

Grafický výstup pre modelovanie prúdenia podzemnej vody diferenčnou metódou

VLADIMÍR ŠTASTNÝ

IGHP, n. p., Žilina, závod Košice, Garbanova 1, 040 11 Košice

Doručené 2. 8. 1985

Графический выход моделирования циркуляции подземных вод дифференцированным методом

Нумерическое моделирование течения подземных вод дифференцированным методом работает с прямоугольной или цилиндрической сетью. Это позволяет вступительные данные течения выступительные точки уровня в дальнейшем обрабатывать на ЦВМ относительно несложными программами. Были подготовлены программы которых выступительными данными являются очень чёткие вычерченные изображения результатов. К обычной таблице точек уровней подземных вод в блоках вычислительной сети можно почти сразу изготовить чертёж сети с направлениями и величинами скоростей течения воды, произвольной разрез уровнем или положении уровня в наклонной проекции.

Graphical output for ground water flow modelling by finite differential method

Numerical modelling of ground water flow by finite differential method applies orthogonal or cylindric projection what allows to process the input data and the resulting dimension figures using electronic calculators with relatively simple routines. Such routine operating sequences have been prepared in which the output represents a descriptive plot of results. The routine allows to obtain, over the usual labelled data of ground water table in reserve calculation blocks almost immediately also the network design with indicated directions and velocities of water circulation, an arbitrary section of water table or the water table course in oblique projection as well.

Pri riešení úloh hydrogeologického prieskumu sa čoraz častejšie využíva metóda numerického modelovania prúdenia podzemnej vody. Vypočítavajú sa tak zásoby podzemnej vody, určuje sa prítok do stavebných jám, identifikujú sa základné

hydraulické parametre. Jeden z používaných princípov modelovania je diferenčná analógia. Dvojmerné alebo trojmerné úlohy používajú pravouhlú, resp. cylindrickú výpočtovú sieť. Indexované premenné vstupných údajov i výsledkov sú

takto ľahko dostupné, a ak ostanú po výpočte uchované v pamäti SaPo, možno ich použiť na ďalšie spracovanie. Pre potreby praxe sa na košickom pracovisku IGHP vypracovali programy na získanie grafického výstupu, ktorý názorne dokumentuje výsledky modelového riešenia. Programy sa odladili na stolnom kalkulátore Hewlett-Packard 9825 A v konfigurácii počítač — písací stroj — súradnicový zapisovač — vonkajšia kazetová pamäť. Jazyk programov je HPL (Hewlett-Packard language).

Štruktúra programov

Programy pre modelovanie prúdenia podzemnej vody používané na pracovisku IGHP v Košiciach i programy pre grafický výstup sú zostavené tak, že používajú vstupné dáta uložené vo vonkajšej pamäti. Výsledné kóty hladiny vo výpočtových blokoch siete sú tiež uložené vo vonkajšej pamäti. Uživateľský program si vyberie potrebné vstupné údaje z vonkajšej pamäti, doplnia sa potrebné inštrukcie a po ukončení programu sa dôležité výsledky opäť uložia do pamäti. Pre grafický výstup sú určené tieto programy: výpočet rýchlosti prúdenia podzemnej vody, kreslenie siete a rýchlostí, priečne rezy a šikmé premietanie.

Stavba týchto programov je jednoduchá, preto nie je potrebné pripojiť ich výpis alebo vývojový diagram. Nasledujúci opis a pripojený vzor výstupu dostatočne objasnia ich princípy.

Výpočet rýchlosti

Rýchlosť prúdenia podzemnej vody sa v bežnej hydrogeologickej praxi počíta podľa Darcyho zákona. Využíva ho aj vypracovaný program. Osobitne sa určujú zložky rýchlosti prúdenia podzemnej vody x a y vo výpočtových blokoch siete. Pre

obecný blok plošnej siete platí:

$$v_{i,j} = k_x \cdot I_{i,j} = k_x \cdot \frac{\Delta H_{i,j}}{\Delta x_i}, \quad (1)$$

$$u_{i,j} = k_y \cdot I_{i,j} = k_y \cdot \frac{\Delta H_{i,j}}{\Delta y_j}. \quad (2)$$

Kontinuita výpočtu v programe sa zachová, ak sa veľkosť zložiek rýchlosti x a y stanoví ako priemerná rýchlosť medzi dvoma dvojicami výpočtových blokov. Zápis výpočtu v programe je potom takýto:

$$v_{i,j} = \frac{1}{2} \left[k_x \frac{H_{i-1,j} - H_{i,j}}{(x_{i-1} + x_i)/2} + k_x \frac{H_{i,j} - H_{i+1,j}}{(x_i + x_{i+1})/2} \right] \quad (3)$$

kde $v_{i,j}$ je zložka rýchlosti x ; $u_{i,j}$ — zložka rýchlosti y ; k — koeficient filtrácie; $H_{i,j}$ — kóta hladiny vo výpočtovom bloku i, j ; x, y — rozmery výpočtového bloku; I — hydraulický spád.

