

## 1. Uvod

Cilj ove vježbe je uspostava numeričkog modela procjeđivanja ispod brane, kroz stijenu međuzrnske poroznosti. U varijantnim rješenjima hipotetske prostorne domene zadržavaju se konstantni rubni i početni uvjeti te se promatra utjecaj promjene širine pregradnog profila, dubine uranjanja zagata i debljine vodonosnog sloja na brzine i ukupne protoke procjeđivanja. Korišten je 2D model u vertikalnoj ravnini, u kojem je porozna sredina modelirana dvojako, kao izotropna i anizotropna. Razina tla i nepropusne podine usvojene su kao horizontalne. Korišten je numerički modeli zasnovan na metodologiji konačnih diferencija. Rezultati provedenih analiza pokazuju da anizotropija uzrokuje smanjenje procjednih količina u odnosu na slučaj izotropne sredine pri istim dubinama uranjanja zagata.

Jedna od bitnih komponenti u gospodarenju vodama je i zadržavanje vodnog resursa u akumulacijskim prostorima. Obzirom na prirodne geološke granice kojima je omeđen akumulacijski prostor česta puta je potrebna dodatna intervencija na pregradnom profilu akumulacije u želji za smanjenjem proticajnih količina kroz poroznu sredinu ispod pregradnog profila. Jedna od takvih intervencija je i izvedba zagatnih stijena. Povećanjem dubine uranjanja zagatne stijene povećava se i put čestici tekućine od akumulacijskog prostora do nizvodnog „izlaznog“ profila a što rezultira sa smanjenjem ukupne proticajne količine. S druge strane, povećanje dubine uranjanja zagata uzrokuje i povećanje investicijskih troškova.

U ovoj vježbi provedi se analiza utjecaja dubine uranjanja zagata, utjecaja debljine saturiranog vodonosnog sloja ispod akumulacijskog prostora i utjecaj anizotropije na procjedne količine ispod pregradnog profila akumulacije.

## 2. Prostorna domena problema i provedeni pokusi

Definicijska slika prostorne domene prikazana je na slici 2.1. Za dubine saturiranog vodonosnog sloja  $H$  od dna pregradnog profila do nepropusne horizontalne podine korištene su vrijednosti 30m i 70m. Analizirani raspon dubina uranjanja zagata  $a$  je od 0 do 60m, sa prirastom od 10m. Širina pregradnog profila  $b$  je usvojena sa konstantnom vrijednosti 30m. Rubovi modela, u smislu vertikalnih nepropusnih granica, postavljeni su 120m uzvodno od početka i 120m nizvodno od kraja pregradnog profila. Nomenklatura pokusa dana je i u tablici 1.

Prostorna domena diskretizirana je strukturiranom proračunskom mrežom s prostornim korakom  $\Delta x=2\text{m}$  u horizontalnom smjeru i  $\Delta y=0,5\text{m}$  u vertikalnom smjeru, uz izuzetak  $\Delta x=\Delta y=0,5\text{m}$  u vertikali zagata.

Razine vodnog lica uzvodno i nizvodno od pregradnog profila su stacionarne sa međusobnom visinskom razlikom 10m. Koeficijenti filtracije u slučaju izotropnog vodonosnika usvojene su sa vrijednosti  $k_x=k_y=0,001$  m/s, a u slučaju anizotropnog sa vrijednostima  $k_x=0,001$  m/s;  $k_y=0,1k_x$ . U svim provedenim pokusima koeficijent poroznosti vodonosnika je usvojen sa vrijednosti  $\varepsilon = 0,6$ .

Na slici 2.1 naznačeni su i rubni uvjeti na modelskim granicama gdje je  $\frac{\partial h}{\partial n}=0$  Neuman-ov homogeni rubni uvjet za tretman nepropusne granice a  $h=10$ m i  $h=0$ m Dirichlet-ovi rubni uvjet na otvorenim granicama modela.

