ , vypočítat retardační časy  $x_i$ ,
- (b) jsou-li známy retardační časy  $x_i$ , vypočítat počáteční deformace  $s_i$ ,
- (c) vypočítat jak počáteční deformace  $s_i$ , tak retardační časy  $x_i$ .

Všechny tři úlohy se řeší metodou nejmenších čtverců tak, že se k naměřeným hodnotám  $t_j, f_j$  sestrojí pomocná funkce

$$F = \sum_{j=1}^m \left( \sum_{i=1}^n s_i (1 - e^{-x_i t_j}) - f_j \right)^2$$

a hledají se takové hodnoty parametrů, při kterých funkce  $F$  nabývá nejmenší hodnoty. K řešení této úlohy je použito gradientní metody /1/ s přímým výběrem délky kroku, která byla (na základě předchozích neuspokojivých zkušeností s jinými

obvykle používanými metodami) vyvinuta speciálně pro tento případ. Objasníme postup na příkladě úlohy typu (a). Algoritmus konstruuje posloupnost iterací, která konverguje k hledané sadě retardačních časů. V každém kroku se k dané iteraci  $x$  vypočte gradient  $g$  (vektor 1. parciálních derivací) funkce  $F$  a její hesián  $H$  (matice 2. parciálních derivací) a nové přiblížení  $x'$  se vypočte podle vzorce

$$x' = x - \alpha g$$

kde číslo  $\alpha$  se vypočte jako

$$\alpha = \frac{g^T h}{h^T h}$$

(symbol " $T$ " značí skalární součin a  $h = Hg$ ). Výpočet se ukončí, jestliže dvě po sobě jdoucí iterace se od sebe liší o méně než zadané číslo  $\xi$  (obvykle 0.001). Paralelně byla vyvinuta ještě druhá metoda (kterou zde pro větší složitost vzorců nevypisujeme), která konverguje rychleji, avšak vyžaduje předběžnou přibližnou znalost polohy hledaných parametrů.

V případě, že výpočet trvá neúměrně dlouho, je možno jej kdykoliv přerušit a vypsat momentálně dosažené řešení spolu s celou tabulkou vyrovnání příkazem, který je uveden na obrazovce. Po ukončení výpisu má operátor možnost provést nový výpočet celého příkladu druhou metodou v případě, že by předchozí výsledek nebyl uspokojivý. Vzhledem k tomu, že program řeší úlohy tří typů a každou z nich může počítat dvěma metodami, je jeho výpis poměrně dlouhý (kolem 7 stran).

Při sestavování programu byly vyzkoušeny i jiné metody, známé z literatury. Ukázalo se, že funkce  $F$  má z hlediska optimalizace dosti nevhodný průběh, neboť je v okolí minima značně plochá (má tam tvar "talíře") a proto může při dosažení hodnoty velmi blízké minimální být momentální řešení ještě značně vzdáleno od optimálního. Z dosavadních zkušeností se dá soudit, že uvedená metoda se vhodně zvolenou délkou kroku vyhýbá tomuto úskalí.

Program byl dosud sestavován takřka výlučně na příkladech typu (a), které byly k dispozici. Ukázalo se, že pro řešení úlohy obvyklých dimenzí (2-5 prvků, kolem 25 měření) je zapotřebí řádově asi 10 min. strojového času.

#### Literatura

/1/ E.Polak, Computational Methods in Optimization, Academic Press, New York 1971.

#### Abstrakt

V článku je popsán program RHEOLOG, sestavený v jazyce BASIC na počítači VIDEO GENIE 3003, pro výpočet koeficientů více-prvkového modelu metodou nejmenších čtverců.

#### Summary

Described in this paper is a program called RHEOLOG, written in BASIC for the VIDEO GENIE 3003 computer, for finding parameters of a multi-element rheological model by a gradient method using least square fitting.