Ak majú výpočtové bloky rôzne hodnoty koeficientu filtrácie, je potrebné vypočítať vážený priemer týchto hodnôt. Výpočet zložky y je rovnaký. Pre určenie smeru je dôležité dodržať postup zľava doprava, resp. zhora dolu.

V prípade, že blok výpočtovej siete je na okraji výpočtovej siete, rýchlosť je podielom len jednej zložky rovnice (3). Ak je v uzle odber alebo dotácia, smery oboch zložiek rovnice (3) sú opačné. Vtedy program urobí rozdiel zložiek. Výsledkom je hodnota rýchlosti, ktorej smer v podstate nie je určený a veľkosť je blízka najväčšej možnej rýchlosti, ktorá v bloku môže byť.

Výsledné zložky rýchlostí v oboch smeroch sa po výpočte nahrávajú do pamäti a prípadne sa vypíšu do tabuľky.

Kreslenie siete a rýchlostí

Výpočtová sieť modelu zvodneného prostredia je daná hodnotami x_i a y_i , ktoré predstavujú rozmery výpočtového bloku. Naprogramovať vykreslenie pravo-uhlej siete, ak je jej krok daný, je jednoduché. Pre praktické účely je v programe možnosť zadať mierky, ktoré sú na výstupe uvedené v oboch smeroch osobitne.

Program vykreslí rýchlosti podľa voľby do nakreslenej siete, a to podľa zvolenej mierky rýchlosti (1 m/deň = ... cm). Rýchlosť predstavuje úsečka, ktorej začiatok je v strede výpočtového bloku a koniec v bode určenom prírastkami súradníc x a y , rovnými zložkami rýchlosti prúdenia podzemnej vody. Podľa voľby je možné vynechať vykreslenie rýchlosti v blokoch s odberom. Na obr. 1 je príklad takéhoto výstupu pre plošný model homogénnej zvodne s jedným čerpaným vrtom a bočnými hranicami typu $H = \text{konšt.}$ a $q = 0$.

Opisovaný program umožňuje vykresliť aj rez trojrozmernou cylindrickou sieťou, v ktorej sa modeluje prúdenie podzemnej vody k studni vo vrstvomitom prostredí.

Priečne rezy

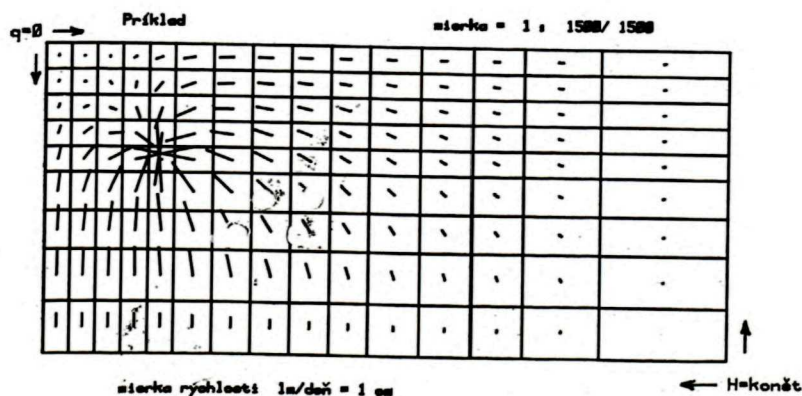
Program priečne rezy je grafický výstup vhodný pre trojrozmerný alebo plošný

model prúdenia podzemnej vody. Program podľa vstupných údajov o rozmeroch siete modelu a výsledných kótach hladiny vykreslí ľubovoľný rez hladinou v smere x alebo y .