**Tablica 1 Nomenklatura pokusa**

Broj pokusa	H	b	a	c	$k_x/k_y$
	[m]	[m]	[m]	[m]	[/]
1,2,3,4	30	30	0, 10, 20, 25	120	1
5,6,7,8	30	30	0, 10, 20, 25	120	10
7,8,9	70	30	0, 10, 20,30,40,50,60	120	1
10,11,12	70	30	0, 10, 20,30,40,50,60	120	10

**H** – dubina saturiranog vodonosnog sloja (m)

**a** – dubina uranjanja zagata (m)

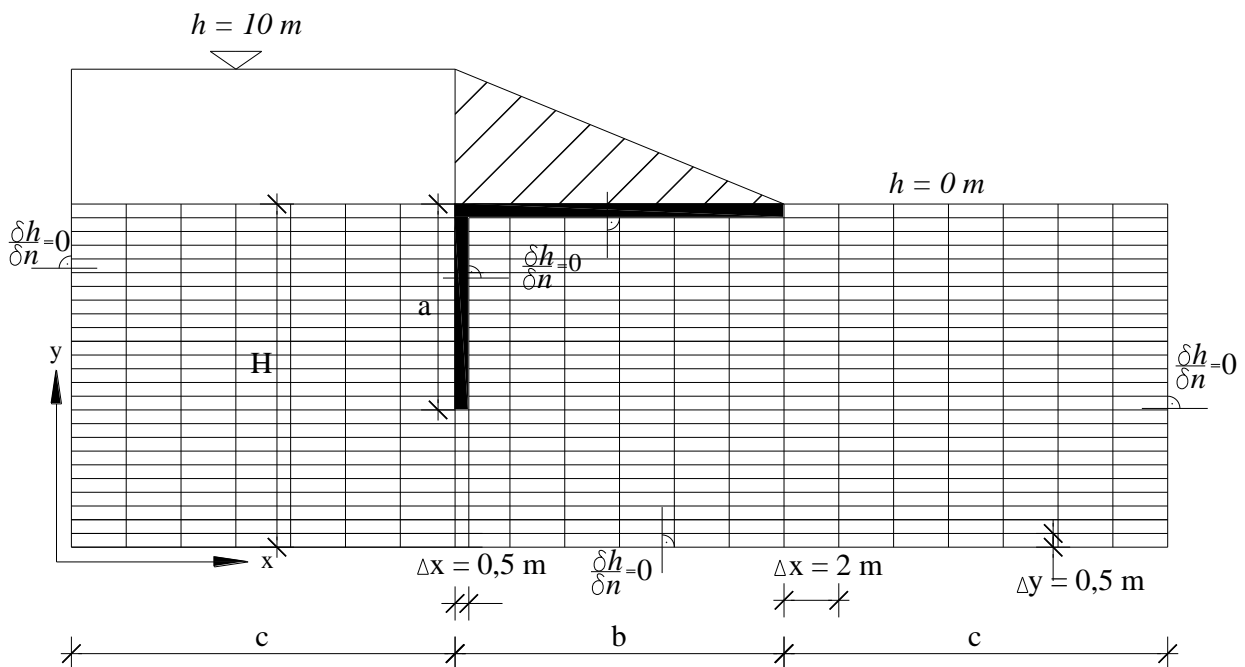
**b** – širina dna pregradnog profila (m)

**c** – širina dna uzvodno i nizvodno od pregradnog profila (m)

$k_x$  – Darcyjev koeficijent propusnosti u horizontalnom smjeru x (l/s)

$k_y$  – Darcyjev koeficijent propusnosti u vertikalnom smjeru y (l/s)

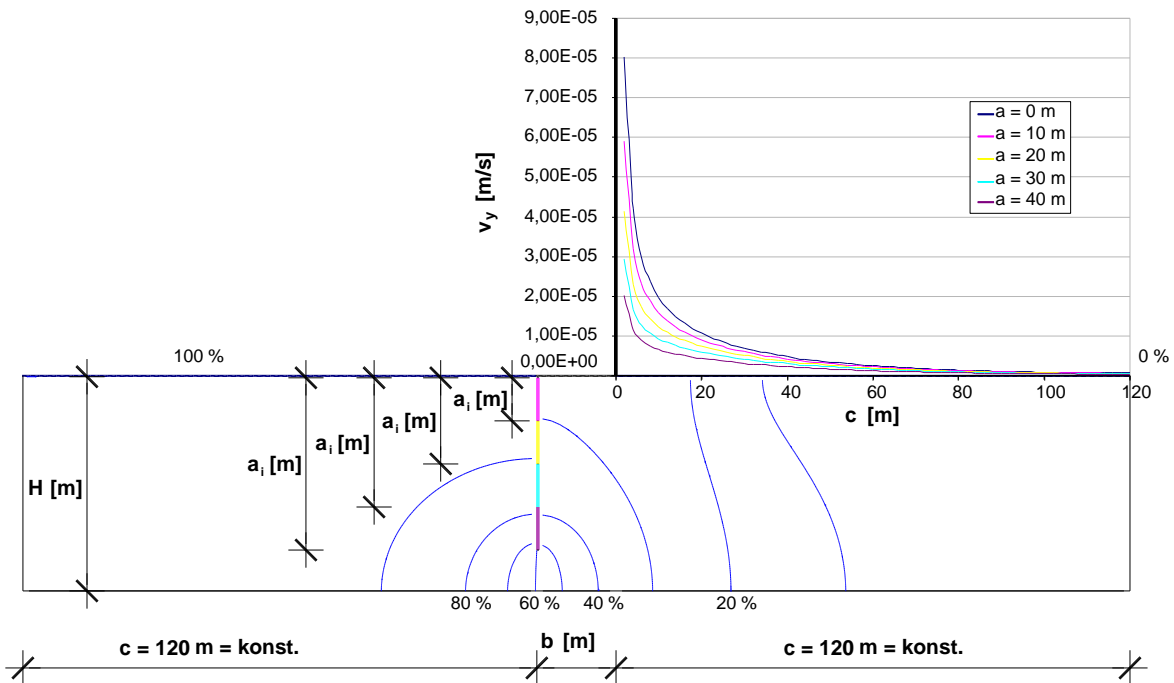
**h** – razina vodnog lica, Dirichletov rubni uvjet (m)



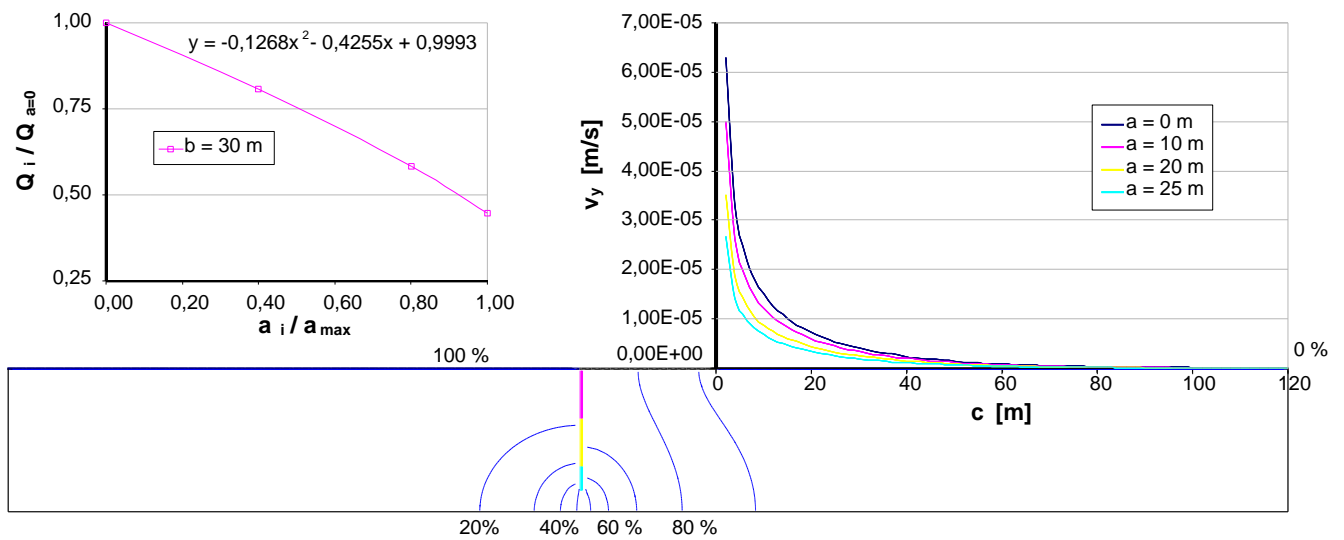
**Slika 1 Definijska skica prostorne domene sa varijabilnim geometrijskim obilježjima**