Podľa voľby možno na jeden výstup vy-
niesť viacero rezov rozlíšených farbou či
rastrom s opisom. Voliteľná je mierka
 x , resp. y rozmerov a osobitne kót. Údaje
o mierkach sú vyznačené na výstupe. Na
obr. 2 sú priečne rezy v smere osi x ploš-
ného modelu použitého aj pre obr. 1. Rezy
hladinou sú spojnice kót lokalizované
v strede výpočtových blokov. Pre lepšiu
orientáciu sú tieto stredu vyznačené aj na
porovnávacej rovine. Rozsah zvislej osi je
voliteľný. Požadovaný rez sa zvolí vložením
čísła spoločného indexu výpočtových
blokov, ktorými rez vedie. Napríklad pre
rez rovnobežný s osou x je spoločným
indexom j a opačne.

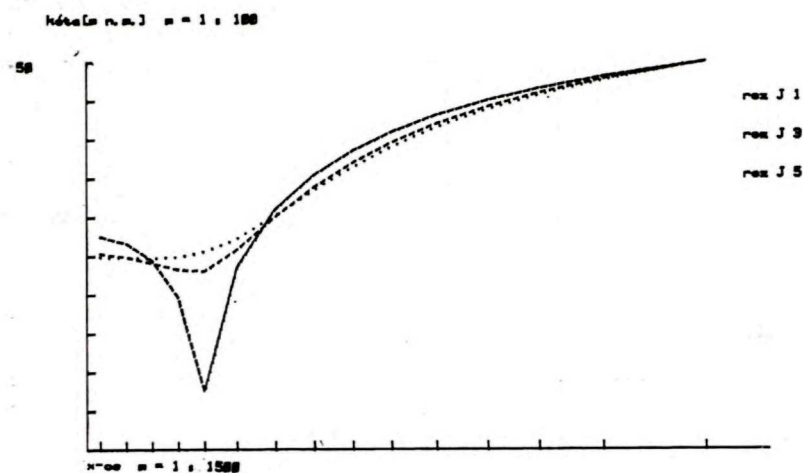
Šikmé premietanie

Tento program, svojou jednoduchosťou
podobný predošlým, umožňuje získať sku-
točne názorný výstup, porovnateľný s ma-
pou izolínií výšok hladiny podzemnej
vody. Princípom programu je, že nejde
o skutočné šikmé premietanie, ale o vy-
kreslenie všetkých rezov v smere x a y
navzájom posunutých v zhode s rozmermi



Obr. 1. Výpočtová sieť s vykreslením rýchlostí prúdenia podzemnej vody

Fig. 1. Calculation network with the plot of ground water flow velocities



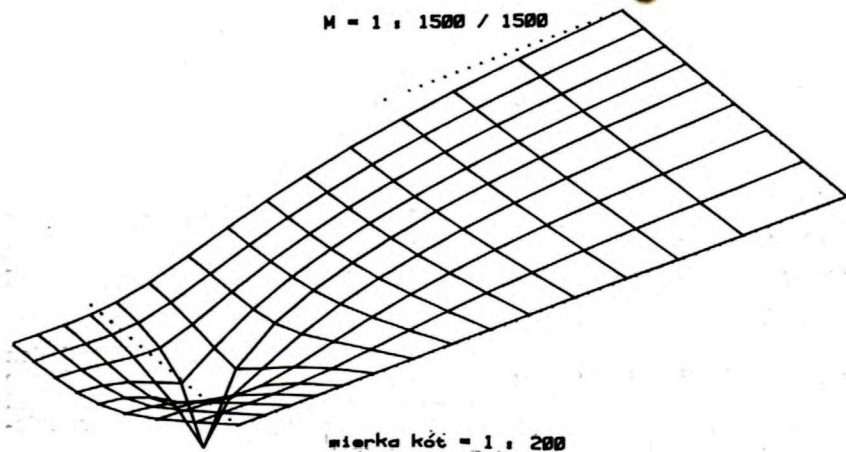
Obr. 2. Priechne rezy hladinou podzemnej vody

Fig. 2. Transversal sections of the ground water table

siete. Vytvorí sa tak sieť rezov s neskreslenými rozmermi, ktoré umožňujú získať plastický pohľad na hladinu podzemnej vody. Rezy sa vedú podobne ako v programe Priechne rezy stredmi blokov výpočtovej siete. Mierky dĺžok i kót sú nezávisle voliteľné a uhol pohľadu sa zadáva dvojicou uhlov. Prvý, α , zadáva odklon osi y od zvislice a druhý, β , zase odklon osi x od horizontály. Na výstupe je uvedená mierka rozmerov a porovnávacia rovina s voliteľnou kótou. Opis programu ilustruje obr. 3, na ktorom je znázornený

priebeh hladiny — výsledok modelu použitého vpredu. Program umožňuje do jedného vstupu formou voliteľného typu čiary vykresliť viac, napr. po sebe časove nasledujúcich riešení. Vhodný je pre plošný i trojrozmerný model.

Stavbu programu opíšeme na vykreslení rezu j rovnobežného s osou x. Program pracuje s rozmermi výpočtových blokov x_i a y_i a kótami hladiny $H_{i,j}$ vzťahnutými k ich stredom. Z dát x_i a y_j sa vytvoria postupným sčítaním vzdialenosti ohraničení blokov od ľavého hor-



Obr. 3. Názorné vykreslenie priebehu hladiny podzemnej vody pomocou programu Šikmé premietanie

Fig. 3. Descriptive plot of ground water table course using the routine for oblique projection

ného rohu siete — X_i a Y_j . V cykle $j = 0, 1, 2 \dots$ až $n-1$ sa pero súradnicového zapisovača dostane do pozície na začiatku rezu (ľavý okraj). Jeho súradnice A a B sú dané vzťahmi:

$$A = \frac{1}{2} X_1 \cdot \cos \beta + \quad (4)$$

$$+ \frac{1}{2} (Y_j + Y_{j+1}) \cdot \sin \alpha,$$

$$B = -\frac{1}{2} X_1 \cdot \sin \beta + \quad (5)$$

$$+ \frac{1}{2} (Y_j + Y_{j+1}) \cdot \cos \alpha + \Delta H,$$

kde $\Delta H = H_0 - H_{i,j+1}$ a H_0 je kóta porovnávacej roviny. (6)

Vloženým cyklom $i = 1, 2, \dots$ až m sa pero posunie o prírastky a a b určené podľa výrazov:

$$a = \frac{1}{2} (x_{i-1} + x_i) \cdot \cos \beta, \quad (7)$$

$$-b = \frac{1}{2} (H_{i-1,j+1} - H_{i,j+1}) - \quad (8)$$

$$- \frac{1}{2} (x_{i-1} + x_i) \cdot \sin \beta.$$

Analogicky sa určuje pohyb aj pre rezy rovnobežné s osou y . Číslo m a n udávajú počet výpočtových blokov v smere x a y .

Záver

Uvedené programy názorne ilustrujú spracované výsledky modelového riešenia. Riešiteľ získa lepší prehľad o probléme a výstupy môžu priamo slúžiť ako potrebná dokumentácia modelu v záverečnej správe. Text programov pre grafický výstup je krátky a je pripojený za programy vlastného numerického modelovania. Tak sa vytvorí ucelený programový systém, ktorý formou dialógu geológ — počítač umožňuje plne využiť vstupné dáta, výsledky i výhody samočinného počítača.

Možnosti použitia uvedených programov sú široké. Uplatňujú sa pri výpočte zásob podzemnej vody, návrhu pásiem hygienickej ochrany alebo pri odvodňovaní stavebných jám.

Graphical output for ground water flow modelling by finite differential method

Numerical modelling of ground water flow represents recently common duty in hydrogeological practice. Beside the method of differential analogy also further models are applied using rectangular or cylindrical calculation network whereas mostly rectangular network is used for ground water table sections. This enables easy further processing of results in graphical plots. In the Engineering Geological and Hydrogeological Research Enterprise at Košice branch, simple routines have been designed for a descriptive graphical output of model solutions. These routines complement the usual numerical modelling and create with the latter an unitary software system. Beside the tabulated data of ground water table dimension figures, the routine enables almost simultaneously to obtain, tabulated values of ground water flow velocity in x and y directions as

well as the network projection in a vector form. Further possible outputs are the transversal section of ground water table in x or y direction and the water table course in oblique projection what in fact represents a network of normal sections across the centres of calculation block units in the used network.

The descriptivity of this output may be compared with that of an isoline map. All routines operate with input data for model solutions registered in the external memory of the electronic calculator. Routines are designed in Hewlett-Packard language and tuned on table electronic calculator of HP 9825 A type. The system is recently used in practice and outputs serve for documentation of model solutions in the final reports of hydrogeological research. Examples of used outputs are attached in the paper.