### 3. Rezultati provedenih modelskih simulacija

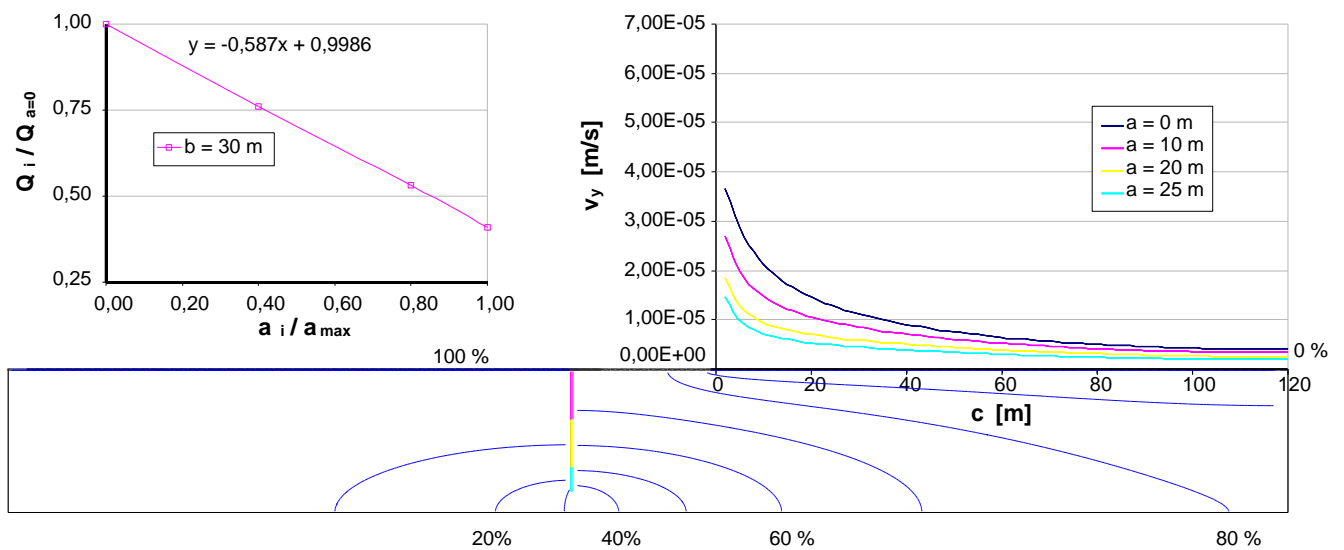
Prikaz rezultata dan je grafički prema definicijskoj slici 3.1. Na daljnjim slikama se prikazuje raspodjela ekvipotencijala sa inkrementom od 10% obzirom na ukupnu razliku potencijala uzvodno i nizvodno od pregrade. Prikazana raspodjela potencijala na svim slikama odnosi se na slučaj maksimalne dubine uranjanja zagata ( $a=25\text{m}$  pri  $H=30\text{m}$  i  $a=60\text{m}$  pri  $H=70\text{m}$ ). Na slikama su prikazani i dijagrami horizontalnih raspodjela vertikalne komponente brzine istjecanja  $v_y$  u izlaznom profilu nakon pregrade. Također su priloženi i dijagrami ovisnosti bezdimenzionalnog omjera  $i$ -tog protoka procjeđivanja  $Q_i$  (pri  $a = 10, 20$ ) i protoka procjeđivanja bez izvedbe zagata  $Q_{a=0}$  (pri  $a=0\text{m}$ ) o  $i$ -toj dubini uranjanja zagata  $a_i$ .



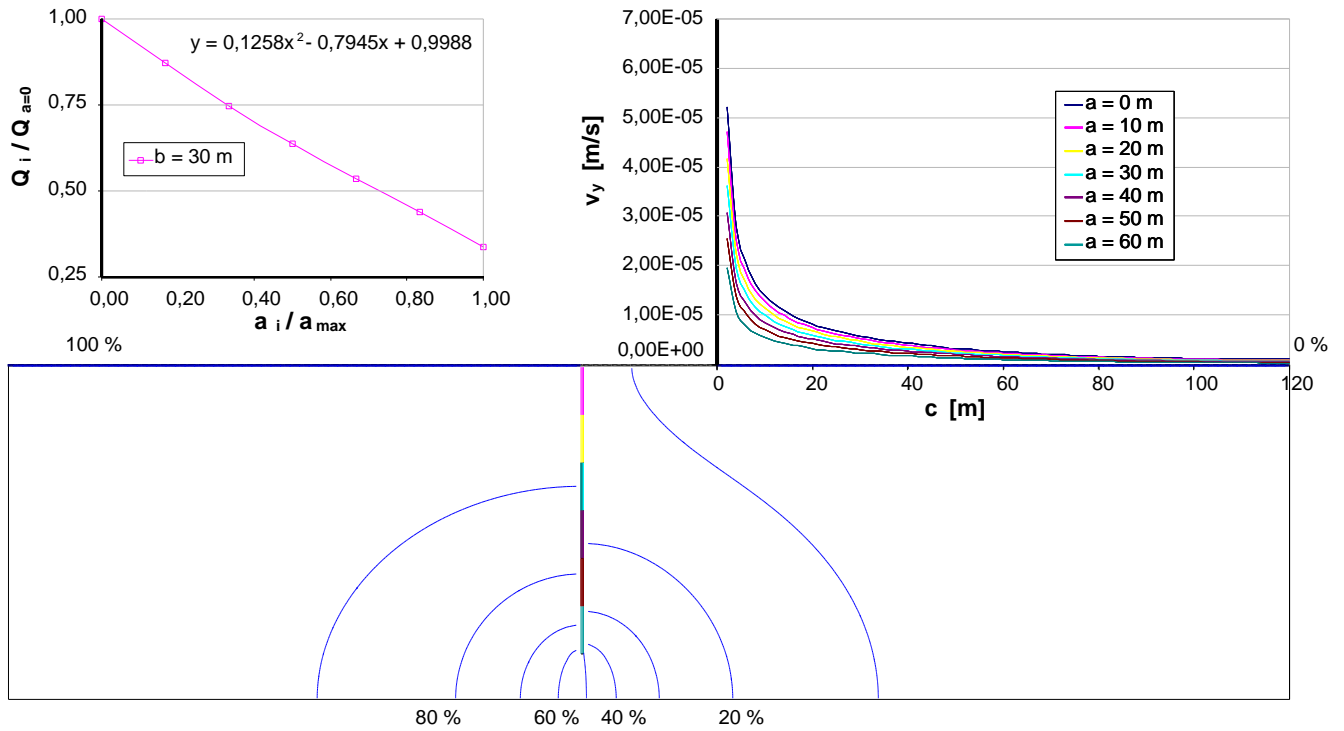
Slika 3.1 Definijska skica za prikaz rezultata (plave linije u području porozne sredine su ekvipotencijale sa inkrementom 10% ukupne razlike potencijala)



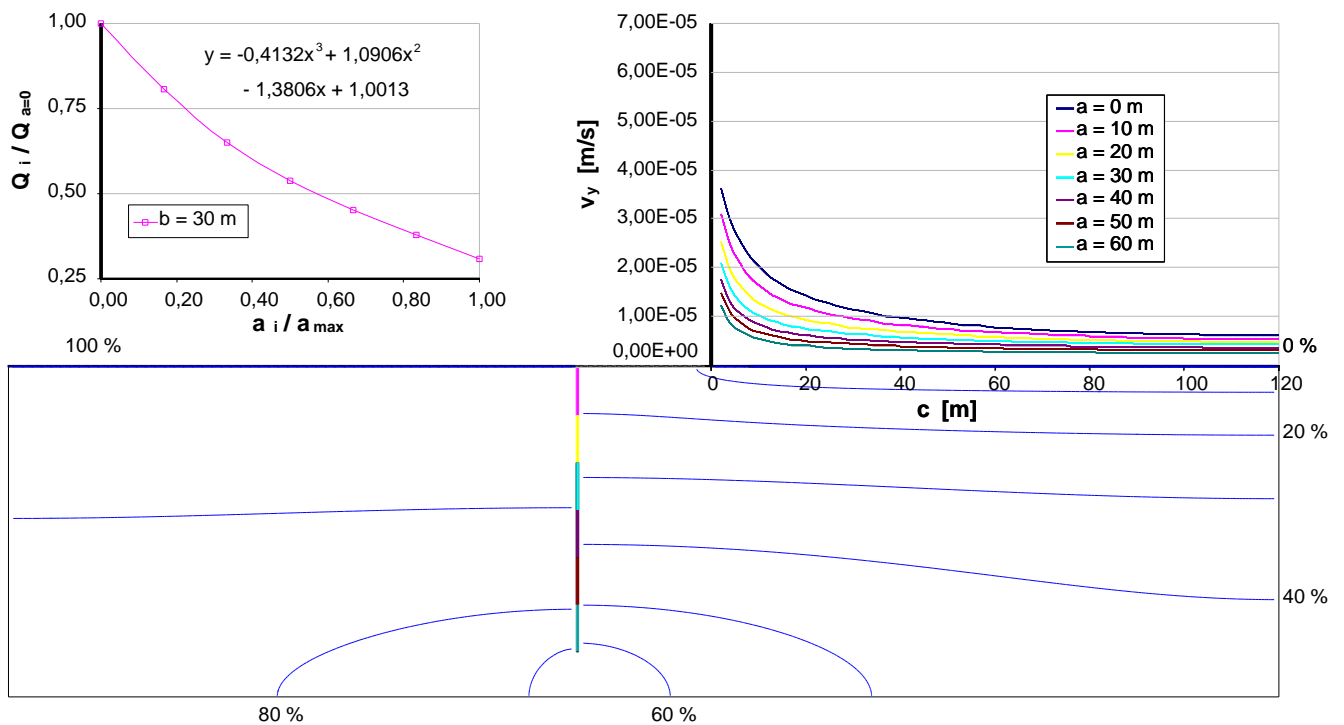
Slika 3.2 Raspodjela brzina izlaznog strujanja na izlaznom profilu, raspodjela ekvipotencijala (10%) i bezdimenzionalni odnosi  $Q_i/Q_{a=0}$  prema dubini uranjanja  $a_i/a_{max}$  ( $H = 30\text{m}$ ;  $b = 30\text{m}$ ;  $k_x = k_y$ )



Slika 3.3 Raspodjela brzina izlaznog strujanja na izlaznom profilu, raspodjela ekvipotencijala (10%) i bezdimenzionalni odnosi  $Q_i/Q_{a=0}$  prema dubini uranjanja  $a_i/a_{max}$  ( $H = 30\text{m}$ ;  $b = 30\text{m}$ ;  $k_x = 10 k_y$ )



Slika 3.4 Raspodjela brzina izlaznog strujanja na izlaznom profilu, raspodjela ekvipotencijala (10%) i bezdimenzionalni odnosi  $Q_i/Q_{a=0}$  prema dubini uranjanja  $a_i/a_{max}$  ( $H = 70\text{m}$ ;  $b = 30\text{m}$ ;  $k_x = k_y$ )



Slika 3.5 Raspodjela brzina izlaznog strujanja na izlaznom profilu, raspodjela ekvipotencijala (10%) i bezdimenzionalni odnosi  $Q_i/Q_{a=0}$  prema dubini uranjanja  $a_i/a_{max}$  ( $H = 70\text{m}$ ;  $b = 30\text{m}$ ;  $k_x = 10 k_y$ )

Prikazane raspodjele vertikalnih komponenti brzine na izlaznom profilu ukazuju na generalni trend opadanja brzine i procjednih količina sa povećanjem dubine uranjanja zagata uz konstantnu širinu pregradnog profila, kako kroz izotropnu, tako i kroz anizotropnu sredinu. Odnosi smanjenja protjecanja i produljenja zagata nisu u linearnoj vezi.

Procjeđivanje je intenzivnije u izotropnoj nego u anizotropnoj sredini, ukoliko se na modelu koristi nepromijenjena geometrija i istovjetni rubni/početni uvjeti.

Rezultati bezdimenzionalnih odnosa između protoka bez izvedbe zagata  $Q_{a=0}$  i sa analiziranim rasponom dubina uranjanja zagata  $Q_i$  ukazuju na linearno smanjenje ukupnih procjednih količina za slučaj anizotropne sredine pri dubini saturiranog vodonosnog sloja od  $H=30\text{m}$ . U slučaju izotropne sredine, pri istoj dubini  $H=30\text{m}$ , narušena je linearnost odnosa  $Q_i/Q_{a=0}$  i  $a_i/a_{max}$ . Kod povećane dubine vodonosnog sloja  $H=70\text{m}$ , odnosi  $Q_i/Q_{a=0}$  i  $a_i/a_{max}$  također nisu u linearnoj vezi.

Prema tome, veća učinkovitost izvedbe zagatnih stijena, u smislu smanjenja procjednih količina, može se očekivati u slučaju izraženije anizotropije i većih debljina vodonosnog sloja.

#### **4. Korišteni numerički model**

U provedbi numeričkih analiza korišten je 2D numerički model ASMWIN (Aquifer Simulation Model) namjenjen za analizu strujanja podzemnih voda i pronosa otopljene tvari. Prva verzija ASM-a izdana je 1989. i pokretana je pod programskim jezikom MS- DOS. Od toga se ASM kontinuirano poboljšavao i unapređivao a zadnja verzija ASM 6.0 radi pod operativnom sustavom MS- Windows. Model je baziran na metodi konačnih diferencija pri čemu se pronos može tretirati kroz klasičan Eulerov pristup ili po „random walk” metodi. Model podržava proračunsku mrežu sa maksimalno  $150 \times 150$  ćelija i do 1000 vremenskih sekvenci u slučaju nestacionarnosti procesa. Diskretizirane jednačbe procesa rješavaju se pomoću metode preduvjetnih konjugiranih gradijenata sa mogućnošću izbora dijagonalnih ili Cholesky preduvjeta. Za rješavanje stacionarnog toka koristiti se Marquardt- Levenberg algoritam. Model također omogućava upotrebu heterogenih polja transmisivnosti i koeficijenata filtracije.